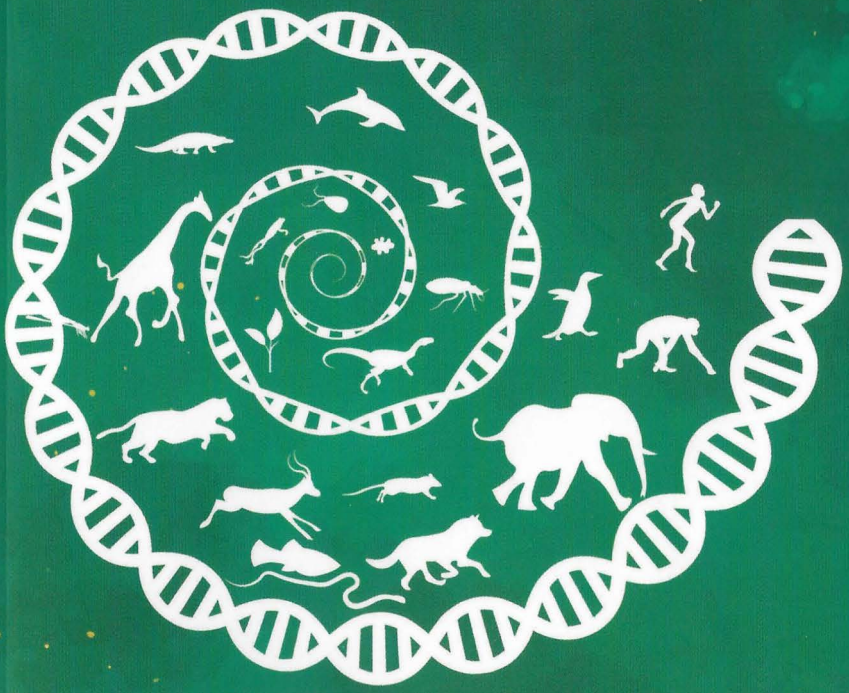
ALICE ROBERTS

VAR OLMANIN OLAĞANÜSTÜ ÖYKÜSÜ

- İNSAN EVRİMİNE VE GELİŞİMİNE BİR YOLCULUK -

TÜRKÇESİ: İDİL GEMİCİ



GİNKO BİLİM



ALICE MAY ROBERTS

19 Mayıs 1973 doğumlu olan İngiliz bilim insanı Alice Roberts anatomi uzmanı, osteoarkeolog, biyolojik antropolog, biyolog, bilim anlatıcısı ve yazardır. Birmingham Üniversitesi'nde profesör olan Roberts klinik anatomi, embriyoloji ve biyolojik antropoloji dersleri vermektedir. Birleşik Krallık'ta çok bilindik bir televizyon yüzü olan Roberts, *Coast* ve *Digging For Britain* belgesellerini sunmuş; *Don't Die Young*, *The Incredible Human Journey*, *Origins of Us* ve *Ice Age Giants* belgesellerini ise hem yazmış hem de sunmuştur. Roberts aynı zamanda *The Complete Human Body* ve *Evolution: The Human Story* dahil olmak üzere çok sayıda kitabın yazarıdır. Roberts bilimsel birikimini halka aktarmaya yönelik çalışmalarından ötürü 2020 yılında Kraliyet Bilimler Akademisi tarafından David Attenborough Ödülü'ne layık görülmüştür.

İDİL GEMİCİ

Yeditepe Üniversitesi Çeviribilim Bölümü'nden mezun oldu. İngilizce, Almanca ve İspanyolca dillerinde fen bilimleri ve tıbbi çeviri alanlarında uzmanlaştı. Yüksek lisans eğitimini Barcelona Üniversitesi'nde Bilişsel Bilimler ve Dilbilim Programı'nda tamamladı ve bu sürede biyo ve nörodilbilim üzerine çalıştı. Şu anda Yeditepe Üniversitesi'nde Sinirbilim alanında doktorasına devam etmekte, sözlü ve işaret dillerinin nörobiyolojisi üzerinde bilişsel sinirbilim alanındaki çalışmalarını sürdürmektedir. Çeşitli dergilerde çevirileri yayımlanan İdil Gemici halihazırda doktora araştırmacısı olarak ulusal ve uluslararası projelerde görev almaktadır.

Eserin orijinal adı: *The Incredible Unlikeliness of Being: Evolution and the Making of Us*

GİNKO BİLİM - 45

BİLİM DANIŞMA KURULU

KEREM CANKOÇAK • GÜNSELİ BAYRAM AKÇAPINAR • FERHAT SARI

VAR OLMANIN OLAĞANÜSTÜ ÖYKÜSÜ - ALICE ROBERTS

-insan evrimine ve gelişimine bir yolculuk-

Bu kitap ilk olarak 2014 yılında Büyük Britanya'da 55 Baker Street, 7th Floor, South Block, Londra'da yerleşik Quercus Editions Ltd.'nin bir markası olan Heron Books tarafından *The Incredible Unlikeliness of Being: Evolution and the Making of Us* başlığıyla İngilizce yayımlanmıştır.

© Alice Roberts, 2014

Görseller için copyright © Alice Roberts, 2014

Alice Roberts'ın bu eserin yazarı olarak tanımlanmasına ilişkin manevi hakkı, 1988 tarihli Telif Hakkı, Tasarımlar ve Patentler Kanunu uyarınca ileri sürülmüştür.

Tüm hakları saklıdır. Yayıncının yazılı izni olmadan, bu kitabın herhangi bir parçası herhangi bir biçimde yeniden üretilemez.

Bu kitabın Türkçe hakları AnatoliaLit Ajansı aracılığıyla alınmıştır.

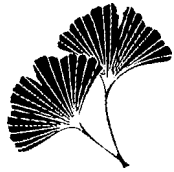
TÜRKÇESİ • **İDİL GEMİCİ**
KAPAK TASARIM • **HÜRREM KARAOĞLU**
SAYFA DÜZENİ • **DEVRİM KOÇLAN**
KAPAK GÖRSELİ • **Adobe Stock**

ISBN 978-625-8362-09-1
Birinci Basım Ekim 2023

© Ginko Kitap Ltd. Şti. 2022

Baskı: Unifset Basım Yayın ve San. Tic. Ltd. Şti.
İstanbul Cad. 57 Alay Sok. No: 14 Beylikdüzü – İstanbul
Sertifika No: 72541

Ginko: Osmanağa Mah. Ali Suavi Sk. No: 10 D. 3 Kadıköy / İstanbul • Sertifika No: 35054
T: 0216 449 20 99 • F: 0216 449 21 00
www.ginkokitap.com • posta@ginkokitap.com



ALICE ROBERTS

VAR OLMANIN OLAĞANÜSTÜ ÖYKÜSÜ

-insan evrimine ve gelişimine bir yolculuk-

TÜRKÇESİ: İDİL GEMİCİ

GİNKO BİLİM

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜRLER 9

BAŞLANGIÇLAR
DÖLLENMENİN GİZEMİ VE VÜCUDUNUZA YAZILI BİR TARİH 11

BAŞLAR VE BEYİNLER
İLK OMURGALI BAŞININ KÖKENİNDEN İNSAN BEYNİNİN OLAĞANÜSTÜ GELİŞİMİNE 37

KAFATASLARI VE DUYULAR
BİR KAFATASI YAPIMI İÇİN GEREKLİ MALZEMELER VE ETRAFIMIZI SARAN DÜNYAYI UYUMSAMAK İÇİN GELİŞEN ORGANLAR 83

KONUŞMA VE SOLUNGAÇLAR
GIRTLAĞIN ISLAK KÖKENLERİ 125

OMURGALAR VE BÖLÜMLERİ
YAŞAM ÖRÜNTÜSÜ VE S HARFİ BİÇİMİNDEKİ OMURGANIN EVRİMİ 161

KABURGALAR, AKCİĞERLER VE KALPLER
ATALARIMIZDAN GELEN KABURGALARLA BALIKLARDAN GELEN KALPLER VE AKCİĞERLER 189

SINDIRIM KANALLARI VE YUMURTA KESELERI
YUMURTLAYAN ATALARIMIZ VE MEYVEYLE BESLENEN KUYRUKSUZ MAYMUNLAR ARASINDAKİ BAĞ 215

EŞEY BEZLERİ, CİNSEL ORGANLAR VE HAMİLELİK
ÜREMENİN ANATOMİSİ VE ÇARESİZ İNSAN YAVRULARI 231

KOLLAR VE BACAKLAR
YÜZGEÇLER, UZUVLAR VE ATALARIMIZ 267

KALÇALARDAN AYAK PARMAKLARINA
KOŞMADAN ÖNCE YÜRÜMEYİ ÖĞRENMEK 283

OMUZLAR VE BAŞPARMAKLAR
TIRMANICI ATALARIMIZ VE EŞSİZ İNSAN ELLERİ 319

İNSANIN ÖYKÜSÜ
YAŞAM AĞACINDA KENDİ KÜÇÜK DALIMIZI BULMAK 339

OKUMA ÖNERİLERİ 359
DİZİN 385

Pam Stevens'ın aziz hatırasına

TEŞEKKÜRLER

Yıllardır embriyoloji ve evrim üzerine bir kitap yazmak istiyordum. Heron Yayınevinden Susan ve Jon Watt; onlara gelişim, ortak atalar ve aile ağaçları hakkında öyküler anlatmama izin verip bir de bunları kitap haline getirecek kadar cesur davrandılar. Beni teşvik ettikleri ve herkesin ilgilenmeyebileceği bir konuda böylesine heyecanlı oldukları için her ikisine de şükranlarımı sunuyorum.

Bu kitaptaki düşüncelerin çoğu, çekimler sırasında tanışma fırsatına eriştiğim meslektaşlarımla yaptığım toplantılarda ortaya çıktı. Evrimsel biyolojiye ve fiziksel antropolojiye olan tutkumu göstermeme, bu yapımlarda yer alırken ilham verici bilim insanlarıyla tanışmama ve bu heyecan verici alanı geniş bir kitleyle paylaşmama imkân sağladıkları için çeşitli televizyon programları ve dizilerin yapımcılarına ve prodüksiyon ekiplerine minnetlerimi sunuyorum. *İnsanın Kökeni [Origins of Us]* (BBC2, 2011) prodüksiyon ekibine tek tek teşekkür etmek istiyorum. Mags Lightbody ve Davina Bristow'a (yardımcı yapımcılar); Dave Stewart, Matt Dyas ve Paul Olding'e (yapımcı ve yönetmenler); Zoe Heron'a (dizi yapımcısı); Sacha Baveystock'a (baş yapımcı); *Tarih Öncesine Otopsi* [*Prehistoric Autopsy*] (BBC2, 2012) baş yapımcısı Jane Aldous'a; *Horizon: İnsanın Kökeni [Horizon: What makes us human?]* dizisinin prodüksiyon ekibinden Chris Pitt'e (araştırmacı), Toby Macdonald'a (yapımcı ve yönetmen) ve dizi editörü Aidan Laventry'e teşekkür ediyorum. Ayrıca BBC'deki Bilim ve Doğa Tarihi bölümü editörü Kim Shillingslaw'a şükranlarımı sunuyorum.

Araştırmalarını ve düşüncelerini benle cömertçe paylaşan herkese de ayrıca teşekkür etmek istiyorum; bazılarına kitapta da yer verdim ama sırayla Harvard Üniversitesi'nden Jeff Lichtman'a, Birkbeck College'dan Geoff Bird'e, Cenevre Üniversitesi'nden Denis Duboule'a, Southampton Üniversitesi'nden Anna

Barney'ye, University College London'dan Sandra Martelli'ye, Selly Oak Hastanesi'nden Roy Cockel'a, Rhode Island Üniversitesi'nden Holly Dunsworth'e; City University New York'tan Herman Pontzer'a ve son olarak Harvard Üniversitesi'nden Anna Warrener'e teşekkür ederim. Biyoloji, anatomi, evrim ve epigenetik alanlarındaki uzmanlıklarını gerek yüz yüze gerekse yazışmalarla paylaşan minnettar olduğum öteki meslektaşlarımdan Wenner-Gren Foundation of Anthropological Research'ten Leslie Aiello'ya; Cambridge Üniversitesi'nden Sir Patrick Bateson'a ve David Chivers'a; Birmingham Üniversitesi'nden Jeremy Pritchard'a, Susannah Thorpe'a ve Bryan Turner'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Tıp fakültesi öğrencisi olarak anatomiyi ve embriyolojiyi Edward Evans, Bernard Moxham ve Richard Newell gibi ilham verici hocalardan dinleme şansım olmuştu. Özellikle de anatomi üzerine yazdığım lisans tezimin danışmanlığını yapan ve beni karşılaştırmalı anatomi ve embriyoloji dünyasıyla tanıştıran Bob Presley'e teşekkürü borç biliyorum.

Kitabın ilk taslaklarını okuyup yorumlarını esirgemeyen; paha biçilemez içgörülerini, önerilerini ve düzeltmelerini paylaşan iyi kalpli meslektaşlarıma minnettarım: Robin Crompton'a, Holly Dunsworth'e, Colin Groves'a, Desmond Morris'e, Mark Pallen'a, Chris Stringer'a ve Paolo Viscardi'ye teşekkür ediyorum. Editörüm Jon Watt'a anlayışı ve bu kitabın öyküsünü bulmama ve geliştirmeme yardım ettiği için teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca hatalarımı düzelten redaktörüm Helena Caldon'a da teşekkür ederim.

Son olarak eşimin olağanüstü desteği olmasaydı yeni doğan bebeğimizle ve üç yaşındaki çocuğumuzla ilgilenirken bu kitabı yazamazdım. Teşekkür ederim Dave.

BAŞLANGIÇLAR

DÖLLENMENİN GİZEMİ VE VÜCUDUNUZA YAZILI BİR TARİH

"Ex ovo Omnia"
("Her şey yumurtadan doğar")

WILLIAM HARVEY (1651)

Dünyaya bakış açım ve uzay-zamandaki benlik kavramım anne olmamla tamamen değişti. İlk çocuğumu 2010 yılında doğurdum ve tam da o doğum anında inanılmaz, neredeyse mistik denebilecek bir bağlılık hissi yaşadım; bu kendi atalarıma, kendi soyuma olan bir bağlılıktı. Sanki bir insandan *fazlasıymış* gibi hissettim: Ben yaşam zincirindeki bir parçaydım. Bu durum, benim için kadınlığa özgü bir şeydi. Tıpkı annemin beni doğurduğu gibi ben de bir kız çocuğu doğuruyordum, annemi de annesi doğurmuştu ve bu zincir zaman içinde uzayıp gidiyordu.

Bunları okuyan bir erkekseniz, doğum yapmanız mümkün olmasa bile sizi erkek atalarınızın soyuna bağlayan Y kromozomunuz hakkında benzer bir biçimde düşünebilirsiniz. Elbette bu düşünce sizin için o kadar da efsanevi bir his yaratmayabilir ama doğum kadar en basit düşünceyi bile çok önemliymiş gibi düşündüren başka bir olay yoktur.

Yirmi birinci yüzyılın gelişmiş ülkelerinden birinde çocuk sahibi olmayı bekleyen bir anne olarak, her çocuğumu *doğmadan önce* görmek gibi müthiş bir şansa sahiptim. Hamileliğimin sadece on ikinci haftasındayken ufacık kızımı kendi amniyotik sıvısının içinde ilk kez gördüğümde mutluluktan havalara uçtuğumu hatırlıyorum. O zaman bebeğimin cinsiyetini bile bilmiyordum. Onu görebilmek mükemmeldi ama hamile olma deneyimi ve ekrandaki görüntü arasında hâlâ devasa bir uçurum vardı.

Ben bir anatomistim, insan vücudunun yapısını ve nasıl geliştiğini bilmek benim işim. Yine de embriyo gelişimiyle ilgili tüm bildiklerim, vücudumda gerçekleşen bu olayın tamamen mucizevi bir şey olduğu hissini azaltmadı. Döllenme kendi başına inanılmaz bir olayken döllenmiş bir yumurtanın, tek bir hücrenin, insan gibi karmaşık bir şeye dönüşmesi akıllara ziyan bir olaydır. Hamileliğimin on ikinci haftasındaki taramada fetüsün büyük bir kısmı oluşmuştu; kolları ve bacakları, el ve ayak parmakları, sindirim kanalı ve atan bir kalbi vardı. Daha şimdiden minyatür bir bebeğe benziyordu. Peki, döllenme sırasında tek bir hücreyken bu noktaya nasıl geldi?



Tam da bu anda var olup bu cümleyi okuyabilme olasılığınız *gerçekten* çok düşüktür. Anne ve babanızın birbiriyle tanışmış olması da öyledir, her ikisinin farklı insanlarla tanışıp yaşamlarının bambaşka yönlere gidebileceği pek çok olasılık var olmuştur. Tanışıp birlikte olmalarının ardından sizi meydana getiren o BİR yumurtayla BİR spermin buluşma olasılığı da çok düşüktür. Bana kalırsa, şans eseri var olmanın yarattığı bu rahatsızlık hissinin kökleri daha da derinlerde yatıyor.

Döllenmiş bir yumurtanın, tek bir hücrenin, bütün bir insana dönüşmesi inanması güç bir olaydır. Hatta bir çeşit biyolojik mucize gibi gözükür ama bu mucize herhangi bir doğaüstü ya da ilahi müdahaleye inanmanızı gerektirmez. Bu doğal bir mucizedir, geçtiğimiz birkaç yüzyıl boyunca bilim insanları bu inanılmaz dönüşümün çoğu sırrını (elbette hâlâ keşfedilmeyi bekleyen bazı sırlar olsa da) çözmüştür. İlk bakışta tek bir hücrenin bütün bir insana dönüşümü öylesine imkânsız, öylesine olasılık dışı gelir ki bunu yapabilecek doğaüstü ve yönetici bir el hayal etme ihtiyacı hissederiz. Oysa bu gelişim sürecini daha ayrıntılı bir biçimde anladığımızda moleküllerin, hücrelerin ve dokuların kendi kendilerine vücudumuzdaki organları nasıl oluşturduğunu görebiliriz. İşte bu, bizi gezegen üzerindeki her bir canlıyla aynı noktada birleştiren temel bir süreçtir.

Yaşamaya nasıl başladığınızı düşündüğünüzde bir zamanlar sadece tek bir hücre, yani döllenmiş bir yumurta olduğunuza inanmanız neredeyse imkânsız olabilir ama bunun doğru olduğunu biliyorsunuz. Her ne kadar mümkün değilmiş gibi gözükse de kendi varlığınız bunun gerçekleştiğini kanıtlıyor. Çok uzun zaman önce sadece tek bir hücreden oluşan atalarınızın soyundan geldiğinize inanmakta da güçlük çekebilirsiniz. Oysa kendinizin tek bir hücreden meydana geldiğini gösteren bu inkâr edilemez gerçeği kabul ettiğinizde, belki de hem kendinizin hem de tür olarak bizlerin böylesine basit, sade başlangıçlardan başlayıp evrim geçirdiğine inanmanız çok daha kolay olabilir. Aslında daha yakın (itiraf etmeliyim ki hâlâ oldukça eski) tarihteki soyunuza bakarsanız solucan atalarınızı görürsünüz. Yaşam ağacının iç içe geçmiş dalları arasın-

da yer alan kendi neslinizi takip ederek soyunuzun izini sürebilirsiniz. Böylelikle tüm atalarınızı; balıkları, amfibileri, sürüngenleri, ilk memelileri, ilk primatları ve kuyruksuz maymunları, en sonunda da kendinizi görebilirsiniz. (Bu arada, sizler de birer kuyruksuz maymunsunuz, sadece çok özelsiniz.)

Hem bir insan olarak (annenizin yumurtalarının babanızın spermlerinden biriyle döllendiği noktadan itibaren) kendi kökenlerinizle yeniden bağ kurmanıza yardımcı olmak hem de atalarınızla yeniden bir bağ kurmanızı sağlamak adına bu kitabı yazdım. O halde bu kitapta başınızdan el ve ayak parmaklarınızın uçlarına kadar uzanan bir insan vücudu turu yapacaksınız. İlk birkaç bölümde solucanlar ve balıklar gibi eski atalarımıza odaklanacağız ama zamanla aile ağacımızın daha yakınındaki dallarına varacağız. Kollarımız ve bacaklarımız hakkında konuşmaya başladığımızda, *hominin* atalarımızın ve bize en yakın olan kuzenlerimizin (kuyruksuz maymunların) el ve ayaklarına da bakıyor olacağız.

İnsan vücudunun nasıl geliştiğini anlatan öykü, bilimin bize sunduğu en büyüleyici anlatıdır (sizi buna ikna etmeyi umuyorum). Her birimiz tek bir hücre olarak başlayıp, toplamda yaklaşık 100 trilyon hücreden ve yüzlerce farklı hücre tipinden oluşan karmaşık bir organizmaya dönüşme yolculuğuna çıktık. Aynı zamanda hepimiz evrimin birer ürünüyüz ve göreceksiniz ki kusursuz olmaktan çok uzağız. Milyonlarca yıllık evrim süreci elbette işe yarayan bir şey üretti ama bu ürün, geçmişiyle ve oluşma biçimiyle sınırlandırılmış durumdadır. İnsan vücudunun yapısını ve nasıl çalıştığını araştırdıkça, hepimizin sahip olduğu vücutların aslında arnavutkaldırımı gibi ufak tefek parçaların bir araya gelmesiyle oluştuğunu daha da iyi fark ediyorum. İnsan vücudu, şahane olduğu kadar kusurlarla da doludur. Evrimsel geçmişimiz, embriyolojik gelişimimizle iç içe geçmiştir. Yetişkin vücutlarımızın anatomisi pek çok açıdan şaşırtıcıdır, dolayısıyla vücudumuzdaki kusurların çoğu sadece evrimsel bağlamda anlaşılabilir. Öyleyse atalarımız, bize hem hediyeler hem de arızalı parçalar bırakmıştır. O halde çok eski zamanlarda yaşayan atalarımızın izleri, gelişmekte olan bir embriyonun biçiminde ve DNA'mıza işlemiş halde vücutlarımızdadır.

İnsanın "var olma" öyküsünü evrim ve embriyoloji aracılığıyla anlatırken, kendi anatomimizi keşfedip evrimsel geçmişimizdeki atalarımızla tanışacağız. Bunların yanı sıra bu keşif gemisindeki

mürettebatı oluşturan öncü bilim insanlarını tanıyacağız. Yine de bu öykünün başkahramanı SİZSİNİZ. Tüm bu anlatılanlar, sizin evrimsel mirasınızı ve size ait parçaların büyüyüp değişerek bir insan biçimine gelene dek origami gibi katlandığı embriyolojik gelişiminizi kapsıyor. Biz insanların bir tırtılın kelebek olması kadar ergin bir dönüşüme en çok yaklaşabildiği nokta burasıdır. Hepimiz döllenmeden sadece iki ay sonra biçim değiştirdik: Önce tek bir hücreden düz bir plağa, sonra içi oyuk bir tüpe, en sonunda kolları ve bacakları olan, gözle görülür bir biçimde insana benzeyen ufak bir varlığa dönüştük.

Öyleyse bu öykü, en güzel yaratılış öyküsüdür, çünkü gerçektir. Aynı zamanda oldukça garip keşiflerle doludur: DNA'nızda meyve sineğiyle paylaştığınız ortak atanızın izleri bulunur, gelişiminizin bir noktasında embriyonuzdan solungaçlar çıkacak gibi gözükür. Milyonlarca yıl önce atalarımızın yapıp kullanmaya başladığı aletler anatomilerini değiştirmiş ve ellerinizin bugünkü biçimini almasını sağlamıştır. Çeşitli kaynaklardan gelen kanıtların bir araya gelmesiyle ortaya çıkan bu bilimsel öykü, hayal edebileceğimiz her yaratılış mitinden daha olağanüstü, daha tuhaf ve daha güzeldir.

DÜŞÜNCELERİN KISA TARİHİ

Yeni bir insanın ya da herhangi bir organizmanın kökeni, çok yakın bir zamana dek en büyük bilimsel gizemlerden biriydi. Embriyoloji alanındaki ilk bilimsel kitap olan *On the Generation of Animals* [Hayvanların Üremesi Üzerine] milattan önce dördüncü yüzyılda Aristoteles tarafından yazıldı. Aristoteles bu kitabında, bir embriyonun oluşması için erkek menisinin dişinin regl kanını etkinleştirdiğini öne sürdü. Bu günümüzde tuhaf bir önerme gibi gözükse de biraz düşündüğünüzde oldukça mantıklı varsayımlara dayanmaktadır: Cinsiyet ve hamilelik arasında bir bağlantı olduğunu varsaymaktadır ve elbette bu kısmı doğrudur. Henüz kimsenin mikroskopla insan yumurtasına bakmadığı zamanlarda

Aristoteles'in regl kanıyla ilgili bu düşüncesi, kadınlar hamile kaldığında regl olmadıkları için oldukça mantıklı gelmiştir.

Sonraki yüzyıllarda, çoğu bilim insanı için vücut sıvıları dışında embriyoyla ilgili belirli öncüllerinin bilinmiyor olması sorun yaratmamıştır. Bu dönemde bazı hayvanların hareket etmeyen maddelerden oluştuğuna bile inanılmaktaydı, örneğin sinekler çürümüş bir etten bir anda meydana gelebiliyordu. Aristoteles'in "epigenez" olarak adlandırdığı gelişim kuramı, regl kanı ve meni (hatırlarsanız Aristoteles spermin ne olduğunu bilmiyordu, onun için meni homojen, süte benzer sıvıydı) gibi basit sıvıların karışmasıyla karmaşık bir insan vücudunun meydana gelebileceğini öne sürmekteydi. Onun bu kuramı, iki bin yıl boyunca pek de karşı gelinmeden kabul görmüş bir kuram olmuştur.

Antik Yunan uygarlığından "tıbbın babası" Hipokrat, döllenme için hem erkek hem de dişi tohumlarının gerekli olduğunu öne sürmüşse de Aristoteles'in fikri (erkek menisinin bebek yapımındaki kilit bileşen olduğu) daha etkili olmuştur. Ne var ki on yedinci yüzyılın ortalarında, hayvanları kesip küçük parçalara ayırarak hayvan nesli araştırmalarını yürüten William Harvey, bu açıklamaya apaçık bir şüpheyle yaklaşmıştır. Harvey, dişi bir "yumurtanın" olması gerektiğine, hatta bu yumurtanın yumurtalıklarda bulunduğuna inansa da o dönemde yumurtayı bulamamıştır.

Bugün hepimiz döllenmenin nasıl gerçekleştiğini biliyoruz, bunun yanıtı gün gibi açık. Yine de insan yaşamının kökenini anlatan keşif öyküsü büyüleyicidir ve biyolojik olayları ayrıntılı görebilmemizle bağlantılıdır. Bu keşif, insan gözünün görme becerisini geliştiren bir teknoloji sayesinde olmuştu, böylelikle insan gözü fazladan bir dizi lens kullanmadan beklenenin çok ötesinde, küçücük cisimleri görebiliyordu. Basit büyüteçli camlar on altıncı yüzyıldan bu yana kullanılsa da ilk mikroskopu kimin icat ettiği kesin olarak bilinmemektedir. Galileo, genellikle teleskopun mucidi olarak tanınsa da *occhiolino* (İtalyanca "küçük göz" demektir ama günümüzde "göz kırpma" anlamında kullanılıyor) adını verdiği bir icadı daha vardır. On yedinci yüzyılın başlarında Galileo'nun "küçük gözü" tanıdık bir adla bilinmeye başlamıştır: Mikroskop. Aynı yüzyılın sonlarına doğru Robert Hooke; pire, ısırgan otu ve arı iğnesi gibi tanıdık cisimlerin gizli ayrıntılarını incelemek için mik-

roskop kullanmış ve bulgularını *Micrographia* [Mikrografi] adlı muhteşem kitabında yayımlamıştır.

Bu sırada Kuzey Denizi'nin öbür ucunda Antonie van Leeuwenhoek adlı Hollandalı bir kumaşçı, küçücük cam lensler üretme ve bunları mikroskop yapımında kullanma hobisine takıntılı hale geldi. Bu küçücük lenslerden bakarken, daha önce kimsenin görmediği ve kayıt altına almadığı ayrıntılar ve cisimler görmeye başladı. Volvoks alglerini, küçücük planktonları, yumurtlayan sinekleri, insana ait kırmızı kan hücrelerini ve dalağın, kasın ve kemiğin mikroskobik ayrıntılarını gördü.

İnsan spermini ilk gören kişi de Van Leeuwenhoek oldu. Bunun ne kadar muhteşem olabileceğini bir düşünün. Günümüzde spermin varlığından haberdar olduğunuz için bu size zor gelebilir ama bir an için tüm bunları unutun: Yıl 1677, Leeuwenhoek sizsiniz ve kendinizi mikroskopla yapabileceklerinize kaptırmış bir haldesiniz. Meninin öyle ya da böyle bebek yapmaya yaradığını biliyorsunuz, dolayısıyla bir miktar meni buluyorsunuz (buna ilişkin ayrıntıları hayalgücünüze bırakıyorum) ve mikroskobunuzu kullanarak bir damlacık sütsü sıvıya bakıyorsunuz. Mikroskoptan bakmaya devam ettikçe gördükleriniz karşısında hayrete düşüyorsunuz. Görüş alanınızın tamamı titreyerek hareket ediyor. Kuyruklarını çok hızlı bir biçimde hareket ettiren, kurbağa larvasına benzeyen hücreleri teker teker seçebiliyorsunuz. Tıpkı daha önce keşfettiğiniz ve hakkında Londra'daki Kraliyet Bilimler Akademisi'ne [*Royal Society*] yazdığınız protistalar gibi mikroorganizmalara benziyorlar. Aralarındaki tek fark, bu "hayvancıkların" insandan geliyor olması.

Asıl şaşırtıcı olan (tabii bugün bildiklerimizi bir kenara koyarsak), ne Leeuwenhoek'in ne de Kraliyet Bilimler Akademisi'ndeki bilim insanlarının bu gözlemlerin önemini o anda fark etmesidir: Döllenmeyle ilgili sırların yarısı bu mektuplarda saklıdır.

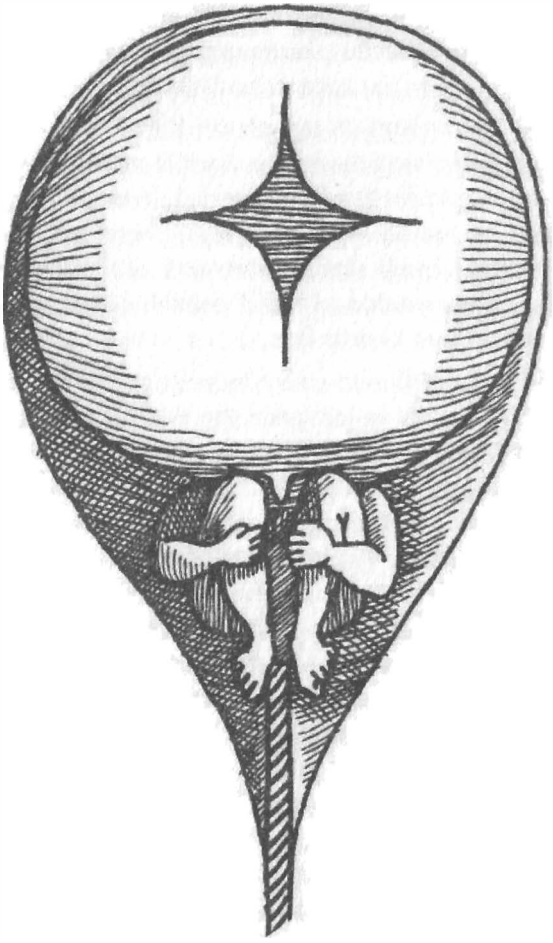
Başka bir Hollandalı da insan yumurtasını *neredeyse* bulma ödülünü kazanmıştır. Bu kişi Regnier de Graaf adında bir doktordur ve 1672 yılında dişi cinseli organlarını üzerine, içinde tavşanların yumurtalıklarındaki folikül gelişimi tanımının da bulunduğu bilimsel bir inceleme yayımlamıştır. Bu nedenle insanların yumurtalıklarında da bulunan bu küçük hücre kümelerine kendi adı verilmiştir, günümüzde Graaf folikülleri olarak bilinirler. De Graaf, foliküller patladıktan sonra fallop tüplerinin içinde ufacık

küreler de gözlemlemiştir ve yumurtaların, hem bu tüplerin hem de kürelerin içinde olduğu çıkarımını yapmıştır. Ne var ki memeli yumurtası, 1827 yılına kadar tanımlanamamıştır.

Memeli yumurtasını ilk tanımlayan Karl Ernst von Baer'dir. Adından da anlaşılacağı üzere von Baer'in ataları Almandır ama kendisi 1792 yılında Rus İmparatorluğu'nun bir parçası olan Estonya'da doğmuştur. Von Baer, Konigsberg Üniversitesi'nde zooloji dersleri verdiği sırada embriyoloji eğitimi de almıştır ve 1827 yılında yumurtalıktaki Graaf folikülünün içine yerleşmiş memeli yumurtasını keşfetmiştir.

İşte bu harika. Bilim insanları herhalde olayı artık çözmüştür: Elimizde bir yumurta ve bir sperm var, ikisi bir araya gelip embriyoyu meydana getiriyor. Ne yazık ki bunu söylemek (daha önce olduğu gibi) sadece bugünkü bildiklerimizle ve bakış açımızla kolaydır. Bahsedilen dönemlerde genellikle Aristotelesçi düşüncelerin çok güçlü bir biçimde kök salmış olması, spermin ve yumurtanın (ya da adlarına ne diyorsak) eşit oranda katkıda bulunarak yeni bir insan meydan getirdiğine inanmayı imkânsız kılmıştır. Böylelikle bilim camiası, "yumurtacılar" ve "spermciler" olarak iki tarafa bölünmüştür. Yumurtacılar, spermi yumurtayı sadece "uyandıran" bir güç olarak görmekteydi. Spermciler de spermin yarattığı bu yeni yaşam için yumurtanın sadece bir besin kaynağı olduğunu düşünüyordu.

Sperm ve yumurtanın tanımlanması, Aristoteles'in karmaşık bir yaşamın nasıl oluyorsa basit sıvılardan meydana geldiğini ileri süren epigenez fikrinin de kenara itilmesi anlamına geliyordu. Yine de ortada hâlâ çözülmeyi bekleyen bir bilmece vardı. İnsan gibi karmaşık bir organizma, nasıl olur da sperm ve yumurta gibi oldukça basit görünen şeylerden meydana gelebilirdi? On yedinci ve on sekizinci yüzyılda yaşayan çoğu bilim insanı için bu sorunun cevabı, preformasyon kuramında yatıyordu. Bu kurama göre, karmaşıklık zaten küçük ölçekte embriyonun öncülünde (yumurtada ya da spermde, hangisini savunduğunuza göre değişir) bulunuyordu. Bu fikrin en uç versiyonu, spermin içinde bütün haliyle, önceden oluşmuş bir insanın (minyatür bir insanın) olduğunu öne sürüyordu. Nicholas Hartsoeker adlı Hollandalı bir lens üreticisi (bu işi Leeuwenhoek'ten öğrenmişti) spermin baş kısmında kıvrılmış halde bir *homunkulus* resmetmişti.



Minyatür insan: Hartsoeker'ın orijinal çiziminin yeni bir kopyası.

Fransız filozof ve rahip Nicolas Malebranche, preformasyon düşüncesini daha da ileri taşıdı. 1674 yılında, her insanın annesinin yumurtasında "hapsolmuş bir halde" yaşama başladığını öneren ve preformasyon kuramını temel alan kapsanma kuramını ileri sürmüştür. Malebranche şöyle der:

> "Kişi, bir lale soğanı tohumunda bütün bir laleyi görebilir. O halde kişi, taze bir yumurtanın tohumuna baktığında da (...) bütün bir tavuk görebilir."

Malebranche, sözlerini "Var olan tüm insanların ve hayvanların vücutları, muhtemelen dünyanın yaratılışı kadar eskiden meydana gelmiştir." diye sonlandırır. Öteki bir deyişle bugüne kadar yaşayan (ve bundan sonra yaşayacak olan) herkes, dünya üzerindeki en muhteşem Matruşka bebeği misali minyatür bir biçimde, Havva'nın yumurtalıklarında hapsolmuş bir halde çoktan yaratılmıştı. Preformasyon altındaki bu kuram o zamanlar da "evrim" olarak biliniyordu, çünkü kelimenin kökeni "açmak" ya da "açılmak" anlamına geliyordu ve bu anlamda kullanılmaya uygun bir terimdi. Elbette bugün evrim kelimesi tamamen farklı bir anlam barındırıyor. Dünyanın sadece birkaç bin yıllık olduğuna inanan biri için kapsanma kuramı, gerçek anlamda uygulanabilir gözükmüş olabilir. Üstelik tüm bunlar hücre kuramının çok daha aşağıda bir boyut sınırı belirlemesinden önce ileri sürülmüştür, dolayısıyla o dönemde bu denli ufak, bütünüyle oluşmuş varlıkların olabileceğine hayal etmek mümkün olmuştur.

Tabii bu ilk embriyologlardan bu denli uç bir preformasyon kuramına inandığını öne sürmek değildir. Mikroskoptan bakıp embriyonun oluşum anlarını gören herkes, onun en azından oluşumun ilk beş haftasına kadar ufak, bütünüyle oluşmuş bir insana benzemediğini biliyordu. Preformasyon kuramının aşırıya kaçan noktaları bugün bizlere gülünç gelse de bazı haklı noktaları vardır. Bunun nedeni argümanın temelinde karmaşık bir organizmanın tamamen düzensiz ve homojen bir şeyden ortaya çıkamayacağı düşüncesine dayanmasıdır. Dolayısıyla ilk embriyologlar doğru söylüyordu, sadece içlerinden birinin yepyeni bir vücut üretmek için gerekli bilginin taşındığı molekülü keşfetmesi biraz daha zaman alacaktı.

BAŞLANGIÇ NOKTANIZ

Artık yeni bir insan oluşurken neler olduğunu çok daha iyi biliyoruz. Yeni bir insan olarak genetik kimliğiniz, babanızın spermlerinden birinin, annenizin yumurta kanallarına doğru yüzerek rahime doğru inen yumurtasıyla buluştuğu anda belirlenmiştir.

O yumurtayı bir hayal edin: Yumurtalıklardaki evinden özgürlüğüne doğru patlamış, kendiyle birlikte daha küçük hücre topluluklarını da sürüklüyor. Parmaksı fimbria bakterilerinin püsküllü bir doku oluşturduğu huni biçimindeki bir yumurta kanalına giriyor. Şimdi de tüp içindeki sıvıda bir akıntı yaratmak adına titreyen ve yumurta kanalının duvarlarını oluşturan minicik, saça benzeyen tüycüklerin yardımıyla yol alıyor.

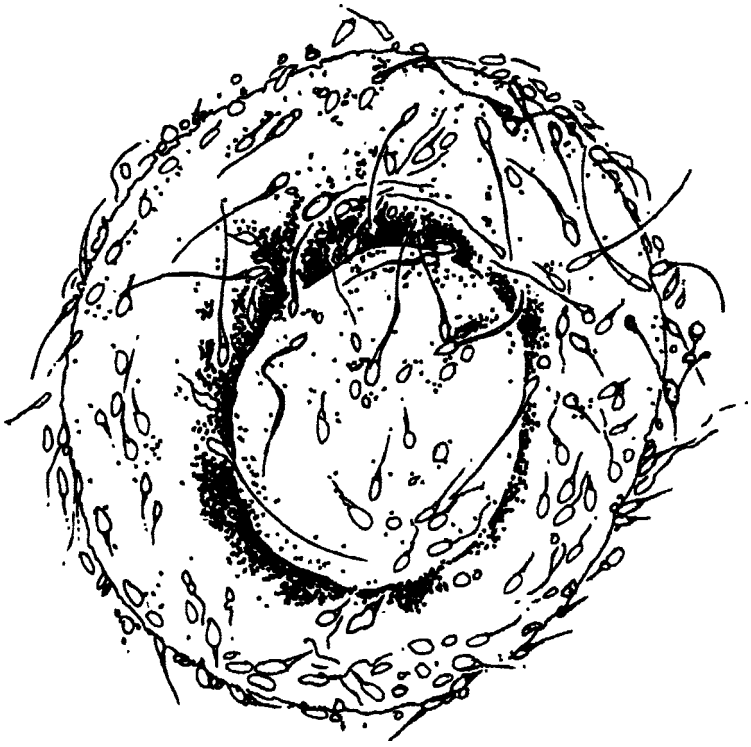
Bir de var gücüyle yüzen, kuyruğunu çılgınca hareket ettiren spermi gözünüzün önüne getirin. Rahim ağzı kanalında ilerliyor ve rahim boşluğundan geçerek yumurta kanalına (öteki adıyla fallop tüpüne) doğru gidiyor. Muhtemelen tüm bu yolu gitmek birkaç gün sürmüştür. Bu sperm, biraz şans biraz da cesaretle yumurtaya ilk oluşan sperm oluyor. Tek bir boşalma anında, birkaç yüz milyon sperm vajinaya bırakılıyor. Üstelik testislerdeki evlerinden onca yol kat edip gelmişken önlerinde hâlâ gitmeleri gereken çok yol var. Spermlerin büyük bir kısmı, henüz vajinaya bile varamadan rahmin ağzında ya da boynunda yok olur. Bunlar döllenmeye uygun bir zamanda olmadığında rahim ağzında bulunan yapışkan mukus katmanı bariyer örerek spermin daha ileri gitmesini önler. Yumurtlama dönemi yaklaştıkça rahim ağzı mukusu daha kaygan ve elastik bir hal alır. (Mukusa bakmak, bir kadının aylık regl döngüsünde döllenme için en uygun olduğu günlerin belirlenmesinde kullanılan asırlık bir yoldur. Rahim ağzı mukusu yoğun ve yapışkan bir halden daha elastik ve yumurta beyazına benzer bir kıvama gelir. Almancada mukusun bu özelliğine *spinnbarkeit* denir. Yine Almancada "iplik eğirme" anlamına gelen başka bir kelimenin kökünden türetilmiştir.) Spermlerin büyük bir kısmı, rahim ağzından rahim boşluğuna doğru ilerlemeye devam ederken geride kalır. Devam edebilenler bu ortamda hızlanır ve kuyruklarını daha da çılgınca sallar, bir aşağı bir yukarı yüzerek yumurta kanallarından birine girer. Yumurta, spermin doğru yumurta kanalını seçmesine yardımcı olmak için kimyasal uyarılar gönderir. Yumurtanın kendisine ulaşan sperm sayısı, boşalma esnasındaki sperm sayısının çok ufak bir miktarıdır. Belki de bir milyon sperm içinden sadece birisi bu noktaya kadar gelebilir. Oysa asıl yarış, bundan sonra başlar.

Yüzlerce sperm aynı anda yumurtaya ulaşır. Yumurtanın etrafı küçücük spermlerle dört bir yandan sarılmıştır ama döl-

lenme için sadece bir sperme ihtiyacı vardır. Bazı spermler, yumurtanın yumurtalıklardan patlayarak atıldığı andan itibaren etrafında kümelenen hücreler tarafından oluşturulan *cumulus oophorus* adlı haleye kadar girer. Bir sperm, bu hücre kümesinin içinden geçtiğinde yumurta zarının etrafını saran yoğun, jelimsi yapıdaki *zona pellucida* katmanına ulaşır. Artık kaçış yoktur, *zona pellucida* spermi kapana kıstırır. Spermin baş kısmı jele yapışır. Tıpkı küçücük anahtarların kilitlerine takılması gibi, jelin şekerli yapıdaki proteinleri de sperm zarı üzerindeki protein reseptörlerine bağlanır. Bu küçücük anahtarlar gerçekten de önemli bir kilidi açar, spermin uç kısmındaki enzimlerin salıverilmesini tetikleyerek onun jelimsi katmanı geçip yumurtanın kendi hücre zarına ulaşmasını sağlar. Böylelikle sperm ve yumurta zarları birbirine temas eder. Zarlar eriyerek iç içe geçer ve bu iki hücre, küçücük bir sperm ve devasa bir yumurta, birleşir.

İşte sizin oluşma anınız tam da bu andır. Oluşumunuz, annenizin vücudunun karanlık oyuklarında saklanan olağanüstü ama sıradan bir olaydır. Elbette bu döllenmiş yumurtanın bir insan olmadığını hatırlamamız gerekir, bu noktada döllenmiş yumurta hücresinin bütün bir organizmaya dönüşeceğinin hiçbir garantisi yoktur. Bugünkü bilgilerimize dayanarak söyleyebileceğiniz tek şey şudur: Her şeyin başladığı yer burasıdır.

Sperm ve yumurta zarlarının eriyerek iç içe geçtiği temas anında üç şey gerçekleşir. Sperm, zarını geride bırakarak yumurtanın içine doğru yüzmeye devam eder, geriye yumurtanın yüzeyine terk edilmiş bomboş bir kabuk kalır. Yumurtanın içinde onu saran zara yakın duran ufak kimyasal dolu kesecikler bulunur. Bu kesecikler, yumurtanın zarıyla iç içe geçip içlerindeki özü *zona pellucida*nın hemen altındaki kısma boşaltırlar. Böylelikle, başka bir spermin yumurtaya ulaşıp döllemesini engellemek için *zona*nın jelimsi yapısını değiştirir ve sertleştirirler. Bu çok önemli bir olaydır: Yumurtanın tek istediği kendindekini tamamlayacak bir dizi kromozomdur (yani kendindeki 23 kromozomla eşleşecek 23 kromozom daha). Yumurtanın daha fazla sperm tarafından döllenmesi fazladan kromozomların da eklenmesi anlamına gelir ve döllenmiş hücrenin gelişip bir embriyoya dönüşebilme ihtimali ortadan kalkar.



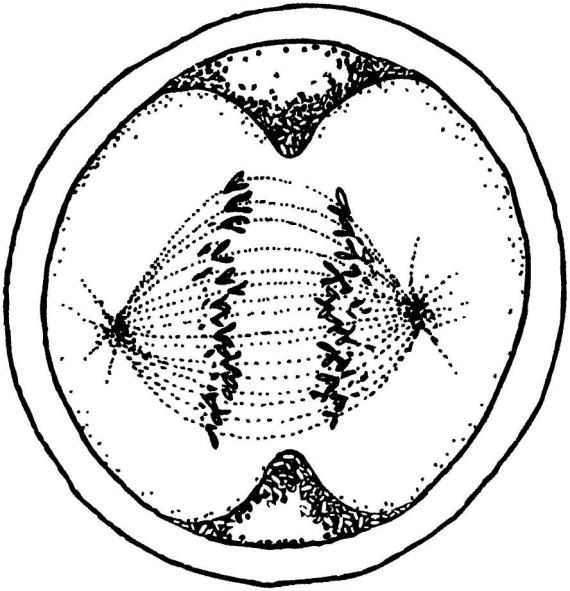
Spermin yumurtaya varışı.

Anneden ve babadan gelen kromozomlar birleşmeden önce, annenin DNA'sı spermin yumurtaya girdiği anda başlayan son bir hazırlık sürecinden geçer.

Sperm yumurtaya doğru yüzmeye devam ederken kuyruğu zayıf düşer ve bir süre sonra yok olur. Daha yakından bakıldığında bu bir uydunun yörüngeye fırlatılmasına benzer. Roket varış noktasına ulaştığında, fırlatma aracı roketin taşıdığı yükten (uydunun kendisinden) ayrılır. O halde embriyo oluşturmak için yumurtanın ihtiyaç duyduğu temel bilgiyi ve kromozomlardan oluşan paketi taşıyan sperm başı, yumurtadaki yüktür. Bu genetik materyal paketi, içindeki kromozomların çözülmesiyle şişmeye başlar. Böylelikle her bir kromozomu oluşturan DNA'nın çift sarmallı ipliği fermuar gibi açılır, DNA'nın büyüsü tam da burada ortaya çıkar. DNA'nın ufak yapı taşları (ya da nükleotidleri) iki yeni "fermuar" oluşana dek fermuar-

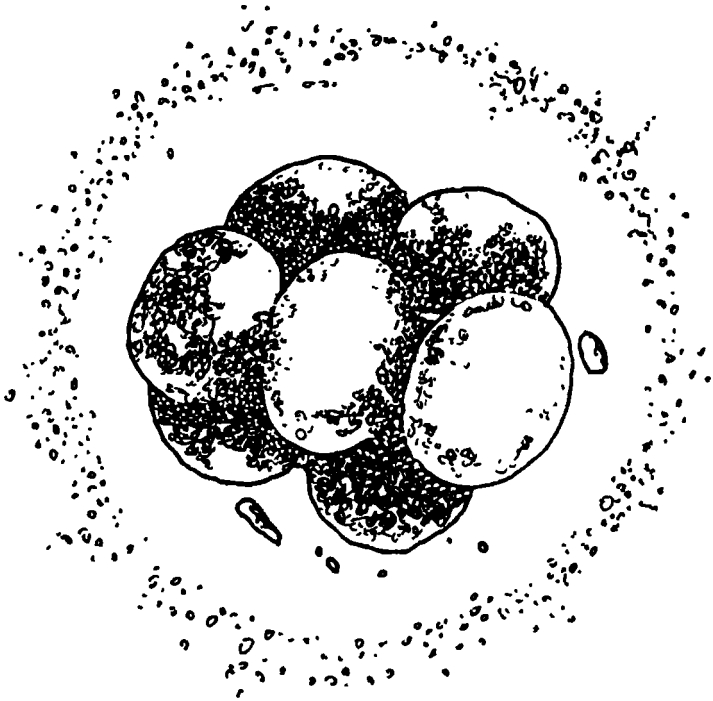
ların her bir yarısına bağlanır. Benzer bir ikiye katlanma işlemi, yumurtanın kendi kromozom paketinde de gerçekleşir. Ardından her iki genetik materyal paketi (her birinde ikişer kromozom seti olan paketlerin biri yumurtadan, öteki spermden gelir) birbirine doğru yaklaşıp birleşir. Dolayısıyla yumurtadan ve spermden, yani biri anneden biri de babadan gelen DNA'lar ilk kez bir araya gelir.

Öyleyse şimdi iki hücreye yetecek kadar DNA barındıran 46 çift kromozomumuz var. Bu kromozom çiftleri yumurtanın ortasında sıralanarak (sanki dansa kalkmışlar gibi) çiftleriyle karşı karşıya gelir. İnanılmaz ince protein tüplerinden oluşan ve iğ ipliği olarak bilinen bir iskele yapının üzerinde hizalanırlar. Daha sonra, her kromozom çifti ikiye bölünür ve iki kromozom iğ iplikleri iskelesinin iki zıt ucuna doğru çekilir. Bunlar olurken döllenmiş yumurtanın zarı da tam ortadan sıkışmaktadır, hücre dambıl biçimini alana kadar sıkışma devam eder. En sonunda tamamen sıkışarak ortadan ayrılır ve iki ayrı hücre meydana gelir. Tüm bunlar, spermin yumurtayla birleşme anından sonraki yirmi dört saat içinde gerçekleşir. Yani var olduğunuz ilk günün sonunda artık iki hücre olmuştunuz.



Yumurta ikiye bölünmeye başlarken kromozom çiftlerinin iğ iplikleriyle çekilmesi.

Her bir hücreniz çalışmaya devam ettiği için şimdi dinlenme sırası değildir. DNA tekrar kopyalanır ve hücreler bölünür. Üç gün sonra, on altı hücreden oluşan bir hücre kümesi olursunuz. Bu haliniz, mükemmel ve şiirsel bir teknik terimle tanımlanmaktadır: Latincede "ufak dut" anlamına gelen *morula* kelimesiyle. Bir yanda bunlar olurken bir yanda da hareket halindesinizdir. Yumurta kanalının kas duvarlarındaki kasılma dalgaları ve fallop tüpündeki *silia* adındaki dalgalanan saç hücreleri yardımıyla süzülüp neredeyse rahmin boşluğuna varırsınız. Bu noktada sadece bir hücre kümesi olabilirsiniz ama daha şimdiden bu kümenin hem içindeki hem de dışındaki hücrelerin kaderleri çoktan belirlenmiştir. Dış hücreleriniz plasentayı (anne karnındaki yaşam desteği mekanizmanızı) oluşturmanızda yardımcı olurken iç hücreleriniz de sizi, yani embriyoyu meydana getirecektir.

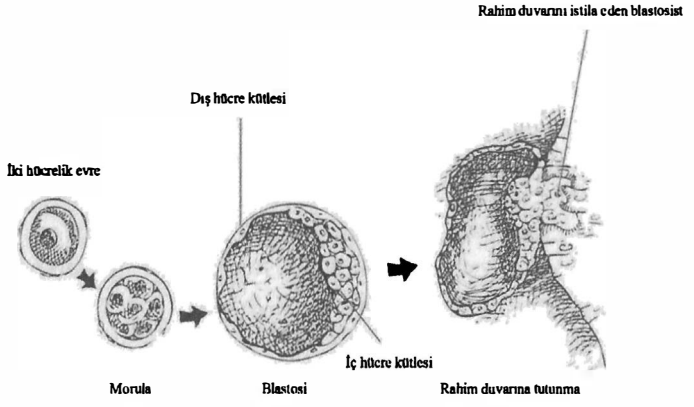


Morula.

Döllenmeden sadece bir hafta sonra, siz rahme doğru ilerlerken, bu hücre kümesinin içerisinde sıvı dolu bir boşluk oluşur. Artık bir *morula* yerine Antik Yunancada "içi oyulmuş tomurcuk" anlamına gelen *blastosist* olursunuz. İç hücre kütleniz dış hücre kütlenizin içinde eşit miktarda dağılmaz, *blastosistin* bir ucunda kümelenmiş halde durur. Öyleyse artık kutup noktalarınız var demektir. Bu, çok büyük bir gelişme gibi görünmeyebilir ama hücrelerin eşit olmayan bir biçimde dağılması, gelişmekte olan embriyonun bundan böyle belli bir yönü olduğu anlamına gelir. *Blastosist*, yumurta kanalı içindeki sıvıda hangi yöne doğru süzülürse süzülsün, artık *kendi içinde* bir yöne sahiptir. İç hücre kütlesinde bu yeni oluşan boşluğa dönük hücreler, kenardakilere kıyasla çok farklı kaderlere sahip olacaktır.

Evet, muhtemelen on santimetre yol aldığınız kısa yolculuğunuzun sonuna geldik. Şimdi rahmin iç duvarına yaslanıp dinleniyorsunuz ama dış hücreleriniz aniden rahim duvarını istila etmeye başlıyor. Bu da plasentanın oluşmaya başladığına işaret ediyor.

Embriyolojide işlerin ters gidebileceği pek çok durum vardır. Bir organizma ne kadar karmaşık hale gelirse, gelişiminin yanlış yöne gitme olasılığı da o kadar artar. Oysa oluşumun en başından itibaren (işler karışmadan önce) ölümcül hataların yapılabileceği bir sürü olasılık vardır, blastosistin dinlenme yeri de bunlardan biridir. Sizin blastosistiniz sağ salim bir biçimde yerleşmiş olabilir ama bu her zaman böyle olacağı anlamına gelmez. Blastosistler yumurta kanalında sıkışıp kalabilir ya da (daha ender görülen) yanlış yöne doğru ilerleyip kendini annenin vücut boşluğunda bulabilir. İkinci durumda blastosist, ne olursa olsun yerleşebileceği herhangi bir yere tutunmaya çalışacaktır. Bu durum, *ektopik* (Yunancada "dışa yerleşmiş" anlamına gelir) gebelik olarak bilinir. Rahim, gelişmekte olan bir embriyoyu beslemeye uygun olsa da öteki dokular bu iş için pek uygun olmayabilir. Ektopik gebelik çok tehlikeli bir hataya dönüşebilir: Gelişmekte olan embriyonun yumurta kanalına sıkışması, kan damarlarının yırtılmasına yol açması muhtemeldir, bu da korkunç bir iç kanamaya neden olabilir. Böylesine ağır bir kanama, cerrahi müdahalenin olmadığı durumlarda ölümcül bir hale gelebilir.



Gelişimin ilk haftası: İki hücrelik embriyodan morulaya, ardından blastosiste, en sonunda rahimde tutunmaya doğru.

Şu anki durumunuzu göz önünde bulundurduğumuzda, blastosist halinizin annenizin rahim duvarına sağ salim yerleştiğini biliyoruz. Gelişiminizin ikinci haftasına girdiğinizde, iç hücre kütlesindeki hücreleriniz (ki bunlar hâlâ çoğalmaktadır) kendilerini iki katmana ayırır: Böylelikle bir üst katman (epiblast) ve bir de alt katman (hipoblast) oluşur. Bu ayrım, hücrelerin blastosist boşluğuna konumuna göre belirlenir. Bundan sonra blastosist boşluğuna yumurta ya da *vitellüs* kesesi adı verilir ama fazladan bir çanta dolusu besine ihtiyacı olmayan plasentalı bir memeli olduğunuz için bu kesenin içinde hiçbir besin yoktur. Aslında tam da bu noktada vücudun embriyolojik gelişimde nasıl geliştiğine ilişkin çok önemli bir şey keşfederiz. Evrim, hiçbir organizmayı yoktan "var etmez". Her şey, halihazırda var olanı düzeltip tamir etmekle ilgilidir. Bu da evrimsel mirasınıza özgü bazı özelliklerin, embriyolojik gelişiminize her zaman ayrı bir yeri olacağını gösterir. Açıkçası küçücük bir embriyoyken bir besin kesenizin olması (her ne kadar içinde besin olmayan bir kesecik olsa da), atalarınız ve embriyoloji ile evrim arasındaki bağları açığa çıkarır. Sizler plasentalı memeliler olabilirsiniz ama atalarınız, içlerinde

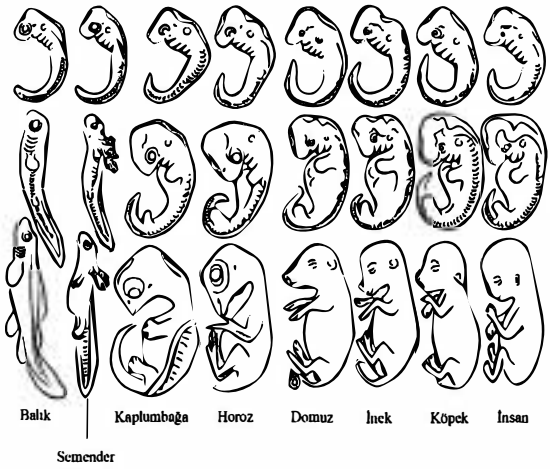
besin dolu yumurta sarıların olduğu yumurtalar bıraktı. Dolayısıyla bunun yankıları, embriyolojik gelişiminizde yansımıştır.

Gelişimin ikinci haftasında başka bir olay daha gerçekleşir: Blastosist hücrelerinin dış katmanında yepyeni bir boşluk oluşmaya başlar. Burası *amniyon* boşluğudur. Bu sıvı dolu kese, ilk önce gelişmekte olan embriyonun sadece bir tarafına doğru bakarken zamanla sizin tüm etrafınızı saracak ve doğana kadar içinde yüzdüğünüz keseye dönüşecektir. İki sıvı dolu kesenin (*vitellüs* kesesi ve *amniyon* kesesinin) arasında sıkışıp kalan da epiblast ve hipoblast katmanlarından oluşan bir disktir. O halde azıcık da olsa bir insana benzemek için hâlâ çok uzun bir yolunuz vardır. Ne var ki insana benzemeden önce, öteki pek çok hayvanın gelişmekte olan embriyosuna benzeyeceksiniz. İnsan embriyosu, döllenmeden sonraki dördüncü haftada aynı gelişim evresindeki bir balık embriyosu gibi görünür. Kollarınızın ve bacaklarınızın tomurcuklanmaya başladığı beşinci haftada bir tavuk embriyosuyla neredeyse aynısınızdır. Birkaç hafta sonra bile hâlâ herhangi bir memeli embriyosundan farkınız yoktur. Bir domuz, köpek ya da fare embriyosuyla karıştırılabilirsiniz ama başınızın biçimi ile her el ve ayağınızdaki beşer parmağınız sizin bir primat olduğunuzu gösterir.

O halde evrimsel geçmişimizi anımsatan sadece vitellüs kesesi değildir. Ne var ki insan embriyosunun kadim atalarıyla ve günümüzde yaşayan öbür hayvanlarla gelip geçici benzerliği, embriyoloji tarihindeki en utanç verici kuramlardan biri olan yineleme kuramının ortaya çıkmasına neden oldu.

ESKİ YAŞAMLARI HATIRLAMAK

Çeşitli hayvanların küçücük embriyolarını incelerken evrimin bazı yankılarının embriyodaki varlığını görmemek imkânsızdır. Hatta insan embriyosu gelişiminde, embriyonun *primordiyal* balık solungaçlarına çok benzediği ve kalbinin balık embriyosu kalbini bir hayli andırdığı bir evre vardır. O halde insan embriyolarının gerçekten de evrimsel geçmişlerini "hatırlaması" ya da "yinelemesi" gerçekten mümkün olabilir mi?



Haeckel'in resimlemeleri arasında sekiz farklı hayvanın benzer embriyonik gelişim evresini gösteren bir çizimi.

On dokuzuncu yüzyılın son yarısında Almanya'da çalışan Ernst Haeckel, pek çok yeni türü keşfeden ve adlandıran öncü bir biyologdu. Ayrıca kendini Darwin'in evrim hakkındaki düşüncelerini tanıtmaya adamıştı. Haeckel, yineleme düşüncesini ortaya atan ilk bilim insanı olmasa da günümüzde yineleme kuramını bulan ve her şeyi çok yanlış anlayan biri olarak akıllarda yer etmiştir.

Aristoteles organizmaları karmaşıklık ve mükemmellik derecelerine göre sınıflandırmıştı. İnsanların da embriyoyken benzer evrelerden geçerek eninde sonunda mükemmelliğe (yani bir insana) ulaştığına inanıyordu. Aslında Aristoteles, sadece karmaşıklık derecesine göre sıraladığı hayvan sınıflandırması ile embriyolojik gelişimin çeşitli evreleri arasında bir paralellik kurmuştu.

Tüm hayvanların böyle doğrusal sınıflandırılması, o dönemde çok etkili bir düşünce olmuştur. Preformasyon kuramını destekleyenler (spermin ya da yumurtanın içinde kıvrılmış, bütün bir insan olduğuna inananlar), dünya üzerindeki tüm yaşamın dünyanın yaratıldığı anda bir kapsül içine konduğunu ve bu kapsülün

zaman içinde yavaş yavaş açıldığını düşünüyordu. Öyleyse her şey önceden belirlenmişti ve her bir organizma büyük yaşam zinciriyle, *a scala naturae* ile birbirine bağlıydı. Bu zincir, elbette doruk noktasına (uygar İnsan'a) yaklaştıkça giderek artan bir karmaşıklık ve mükemmellik dizisinden ibaretti.

On sekizinci yüzyılın sonlarında ve on dokuzuncu yüzyılın başlarında Alman *Naturphilosophie* ekolü biyologları evrimin önceden belirlenmiş bir biçimde ilerlediğini reddetseler de karmaşık ve bilinç artışına doğru belirli bir yöne doğru ilerlediğine de inanmaktaydı. Böylelikle insan, bir kere daha zirvedeydi. Yineleme düşüncesini ortaya atan da bu doğa felsefecilerinden biri, hekim ve embriyolog Johann Friedrich Meckel'di. Meckel soyadı, tüm tıp öğrencilerinin öğrendiği iki embriyonik yapıya kazınmıştır: Gelişmekte olan alt çene kemiğindeki Meckel kıkırdağı ve bağırsaktan dışarıya doğru torbalanan Meckel divertikülü. Meckel, büyük yaşam zinciri ile basit bir embriyonun gelişimi boyunca daha karmaşık bir hal alması arasında derin bir bağlantı görüyordu. Ona göre embriyolar, hem hızlandırılmış bir biçimde hem de çok küçük bir ölçekte yeniden evrim geçiriyordu.

Şüphesiz tüm doğa felsefecileri bu yineleme düşüncesine bağlı değildi. Memeli yumurtasının kâşifi Karl Ernst von Baer, civciv embriyolarını inceledi ve yineleme kuramının birçok sorunu olduğunu fark etti. İlk olarak, embriyolar hiçbir zaman öteki hayvanların erişkin hallerine benzemiyordu. İkincisi, embriyonun içindeki yapılar *scala naturae* düzeniyle aynı "düzende" gözükmüyordu. Üçüncüsü ve en önemlisi, von Baer embriyolojik gelişimin aslında oldukça basit bir yapının çok daha karmaşık bir yapıya dönüşmesiyle ilgili olduğunu gördü. Balıklar gibi "ilkel" hayvanlar bile aslında epey karmaşık olduğu için yineleme kuramı pek mantıklı gelmiyordu. Von Baer, yineleme kuramını reddederken gerçek ve temel bir biyoloji yasasını, farklılaşmayı keşfetti. Ne de olsa civciv embriyolarını incelerken karmaşık bir organizmanın basit başlangıçlardan nasıl gelişebileceğini kendi gözleriyle görmüştü.

On dokuzuncu yüzyılın ilk yarısındaki tüm bu gelişimsel kuramlar, neredeyse parçalanacak olan kuramsal bir çerçeve üzerine kurulmuştu. Bahsedilen çerçeve, türlerin değişmezliği dogmasını taşıyan İncil'deki Yaradılışçılık düşüncesiydi; bu da

embriyolarda ve erişkin hayvanlarda ortak yapılar görülmesinin ilahi bir plana işaret ettiği anlamına gelmekteydi.

Charles Darwin, *Türlerin Kökeni*'ni 1859 yılında yayımladı ve biyolojinin bütün zenginliklerini gösteren goblen yeni bir çerçeveyle tekrar duvara asıldı. Aslında *Türlerin Kökeni*'nin temel kuramı, Darwin ile Alfred Russel Wallace'ın Londra Linne Derneğine [*Linnean Society of London*] sunduğu ortak bir makaleyle bir yıl önce dünyaya sunulmuştu. Şimdi dönüp bakınca bu makale ilginç bir biçimde çok büyük bir etki yaratmamıştır ama *Türlerin Kökeni*, doğal seçilim aracılığıyla evrim düşüncesinin fark edilmesini sağladı. Bir *scala naturae*de yer alan değişmez türler dizisi hakkındaki düşüncelerin yerini, dallanıp budaklanan bir yaşam ağacında zaman içinde evrim geçiren *gerçek* türler dizisi aldı (gerçi doğrusal ilerleme düşüncesinin ortadan kalkması çok zordur ve günümüze kadar gelmeyi başarmıştır).

Darwin, farklı hayvanların embriyoları arasındaki çarpıcı benzerlikleri *Türlerin Kökeni*'nde yazmıştı. Kendi görüşünü, "bir omurgalı hayvan embriyosunu [etiketlemeyi] unuttuğunda artık onun bir memeli mi, kuş mu ya da sürüngen mi olduğunu anlayamayan" ünlü anatomist Louis Agassiz'in anekdotuyla örneklendirdi. Darwin, embriyolar arasındaki benzerliklerin hayvanlar arasındaki evrimsel ilişkiler hakkında önemli ipuçları verdiğini de fark etmişti. Bu ipuçları daha sonrasında erişkin hayvanlardaki belirli uyarlanımların ortaya çıkmasıyla gizlenmişti. Biyolojideki yaratılışçı bakış açısına göre embriyolar (ve erişkinler) arasındaki benzerlik, hayvanlar ile bir yaratıcının zihnindeki soyut bağlantıyı temsil etmekteydi. Oysa yeni evrimsel paradigmaya göre bu benzerlikler, atalar ve torunlar arasındaki gerçek, fiziksel bağlantılardan söz ediyordu.

Ernst Haeckel, Darwin'in evrim kuramının Almanya'daki büyük bir savunucusuydu. Biyoloji, morfoloji ve evrim üzerine kendi popüler kitaplarını yazdı. On dokuzuncu yüzyılın ortalarında von Baer'in itirazlarına rağmen yineleme kuramı hâlâ iyi bir durumdaydı, böylelikle Haeckel ona evrimsel bir yönelim verdi. Haeckel, yeni değişimlerin embriyolojik gelişime eklenmesiyle evrimsel değişikliğe neden olduğuna inanıyordu. Bu da bir organizmaya ait embriyolojik gelişimin, bu organizmanın evrimsel gelişimiyle birebir aynı sırayı yansıttığı anlamına geliyordu.

Dolayısıyla, örneğin bir insan embriyosunun memeliye benzemeden önce balığa, amfibiye ve sürüngene benzediği evrelerden geçmesi bekleniyordu. Haeckel bu düşünceyi, "birey oluş, soy oluşu yineler" diyerek özetliyordu. Başka bir deyişle embriyolojik gelişim, evrimsel geçmişi takip ediyordu.

Haeckel'in "Biyogenetik Kanunu" olarak da bilinen yineleme kuramı inanılmaz bir ün kazandı ve çoğu biyolog, bu kuram tarafından oldukça düzgün bir biçimde açıklanan birey oluş ve soy oluş arasındaki tını sayesinde ikna edildi. Ne var ki bu kuram, itibarını görkemli bir biçimde yitirmek üzereydi. Yirminci yüzyılın başlarında deneysel embriyolojinin ve "genetik" adında yeni bir kalıtım biliminin ortaya çıkışı, Haeckel'in kuramının sonunu getirdi. Embriyologlar, oluşumun başlarındaki amfibi embriyosu parçalarını hareket ettirip bunun sonuçlarını izleyerek gelişim mekanizmalarını incelemeye başladı. Genetik, yeni değişimlerin sadece embriyo gelişimin sonunda olmadığını gösterdi: Genler döllenme anından itibaren vardı ve mutasyonlar gelişimi her an etkileyebilirdi. Öyleyse yineleme kuramını destekleyen kritik düşünceler (yeni özelliklerin sadece embriyolojik gelişimin sonuna ekleniyor olması ve embriyoların *erişkin* atalarına eşdeğer evrelerden geçmesi gibi) artık geçerliliklerini kaybetmişti.

Yineleme kuramının bu acıklı çöküşü, konuyu hassas bir hale getiriyor. Artık adını anmak bile bir çeşit biyolojik küfre benziyor. Şimdilerde o kadar itibarsız bir kuram haline geldi ki, bundan böyle sadece uyarı niteliğinde bir öykü olarak kullanılıyor. Oysa embriyolojik gelişim ve evrimsel geçmiş arasında paralellik olduğu *doğrudur*. Evet, Haeckel yanılmıştı: Hayvan embriyolarının içinde erişkin atalarına eşdeğerleri yoktu. Öte yandan von Baer (kendisi tüm bu sansasyonun ortasında kaybolmuştur) ve Darwin de haklıydı. Embriyolar arasındaki benzerlik, ortak bir soy sayesinde bulunuyordu.

Hem Darwin hem de Alfred Russel, temel olarak yaşayan hayvanların anatomik ve fizyolojik (ve embriyolojik) gelişimindeki çeşitliliklerini inceleyerek doğal seçilim yoluyla evrim kuramını buldu. Bu inanılmaz derecede önemli ve yaratılışçılar tarafından sıklıkla gözden kaçırılan bir noktadır, çünkü evrim kuramının ne fosil kayıtlara ne de Victoria döneminden itibaren gelişen herhangi bir bilimsel gelişmeye dayandığını gösterir. Bugün yaşayan hayvanlarda

gördüğümüz örüntülere ilişkin en güzel açıklama, tüm hayvanların birbiriyle akraba olduğudur. Her biri kocaman, evrimsel bir yaşam ağacının dallarıdır. On dokuzuncu yüzyılın ikinci yarısında biyologlar ve jeologlar, fosil olarak bilinen nesli tükenmiş hayvanların da bu muhteşem ağacın parçaları olduğu konusunda hemfikirdi. Darwin ve Wallace'ın 1858 yılındaki makalesinden bu yana, hayvan grupları arasında bağlantılar sağlayan nesli tükenmiş fosil organizmalar hakkında birçok harika keşif yapılmıştır. Günümüzde *Tiktaalik* gibi kollara benzer yüzgeçlere sahip balıkların, ilk uzuvların neye benzediği görebildiğimiz *Acanthostega* gibi erken amfibilerin fosillerine sahibiz; bize kuşların kökenleri anlatan tüylü dinozorlara ve hâlâ bacakları olan fosilleşmiş balina atalarına da öyle. Elimizde memelilerin atalarına benzeyen sürüngen fosilleri de var. Şu anda yaklaşık yirmi fosil *hominin* türü olduğunu; kendi atalarımızı da içeren, iki ayak üstünde yürüyen kuyruksuz maymunların oluşturduğu altı milyon yıllık bir aile ağacını biliyoruz.

Bu fosil hazinesinin yanı sıra, bugün elektron mikroskobu ve hücreleri ürettikleri proteinlere göre boyayan immunohistokimya gibi teknikler kullanarak Victoria dönemindekilerin hayal edebileceğinden çok daha fazlasını yapıp herhangi bir vücut yapısını çok daha ayrıntılı inceleyebiliyoruz. Şüphesiz DNA'nın keşfi, gen işlevlerinin açığa çıkarılması (ki bu hâlâ devam eden önemli bir araştırma alanıdır) ve tüm genomların okunmasıyla (bu alan da oluşum evresinde değilse bile kesinlikle emekleme çağındadır) kalıtımsal özelliklerin doğasını anlama açısından çok büyük aşama kaydedilmiştir.

Embriyolojinin kendisi de histoloji ve genetik alanlarındaki gelişmelerle canlanmıştır. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında yapılan deneyler, hücrelerin hangi dokuyu oluşturacağına ya da vücudun neresinde sonlanacaklarına nasıl "karar verdiklerini" açığa çıkarmaya başlamıştır. DNA'nın "yaşam şifresi" olduğunu keşfettikten sonra embriyoloji bilimi dönüşüme uğramıştı; artık sadece embriyonun zamanla nasıl geliştiğini anlatmakla değil, bu süreci hangi genlerin yönlendirdiğini ortaya çıkarmakla da ilgiliydi. Von Baer mikroskobundan bakıp civciv, balık ve insan gibi çok farklı hayvanlara dönüşecek embriyoların ilk evrelerindeki benzerlikleri bulabilmiş olsa da DNA dizileme, hayvanların genetik şifrelerine yazılmış köklü bir benzerliği ortaya çıkarmıştır.

Modern embriyoloji bilimi, bir organizmaya ait genetik şifrenin nasıl vücudu oluşturan proteinlere çevrildiğini ortaya çıkarır. Yaşam ağacını yeniden inşa etmek için artık sadece karşılaştırmalı anatomiyi kullanmakla kalmayıp karşılaştırmalı embriyoloji ve genom bilimini kullanarak daha da derine inebiliyoruz. DNA dizilemeyle belirlenen tür soyağaçları, evrimsel geçmiş hakkında sadece anatomiyi temel alanlara kıyasla daha iyi bilgi verir. Embriyoloji, genetik ve evrimin bir araya gelmesiyle oluşan bu yeni karışım (bu alan evrimsel gelişimsel biyoloji ya da *Evo-Devo* olarak bilinir), organizmaların embriyolojik gelişimi ve evrimsel geçmişi hakkında önemli soruları yanıtlama gücüne sahiptir. Günümüzde yeni nesil embriyologlar, Haeckel'in Biyogenetik Kanunu'nu kesin olarak reddedip birey oluş ve soy oluş arasında (yani embriyoloji ve evrim arasında) daha da fazla bağlantı keşfetmekle meşguldür.

Erişkin anatomimiz, embriyolojik gelişimimiz ve genetik şifremizle öteki hayvanlar arasındaki benzerliklerimiz sayesinde büyük yaşam ağacındaki (*arbor naturae*) yerimizi bulabiliyoruz. Evrimin son durağı olmak bir yana (ki evrimin böyle bir durağı yoktur), sadece bu ağaçtaki ufak bir daldan ibaretiz. Anatominize dikkatlice baktığınızda, hayalinizdeki gibi "evrimin doruk noktası" olmadığınız da açıktır. Siz mükemmel bir yaratım olmaktan çok uzaksınız, hatta milyonlarca yıldır süren bir tamiratın sonunda ortaya çıkan ıvır zıvırların toplandığı yamalı bir bohçaya daha çok benziyorsunuz. Yine de doğal seçilime göre işe yarıyorsunuz ve bu nedenle de bugün buradasınız.

Embriyoloji ve evrim, vücudunuzun işleyiş biçimini açıklar. Erişkin vücudunuzun yapısı ve işlevi, kendi embriyolojik gelişiminizin ve evrimsel geçmişinizin ürünleridir. Öyleyse sizler, tepeden tırnağa bu geçmişin canlı ve vücut bulmuş halisiniz.

BAŞLAR VE BEYİNLER

İLK OMURGALI BAŞININ KÖKENİNDEN
İNSAN BEYNİNİN OLAĞANÜSTÜ GELİŞİMİNE

"İnsanlar sıklıkla beyinle nasıl ilgilenmeye başladığımı soruyor. Bu soruya şu cevabı veriyorum: Beyinle nasıl ilgilenmeyebilirsin ki? 'İnsan doğası' dediğimiz her şey ve bilinç ondan doğuyor."

VILAYANUR S. RAMACHANDRAN

İLK BAŞ

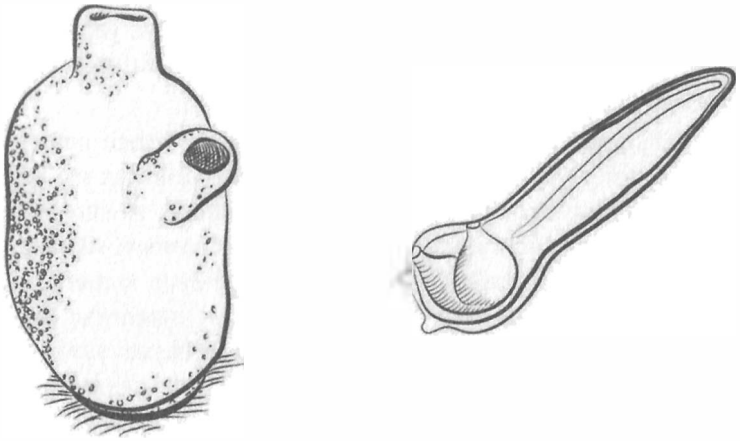
Bu muhtemelen tuhaf bir soru ama neden bir başa sahip olduğunuzu hiç düşündünüz mü? Bunun insana özgü bir özellik olmadığı açıkça ortada, bildiğimiz çoğu hayvanın başı var. Hatta bir başa sahip olmak herhangi bir omurgalı olmanın (örneğin balık, amfibi, sürüngen, kuş ya da memeli gibi) ön koşulu gibi gözüküyor. Elbette bazı omurgasız hayvanların da başı var ama bazılarında olmayabiliyor. İşte bu yüzden "Neden bir başa sahibiz?" sorusunu yanıtlayabilmek için önce atalarımızın bu anatomik yapıyı ilk olarak ne zaman geliştirdiğini bilmek işimize yarayabilir.

Bu sorunun yanıtını, okuldaki biyoloji derslerinden bildiğimi düşünüyordum. Omurgalıların, yakın dereceden kuzenleri olan günümüzdeki deniz fıskiyeleri gibi çok daha basit canlılardan evrimleştiğini öğrenmiştim. Eminim ki bir yerlerde deniz fıskiyelerine aşırı heyecan duyan zoologlar vardır ama bu hayvanların uyuşuk ve sıkıcı olduğunu söylemek (özellikle de omurgalılarla karşılaştırıldıklarında) onlara haksızlık etmek sayılmaz. Bu "neredeyse cansız" canlılar amaçsız, okyanusun zeminine yapışık bir halde, tuzlu suyu emip içindeki ufak besin parçacıklarını süzerek denizin dibinde pusuda bekler.

BBC için çekim yaparken, biraz da karşılaştırmalı anatomi araştırması niyetiyle, bir deniz fıskiyesiyle burun buruna geldim. Zanzibar'ın doğusunda, Mnemba adlı küçük ve neredeyse ıssız bir adanın biraz açıklarındaydım. Deniz masmavi ve inanılmaz berraktı, şnorkeller ve bir su altı televizyon kamerasıyla oradaydık. Bir maske ve şnorkelle tekneden neredeyse aklın almayacağı kadar mavi olan denize atladım ve başımı suya soktum. Daha önce hiçbir mercan resifine şnorkelle dalmamıştım ve karşılaştığım manzara nefesimi kesti. Yukarı baktım ve teknedeki mürettebata "Burada yüzlerce balık var!" diye bağırdım. Sanırım hepsi daha önce buna benzer bir şey yaşamıştı, en azından benim bu heyecanıma karşılık veremeyecek kadar soğukkanlıydılar.

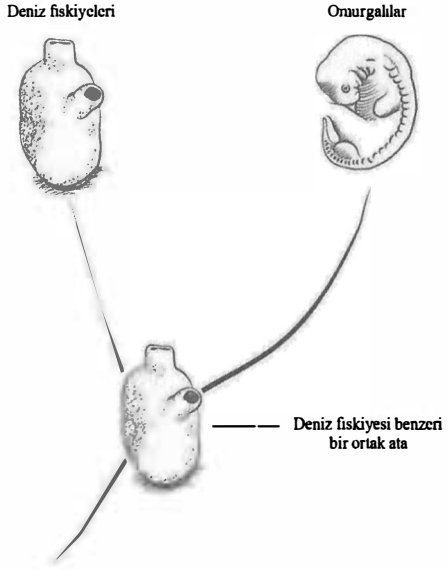
Yine de bunun ilk kez yaşadığım şaşkınlığımın tadını kaçırmasına izin vermedim.

Resifin içine doğru yaklaşık dört metre dalıp bir deniz fıskiyesi aradım ve eninde sonunda bulup bir kovanın içinde karaya çıkardım. Neredeyse küçük bir patates boyutundaki (ve ondan çok az daha ilgi çekici olan) yumuşak hayvanı incelerken lastiğimsi gövdesinde iki adet açıklık buldum. Bu açıklıklara kibar bir biçimde sifon dense de öteki tüm hayvanlarda ağız ve anüs olarak adlandırılırlar. Deniz fıskiyelerinin iki açıklığı arasında çok basit, U şeklinde bir sindirim kanalı vardır. Bu canlı, ağzından (ağzımsı sifonundan) deniz suyunu emer. Plankton parçacıkları sindirim kanalı duvarındaki mukus tabakasına yapışırken suyun geri kalanı da atılmak için öbür sifona (atriopor) doğru ilerler. Deniz fıskiyesinin göz gibi hiçbir özel duyu organı yoktur ama etrafını saran dünyayı çok daha zekice yöntemlerle; ışığa, dokunmaya ve çeşitli kimyasallara yanıt veren vücut yüzeyine yayılmış reseptörlerle duyumsar. O halde bir deniz fıskiyesinin yaşamı son derece can sıkıcıdır, hatta sadece etkili bir biçimde çalışan sindirim hareketinden ibarettir. Sürünmez, yüzmez, görmez ya da düşünmez. Sadece orada öylece durur ve "bir şey yemek" bile denemeyecek bir biçimde deniz suyundan besin alır.



Erişkin bir deniz fıskiyesi (solda) ve iribaş evresindeki larvası (ölçeksiz).

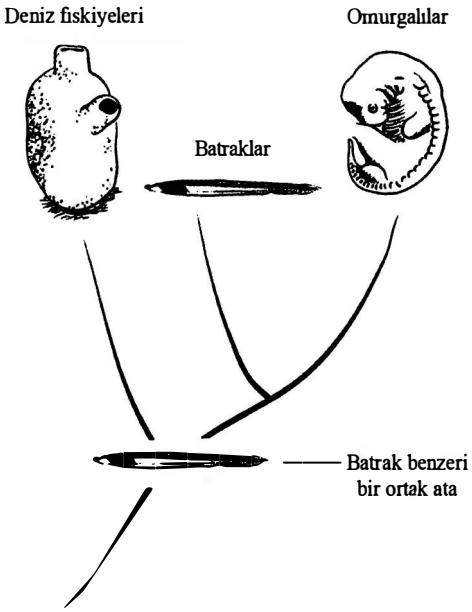
Ne var ki deniz fıskiyesinin yaşamında (kısa süreliğine de olsa) her şeyin biraz daha ilginçleştiği bir evre vardır. Bu canlı, bir "iribaş larvasıyken" *yüzer*. Larva balık gibi, küçücük bir şeydir ve kendi iradesiyle hareket ederek yüzüp durur. Hem kuyruğu hem de başı vardır ama kısa sürede her ikisini de kaybedecektir. Sadece üç gün sonra erişkinliğe ulaşıp okyanus yüzeyine yerleştiğinde, baş bölgesi yok olur. On dokuzuncu yüzyılın ortalarında Rus embriyolog Alexander Kowalevsky (kendisi Haeckel'in öğrencisiydi) deniz fıskiyesi larvasının oldukça özel olduğunu fark etmişti: Kuyruğunda (buna *notokord* denir) destekleyici çubuğumsu bir doku ve sinir tüpü vardı. Omurgalı embriyolarında bu özelliklerin olduğu zaten biliniyordu, dolayısıyla erişkin deniz fıskiyesi notorkordunu ve sinir tüpünü kaybetmişse de larvası omurgalılarla gerçekten yakından akraba olduğunu gösteriyordu. Kowalevsky biyolojik bir sırra denk gelmiş gibiydi. Omurgalılar, erişkinliğe ulaşmamış deniz fıskiyesine benzeyen bir atadan evrilmiş olabilirdi: Bu ata, "Peter Pan" gibi büyümeyi ve yerleşmeyi unutup tüm yaşamı boyunca serbestçe yüzebilen bir "larva" olarak kalmıştı. Biyoloji dersi aldığım 1980'li yıllarda ders kitaplarında yazan öykü hâlâ buydu.



Omurgalıların deniz fıskiyesine benzer canlılardan nasıl evrilmiş olabileceğini gösteren (en erken atanın altta olduğu) bir soyağacı.

Son zamanlarda yapılan araştırmalar, bu olaylar dizisi hakkında şüphe uyandırmıştır. Eldeki kanıtlara bakıldığında bugün çok iyi bir kuram gibi gözüken şey, yarın yeni bir kanıt parçasının mevcut paradigmaya uymayı reddetmesiyle tarihin tozlu sayfalarına gömülebilir; bu, bilimin her zaman karşılaştığı bir meslek tehlikesidir. Dolayısıyla deniz fıskiyesi gibi *Ascidiacea* sınıfı türleri bizlerle kesinlikle akraba olsa da ilk omurgalı atasının neye benzediğini anlamak açısından pek yardımcı olmazlar. Deniz fıskiyelerinin hem DNA'sını hem de morfolojisini (vücut biçimi) konu alan çalışmalar, bu canlıların aslında zamanla *basitleştiğini* ortaya koymuştur. *Ascidiacea* sınıfı türleri ve omurgalıların ortak atası, büyük bir ihtimalle erişkin deniz fıskiyesi (ki bu erişkin biçimi evrimin daha ileriki evrelerinde çıkmış olmalıdır) benzeri hareketsiz bir canlı değildi, aksine tüm yaşamı boyunca serbestçe yüzen bir hayvandı.

Aslında hem omurgalılara hem de deniz fıskiyelerine yakın akrabalıkları olan bazı hayvanlar vardır ve yaşamlarını yüzerek geçirirler; bunlara *batrak* denir. Bu küçük canlılar balıklara aşırı derecede benzese de balık değildirler, omurgaları (dolayısıyla kafatasları da) yoktur. Batrak adıyla bilinirler (çünkü vücutları mızrak ucu gibi sivridir), amfiyoksüs (Yunancada "çift sivri uç" anlamına gelen) diye de adlandırılırlar. Hepsinde *notokord* bulunduğu için omurgalıların, deniz fıskiyelerinin ve batrakların tümü "kordalılar" olarak sınıflandırılır. Kordalıların; içi oyuk bir sinir tüpü, solungaç yarıkları ve kuyruk gibi birkaç tanımlayıcı özelliği daha vardır. Hemen şimdi bir anlığına durmamız gerek, çünkü şöyle düşünüyor olabilirsiniz: "Bir dakika, dur bakalım! Ben bir memeliyim, yani aynı zamanda bir kordalıyım ama solungaçlarım, yarıklarım ya da bir kuyruğum yok! Hatta içi oyuk bir sinir tüpüne ya da bir notokorda sahip olduğumu bile düşünmüyorum." Bu bilmeceyi çözmek için anahtar nokta şudur: Bir kordalı sayılmak için *yaşamınızın bir noktasında* bu özelliklere sahip olmanız yeterlidir. O halde aslında larvayken bu özelliklere sahip olan ve erişkinliğe ulaşınca bunları kaybeden bir deniz fıskiyesini andırıyorsunuz. Gerçekten de henüz bir embriyoyken notokordunuz (ki bu "omurilik öncesi" yapıyı meydana getiren içi boş bir sinir tüpüdür), kuyruğunuz ve solungaç yarıklarınız vardı. Öyleyse sizler *hâlâ* birer kordalısınız.



Omurgalıların ve deniz fıskiyelilerinin yüzen,
batrak benzeri bir atadan nasıl evrilmiş olabileceğini gösteren
(en erken atanın altta olduğu) bir soyağacı.

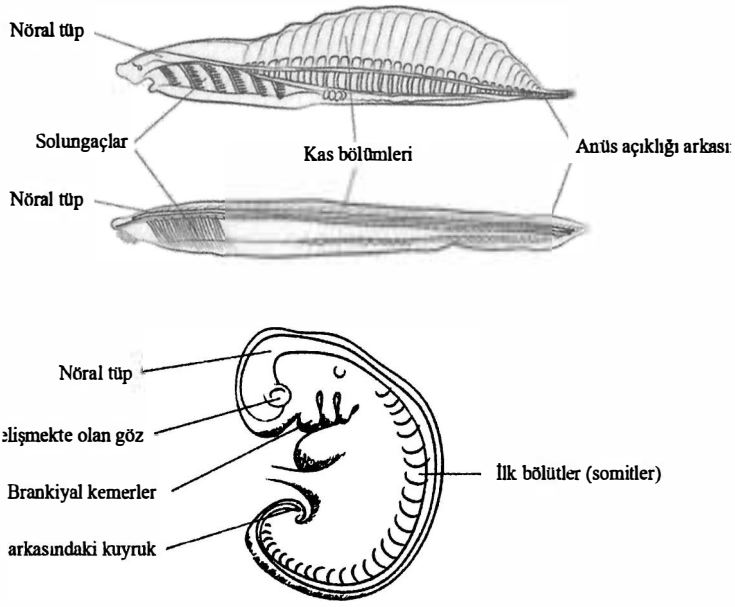
Kendi kordalı kimliğimizi ortaya çıkarmak, bu gezegendeki (hem yaşayan hem de nesli tükenmiş) tüm hayvanlarla nasıl bir akrabalığımız olduğunu görebildiğimiz anlamına gelir. Kordalılar, hayvanlar alemindeki yaklaşık otuz beş büyük gruptan ya da "şubeden" sadece biridir. Omurgalıların, deniz fıskiyelilerin ve batrakların kordalılar olarak sınıflandırılması, çok yakından tanıdığımız Ernst Haeckel tarafından 1874 yılında önerilmiştir. Bu grubun, yani kendi şubemizin kökenleri 542 milyon yıl önce başlayan ve Kambriyen olarak adlandırılan jeolojik döneme kadar uzanır. Önceden Dünya üzerindeki yaşam, çoğunlukla tek hücreli organizmalardan oluşuyordu ama bu dönem, "Kambriyen patlaması" olarak bilinen olay esnasında çoğunluğu denizde yaşayan çok hücreli yaşamın aniden çoğalmasına ve farklılaşmasına şahit

oldu. Elimizde 542 milyon yıldan da önce var olan yumuşak gövdeli çok hücreleri hayvanlara ilişkin kesin bir fosil kanıt olmasa bile içlerinde kordalıların da bulunduğu pek çok hayvan şubesine ait ilk fosiller Kambriyen kayalıklarında bulunmaktadır.

Yirminci yüzyılın sonunda Çin'in güneyinde yer alan Yunnan eyaletindeki eski kayaları araştıran paleontologlar, sonradan *Haikouella* adı verilen küçücük, balık benzeri bir hayvanın üç yüzden fazla çok iyi korunmuş haldeki fosilini keşfetti. Bu kayalar ve aralarındaki fosiller, 530 milyon yıl önceye tarihlenen erken Kambriyen dönemine dayanmaktaydı.

Hadi şimdi her biri yaklaşık iki buçuk santim boyunda, sığ bir denizin zeminine yakın bir biçimde yüzen ve arada bir zeminin üzerinde dinlenen bu küçücük balık benzeri canlıları hayal edin. Şimdi de bunlardan oluşan koca bir sürüyü düşünün. Denizdeki oksijen seviyeleri düştüğünde bu koca sürü içinde ölür ve vücutları deniz tabanına çöker. Bu taban, en hafif bir fısıltıyla bile hareket eden ince kilden oluştuğu için küçücük vücutları nazikçe gömülür. Zamanla, bu pek de balık sayılmayan hayvanların yumuşak dokuları minerale dönüşür. Deniz tabanının ipeksi kili ince taneli bir kil taşı haline gelerek bu hayvanların anatomisini en ince ayrıntısına kadar korur.

Her bir küçük, fosilleşmiş canlı birkaç santimetre uzunluğunda olsa da kas kütlesi şeritlerini, sırtları boyunca uzanan ve notokord adı verilen sertleşmiş dokuları, sindirim kanallarını, solungaçları destekleyen fırfırlı kemerleri, hatta küçücük beyinlerini teker teker ayırt etmek mümkündür. Ağız bölgesi, on iki kısa dokunaçla çevrelenmiştir. Fosillerden biri ilginç bir biçimde göze benzeyen bir şey muhafaza etmiştir. Bu minik, tuhaf şeyler biraz solucana, biraz da balığa benzese de gerçekte her ikisi de değildir, en çok benzediği canlı batraktır. Yaşayan batrakların anatomisi, 530 milyon yaşındaki Çin kayalarında saklanan o hayaletimsi anatomiyle inanılmaz bir benzerlik gösterir. *Haikouella*, keşfedilen en eski kordalı örneğidir ve kesinlikle bir kafatası vardır. Günümüz batrakları uzaktan kuzenlerimiz olsa da Haikouella (ya da en azından ona çok benzeyen bir şey) insanların ve öteki tüm kordalıların evrim geçirdiği eski bir ata olabilir. Bu da başın (ya da en azından bizim kordalılara ait başların) yaklaşık 530 milyon yıldır var olduğu anlamına gelir.

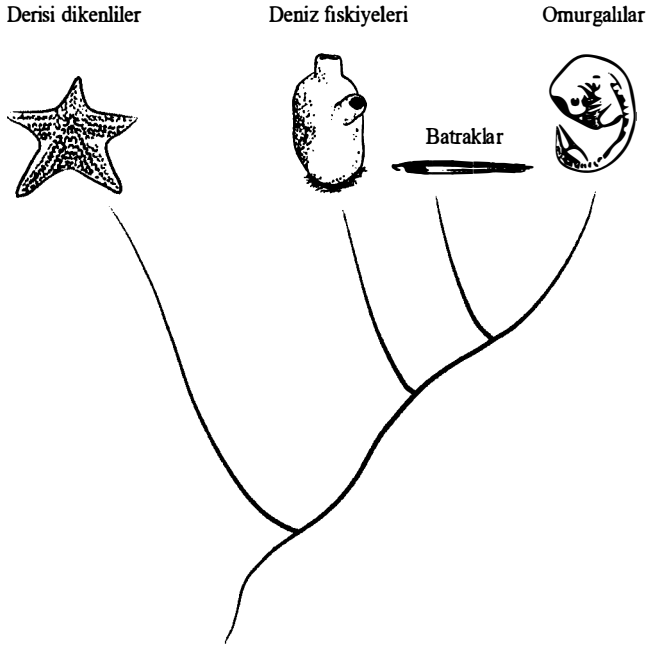


(Yukarıdan aşağıya) Haikouella'da, günümüz batrağında ve gelişiminin üçüncü haftasının sonlarındaki bir insan embriyosunda kordalılar şubesine ait özellikler.

Bu serbest yüzmeden oluşan yaşam tarzının (ki bu, bir başa sahip olmakla ilgili gibi gözüküyor) kökenlerini anlamak için, evrimsel yaşam ağacına daha geriden ve derinden bakmamız, zamanda da çok daha geriye gitmemiz gerekmektedir. Böylesine karanlık derinliklere doğru yüzerken yanıtları görmek zor olabilir. Ders kitapları kordalılar ve omurgalıların kökeni konusunda temkinlidir, çünkü son on yıl içinde tablo epey değişmiştir. Elimde 2001 yılı baskısı bir ders kitabı var ve bu soruyu ele almaya şöyle başlıyor: "Bu bölümde, [omurgalıların] omurgasız kökenlerine ilişkin tahminlerde bulunacağız."

Bugün Dünya üzerinde yaşayan tüm hayvanlar içinde biz kordalılarla en yakından akraba olan hayvanlar; denizkestaneleri, denizyıldızları, yılanyıldızları, deniz zambakları ve deniz hıyarlarını da kapsayan derileri dikenli ekinodermlerdir. Bu canlılar artık çeşitlenmiş olsalar da esasen beş parçadan oluşan "pentaradyal" bir

vücut planına sahiptir. İnsandan (hatta balıktan ya da batraktan) daha çok bir deniz yıldızına benzeyen bir canlı hayal etmek zordur. Richard Dawkins onları "Marslı" olarak adlandıracak kadar ileri gitmiştir. Bu canlılar omurgalılarla (hatta denizyıldızlarının garip radyal simetrisinin aksine ön-arka ya da sağ-sol olarak çift taraflı simetri gösteren omurgasızlarla) karşılaştırıldığında bile çok aykırıdır. Öte yandan denizyıldızlarının kordalılara benzediği (ufacık embriyolar oldukları) bir an vardır.Denizyıldızının embriyolojik gelişiminin ilk evreleri kordalılara (dolayısıyla bizlere de) benzer; denizyıldızı larvaları tıpkı deniz fıskiyesi gibi serbestçe yüzen canlılardır. Denizyıldızı larvaları, erişkin hallerine kıyasla bir uçta baş, bir uçta da kuyruk olmak üzere çift taraflı simetri gösterir. O halde ilk kordalılar, "büyümeyi unutmuş" deniz fıskiyesi benzeri larvalardan evrilmek yerine, günümüz derisi dikenliler larvalarına benzeyen bir atadan gelmiş olabilir mi?



"Marslı" kuzenlerimiz: Omurgalıların derisi dikenlilerle nasıl yakından akraba çıktığını gösteren bir soyağacı.

Kordalıların köken bilmecesini çözmeye çalışan zoologlara göre asıl problem, kordalılar ve derisi dikenliler arasında bu denli büyük bir boşluk olmasıdır. Bu iki grubun yakın akraba olduğunu gösteren anatomik, embriyolojik ve şimdi de genetik yeterince ipucu vardır. İyi de bu ortak atalar neye benziyordu ki? Derisi dikenlileri mi, yoksa kordalıları mı anımsatıyordu? Denizyıldızları serbestçe yüzen atalardan mı evrildi? Yoksa bizler, larvaları büyümeyi unutan hareketsiz, filtreli ağzıyla beslenen bir şeyden mi evrildik? Çok kısa bir zaman önceye kadar bu atanın "Peter Pan" larvası (bu kez, deniz fıskiyesi gibi değil de derisi dikenlilere benzer bir şey) olduğu düşüncesi oldukça yaygındı. Genetik, tam da bu noktada yardıma koştu. İki canlı dışarıdan oldukça farklı gözükse bile derinlerde evrimsel bir akrabalığa, bir ortak ataya işaret eden genetik benzerlikleri bulmanız mümkündür.

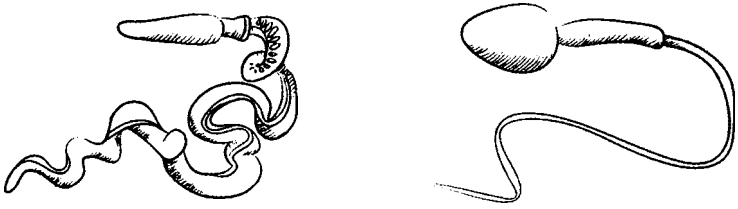
Bu bilmecenin öteki parçası da şudur: Şimdiye kadar biraz samimiyetsiz bir biçimde bahsetmeyi ihmal ettiğim bir soyağacı dalı. Dikenli derileri olan denizkestaneleri, denizyıldızları ve deniz zambaklarının hemikordalılar ("yarı kordalılar") şubesine ait "meşe palamudu solucanlarıyla" yakın akrabalıkları vardır. Bu tek başlarına yaşayan solucanlar, enine iki metre kadar büyüyebilecekleri deniz çamurunda ya da sığ sulardaki kayalıkların altında yaşar. Ayrıca hem kordalıların hem de omurgasızların özelliklerinin tuhaf bir karışımına sahiptirler. Görünüşe göre bu canlılar, adlarını vücutlarındaki şapkamsı hortumdan alır ama bana kalırsa bu bölümleri meşe palamudundan çok bir roket karikatürüne benzer. Şunu da söylemem gerekir ki bu solucanlar baştan aşağıya dev bir spermi andırır. (İkna olmanız için solucanın yanına bir sperm çizdim. Bunun yüzeysel bir benzerlik olması dışında hiçbir anlamı yok ama meşe palamudu solucanlarını adlandırma görevi bende olsaydı onlara sperm solucanları adını koyardım. "Sperm solucanı" net bir biçimde çok daha iyi bir addır, hem iki kelimesi de aynı harfle başlıyor.)



Solda bir meşe palamudu solucanı ve insan spermi (ölçeksiz).

Kordalıların köken bilmecesini çözmeye çalışan zoologlara göre asıl problem, kordalılar ve derisi dikenliler arasında bu denli büyük bir boşluk olmasıdır. Bu iki grubun yakın akraba olduğunu gösteren anatomik, embriyolojik ve şimdi de genetik yeterince ipucu vardır. İyi de bu ortak atalar neye benziyordu ki? Derisi dikenlileri mi, yoksa kordalıları mı anımsatıyordu? Denizyıldızları serbestçe yüzen atalardan mı evrildi? Yoksa bizler, larvaları büyümeyi unutan hareketsiz, filtreli ağzıyla beslenen bir şeyden mi evrildik? Çok kısa bir zaman önceye kadar bu atanın "Peter Pan" larvası (bu kez, deniz fıskiyesi gibi değil de derisi dikenlilere benzer bir şey) olduğu düşüncesi oldukça yaygındı. Genetik, tam da bu noktada yardıma koştu. İki canlı dışarıdan oldukça farklı gözükse bile derinlerde evrimsel bir akrabalığa, bir ortak ataya işaret eden genetik benzerlikleri bulmanız mümkündür.

Bu bilmecenin öteki parçası da şudur: Şimdiye kadar biraz samimiyetsiz bir biçimde bahsetmeyi ihmal ettiğim bir soyağacı dalı. Dikenli derileri olan denizkestaneleri, denizyıldızları ve deniz zambaklarının hemikordalılar ("yarı kordalılar") şubesine ait "meşe palamudu solucanlarıyla" yakın akrabalıkları vardır. Bu tek başlarına yaşayan solucanlar, enine iki metre kadar büyüyebilecekleri deniz çamurunda ya da sığ sulardaki kayalıkların altında yaşar. Ayrıca hem kordalıların hem de omurgasızların özelliklerinin tuhaf bir karışımına sahiptirler. Görünüşe göre bu canlılar, adlarını vücutlarındaki şapkamsı hortumdan alır ama bana kalırsa bu bölümleri meşe palamudundan çok bir roket karikatürüne benzer. Şunu da söylemem gerekir ki bu solucanlar baştan aşağıya dev bir spermi andırır. (İkna olmanız için solucanın yanına bir sperm çizdim. Bunun yüzeysel bir benzerlik olması dışında hiçbir anlamı yok ama meşe palamudu solucanlarını adlandırma görevi bende olsaydı onlara sperm solucanları adını koyardım. "Sperm solucanı" net bir biçimde çok daha iyi bir addır, hem iki kelimesi de aynı harfle başlıyor.)

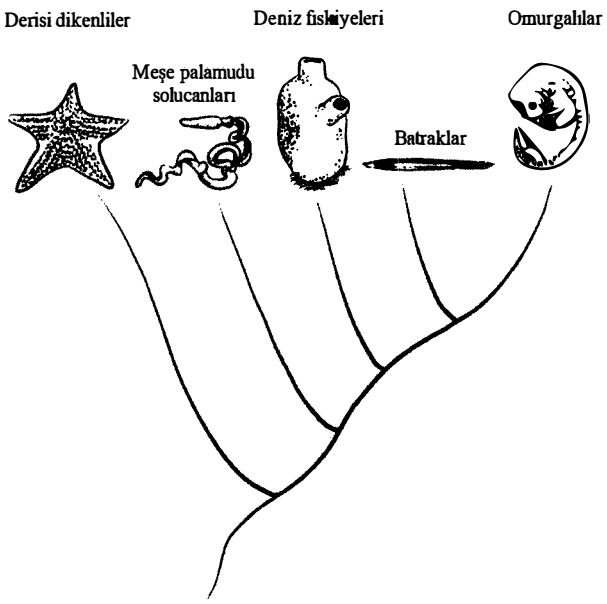


Solda bir meşe palamudu solucanı ve insan spermi (ölçeksiz).

Ernst Haeckel'in "Kordalılar" şubesini kurmasından on yıl sonra, 1884 yılında İngiliz biyolog William Bateson ("genetik" terimini üretmesiyle ünlüdür) meşe palamudu solucanlarını da bu şubeye ekledi. Bunu yapmasının mantığı, kordalılara ait özellikleri bu solucanlarda net bir biçimde görebildiğini düşünmesiydi. Bu tuhaf canlılarda batrakalardaki gibi bir yığın solungaç yarığı ve sırtlarında içi yer yer boşmuş gibi duran bir sinir tüpü vardı. Bateson, şapkamsı hortumunun içine uzanan kısa bir çubuk dokusunun hayvanın notokordu olabileceğine de inanıyordu. Daha sonraki yıllarda biyologlar Bateson'ın bu yorumunu sorguladılar ve meşe palamudu solucanları 1940'lı yıllara doğru kordalılar kabilesinden atıldı. Şüphesiz meşe palamudu solucanları, rütbelerinin düşmesinden bihaberdi. Onlar çamurlu oyuklarda yaşamaya ve işlerine bakmaya devam etti. İnsanlar da onlara olan tüm ilgisini kaybetmişe benziyordu.

Yine de son yıllarda meşe palamudu solucanları yeniden gündeme geldi. Bateson'ın adlandırdığı modern bilim, DNA'larında saklanan gizemleri açığa çıkardı. Bu solucanlar hâlâ kordalı sayılmasa da kendi şubemize ait ipuçları barındırdığı için biraz daha uzaktan akrabalarımız olmaları daha da faydalı olmuştur.

Meşe palamudu solucanlarının soyağacındaki konumu, DNA dizilerinin analiz edilmesiyle en sonunda belli olmuştu: Derisi dikenlilerin kardeş grubuydular. Biyologlar, DNA'yı oluşturan "harfler" (dört nükleotid bazı) dizisindeki farklılıklara bakarak evrimsel yaşam ağacının parçalarını oluşturan "aile ağaçlarını" çizerek farklı hayvanlar arasındaki ilişkileri çözebilmektedir. DNA'daki farklılıklar, hayvanlar arasındaki gerçek evrimsel ilişkileri yansıtır. Örneğin bir omurgalının deniz fıskiyesine olan genetik benzerliği, her ikisinin de meşe palamudu solucanına olan genetik benzerliğinden çok daha fazladır. Bunun nedeni, omurgalıların ve deniz fıskiyelerinin daha yakın zamanda var olan bir ortak ataya sahip olmasıdır. Hayvanlar arasında DNA karşılaştırması yapmak yepyeni bir bilimsel yöntem gibi gözükebilir ama her ne kadar devrim niteliğinde olursa olsun evrimsel biyologların her zaman yaptığı işin, farklı hayvanların parçalarını kıyaslayıp karşılaştırmanın bir uzantısıdır. Bu kez kıyaslanan vücut parçaları değil, genler ve DNA dizilimindeki baz eşleşmeleridir. Öyleyse buna karşılaştırmalı (moleküler) anatomi denebilir.



Meşe palamudu solucanlarının kordalılarla ne kadar yakından akraba olduğunu gösteren bir aile ağacı (en alttaki ilk ortak atadır ve muhtemelen bir solucandır).

DNA dizi analizleri aile ağaçlarını oluşturmada bizlere yardım olabilir. Öte yandan genetik de bir hayvandaki belli bir yapının, öteki hayvanda bulunan benzer bir yapıyla gerçekten eşdeğer (ya da homolog) olup olmadığını açığa çıkarır. Homolojinin farklı hayvanlarda görülebilmesi soy paylaşımı sayesinde olur. Darwin; insan eli, yarasa kanadı ve musur yüzgecinin ortak bir atadan geldiğini, homolog yapılar olduğunu fark etmişti. Ne var ki homolog yapıları bulmak bazen zor olabilir. Dolayısıyla farklı yapıların gerçekten homolog olup olmadığını anlamanın en iyi yolu, bu yapılar embriyoda oluşurken hangi genlerin "açık olduğuna" bakmaktır (mesleki dilde buna "gen ifadesi" denir).

Kordalılar ve meşe palamudu solucanlarının gelişmekte olan embriyolarındaki solungaç yarıklarının iç yüzeylerinde benzer

bir gen ifadesi söz konusudur: Bu solungaç yarıkları gerçekten de homologdur. Oysa kordalı notokordu ile meşe palamudu solucanlarında Bateson'ın eşdeğer olarak gördüğü yapı, farklı gen ifadeleriyle oluşur (dolayısıyla bunlar homolog yapılar değildir). Görünüşe göre Bateson meşe palamudu solucanlarında içi oyuk bir sinir tüpü olduğu konusunda da yanılmıştı. Bu canlılarda asıl olan vücut yüzeyinin hemen altında yayılmış bir "sinir ağıydı", öyleyse Bateson'ın içi oyuk bir sinir tüpüyle karıştırdığı yapı, aslında bu sinir ağının sadece ufak bir parçasıydı.

Karşılaştırmalı anatomi, embriyoloji, genetik ve paleontolojiden aldığımız bütün ipuçlarını bir araya getirdiğimizde, en azından atalarımızdaki ilk başın neden ve nasıl oluştuğu sorularına verebileceğimiz bir yanıtımız var gibi gözüküyor. Uzaktan akrabamız meşe palamudu solucanının şapkamsı hortumu (hemen arkasında ağız açıklığı saklanır) bir baş sayılmayabilir ama kordalılar (ve derisi dikenliler) tamamen hareketsiz erişkin bir deniz canlısı larvasından evrilmekten çok, yüzmeyi öğrenen bir solucan soyundan geliyor olabilir. (İşin daha ilginci, bu durum erişkin denizyıldızlarındaki radyal simetrinin daha sonra ortaya çıktığını gösteriyor, çünkü onlar da bizler gibi çift taraflı simetriye sahip atalardan geliyor. Bizler "ilkel" bir çift taraflı simetriye takılı kalmışken denizyıldızları kendi havalı tasarımlarını yaratmıştır). Başın gelişimi, eski atalarımızda yüzmenin gelişmesiyle ilişkilidir. Bir başa sahip olmak sadece hareketli olmak anlamına gelmez, zaten denizkestaneleri ve denizyıldızları da hareket edebilir. (BBC'nin *Hayat* [Life] adlı belgesel serisinde denizyıldızları hakkında oldukça etkileyici bir hızlandırılmış çekim vardı, Youtube'dan izleyebilirsiniz.) Bu hızlandırılmış çekimde güzelce gösterildiği üzere denizyıldızları istedikleri yönde ilerleyebilir. Yine de bir denizyıldızına bakıp dürüst bir biçimde ön yüzünün neresi olduğunu söyleyebilir misiniz? Demek ki "Bu hayvanın bir başı olmalı mı?" sorusunun kilit noktası "Bu hayvanın bir ön yüzü var mı?" sorusudur. Dolayısıyla ne kadar hızlı hareket ederseniz ön yüzünüz o kadar baş gibi olur. Serbestçe yüzen bir hayvan olarak duyularınızı çevrenizdeki değişiklerle karşılaştığınız ilk yer olan başta (en önde) toplanması çok avantajlıdır. Şüphesiz baş bölgesinde bulunan duyu organlarınızdan gelen bilgileri işlemek için bir beyne sahip olmanız da epey fayda sağlar.

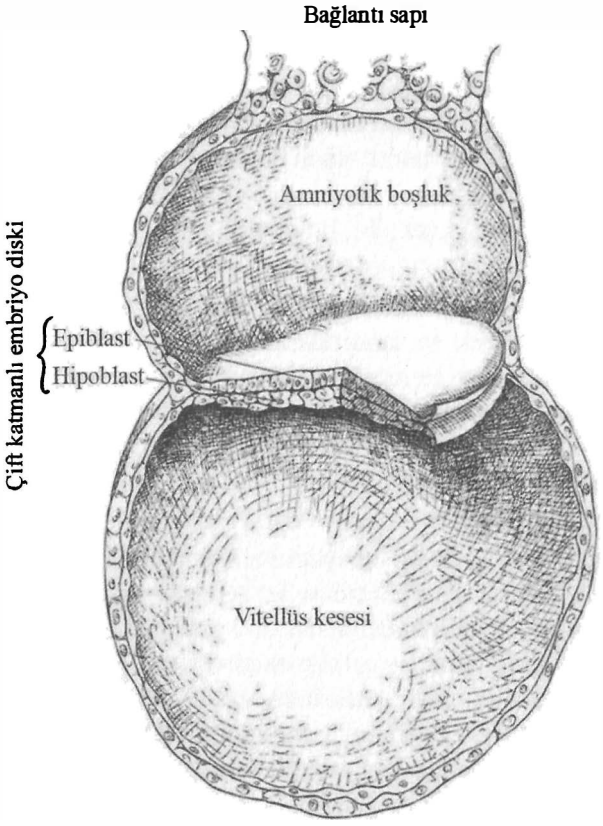
ESKİ EMBRİYO BEYİNLERİ

Yunnan eyaletindeki 530 milyon yıllık kayalıklarında en eski kordalı, baş ve beyin kanıtlarını görmekteyiz. Hatırı sayılır bütün kordalılarda olduğu gibi *Haikouella*'da da içi oyuk bir nöral tüp vardır ve bu tüpün ön ucu hafifçe kalınlaşarak üç bölüme ayrılmıştır. Bu nöral tüpün kalınlaşmış ön ucu dışarıdan bakıldığında çok önemli görünmese de *Haikouella*'nın beyninin olduğu yer tam da burasıdır. İlginçtir ki sizin beyniniz de (her ne kadar büyük ve karmaşık olursa olsun) böyledir, embriyodaki nöral tüpün kalınlaşmasıyla oluşmaya başlamıştır.

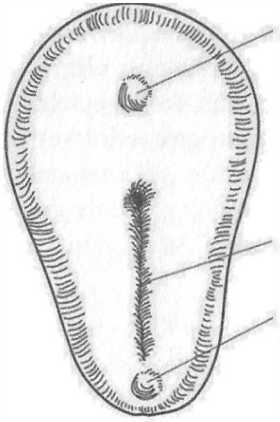
Kitabın önceki sayfalarında, gelişmekte olan embriyonuzu rahim duvarına yerleşmiş bir halde bırakmıştık. Duta benzeyen *morula*nın iç hücre kütlesi düz, iki katmanlı bir disk haline gelmişti ve bu disk, vitellüs kesesi ve yeni oluşmuş amniyotik boşluk arasında sıkışıp kalmıştı. Diskin üst kısmı epiblast, alt kısmı da hipoblasttı.

Şimdi embriyolojik gelişiminizin üçüncü haftasına doğru yola çıkarken bazı ilginç olaylar gerçekleşecek. Artık vücut dışı bir deneyim yaşamanızın zamanı geldi. Embriyonuzun dev bir boyutta olduğunu ve epiblastın yüzeyine dönük bir biçimde amniyon boşluğunda süzüldüğünüzü hayal edin. Şu anda yuvarlak bir diske değil, iki boyutlu bir armuda benzeyen epiblastın yüzeyine bakıyorsunuz. (Unutmayın ki bu garip, uzaylı gibi görünen düz cisim, döllenme anından yaklaşık iki hafta sonraki *siz*siniz.)

Bu düzleşmiş armut biçimindeki yapının çoktan bir önü (armudun geniş olan kısmı) ve arkası, sağı ve solu var. Bakın, epiblastın yüzeyinde tuhaf bir şeyler oluyor: Tıpkı bir fay hattı oluşumu gibi, embriyonun tam ortasındaki düzlem üzerinde bir oyuk meydana geliyor. Epiblast hücreleri çoğalıyor ve bu fay hattının içine doğru ilerleyip kayboluyor. Bu hücreler, hipoblast hücrelerini önlerinden çekilmeleri için kenara itiyor ve onların bulunduğu yerde yeni bir katman oluşturuyor, ayrıca ilk ortaya çıkan epiblast ile bu yeni "alt katman" arasında sıkışmış bir ara katman oluşturmak için yana doğru da yayılıyor.



Gelişimin ikinci haftasındaki embriyo, amniyon boşluğu ve (en baştaki blastosist kesesinden oluşan) vitellüs kesesi arasında sıkışmış halde, çift katmanlı bir disktir.





(Yukarıda) Epiblasta yukarıdan bakıldığında görülen primitif çizgi (Aşağıda) Yeni mezoderm ve endoderm katmanlarını oluşturan hücrelerin, embriyo diskinde nasıl yığıldığını göstermek adına primitif çizginin enine kesiti.

Tüm bu hareketliliğin ve çoğalmanın sonucunda embriyonun en baştaki iki katmanı, üç katmanlı bir hal alır: Ektoderm, mezoderm ve endoderm. Artık üç katmanlı ya da trilaminar bir embriyo diski oldunuz. Her katmandaki hücrelerin kaderleri çoktan yazılmıştır. Endoderm; sindirim kanalınızın, akciğerlerinizin ve idrar kesenizin duvarlarını oluşturacaktır. Mezoderm, zamanla kemiklerinize, kaslarınıza ve kan damarlarınıza dönüşecektir. Ektodermse derinizin dış katmanını oluşturacak ve sinirleri meydana getirecektir. İşte tam da bu noktada, insan embriyosu gelişiminin bizleri (tıpkı çok eskilere dayanan evrimsel geçmişimizden gelen bir yankı gibi) uzaktan akraba olduğumuz hayvanlarla nasıl bağladığını görüyoruz. Meşe palamudu solucanının üst derisindeki sinir ağını hatırlıyor musunuz?

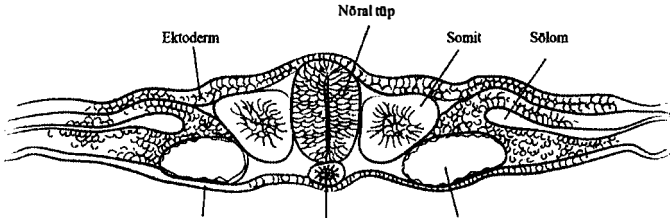
İki katmanın üç katmana çıktığı işleme "gastrulasyon" denir. Bunun nedeni, bu hücre hareketliliğinin batraklar gibi daha basit canlılarda en ilkel sindirim kanalını meydana getirmesidir. Gastrulasyon, sizler gibi karmaşık organizmaların temellerini attığı için önemli bir olaydır. Ayrıca bunu yapma biçiminiz de hayvanlar alemindeki temel bir ayrımın altını çizer: Bu ayrım, cüret ettiğimizden çok daha önceki (neredeyse 600 milyon yıl kadar) soysal bir yol ayrımına işaret eder. Belirli bir grup hayvanda gastrulasyon sırasında yeni katmanlar oluşur ve sonrasında ağza dönüşecek bir açıklık meydana gelir, bu hayvanlara birincil ağızlılar (Yunanca adı *protostomia* "ilk ağız" demektir) denir. Birincil ağızlılar; eklem bacaklılar (böcekler, kabuklular ve örümcekleri kapsayan geniş bir şube), yumuşakçalar ve birkaç solucan şubesinin yer aldığı büyük bir gruptur. İkincil ağızlılar (Yunanca adı *deuterostomia* "ikinci ağız" demektir) denilen öteki hayvan gruplarında ağız, ayrı bir açıklık olarak sonradan gelişir. İlkine kıyasla ikincil ağızlılar topluluğu daha küçüktür ve bu grupta kendi şubemiz olan kordalılarla birlikte meşe palamudu solucanları ve derisi dikenliler bulunur.

Aynı zamanda gastrulasyon, bizler gibi kordalılarda belirgin özelliklerin ortaya çıkmaya başladığı ilk evredir. Mezoderm orta katmanı oluşurken (içi boş iki sandviç ekmeğinin arasında şırıngayla reçel sıktığınızı düşünün) bazı kısımlar sertleşerek

embriyonun merkez ekseninde çubuk gibi bir yapı oluşturur. Bu çubuğa notokord (Yunancada "arka çubuğu" anlamına gelir) denir ve kordalılara ait bir başka özellik olan nöral tüpün oluşumunda kritik önem taşır. Ektoderm üst katmanının hemen yukarısında bulunan notokord, neredeyse bu katmanla "konuşarak" ona değişmesi gereken zamanı söylüyormuş gibidir. Bir bakıma gerçekten de böyle olur, tek fark bu konuşmanın kimyasal sinyaller aracılığıyla sağlanıyor olmasıdır. Bir embriyo oluşturmak için gereken talimat dizileri DNA'da bulunur ve örüntü şu biçimde meydana gelir: Belli başlı bazı genler açıldığında hücrelerden bir kısmı, öbür hücrelere ne yapmaları gerektiğini söyleyen sinyal proteinlerini üretir.

Kimyasal sinyallerin notokorddan dışarıya çıkmaya başlamasıyla altındaki ektoderm de sertleşmeye başlar. Kısa zamanda kaşık biçimindeki ektoderm alanı, katmanın geri kalanından ayrılır. Ardından bu kaşık şeklindeki alan, iki taraftan yükselen tepeleriyle uzun bir oluk oluşturarak orta çizgisinden katlanmaya başlar. Tepelerin zirve noktaları da içe doğru dönmeye başlar ve eninde sonunda ortada buluşarak oluğu kapatıp bir tüp oluşturur.

Embriyologlar nöral tüp gibi yapıların (hatta tüm embriyonik gelişimin) oluşumunun sinyal proteinlerinin varlığına bağlı olduğunu 1960'lı yıllarda tahmin etmişti ama 1990'lı yıllara gelene kadar bu moleküller ve onları kodlayan genler açıklanamamıştı. Normal embriyo hücrelerinde nöral tüpün üst (dorsal) kısmı duyu nöronlarını oluştururken alt (ventral) nöral tüpse motor nöronlara dönüşecektir. Bu örüntü erişkin omuriliğinde de sürdürülür; (dış dünyadan bilgi getiren) duyu nöronları vücudun arkasına, (sinyalleri kaslara taşıyan) motor nöronlar da önüne doğru gruplanır. Civciv embriyoları üzerinde yapılan deneyler, notorkordun çıkartıldığı durumda ventral motor nöronların gelişemediğini gösteriyordu. Öyleyse notokordun, bir derişim eğimi boyunca hücreleri farklı oranda etkileyen kimyasal sinyaller üretmesi olasıydı. Eninde sonunda belli bir gen ve kimyasal sinyal bulundu, hatta ikisine de "Kirpi Sonic" (mavi saçlı bilgisayar oyunu karakterinin şerefine) diye muhteşem bir ad verildi.



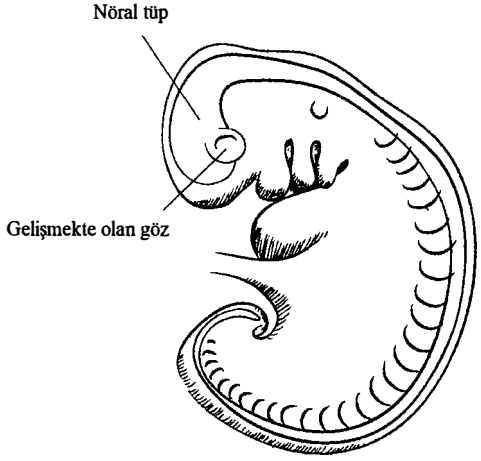
Gelişimin üçüncü haftasının sonlarına doğru insan embriyosunun enine bir kesiti. Bu evrede embriyo hâlâ düz bir disk halindedir ama nöral tüp oluşmuş, tüpün iki ucundaki mezoderm katmanı da yoğunlaşarak "somit" adı verilen tümsekleri oluşturmaya başlamıştır. Kan damarları (her iki tarafta da birer aort) çoktan oluşmaktadır. Sölom vücut boşluklarının öncüsüdür: Bunlar; akciğerlerin, kalbin ve bağırsakların etrafındaki zarla kaplı ceplere dönüşecektir.

Rahimdeki yaşamınızda sadece kısa bir süreliğine notokorda sahip olsanız ve onun yerine, saygıdeğer bir omurgalı olarak, çok daha sağlam bir omurga (bu konuya sonra geleceğiz) geliştirmiş olsanız da ilk zamanlarda hâlâ bir notokorda ihtiyaç duyuyordunuz. O olmadan, bir omurilik ya da beyin geliştiremezdiniz. Bir apartman inşa etmek için kullanılan iskeleyi düşünün: Apartmanın inşası bittiğinde sökülüp atılır ama inşaat sırasında gereklidir. Benzer bir biçimde notokord da nöral tüp gelişiminde olmazsa olmazdır.

Nöral tüpün tamamı aynı anda kapanmaz: Embriyo diskinin ortasından kapanmaya başlar, aslında burası ilerleyen zamanlarda embriyonun boyun bölgesi olacaktır. Ardından her iki yöne doğru bir fermuar gibi kapanır, son olarak da gelişimin dördüncü haftasında tamamen kapanarak iki ucu kapalı bir tüp oluşturur. Bu içi oyuk tüp sinir sisteminizin temelidir: Beyninizi ve omuriliğinizi meydana getirir.

Nöral katlanmaların kapanamadığı ve kaynaşamadığı durumda sonuç bir "nöral tüp defekti" olur. İngiltere'deki her on bin bebekten sekizinde görülür. Bu bozuklukların çeşidi ve etkileri oldukça geniştir. Eğer nöral tüpün üst kısmındaki uç kapanamazsa embriyo beyni gelişemez. Bu durum anensefali (Yunancada

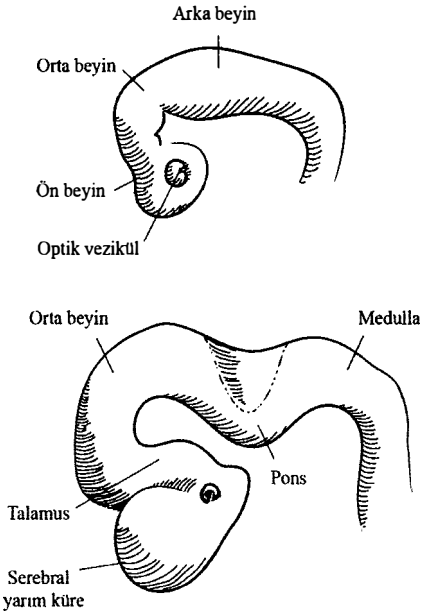
"beyni olmama" anlamında) olarak bilinir ve bu sorunu yaşayan bebekler ya doğumda ya da doğumdan kısa bir süre sonra ölür. Böylesine ciddi sorunlar genellikle doğum öncesi ultrason taramalarında fark edilir. Nöral tüpün alt kısmının kapanmamasına da spina bifida (kelimesi kelimesine "ayrık omurga" demektir) denir ve bu bozukluk, ayakların felç olması gibi ciddi sorunlardan tutun da omurgada hiçbir belirti göstermeyen bir yarık olmasına kadar farklı biçimlerde görülebilir.



Gelişimin dördüncü haftasında nöral tüp, baş ve kuyruk uçlarından kapanır, dolayısıyla embriyo artık düz bir disk değildir. Embriyo diskinin kenarları ortada birleşene dek içe doğru kıvrılır, böylelikle embriyonun dış yüzeyi artık tamamen ektodermden oluşur.

Dört haftalık bir embriyo olarak üst kısmında biraz daha geniş ve yoğun olan yepyeni nöral tüpünüz, yaşayan batrakların ve kadim *Haikouella* gibi ilkel kordalıların nöral tüpleriyle çarpıcı bir benzerlik gösterir. Sizin beyninizin hâlâ epey bir gelişmesi gerekir, oysa batrak beyni nöral tüpün çok az gelişmiş halidir ve karmaşıklık açısından omuriliğiyle neredeyse aynıdır. Omurgalılarda (şüphesiz bizler de dahil) daha karmaşık bir beyin embriyoda oluşmaya başlar: İki tarafı da kapalı nöral tüpün üst

kısmı birbirine bağlı üç baloncuk ya da vezikül oluşturmak için gelişmeye başlar. Bu veziküller ön beyin, orta beyin ve arka beyni oluşturacaktır. Arka beynin oluşumu çok eski bir aile soyağacına sahiptir ve belli bir örüntü üreten Hox genleri tarafından kontrol edilir. Bu genlerin farklı versiyonları, yaklaşık 800 milyon yıl önce ortak bir ataya sahip olduğumuz meyve sineklerinde de mevcuttur. Ön ve orta beyin alanlarıysa, birincil ağızlılar ve ikincil ağızlıların ayrımından sonraki (ama kordalıların kökenlerinden önceki) evrimsel geçmişimizde daha kısa süre önce ortaya çıkan genler tarafından belirlenir.

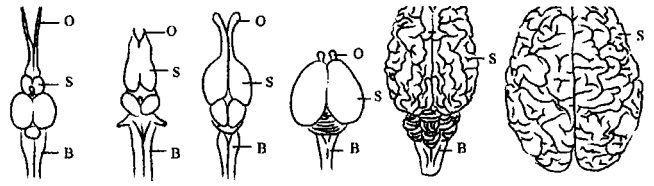


(Üstte) Dördüncü haftanın sonlarına doğru gelişmekte olan embriyo beyni ve (altta) altıncı haftada ön beyinden beyin yarım küreleri ve talamusun; arka beyninden de pons ve medullanın gelişimi.

Ön beynin ön kısmı gelişmeye devam ederken iki loba ayrılır, bunlar beyin yarım küreleri ya da kısaca "serebrumu" oluşturacaktır. Bu lobların hemen arkasında, daha sonra gözlerinize

dönüşecek iki kesecik ön beynin yanlarından dışarıya doğru büyümeye başlar. Embriyo gelişiminin erken örüntüsü, çoğu omurgalının erişkin beyninde hâlâ kolaylıkla fark edilebilir. İlk bakışta insan beyni bambaşka bir yaratık gibi görünebilir ama bunun nedeni ön beynin çok büyümesidir. Aşırı derece şişen kocaman beyin yarım kürelerimiz, beynimizin geri kalanının üstünü örter. Öte yandan beyne altından bakarsanız ya da beyni kesip açarsanız, embriyo gelişiminin başlarında oluşan veziküllerden ortaya çıkan yapıları görebilirsiniz. Gelişmekte olan insan embriyosu beyni, köpek balığı beynine çok benzer gözükebilir ama bu sadece tesadüfi bir benzerliktir. Sonuçta insan beyni, bir balık beyninden çok daha karmaşıktır. Bizler, kendi beyin yarım kürelerini geliştirmekte ustalaşmış bir hayvan soyundan geliyoruz. Memeliler, sürüngenlere kıyasla daha büyük beyin yarım kürelerine sahiptir. Plasentalı memelilerdeyse (çoğu memeliyle birlikte bizi de içeren grup) ördek gagalı ornitorenkler gibi memelilere kıyasla daha büyük beyin küreleri vardır. Son olarak, primatların beyin yarım küreleri öteki pek çok memeliye kıyasla daha büyüktür ve insanlarda bu büyüme çok uç boyutlara ulaşmıştır.

Balıklarda beyin sapı (orta beyin ve arka beyin) beynin en büyük kısmıdır. Ön beyin ufaktır ama koku alma lobları gelişmiştir. Balıklara kıyasla amfibilerin serebrumu biraz daha genişlemiştir: Amfibi beyni, hem daha fazla duyu bilgisiyle uğraşmak zorundadır hem de kol ve bacaklarında bulunan daha gelişmiş kas sistemlerini kontrol eder. Beyin yarım küreleri sürüngenlerde (ve kuşlarda) yanlardan taşıp talamusun üstünü örterek daha da büyük bir hal alır. Memeli serebrumu, özellikle de plasentalı memelilerde, çılgın bir büyüme gösterir. Memeli beyinlerinde bu boyut artışına ek olarak önemli bir değişim daha olur: Beyin dokusunda yepyeni bir dış katman ya da "neokorteks" oluşur. Memeli neokorteksi öylesine büyüktür ki beynin evrimsel olarak daha eski kısımlarını örter. Beyin kabuğunun bu eski bölgeleri hepsi oradadır ama onları görebilmek için epey dikkatlice bakmanız gerekebilir. En eski duyuyu (kokuyu) işleyen duyu korteksi ve hafızayla ilişkili hipokampus, temporal lobun hemen ardında, beynin ortasında gömülü bir biçimde durur.



O – Olfaktör yolu ve yumruları
S – Serebral yarım küre
B – Beyin sapı

Bir dizi beyin yarım küresinin göreceli büyüklükleri (ölçeksiz): İnsanlarda üstten bakıldığında görülebilen tek şey, aşırı şişmiş beyin yarım küreleridir.

Memeli neokorteksinde beynin dış kısmına itilmiş nöral hücre gövdeleri bulunur. Bu yeni beyin kabuğunun üç ana rolü vardır: Tüm vücuttan gelen duyu bilgisini alır ve anlamlandırır, kaslara motor sinyaller gönderir, bir de duyu bilgisini derleyip düzenleyerek hafızada depolanmaya gönderir. Mikroskopla bakıldığında neokorteksin altı katmanı olduğu görülür ve bu katmanlar çoğu memelide oldukça kıvrımlı bir haldedir. Bu kıvrımlar da kafatasına sığabilen korteks hacmini artırır, tıpkı bir sayfa kâğıdı buruşturup top yapmak gibi. Aslında bu örneğe göre insan beyninin kapladığı alan çok büyük bir sayfaya eş değer olurdu (yaklaşık 2400 santimetreküp olduğu için neredeyse A2 boyunda bir kâğıt ya da dört A4 kâğıdı kadardır). İnsan beyninde tahminen 86 milyar nöron vardır ve bunların 13 milyarı serebral kortekste bulunur. Ne var ki tüm hayvanlar arasında en büyük beyin sahip olan biz değilizdir, örneğin fillerin ve balinaların beyinleri çok daha büyüktür. Oysa bizler, vücut ölçümüze kıyasla inanılmaz büyük beyinlere sahibiz.

İNSAN BEYNİNİN HARİTASINI ÇIKARMAK

Çok değerli ve nadir bulunan iki nesneye sahibim. Şanslıydım, insan anatomisi ve evrim hakkında BBC için bir program hazırladığım sırada bu nesneler benim için özel olarak yapılmıştı.

Bunlardan biri kafatasımın, öteki de beynimin üç boyutlu modelleridir. Her ikisi de kafamın ayrıntılı MR (manyetik rezonans görüntüleme) taramasını temel alıyordu ve üç boyutlu yazıcı kullanarak katı nesneler haline getirilmişti.

Genellikle kendi vücudumdaki anatomik yapıları görmekten mutluluk duyarım. Öte yandan tıbbi nedenlerden çok belgesel çekimleri ya da verdiğim dersler nedeniyle kendi vücut yapımı öteki insanlara kıyasla daha fazla görmüşümdür. Ultrason yardımıyla kalbimin atışını, boynumdaki kas ve sinirleri gördüm; hap kamerasıyla bağırsaklarımın içinde neler olup bittiğini izledim ve MR sayesinde rahmimi, yumurtalıklarımı, başımı ve gırtlağımı inceledim. Tüm bunlara rağmen çekilen baş MR taramalarım kafatasımın üç boyutlu modelini çıkarmak için kullanıldığında ortaya çıkan sonuç beni dehşete düşürmüştü. Kaymak taşı gibi beyaz nesneyi kutusundan çıkardığımda kendimle yüz yüze gelmiştim. Gerçek kafataslarına bakmaya alışkındım ama bu kafatası beni gerçekten etkilemişti. Tıpkı ölüleri onurlandırmaktan çok yaşayanlara ölümlülüğü hatırlatmak için tasarlanmış kadavra mezarları ve bu mezar figürlerinin Meksika'daki Ölüler Günü Festivali'nde kullanması gibi, üç boyutlu yazıcıyla üretilmiş kendi kafatasım da ölümün etkili bir hatırlatıcısı, inanılmaz kişisel ve güçlü bir *memento mori*siydi.

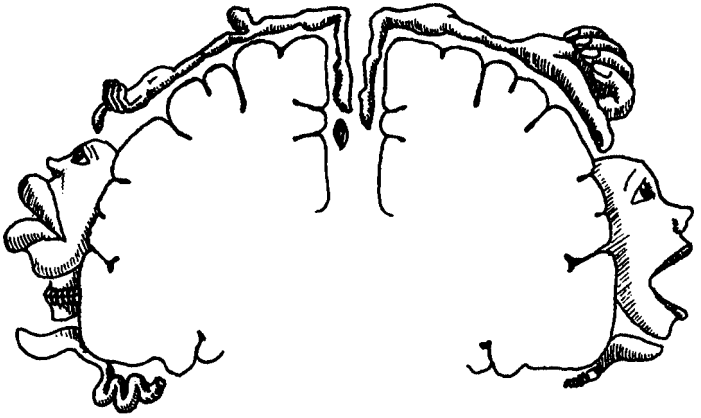
Evet, toprak altındaki solucanlar iyi bir iş çıkarırsa önümüzdeki yüzyıl içinde gerçek halim tam da buna benzeyecekti.

Üç boyutlu yazıcıyla üretilmiş öbür parçamı (beynimi) daha az şok edici buldum ama o da tamamen büyüleyiciydi. Şu an bunları yazarken masamın üstünde duruyor. Kafatasımın içinde sağ salim ikamet eden gerçek kopyasında, sinirsel iletimlerin yarışıp sinapslardan karşıya atladıkça tüm bu düşüncelerin ortaya çıktığını düşünmek ne kadar da tuhaf!

Üç boyutlu beyin modelim gerçekten güzel bir kopyadır. İnsan beynine özgü ceviz görüntüsünü oluşturan girusları ve sulkusları (yani kıvrımları ve girintileri) açıkça görebiliyorum. Hatta beynin her iki yanından (aşağıdan yukarıya doğru), beyin yarım kürelerini ortadan ayıran büyük yarığa uzanan merkezi girintiyi ya da santral sulkusu bile seçebiliyorum. Bu girintinin hemen önünde solucan gibi kıvrılan gri maddeye "presantral girus" denir. Motor nöronların hücre gövdeleri burada bulunur, bu nöronlar aksonlarını beyin

sapı ve omurilikten aşağıya göndererek ikinci motor nöronlarla sinaptik bağlantı kurar. İkinci motor nöronlar da uzun sinir lifleriyle vücudumdaki tüm iskelet kaslarına (ayak başparmaklarımı hareket ettirenler de dahil) uzanır. Santral sulkusun arkasında "postsantral girus" bulunur. Bu kısım, vücudun tüm yüzeylerinden gelen duyu sinyallerini alır. Buradaki kıvrımlarda bulunan nöronların uzandığı ya da bilgi aldığı vücut kısımlara düzenlenmesi rastgele bir durum değildir. Vücudun geri kalanıyla kurulan bağlantılar korteksin bu kısmında haritaya dökülür. Bu harita sıklıkla homunkulus olarak çizilir (işte yine o kelime, ne var ki bu kez spermin baş kısmında kıvrılmış halde duran hayali bir "küçük insanı" değil, beyindeki gerçek bir bağlantı örüntüsünü temsil ediyor).

Santral sulkus, her beyin yarım küresinde bulunan temel iki lobu birbirinden ayırır. Bunlar, frontal ve parietal loblardır. Yarım kürelerde ikişer lob daha bulunur: Biri temporal lob (temporal kemiğin altında, parietal ve frontal lobun aşağısına uzanan bir takoza benzer), biri de oksipital lobdur (kendiyle aynı adı taşıyan kemiğin altında bulunur).



Duyu korteksi Motor korteks

Bu homunkulus çizimleri, vücudun postsantral girusta (birincil duyu korteksinde) ve presantral girusta (birincil motor kortekste) nasıl haritalandırıldığını gösteriyor: Daha fazla sinirsel bağlantılara sahip bölgeler, daha büyük çiziliyor.

Bu organın gerçek halinin (kafatasımdaki bir öbek canlı sinir dokusunun) içinde bulunduğum anda farkında olduğum ve yaptığım her şeyin arkasında olduğunu düşünmek gerçekten olağanüstüdür. Şu anda ne *yaptığınızı* bir düşünün: Parmaklarınızı kontrol eden frontal korteks bölgeleri siz sayfaları çevirdikçe çalışır. Frontal loblarınız istemli hareketi kontrol etmenin yanı sıra dikkat, bellek, tanıma ve duygularla ilişkilidir. Parietal loblarınız, görsel olanlar da dahil tüm uyaranları işlemekle meşguldür; şimdi baktığınız sayfada yazılanları işliyor. Temporal loblarınız dil için çok önemlidir, kelimeleri hem yazılı olarak hem de konuşma esnasında tanımanızı sağlar. Oksipital loblarınız dış dünyaya ait bilgiyi retinalarınızdan alıp bir görüntü yaratır: Size gözlerinizle görüyormuşsunuz gibi gelse de aslında tek yaptığınız göz yuvarlarınıza gelen ışığı elektrik sinyallerine çevirmektir, bu sinyallerin anlam kazanmaya başladığı ve bir görüntüye dönüştüğü yer beyninizin en arkasıdır.

Sağ ve sol beyin yarım küreleri arasında işlevsel bir ayrım da bulunur. Omurilikte nöronların çaprazlanması, beynin sağ yarısının vücudun sol tarafındaki hareketi kontrol etmesi anlamına gelir, beynin sol yarısı için de tam tersi geçerlidir. Öteki işlevler için bu ayrım simetrik değildir. "Yaratıcı" sağ yarım küre (çoğu insanda böyledir) uzaysal algı, sanat ve müzikle ilgilenir. Sol tarafsa dili kontrol etmek ve mantıksal düşünceyi hizaya sokmak gibi daha "mantıksal" işlerle uğraşır. Ne var ki bu iki yarım küre birbiriyle devamlı iletişim halindedir, hatta sadece iki yarım küre arasında değil, korteksin bir bölgesinden ötekine durmadan mesaj gider. Korteks, sinir hücresi gövdeleriyle dolup taşan beynin gri madde kısmında yer alırken, mesajlar akson adlı sinir hücresi uzantılarından oluşan "kabloların" meydana getirdiği beyaz madde üzerinden iletilir. Her bir akson, tıpkı elektrik kablolarını saran plastik kaplama gibi bir yalıtım katmanıyla çevrilidir, aradaki tek fark sinir liflerinin etrafını saran bu yalıtım katmanının miyelin adı verilen özel bir yağ dokusundan oluşmasıdır. Miyelinle sarılmış sinir lifi demetlerinin korteks bölgeleriyle beyin yarım küreleri arasındaki ve korteksle derine gömülü gri madde adacıklarıyla arasındaki bağlantılar beynin beyaz maddesini meydana getirir. Yeni doğan bir bebeğin beyninde çok az miktarda miyelin vardır: Bir bebeğin beyin gelişimin büyük bir kısmı, yeni sinir

hücrelerinin oluşmasıyla değil, sinir liflerinin miyelinle yalıtılmasıyla olur.

Beynimin üç boyutlu modeline yeniden baktığımda arkada, oksipital loblarım altında tünemiş beyinciğimi görebiliyorum. Burası, hareketi koordine etmek ve dengeyi sağlamak adın beyin yarım kürelerinin talimatıyla vücuttan alınan duyu bilgisiyle kaslara gönderilen komutların bir araya getirildiği yerdir. İşte bu nedenle beyinciğinde hasar olan kişiler akıcı ve hassas bir biçimde hareket etmekte zorluk yaşarlar. Bunlara ek olarak insanlar çeşitli görevler tamamlarken çekilen fonksiyonel taramalar, beyinciğin tüm bu motor işlevinin yanı sıra bilişsel bir işlevi olduğunu gösteriyor. Şimdi üç boyutlu beyin modelimi ters çevirerek beyin sapı kısımlarımı da (orta beyin, pons ve medulla) görebiliyorum, hatta evrimsel olarak çok eski olan koku korteksi ve hipokampusun bulunduğu bölgeyi bile seçebiliyorum.

Bugün beyinde neyin nerede olduğuna (hangi çeşitli "modüllerin" bunlara yol açtığına) ilişkin bildiklerimiz, fonksiyonel MR (fMRI) gibi yaşayan bir beyni görüntülememizi sağlayan teknolojilerin gelişmesiyle sağlandı. Oysa beyindeki farklı bölgelerin farklı işlevlerden sorumlu olduğuna ilişkin ilk ipuçları görüntüleme cihazlarının icadından çok daha önce, inme ya da yaralanma gibi bölgesel beyin hasarı geçiren insanlar üzerindeki vaka çalışmalarıyla ortaya konmuştu. Eski vaka kayıtlarından en ünlüsü, Phineas Gage adındaki ABD'li bir tren işçisine aittir. Yirmi beş yaşındaki Gage, 13 Eylül 1848 tarihinde gerçekleşen bir patlama sonucu kafatasına demir bir çubuğun saplanmasıyla yaralanmıştı. Mucizevi bir biçimde sağ kalıp John Harlow adındaki bir hekim tarafından muayene edilmişti. Bu hekimin Gage'in yaşadığı kaza üzerine yazdığı rapor 1868 yılında *Massachusetts Tıp Birliği Yayınları* [Publications of the Massachusetts Medical Society] dergisinde yayımlanmıştı.

Bu raporda Harlow, demir çubuğun Gage'in kafasından nasıl geçtiğini şöyle anlatıyordu:

> "Çubuğun sivri ucu yüzün sol tarafındaki üst çene kemiğinin hemen altındaki boşluktan girmiş, yan taraftan yukarıya ve arkaya doğru geçerek kafatasının ortasından (frontal kemiğin arka kısmından ve yandaki birleşme yerinden) dışarı çıkmıştır."

Harlow, Gage'in bilincinin çok kısa zamanda yerine geldiğini, kazadan birkaç dakika sonra konuşabildiğini, bir de at arabasıyla oteline bırakıldıktan sonra ayağa kalkıp odasına çıktığını anlatmaya devam ediyordu. Gage'in yaralarını incelemişti: Demir çubuğun girdiği yanağında bir delik ve de başının tepesinde enine doğru geniş bir delik daha vardı. Harlow, Gage'in yaralarına ellerini de sokmuştu. Sağ işaret parmağının tamamını başındaki delikten, sol işaret parmağının tamamını da Gage'in yanağındaki boşluktan içeri sokabiliyordu ama parmak uçlarını birbirine değdiremiyordu. Harlow, bunların ardından Gage'in yaralarını temizlemişti.

Harlow sonraki aylarda Gage'i tekrar tekrar muayene etti. Aynı yılın Kasım ayında Gage'in "durmadan gelişme kaydettiğini" ve sağlığının yerinde olduğunu yazdı. Görünüşe göre Gage işe dönmek için hevesleniyordu ama tren yolu şirketi onu tekrar işe almıyordu.

Harlow, kaza geçirmeden önce Gage'in "dengeli bir zihne sahip; onu tanıyan insanlar tarafından becerikli, zeki, çok enerjik ve iş planlarını tutarlılıkla yürüten bir işadamı olarak görüldüğünü" belirtmişti. Gage'in işverenleri "onu çalıştırdıkları en verimli ve yetenekli ustabaşı olarak" görüyordu. Oysa şimdi bu adam değişmişti, "değişken, saygısız ve bazen en çirkin küfürleri savurmaktan keyif alan biriydi… Sabırsızdı… Bazen domuz gibi inatçı, aynı zamanda kaprisli ve tereddütlüydü… Zihni köklü bir biçimde değişikliğe uğramıştı, hatta öyle bir hale gelmiş ki arkadaşları ve tanıdıkları 'O artık Gage değil,' diyordu."

Phineas Gage, kazadan sonraki dört yıl boyunca New York eyaleti ve New England bölgesinde gezip demir çubuğunu ve yaşam öyküsünü de beraberinde götürerek Barnum Sirki'yle [*Barnum's Circus*] zaman geçirdi. Ardından Şili'yi gezip sekiz yıl sonra da annesi ve kız kardeşinin yaşadığı San Francisco'ya gitti. Yaşamı boyunca bir işten ötekine atlayıp durdu ve hiçbir işte uzun süre kalamadı. En sonunda, 1861 yılında epilepsi nöbetleri geçirmeye başladı ve aynı yılın mayıs ayında (tren yolu kazasından on iki yıl sonra) kaslarının şiddetli bir biçimde istemsiz kasılması sonucu öldü.

Gage'in vücudu üzerinde otopsi yapılmış olsa da annesi "bilim adına" oğlunun mezarını kazıp kafatasını çıkarması için Harlow'a izin verdi. Kafatasına bakıldığında demir çubuğun nereden geçtiği açıkça görülüyordu: Üst çene kemiğinin altından girip

sol göz çukurunun arkasından geçmiş ve kafatasının tepesindeki frontal kemikten çıkmıştı. Çubuğun kesinlikle Gage'in sol frontal lobunun içinden geçmiş olması gerekiyordu. Harlow, çubuğun sol temporal loba da zarar vermiş olabileceğini ve de muhtemelen temporal lobun içindeki sıvı dolu boşluğu, yan ventrikülü, yırttığını düşünüyordu.

Phineas Gage'in bu olağandışı kazayı yaşaması ve atlatmasından 150 yıl sonra, Harvard Tıp Fakültesi anatomistlerinden ve radyologlarından oluşan bir ekip Gage'in kafatasını yeniden inceledi ama onu bu kez bilgisayarlı tomografi (BT) taramasına soktular. Bu taramayı Gage'in kafatasının sanal üç boyutlu modelini çıkarmak için kullanan ekip, ardından üç santimetre kalınlığındaki demir çubuğu da modelleyebildi. Demir çubuk Gage'in sadece sol frontal lobundan geçtiği için temporal lobunda hiçbir hasarın bulunmadığı açığa çıktı. Çubuğun izlediği bu yol Gage'in frontal lobundaki motor bölgesini doğrudan etkilemiyordu, bu da kazadan sonra adamın neden felç olmadığını açıklıyordu. Demir çubuk hem kafatasının tabanındaki internal karotid arteri hem de kafatasının tepesindeki üst sagittal sinüsü (beyin zarları arasındaki gizli bir toplardamarı) ıskalamıştı. Eğer bu iki kan damarından biri hasar görseydi çok ağır bir kanama gerçekleşirdi ve Gage'in geçirdiği kaza şüphesiz ölümcül olurdu.



Beynin frontal lobunun bir biçimde mantık, karar verme ve sosyal davranışla ilişkili olduğunu ortaya koyan Phineas Gage'den ve demir çubuğundan bu yana çok şey değişti. Yakın zamanda yapılan işlevsel beyin çalışmaları, bu "üst" bilişsel yetilerin frontal lobun ön kısmındaki bölgede gerçekleştiğini göstermiştir. Burası, motor korteksin hemen önünde bulunur ve "prefrontal korteks" olarak adlandırılır. O dönemde bilim insanları, Gage'in yaşadığı kazanın ne anlama geldiğini pek de dikkate almamıştı: Beyinde işlevsel özelleşmelerin olduğunu, farklı bölgelerin farklı işlevlerden sorumlu olduğunu önemsememişlerdi. Bugün Harlow'un o dönemki sezgilerinin bizler için sağduyu niteliğinde olduğunu düşününce, bulgularının gereken önemi görmediğine inanmak zordur.

On dokuzuncu yüzyıldan önce, çoğunlukla beynin tıpkı karaciğer gibi işlevsel açıdan tamamı aynı yapıda olan bir kütle olduğunu düşünülüyordu. Frenologlar farklı beyin bölgelerinin farklı bilişsel işlevlerle alakalı olduğunu öne sürmüştü ama kafatasına bakarak yaptıkları bu çıkarımların temeli, sallanmakta olan sahte bir bilimin üzerine atılmıştı.

Beyindeki işlevsel özelleşmenin en iyi bilinen ilk kanıtı; Fransız hekim, anatomist ve antropolog Paul Broca'nın çalışmalarıyla ortaya çıkmıştır. Beyin hasarı geçirmiş ve konuşma sorunları yaşayan hastaları inceleyen Broca, sözlü dilden sorumlu gözüken bir frontal lob alanı tanımladı. Bu konudaki bulgularını *Beyindeki Bölgesel Ayrımların Temelleri Üzerine* [Sur le Principe des Localisations Cérébrales] başlıklı makalesiyle 1861 yılında yayımladı. Tesadüfe bakın, yani Phineas Gage'in öldüğü yılda.

Alman nörolog Carl Wernicke de 1874 yılında temporal lobun üst bölgesinin dili anlamaktan sorumlu olduğunu ileri sürdü. Bu düşünce de benzer bir biçimde bahsedilen bölgedeki beyin hasarı vakalarında görülen sorunlara dayanıyordu. Çağdaş sinirbilim çalışmalarının beyin anatomisi ve işlevi arasındaki ilişkiye yönelik bildiklerimizi geliştirmesine rağmen bu bölgeler hâlâ onları tanımlayan öncülerin adıyla, "Broca alanı" ve "Wernicke alanı" olarak bilinmektedir.

Korteks, araştırmalar ve keşiflerle yavaş yavaş oluşan yeni bir ülkenin haritası gibi haritalandırıldı. Zamanla, tıpkı yerküre üzerinde olduğu gibi beyindeki kıtalar, ülkeler ve adalar da çizilip belirlendi. Şu an herhangi bir nöroanatomi kitabını açıp bu bölgelere bakabilirsiniz, her biri net olarak sınırlandırılmış ve düzenli bir biçimde etiketlenmiştir. Oysa gerçek hiç de bu kadar basit değildir. Elbette basit olamaz, beyinden bahsediyoruz. Sadece neokortekste bile yaklaşık 13 milyar nöron bulunur, dolayısıyla her bir nöron için ortalama 7000 sinir kavşağı ya da sinaps olduğunu düşünürsek kortekste neredeyse 100 trilyon sinaptik bağlantı vardır. Bu tür büyük sayılar beni geriyor. Genel beyin bölgelerinin ilişkili olduğu çeşitli fonksiyonları haritalandırmak da kolay değildir ama bu bağlantıların her birini kapsayan gerçek bir harita çizmeye çalışmak başlı başına bir kâbustur. Neyse ki bazı sinirbilimciler bunu da deneyecek kadar cesur.

Jeff Lichtman ve Joshua Sanes adlı profesörlerin liderliğinde Harvard Tıp Fakültesi araştırmacılarından oluşan bir ekip, 2007 yılında yeni bir görüntüleme yöntemi icat etti: Beynin karmaşık bağlantılarını açıklığa kavuşturmak için tasarlanan çok renkli bir nöron haritalandırma sistemi. Genetik mühendisliğini kullanarak fare genomlarına fazladan eklediler. Bu genler, floresan proteinin farklı renklerini üretmesi için gerekli olan yönergelerdi. Onlar sayesinde farenin nöronları parlıyordu. Renklerin rastgele kombinasyonları yüzden fazla farklı renk tonu yaratıyordu ve bunlar da nöronların teker teker tanımlanmasını sağlıyordu. Mikroskopla fare beyni kesitlerine bakarken bu renkler, araştırmacıların sinir hücrelerinin uzun liflerini doğru takip etmelerine ve birbirleriyle sinaptik bağlantı kuran hücreleri tanımlamalarına yardımcı oluyordu. Şahane bir zekâ darbesiyle "Beyinkuşağı" [*Brainbow*] yöntemini yarattılar.

Birkaç yıl önce Jeff Lichtman ile Harvard'da tanışma şansına eriştim. İnsan beyninin eşsizliği hakkında konuştuk. İçlerinde çok fazla sayıda nöron bulunan kocaman beyinlere sahibiz ama Jeff biz insanları eşsiz yapan şeyin sadece beynin boyutu ya da nöron sayısı olmadığı konusunda emindi: Asıl önemli olan devrelerdi, nöronlar arasındaki bağlantılardı. İlkel canlılarda, örneğin üzerinde çok çalışılan ve beyninde 300 adet nöron bulunan *Caenorhabditis elegans* solucanı (tüm embriyologların favorisidir) gibi en azından bu açıdan ilkel olanlarda, sinirsel bağlantıların büyük bir kısmı genetik olarak belirlenmiştir. Primatlarda, özellikle de insanlarda genetik programlama bir olasılıklar dizisi kurar ve bu olasılıklar kişilerin çevresiyle olan etkileşimi sonucu bilenir. Doğum anında insan yavrusu nöronlarının çoğuna ve gereğinden fazla sinirsel bağlantıya sahiptir. Burada bir hata yoktur, hatta tam tersi söz konusudur, çünkü bu karmaşık bir sinir sisteminin gelişmesi için gereklidir. Gereksiz sinirsel bağlantılar, yaşanan deneyimlere bağlı olarak beyin geliştikçe koparılır. Bunun sonucunda her bir nöron, öteki nöronlarla olan bağlantılarını hem sınırlandırır hem de güçlendirir. Olay sadece bağlantıları koparmak değildir, onları daha sınırlı ya da stratejik bir biçimde yeniden geliştirmektir. Jeff buna benzer bir olayı kas liflerinin sinirsel bağlarında görmüştü. Doğumda her bir motor nöron bir sürü kas lifine ileti verir ve her bir kas lifi farklı nöronlardan ileti alır. Bu nedenle hücreler arasın-

da bir yarış başlar: Her bir akson kas lifinin kasılmasını sağlayan iletimi yapmak için kapışır ama içlerinden sadece biri bu yarışı kazanabilir. (Sizler karmaşık hücre kümelerinden oluşuyorsunuz ve bu hücrelerden her biri yaşamkalım savaşı veriyor. Gelişimi böyle ele almak gerçekten büyüleyici!)

Tüm memeliler içinde en uzun çocukluk dönemi geçiren insanlarda beyindeki sinirsel bağlantıların yontulduğu süre uzatılmıştır, hatta bizler bunu yapmaya (yani öğrenmeye) yaşamımız boyu devam ederiz. Beyinlerimiz genetik açıdan önceden belirlenmiş olmaktan çok uzaktır, onlar hem doğamızın hem de yaşadığımız çevrenin ürünüdür. Genler bir dizi olasılık belirlerken çevreyle (ve şüphesiz, en önemlisi kültürle) olan etkileşim de erişkin beynindeki sinirsel bağlantıları biçimlendirir.

Jeff'e göre insan beyninin bu olağanüstü karmaşıklığı, özgür iradenin ortaya çıkması için de açık kapı bırakmıştır: "O kadar çok faktör, o kadar çok karmaşa var ki sonucun ne olacağını tahmin etmek imkânsız: Ya özgür irade var ya da böylesine büyük bir karmaşıklıkta olsa iyi olur."

Jeff'e insan beyninin haritasını çıkarma görevini ve nöral ağları görüntüleyip inceleyebilmek için bir nöral ağ kullanmanın tuhaflığını sordum. "Bu ilginç bir biçimde döngüsel bir durum," diyerek bana katıldı ve devam etti, "Olay şu, kullandığımız karmakarışık bir makinayla anlamaya çalıştığımız karmakarışık bir makinayı inceliyoruz. Özellikle de talamustaki görsel bağlantılarımıza bakarken. Bizler gördüğümüz sinirsel bağlantıları yorumlamak için aynı bağlantıları kendi beyinlerimizde kullanıyoruz."

Jeff beyni haritalandırmaya başlamadan önce pes etmeye ve aklının bulanmasına hazırdı. Aynı zamanda bir insan beynini söküp parçalarına ayırma, bu parçaları inceleme ve tekrar bir araya getirme sorumluluğu konusunda akılcıydı. "Bence zihinlerimiz fiziksel şeyler. Bu yapının ötesindeki dinamik bir süreci, sinir hücrelerinin işlevlerini ve bu bağlantılarla ilerleyen elektrik iletimini açığa çıkarıyoruz. Ne var ki bir sinirbilimci olsam da insan beyninin tamamıyla bu bağlantılardan ibaret olması canımı sıkıyor."

Bir MR taramasıyla üç boyutlu somut bir beyin modeli üretmek ya da nöronlar ile yaptıkları bağlantıları haritalandırmak… Beyni nasıl görüntülersek görüntüleyelim ya da anlamaya çalışalım, hepsi

kafataslarımızda olan şeyin gerçek özünü yakalamada yetersiz kalıyor. Belki bir gün tüm o sinirsel bağlantıları ve beyinlerimizin tam olarak nasıl çalıştığını inanılmaz ayrıntılı bir biçimde anlayabileceğiz; yine de bu konuda farklı hissedeceğimi sanmıyorum. Sanki zihin gizemli, deneyimsel ve bilinmez olmaya ant içmiş gibi.

Jeff Lichtman'ın çalışmaları, elektron mikroskobuyla görülebilecek boyutta olsalar bile özünde anatomiktir. Peki bu milyarlarca sinirsel bağlantı tam olarak ne yapıyor? Bunu anlamanın yollarından biri, bilimin kökenlerine inmek ve Phineas Gage gibi beyinlerinde hasar olup işlevsel sorunlar yaşayan insanları incelemektir. Oysa artık yaşayan beyinlerdeki aktiviteyi görmek için gereken teknolojiye sahibiz. Bu başta kulağa korkunç gelebilir ama günümüzde sinirbilimcilerin sanal olarak insanların başlarının içine girebildiği tamamıyla müdahalesiz birtakım yöntemler mevcut.

Hiçbir müdahale olmadan beyin işlevini inceleme yollarından biri elektriksel aktiviteyi kafatasına yapıştırılan elektrotlarla kaydetmektir: Buna elektroensefalografi (EEG) denir. Ne yazık ki beyinde elektriksel aktivitenin nerede olduğunu kesin bir biçimde belirlemek zordur. Öteki işlevsel görüntüleme yöntemleri beyin aktivitesini farklı aktivitelere dayanarak ölçer. Pozitron emisyon tomografisi (PET) taramaları, glikoz metabolizması ya da kan akışı değerlerini beyin dokusundaki metabolik aktivite göstergesi olarak kullanır. Fonksiyonel manyetik rezonans (fMRI) görüntülemeyse beyin dokusundaki aktif bölgeleri, o bölgelerdeki kan artışına bağlı olarak tanımlar. Korteksi işlevsel olarak haritalandırmak mümkün olsa da yapılan işlevsel beyin taramaları, beyin bölgeleri arasındaki sınırların kesin olmadığını ve tek bir işlevin korteksin birden fazla bölgesini kullandığını ortaya koymuştur. O halde asıl önemli olan, bu alanlar arasındaki bağlantılardır.

Jeff Lichtman'ın nöronları, aksonları, dendritleri ve sinapsları teker teker incelendiği nöroanatomi çalışmasıyla fonksiyonel görüntülemeden kabaca elde edilen görüntüler arasında hâlâ çok büyük bir boşluk vardır. Yine de ilerleyen zamanlarda bu iki araştırma sahasının birbirine yaklaşması ve beynin işlevsel anatomisine ilişkin yüksek çözünürlüklü, ayrıntılı bir bilgi edinebilmemiz için umudumuz olmalı.

Fonksiyonel MRI taraması yaptırdığım birkaç durumda kendi beyin aktivitemin görüntüsünü izlemeye hayran kalmıştım. Birkaç yıl önceki ilk taramada, parmaklarımı oynattığımda ellerimdeki kaslarımı kontrol eden motor korteks bölgeleri görmek ilgimi çekmişti. Aslında bunun olmasını zaten bekliyordum, sonuçta motor korteksin nerede olduğunu biliyordum. Oysa 2011 yılında girdiğim ikinci tarama çok daha şaşırtıcıydı. Beyinle ilgili henüz yeni keşfedilmiş bir şeyi öğrenmek üzereydim: Bu sır, 1990'lı yıllarda tıp fakültesinde gördüğüm ilk nöroanatomi dersinde kesinlikle öğrenmediğim bir şeydi.

AYNA NÖRONLAR

Bundan dokuz yıl önce soğuk bir Ocak sabahı, içimde giderek artan bir endişeyle Londra'dan trene binip Birkbeck Üniversitesi'ne vardım. Taramaya girmemim klinik bir sebebi yoktu ama üzerinizde böyle testler yapıldığında beklenmedik, hatta kötü bir şeylerin ortaya çıkacağı endişesi hep ortaya çıkar. Mantıken eğer bir şeyler ters gidiyorsa bunları bilmeyi tercih etmeme ve bir hastalığım varsa onu böyle öğrenme ihtimalimin düşük olduğunu bilmeme rağmen insanın sinirlerini bozuyor.

Eskiden tıp doktoru olup sonrasında televizyon sunuculuğuyla devam eden arkadaşım Michael Mosley'e rastladığımda tam üniversiteden içeri girmek üzereydim. O da klinik bir sebepten değil de belgesel çekimi için beyninde geçici hasar oluşturacak cerrahi bir operasyondan geçmek üzereydi: Konuşamaması için Broca alanı devre dışı bırakılacaktı. (Zamanında bir yapımcı bana bunu yapmayı düşünüp düşünmediğimi sordu ve ben de hayır dedim. Televizyon dünyasındaki bilim programları adına insanın kendisini maruz bırakacağı gereksiz ve tehlikeli bir olay gibi görünmesinin yanı sıra bu operasyonun etkileri konusunda endişelenmeden duramadım. Riskin çok az olduğunu biliyorum ama ya operasyondan sonra bir daha düzelemezsem?). Michael'a benden çok daha cesur olduğunu söyledim. Onu o gün tekrar görmedim ama

birkaç ay sonra tekrar karşılaştık, neyse ki iletişim becerilerini tamamen geri kazanmışa benziyordu.

Binaya girdikten sonra bodrum katına indim, Doktor Geoff Bird koridorun en sonundaki MR odasında beni bekliyordu. Geoff'un araştırması temel olarak insanları nasıl taklit ettiğimizi fMRI yardımıyla inceliyordu ama dikkat, duygu ve empati gibi daha bulanık gözüken bilişsel işlevlerin beyinde nerede gerçekleştiğine de bakıyordu.

İçinde hiçbir metal parça bulunmayan kıyafetler giydim ve tüm aksesuarlarımı çıkardım, artık son derece güçlü bir mıknatısın içine konmaya hazırdım. Geoff deney için gerekli prosedürlere göz atarken beni tarama cihazının içine sokacak raf benzeri bir yatağın kenarına oturdum. Ardından kulak tıkaçlarını taktım (MR cihazları çok yüksek sesler çıkartıyor) ve yatağa uzandım. Geoff, tarama sürecinin ayrılmaz bir parçası olan ve radyofrekans bobini içeren maske gibi bir aparatı başıma yerleştirdi. Deney protokolünde taramalar arasında dinlenme süreleri vardı, böylelikle radyofrekans dalgalarının başıma nüfuz ederken başım fazla ısınmayacaktı. Artık gerçekten de dönüşü olmayan bir yola girmiştim ve Geoff ağır kapıyı kapatarak odayı terk etmişti. Yine de diyafon aracılığıyla kontrol odasındaki Geoff ve film ekibiyle hâlâ iletişim kurabiliyordum.

Artık görüntüleme odasında tek başıma kaldığıma göre makine çalışmaya başladı, yattığım yer yukarı kalktı ve başım tamamen içeriye girene kadar beni donut biçimdeki devasa görüntüleme cihazına soktu. Başımdaki aparatın ortasında ufak ve belirli bir açıyla konulmuş aynayla dışarıyı görebiliyordum, kontrol odasındaki karanlık figürleri neredeyse seçebiliyordum. Ayrıca Geoff cihazın tam girişine ışık geçirmeyen bir ekran asmıştı, bu ekrana bana verilen yönergeler yansıtılıyordu. Deneye başladık ve ekranda bir dizi kelime belirmeye başladı: "İşaret et", "Yumruk yap", "Esnet" ve "Baş parmak" gibi, bunlardan her biri sağ elimde bana söyleneni yapıp her bir hareketten sonra da elimi rahatlatıp dinlendirmeme teşvik ediyordu. ("İşaret et" ve "Yumruk yap" yönergelerini anlatmama gerek yok. "Esnet" tüm parmakları dışarı doğru açmaya ve "Baş parmak" da "tamam, çok iyi" işareti yapar gibi sadece baş parmağını yukarı kaldırma anlamına geliyordu). Ekranda ha bire

kelimeler çıkıp duruyordu ve ben zar zor ayak uydurabiliyordum. Bazen bir sonraki kelimenin ne olduğunu anlamaya çalışıyordum ama rezil bir biçimde yanlış tahmin edip baş parmağımı kaldırmak yerine işaret ediyordum ya da yumruk yapmak yerine tüm parmaklarımı açıyordum. Dikkatimi çok iyi vermem gerektiğini fark etsem de yine de hata yapıyordum ve cihazın içine kendime küfrediyordum. O sırada deneyi mahvetmemiş olmayı diledim. Her bir yönerge serisinin ve el hareketlerinin ardından aynı hareketleri yapan farklı ellerin kısa ve pek de eğlenceli olmayan videoları çıkıyordu. Yapmam gereken sadece kıpırdamamak ve izlemekti. Birkaç tur sonra bunları bile yapmakta çok zorlandım, sıkıldığım için zihnim bana daha eğlenceli gelen şeylere kayıyordu, örneğin öğle yemeği gibi. Ara sırada ne yaptığımı fark edip dikkatimi deneye yönlendiriyordum.

Bir süre sonra Geoff bana tarama sonuçlarımın görselleştirilmiş halini gösterdi, gri bir beyin görüntüsünde aktif olan beyin bölgelerim kırmızıyla vurgulanıyordu. Sonuçlar dikkat çekiciydi: Frontal bölgelerde, hareketin planlamasında görev alan "prefrontal kortekste" elimi oynattığımda aktif olan bölgeler vardı ama daha da önemlisi, aynı bölgelerin başka insanların el hareketleri yaptığı videoyu izlediğimde yeniden aktif olmasıydı.

Öyleyse kendi beynimde sadece belli başlı hareketleri yaparken değil, aynı hareketleri başkasının yaptığını izlerken de iletim yapan nöronların kanıtı vardı. Bu nöronların aynısı sizlerde de var. Herkeste var. Bunlara "ayna nöronlar" denir ve varlıkları bilişsel sinirbilimi daha karmaşık ve heyecan verici bir hale getirir. Aslında bir ayna nöronun çalışması için birinin bir şey yaptığını görmeniz bile gerekmez, belli bir eylemin sesini duyarak bile iletim yapabilirler. Bu maymunlarda kabuklu yemiş kırarken ve insanlarda konuşma dinlerken gösterilmiştir. Ayrıca bu nöronlar çok zekidir; sadece basit eylemler tarafından değil, ortak bir hedefe yönelik eylemlerle de aktif olabilirler. Görünüşe göre ayna nöronlar, belli bir hareketin niyetini anlamamıza da yardımcı oluyor.

Sadece birini izleyerek ya da taklit ederek öğrendiklerinizi bir düşünün. Bu olaylar aklınıza gelenlerden çok daha fazladır ve hatırlayabildiğinizden çok daha önce gerçekleşmiştir. İnsanlar birbirlerini taklit etmekte alışılmadık bir biçimde yeteneklidir,

dolayısıyla başkalarını taklit etme ve onlardan öğrenme yeteneğimizin temelini oluşturan ayna nöronlar bizler için inanılmaz önemlidir (ama sadece bize özgü değillerdir).

Sinirbilimci Vilayanur S. Ramachandran, ayna nöronların bizlere doğuştan gelen bir taklit becerisi sağladığını, böylece yeni doğan bir bebeğin dilini çıkartarak annesini taklit edebildiğini ileri sürmüştür. Bu örnek dikkatimi çekmişti: İki bebeğim de henüz küçücükken onlara dil çıkartmıştım ve beni taklit edebilme becerilerine hayran kalmıştım. Bunun ne demek olduğunu bir düşünün. Bir bebeğin kendi dilini çıkarma becerisini taklit edebilmek için aynanın karşısında pratik yapmasına gerek yoktur (zaten aynaya baktığında gördüğü kişinin kendi olduğunu anlayamaz). Görünüşe göre bebeklerin beyni, başkalarıyla kendi yüzü arasındaki bağlantıyı kurmaya hazırdır.

Ayna nöronlar, çeşitli hareketler yapan ya da belirli kelimeler söyleyen başka insanları izlediğimizde ya da dinlediğimizde iletim yapıyor. Öte yandan işlevleri bunlarla sınırlı değil gibi gözüküyor. Birinin kırıldığını ya da üzüldüğünü gördüğümüzde empati kuruyoruz: Yaşadıkları acıyı düşünsel bir biçimde anlamıyoruz, *hissediyoruz*. Ramachandran ayna nöronlara "Gandi nöronları" adını vermiştir: Bu hücreler, kendimizle başkaları arasındaki sınırları bulanıklaştırır. İnsanlarda başkalarının yaptıklarını ve düşündüklerini çözme ("zihin okuma") gibi olağanüstü bir beceri vardır, bu da ayna nöronlarla ilişkili olabilir. Görünen o ki bu özel nöronlar; empati kurma, işbirliği yapma ve de birbirini kandırma becerisine sahip sosyal türler olarak nasıl yaşadığımızı anlamada kritik bir öneme sahip olabilir. Ramachandran ayna nöronların insanın evriminde çok önemli olduğunu ve daha genel anlamda dil gelişimine, kültürün serpilmesine ve uygarlığın doğmasına olanak sağladığını da öne sürmüştür.

Geoff'a ayna nöronlar hakkında sorular sordum. O sıralarda hem ayna nöronlarla empati arasındaki bağlantı hem de otizminin ayna nöronların çalışmamasıyla ilişkili olabileceğini söyleyen tartışmalı bir düşünce üzerine yaptığı araştırmaların ortasındaydı. Otizmle ayna nöronların ilişkisi kulağa mantıklı geliyordu ama Geoff, bu bağlantıyı gösteren ikna edici bir kanıtın varlığına ikna olmamıştı. Daha önce yapılan çalışmaların hepsi tutarsız sonuçlar ortaya koymuştu. Ayrıca ayna nöronların ve işlevlerinin beynimizin

doğuştan gelen bir özelliği olup olmadığı konusunda şüpheliydi. Bu işlevlerin beyin tarafından öğrenilen işlevler olduğunu düşünüyordu, örneğin başkalarını taklit edince alınan olumlu geribildirim bu nöronların gelişimini teşvik ediyor olabilirdi. Acaba bana gülümsediğini görüp ona gülümsediğimde bebeğimi beni taklit etmeye teşvik mi ediyordum?

Ayna nöronlar öteki kuyruksuz maymunlarda ve maymunlarda da bulunduğu için insana özgü sayılmaz. Öyleyse bu nöronlar nerden gelmiştir? Ayna nöronlar doğal seçilim tarafından tercih edilen bir uyarlanım olabilir; bu görüşe göre doğuştan gelirler. Dolayısıyla ayna nöronları olan ve bu sayede başkalarının eylemlerini anlamlandırabilen her canlı (ister maymun ister insan olsun) evrimsel bir avantaja sahiptir. Peki bu nöronlar ya öğrenmenin sonucu olarak meydana geliyorlarsa? Kişi bir hareketleri izlerken ve yaparken "benim hareketim" ve "başkasının hareketi" arasında bağlantılar kurar; öyleyse ayna nöronların öğrenmeyle biçimlenmesi de kesinlikle olasıdır. Bu senaryoda motor nöronlar; öğrenme aracılığıyla bir hareketin nasıl yapıldığını, başkasının aynı hareketi yapmasıyla eşleştirebilen ayna nöronlara dönüşür. Doğal seçilim, ayna nöronları seçmekten ziyade bu tip bir öğrenmeyi tercih etmiş de olabilir. Maymunların ayna nöron sisteminin çalışma biçiminde insanlara kıyasla hafif farklılıklar vardır. Bu farklılıklar, her bir ayna nöron sisteminin doğuştan var olmaktansa bağlamsal öğrenmeyle ortaya çıktığı düşündüğümüzde daha kolay açıklanır.

Peki bebeklerin dil çıkarmasına ne demeli? Bu ayna nöronların kesinlikle doğuştan geldiğini göstermiyor mu? Yeni doğan bebeklerin kendi yaptıkları ve başkalarının yaptıkları arasında bağlantı kurabilecek deneyimleri yoktur. Dil çıkarma, yeni doğan bebeklerin yetişkin yüz ifadelerini taklit ediyormuş gibi göründüğü tek olaydır. Bazı bilim adamları bunun aslında taklit bile olmadığını, sadece sıradan bir uyarana karşı verilen rastgele bir yanıt olduğunu ileri sürmüştür. Görünen o ki yeni doğan beyinlerinde ayna nöronları var olduğunu gösteren kanıtlar hâlâ yeterli olmuyor. Belki de bebeğim çeşitli şeylere yanıt olarak dilini çıkartıp duruyordu ama ben kendi dilimi çıkartıp ondan aynı yanıtı alana kadar bunu yaptığını fark etmemiştim.

Deneyimin ayna nöron sistemini değiştirdiğini gösteren kanıtlar da vardır. Hiç piyano çalmayan kişilere kıyasla piyanistler, piyano çalan öteki insanları izlerken daha fazla beyin aktivasyon gösterir. Bale izlerken, öteki dansçılara kıyasla bale dansçılarında daha fazla beyin aktivasyonu gerçekleşir. Tüm bu gözlemler, ayna nöronların öğrenmeyle geliştiğini, izleyerek ve yaparak elde edilen geçmiş deneyimlere dayandığını olası kılıyor.

O halde ayna nöronların bebeğimin dil çıkarmasıyla hiçbir ilgisi olmasa bile bebeğim kendi ayna nöron sistemini geliştirmek için çalışıyor olabilir. Şu anda zamanının büyük bir kısmını kendi ellerine bakarak, parmaklarını oynatarak ve onları dikkatlice izleyerek geçiriyor. Bebeğimin yaptığı bu hareketler, görmeyle kas hareketini ilişkilendirerek el hareketlerimiz üzerinde oldukça hassas bir kontrol sistemi geliştirmemiz için ortaya çıkan bir eğilim olabilir. Belki de bebeklerin doğumdan sonraki çaresizliklerinin yan etkileridir. İnsanın el becerisi alet yapabilmek, teknoloji geliştirmek açısından çok önemlidir. Ayna nöronlar ve başka insanların hareketlerini izleyerek onları kendi hareketlerimizle ilişkilendirebilmemiz, bizler görmeyle hareketi bir arada koordine etmeyi öğrenirken ortaya çıkan yan ürünler olabilir.

Öyleyse ayna nöronların, yaptığımız hareketlerle başkaları tarafından yapılanları ilişkilendirmeyi öğrenmemizle ortaya çıkma olasılığı daha yüksektir. Ne var ki bu nöronlar sadece insanlara özgü değildir; dolayısıyla her ne kadar büyüleyici olsalar da insanın eşsiz oluşunu açıklamazlar. Ayna nöronlar, sosyal etkileşim (ve de temel eylemleri yorumlama) açısından da çok önemli olmalarına rağmen son derece sosyal olan doğamızın nedeni değil, ürünü olabilirler.

Ayna nöronlar yine de ilgi çekicidir, çünkü sinirbilimcilerin bulmayı bekledikleri örüntüye uymamaktadırlar. Belki de korteks parçalarını basitçe "duyu" ya da "motor" olarak etiketlemeye çalışarak toyluk ediyoruz. Belli ki ayna nöronlar böyle kalıplara sokulmak istemiyor; hatta bize öğrettikleri en önemli şey, konu beyin olduğunda daha az geri kafalılık etmek.

Beynimizin öteki primatlardan ne farkı olduğunu saptamak alengirli bir iştir. Yaşayan en yakın primat kuzenlerimizden bile daha büyük, devasa beyinlere sahibiz ama asıl sorun, bu fazladan beyin dokusunun tam olarak ne yaptığını çözmeye çalıştığımızda

ortaya çıkıyor. İşte ayna nöronlar hakkındaki tartışmalar da bu yüzden çok sinir bozucu olmuştur. Bir anlığına gerçekten insan beynine özgü bir şeye, insan olmanın temelini oluşturan ve tür olarak elde ettiğimiz başarıyı açıklayabilen bir şeye denk gelmiş gibiydik. Oysa ayna nöronlara sahip olmak, insanlara özgü bir özellik bile değildir.

KOCAMAN İNSAN BEYİNLERİ

Maymunlar da dahil olmak üzere öteki çoğu memeliye kıyasla şempanzeler gibi kuyruksuz maymunların da büyük beyinleri vardır. Oysa şempanze beyinleri, insan beyinlerinin bir bölümü kadardır. Bu tip kıyaslamalar yaparken vücut ölçüsünü dikkate almak çok önemlidir. İspermeçet balinasının sekiz kiloluk bir beyni vardır, bu da insan beyninin yaklaşık altı katıdır; ne var ki o dev beyin, balinanın vücut kütlesini hesaba kattığınızda kulağa çok da büyükmüş gibi gelmez. Hem insanlarda vücut kütlesi yaklaşık yetmiş kilogramken balinanınki yirmi ton civarındadır. Dolayısıyla ispermeçet balinasının beyni vücut kütlesinin yüzde 0,04'ünü oluştururken insanda bu oran yüzde ikidir.

Peki tüm bunlar ne anlama geliyor? Büyük hayvanlar, daha küçük hayvanların büyütülmüş halleri değildir. Fizik ve fizyoloji kanunları, vücut orantısının farklı vücut ölçülerinde değişmesi gerektiğini söyler (doğal seçilimin vücut bölümlerimizi değiştirmediği durumlarda bile). Hayvanın vücut ölçüsü ne olursa olsun, beyinlerin her zaman vücut kütle yüzdesini temsil etmesini beklememeliyiz. Beyin boyutunu incelemek için "Ensefalizasyon Katsayısı" ya da EK'yi kullanmanın daha iyi bir alternatif olduğu öne sürülmüştür. Çoğu memelide beyin kütlesinin vücut kütlesine oranı yaklaşık 0,75 katsayısını verir. Bu ölçeklendirme ilişkisine göre, bir memelinin beyni beklediğiniz büyüklükteyse EK katsayısı bir olur. Şempanzelerde EK katsayısı iki civarındadır: Beyinleri, onlarla aynı vücut kütlesine sahip bir memelide olması beklenen boyuttan iki kat daha fazladır. Öte yandan insanlardaki

EK katsayısı beşten fazladır (yani vücut ölçümüze göre olması gereken beyin büyüklüğünden beş kat daha büyük bir beynimiz vardır). İnsanın evrimi boyunca vücut kütlesi giderek artmıştır: Yaklaşık üç milyon yıl önce var olan *Australopithecus afarensis* türü bir canlının ortalama vücut kütlesi sadece kırk kilogram kadardı; bu da sizin neredeyse yarınız kadardır. Elbette vücut kütlesinin artmasıyla beynin biraz daha büyümesini beklersiniz ama insanın evrimi boyunca beyin orantısız bir biçimde büyümüştür. Bu nedenle öteki kuyruksuz maymunlara kıyasla çok daha büyük bir EK'niz vardır.

İnsan beyinleri, büyüklük bakımından şaşırtıcı bir biçimde çeşitlilik gösterir. Bazılarımızın beyin hacmi yaklaşık bir litreyken başkalarının beyin hacmi 1,7 litreye kadar çıkabilir (bu çeşitlilik, büyük oranda vücut ölçüsüyle ilişkilidir). Ortalama bir insan beyninin hacmi de 1,4 litre kadardır.

Artık kendi beynimin ne kadar büyük olduğunu biliyor olmam gerek, sonuçta çok gerçekçi bir üç boyutlu kopyasına sahibim. Görünüşe göre beynin hacmim (mutfağımdaki ölçü kabıma göre) tamı *tamına* 1,4 litre ediyor. Bu insanlar için oldukça ortalama bir hacim olsa da öteki memelilerle kıyaslandığında etkileyicidir.

İnsan beynine kıyasla şempanze beyinlerinin ortalaması 380 mililitreden daha azdır, yani yeni doğan bir insan yavrusundan azıcık daha fazladır. Benim ortalama insan beynim, bundan üç buçuk kat daha büyüktür ve kortikal gri maddemde bir şempanzenin serebral korteksinde sahip olabileceğinden yaklaşık iki katı daha fazla nöron vardır.

İnsan beyinleri yaşayan en yakın akrabalarımızın beyinlerinden hem daha büyüktür hem de insan evrimi boyunca (özellikle de serebral korteks) yeniden düzenlenmiştir. Bu yeniden düzenleme, beyin yarım kürelerinin farklı boyutlarda olmasından anlaşılabilir. İnsan beyni bir noktaya kadar şempanze beyninin büyütülmüş bir hali gibi gözükse de bazı beyin bölgeleri orantısız halde daha büyük, öbür bölgelerse daha küçüktür. İnsanlarda görmeyle ilişkilendirilen oksipital korteks, öteki kısımlara oranla daha küçüktür. Bir şempanze beynindeki birincil görme korteksi tüm korteksin yüzde beşinden fazlasını oluştururken insanlarda bu oran yüzde 2,3'tür. Beyincik de benzer bir farklılık gösterir: Tüm beyin boyutuna oranı, öbür kuyruksuz maymunlardakine kıyasla

insanlarda yüzde yirmi daha küçüktür. Öte yandan parietal loblar, temporal loblar ve frontal lobun prefrontal korteksi insanlarda daha büyük orandadır. Bu farklılıkların işlev açısından tam olarak ne anlama geldiğini bilmek güç olsa da görünüşe göre doğal seçilim hem beyin boyutunun genelini hem de beyindeki "modüllerin" boyutunu etkilemiştir.

Beyin bölgelerimizden daha büyük olanların, doğal seçilim aracılığıyla insan evrimi boyunca giderek büyüdüğünü (dikkatlice) varsayabiliriz. Biraz daha büyük prefrontal bölgelere ve temporal loblara sahip atalarımızın az da olsa üstünlüğü olmalıydı, böylece zaman içinde bu bölgeler orantısız bir biçimde büyümüştür. Peki nasıl bir üstünlükten bahsediyoruz? Bu soruyu yanıtlamak için bu daha büyük olan bölgelerin işlevlerine bakmamız gerekir. Bu noktada bir uyarı şart: Beyin işlevi araştırmalarına göre belli görevler genellikle birden çok beyin bölgesini kapsar, kişiden kişiye farklılıklar da söz konusudur. Yine de öteki kuyruksuz maymunlarla kıyasla insanlarda yüzde yirmi beş daha büyük olan temporal lobun, bellek ve dille ilgili olduğunu biliyoruz. Temporal lobun bu gelişimi, evrimsel geçmişimizin çok daha sonrasında başlamış gözüküyor; bunu fosilleşmiş kafataslarından biliyoruz. Temporal lob, kafatası tabanındaki orta baş çukuru üzerinde ve temporal kemiğin petröz çıkıntısının tepesinde bulunur. Neandertaller ve (muhtemelen hem bizden hem de Neandertallerden çok daha eski olan) *Homo heidelbergensis* gibi çok eski türlerle karşılaştırıldığında, *Homo sapiens*'in orta baş çukuru beş kat daha büyüktür. Ne yazık ki bu farklılıkların bahsedilen türler arasındaki dil becerileri açısından ne anlama geldiğini bilmek olanaksızdır.

Prefrontal korteks; dil, mantık, planlama ve sosyal davranış gibi "üst" bilişsel yetilerden sorumludur (zavallı Phineas Gage'in demir çubukla yaşadığı olaydan sonra kaybettiği işlevler bunlardı). Soyut fikirler hakkında düşünme ve bunları sözlü ya da yazılı kelimelerle ifade etme, birlikte kültür yaratma eğilimi ve karmaşık sosyal ağlarımızı kapsayan "modern insan davranışı" olarak gördüğümüz çoğu şey, büyük bir prefrontal korteksin fiziksel göstergesi olabilir.

Biz insanların keyif aldığı karmaşık sosyal etkileşim türü, görünüşe göre insan psikolojisinin temel taşı olarak kabul edilen

"zihin teorisi" adındaki bir yeteneğe bağlıdır. Zihin teorisi, zihinsel durumları kendinize ve başkalarına atfedebilme, başkalarının inançları ve hedeflerinin sizinkilerden farklı olduğunu anlayabilme yetisidir. Başka insanların davranışlarıyla zihinsel durumlarının ilişkili olduğunu anlayabilirsiniz. Onların nasıl düşünüp neler hissettiğini anlayabildiğiniz için belli durumlarda ne tepkiler vereceklerini tahmin edebilirsiniz. Bu yeteneğiniz bebeklik döneminde gelişir. Bebekler başkalarının dikkatlerini nereye verdiklerini fark etmeye başlar, örneğin yaklaşık yedi ila dokuz aylıkken annenin ya da babalarının baktığı yöne bakabilirler. İki ila üç yaşına geldiklerindeyse, öteki insanların davranışlarının bir hedefe yönelik olduğunu anlar.

Rekabetçi ve işbirlikçi şempanzeler de son derece sosyal hayvanlardır, dolayısıyla böyle bir hayvan için başkalarına zihinsel durum atfetmenin çok yararlı olacağını düşünmüş olabilirsiniz. Acaba şempanzelerde zihin teorisinden bahsedilebilir mi?

Bu konudaki bilimsel çalışmalar çelişkili sonuçlar ortaya koymuştur. 1966 yılında yapılan bir çalışmada şempanzelerin, elinde yemek kovası olan olmayan bütün insanlardan yemek dilendiği görüldü. Çalışmanın sonucunda şempanzelerin içlerinde bulundukları durumlarla ötekilerinin bulunduğu durumların farklı olabileceğine ilişkin herhangi bir farkındalığı olmadığı ileri sürüldü. Bunun gibi başka çalışmalar da şempanzelerin sadece "yüzeysel davranışları" anladığını iddia ediyordu. Şempanzeler başkalarının nasıl bir davranış sergileyeceğine ilişkin tahminlerde bulunabiliyordu ama bu tahminler, sadece daha önceki davranışların deneyimlerine dayanıyordu; dolayısıyla başkasının ne düşündüğünü hayal etmeye ve ona göre tahmin yürütmeye bağlı bir zihinsel sıçramayı kapsamıyordu.

Araştırmacılar, şempanzelerin bir davranışın hedefe yönelik olup olmadığını anlamak için deneyler tasarladılar; hedefe yönelik davranış, eylemi gerçekleştiren öznenin aklındaki belli bir hedefe olması demekti. Şempanzeler, belli bir eylem sayesinde bir hedefe ulaşılabileceğini anlayabilir ama bunu anlamaları, öznenin bu hedefe ulaşmayı *amaçladığını* anladıklarını göstermez. Oysa bir şempanzenin özne başarısız olduğunda (ya da bir sorun yaşadığında) bile hedefin ne olduğunu anlayabiliyorsa bu daha derin süreçlere işaret eder. Bir şempanze, öznenin belli bir

sonuca ulaşmadaki başarısız girişimini taklit etmek yerine gerçek hedefi anlaması ve bu hedefe ulaşmayı başarmak için bir şeyler yapması, şempanzenin öznenin zihinsel durumunu yorumladığını güçlü bir biçimde ortaya koyar. Hem çocukları hem de şempanzeleri inceleyen Michael Tomasello, kanıtların artık şempanzelerde de zihin teorisi olduğunu gösteren yönde ağır bastığına inanıyor. Şempanzelerin hedefe yönelik davranışları nasıl değerlendirdiğini ölçmeye çalışan deneylerin sonuçlarına benzer sonuçlar elde etmek için uygulanması gereken davranışsal ve bağlamsal kuralların sayısı, bu hayvanların sadece "yüzeysel davranışları" anlama olasılığının çok düşük olduğunu gösteriyor.

Şempanzelerde de zihin teorisi olduğunun bir başka göstergesi de başkalarının dikkat yönelimlerinin farkında olmalarıdır. Gözlerinizin baktığı yönü takip edebilirler (aslında baktığınız yönden çok başınızı çevirdiğiniz yönü takip ederler ama bu ikinci bahsettiğim olay, gözümüzdeki beyaz kısmın gözlerin nereye baktığını kolaylaştırdığı göz anatomimiz sayesinde insana özgü bir şey olabilir). Tıpkı bebeklerin yaptığı gibi, başka birinin dikkatini verdiği nesneyi gözleriyle ararlar. Şempanzelerin yemek için rekabet ettiği çalışmalarda, zihin teorisine sahip olmadıkları durumda açıklanması çok zor olan davranışlar sergilerler. Örneğin görüş ya da işitme mesafelerinde başka şempanzeler varsa, gizli bir yemek kaynağına çaktırmadan gitmeye çalışırlar.

Son yıllarda yürütülen ayrıntılı çalışmaların zenginliği tek bir mantıklı sonuca işaret eder: Şempanzelerde de bizimkine benzer bir zihin teorisi vardır. Michael Tomasello'nun da dediği gibi şempanzeler, "başkalarının gördüklerini, duyduklarını ve bildiklerini anlarlar." Tüm bunlara rağmen sosyal etkileşimden sorumlu olduğu düşünülen beyin bölgelerimiz, şempanzelerinkinden çok daha büyüktür.

Geçmişteki homininlerin kafatası fosillerine bakarak insan beyninin nasıl büyüdüğünü ve bir noktaya kadar da farklı bölgelerindeki genişlemeyi takip edebiliriz. Çok eski atalarımızın beyinleri aşağı yukarı şempanze beyinleri boyutundaydı. *Sahelanthropus tchadensis* (arkadaşları ona "Toumai" der) adlı 6 ila 7 milyon yaşındaki bir hominin beyni, yaklaşık 350 mililitrelik hacme sahipti. *Australopithecus afarensis*'in (bu hominin türü 3 ila 4 milyon yıl önce Afrika'da yaşamıştır ve ünlü "Lucy" fosili de

onlardan biridir) ortalama beyin hacmi yaklaşık 440 mililitreydi ve 2,5 olan beyin kitle indeksi bugün yaşayan kuyruksuz maymunlardan çok da fazla değildi. Yaklaşık 2 milyon yıl önce Afrika ve Asya'da yaşayan türlerden *Homo erectus*'un beyni boyut açısından büyük farklılıklar gösterse de ortalama 910 mililitre hacimdeydi ve ortalama beyin kitle indeksi 3,7'ydi. Beyin boyutundaki asıl etkileyici büyüme, insan evriminde epey sonradan gerçekleşmiştir. Yaklaşık 1 milyon yıl önce *Homo heidelbergensis*, Neandertaller ve biz *Homo sapiens* gibi türlerin ortaya çıkmasıyla ortalama beyin hacminin bir litreden yukarı çıktığını ve beyin kitle indeksinin günümüzdeki gibi dört ila beş seviyelerine ulaştığını görüyoruz.

Şüphesiz beyinlerin büyümesi, içinde bulundukları "beyin kutuları" için zincirleme bir etki yaratmıştır: İnsan kafatasları daha büyük bir beyine ev sahipliği yapabilmek için genişlemek zorunda kalmıştır. Kafatasının üst ve arka kısmı, geri kalanından çok daha fazla yer kaplar. Bu öteki türlerde, hatta onlardan daha büyük beyinlere sahip olan şempanzelerde bile görülmez. Ayrıca kafatası, büyüyen temporal lobu kaplayabilmek için biçim değiştirmek zorunda kalmıştır. Kafatası arka tabanının boynun üzerine doğru açılanması bunun sonuçlarından biri olabilir. Bu açılanma, insan kafataslarının ayırt edici bir özelliğidir ve kafatasının çok büyük bir beyni taşımasına yardımcı olur.

İşte size bu açı değişimini anlatmaya yardımcı olabilecek iki boyutlu örnek: Dış kenarları 180 derecede düz bir çizgi oluşturan, tamamen açılmış bir yelpaze düşünün. Bu yelpazeyi büyütmek için sağ kenarından ekleme yapabilirsiniz; böylelikle yelpaze muhtemelen kırk derece daha açılacaktır. Artık düzgün bir biçimde elinize oturmuyor olabilir ama bu büyük yelpazenin bize gösterdiği şey, kafatasının tabanını esnetmenin nasıl daha fazla beynin sığmasına olanak sağladığıdır. Tabanın esnemesinin bir başka zincirleme etkisi daha vardır; kafatasındaki yüz bölgesinin daha basık olmasına ve kafatası ön kemiğinin altında kalmasına neden olur.

Kafatası biçimimiz üzerinde büyük beyinlerin güçlü bir etkisi olsa da tüm bunlar, kafatasının evrimine yeni eklenen bir dipnottan ibarettir, çünkü bu önemli anatomik kısım, sadece ilk omurgalılardan itibaren vardır. Asıl kadim öykü, kendi kafatasınızın embriyolojik gelişimine işlenmiş olandır.

KAFATASLARI VE DUYULAR

BİR KAFATASI YAPIMI İÇİN GEREKLİ MALZEMELER
VE ETRAFIMIZI SARAN DÜNYAYI DUYUMSAMAK İÇİN
GELİŞEN ORGANLAR

"Ut imago est animi voltus sic indices oculi"
(Yüz ruhun resmi, gözlerse tercümanıdır.)

ÇİÇERO

NÖRAL KREST HÜCRELERİ VE KAFATASININ KÖKENİ

Embriyo gelişiminizin üçüncü haftasındayız; zaman içinde beyninizi ve omuriliğinizi oluşturacak nöral tüpünüz artık oluşmakta. Nöral katlanmalar yukarı doğru yükselip birbirine yaklaşarak nöral tüpü meydana getirirken her katlanmanın tepe noktasındaki hücreler hareketlenmeye başlar; bu hücreler, kaçmaya hazırlanmaktadır. Kıvrımlar iç içe geçip birleştiğinde krest hücreleri demir alıp uzaklara yelken açar, embriyodan geçerek çeşitli varış noktalarına doğru göçerler. Nöral krest hücreleri o kadar önemli bir hücre topluluğudur ki bazen "dördüncü embriyo katmanı" olarak adlandırılırlar: Zaten bildiğimiz ektoderm, mezoderm ve endoderm; bir de nöral krest hücre katmanı. Bu hücreler vücudun her yerine yayılır; adrenal bezleriniz, beyni saran zarlar ve kafatası parçaları (özellikle de yüzünüzü biçimlendiren kemikler) gibi çeşitli dokuları oluştururlar. Bütün omurgalıların (aklınıza gelen tüm balıkların, amfibilerin, sürüngenlerin, kuşların ve memelilerin) embriyolarında bu nöral krest hücreleri vardır. Tıpkı omurga sahibi olmak gibi, kafatasının varlığı da bir omurgalı olmanın temelinde yatar. Nöral krest hücreleriyse bir kafatası gelişiminin olmazsa olmazıdır.

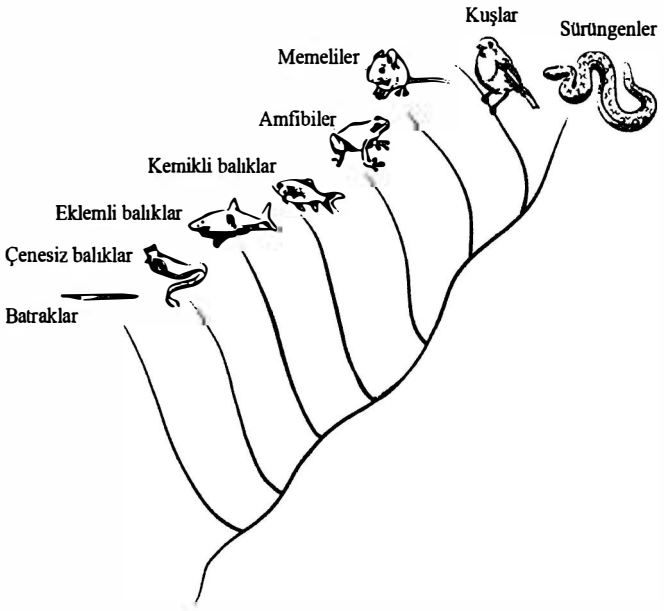
Peki nöral krest hücreleri (dolayısıyla kafatasları da) omurgalılar evrimiyle birdenbire mi ortaya çıktı? Sonuçta ilahi bir yaratılıştan değil, evrimden bahsediyoruz; birkaç gelişimsel biyoloğun da belirttiği gibi "yapılar… dünyanın tozu toprağından aniden ortaya çıkamaz." İşte burada genetik yardımımıza yetişiyor. Ufak batraklar da kordalılar şubesine aittir ama omurgalı değillerdir. Ne nöral krest hücreleri ne de kafatasları vardır, öyleyse her iki yapının da *Haikouella* gibi daha eski omurgalı öncesi canlılarda var olduğuna inanmak için hiçbir neden yoktur. *Haikouella*'nın DNA'sına bakamıyoruz (çoktan ortadan kaybolmuştur) ama yaşa-

yan dengine, batrağın genlerine bakabiliriz. Günümüz batrakları ve *Haikouella* arasında 530 milyon yıl olsa da batraklar gerçekten "yaşayan bir fosil" gibi gözükür. Ayrıca atalarının nöral krest dokusu ve kafatası gibi omurgalı özelliklere sahip olup sonra da bunları yitirmiş olması pek olası değildir. Kambriyen Dönemi omurgalı öncesi canlılarında ve batraklar arasındaki tüm nesillerde nöral krest hücrelerinin ve kafataslarının hiç görülmeme ihtimali çok daha olasıdır. Bu da batrak genomunda hiçbir nöral krest geninin olmaması demektir. Bir omurgalıyı omurgalı yapan genleri bulmak istediğimizde batrakların gerçek değeri, tam da sahip olmadıklarıyla ortaya çıkar.

Hangi genetik değişikliklerinin nöral krest hücrelerini "açtığını" ya da kafatası yapımından sorumlu olduğunu bulmak için en iyi yol, batrağı nispeten daha ilkel bir omurgalıyla karşılaştırmaktır. (Omurgalı evriminin ilerleyen zamanlarında çıkan, örneğin kollar ve bacaklar gibi yeniliklere yol açan genetik değişikliklerle kafamızı karıştırmak istemeyiz). Çenesiz balıklar ya da "çenesizler" (Latincesi *agnatha* gerçekten de "çenesiz" demektir) ilk omurgalılardı ve günümüzde bu sınıfa ait iki grup bulunur: Balık asalağıve taşemenler.

Tarihçi Huntingdonlu Henry'e göre taşemenler, I. Henry'nin son ve ölümcül yemeği olduğu için tuhaf bir şöhrete ulaşmıştır. I. Henry, I. William'ın oğludur ve abisinin bir av kazasında ölmesinin ardından 1100 yılında kral olmuştur. Otuz beş yıl boyunca tahtta kalmış ve 68 yaşında doktorunun emirlerine rağmen "aşırı miktarda taşemen" yemiş, ertesi gün hastalanmış ve bir hafta içinde de ölmüştür. Şimdilerde tuhaf gözükse de Antik Yunan döneminde taşemenler nefis bir yiyecek olarak görülüyordu ve ortaçağ aristokratları tarafından da sevilmeye devam etmişlerdi. Bir keresinde Twitter'dan daha önce taşemen yiyen biri olup olmadığını ve tadının neye benzediğini kibarca sormuştum. Çeşitli yanıtlar gelmişti; "Aynı yılan balığına benziyor", "çamur gibi", "tavuk gibi" ve de "sabuna benziyor". Dolayısıyla gelen cevaplardan hiçbir şey öğrenemedim, hiçbir zaman da öğrenemeyeceğim, çünkü İngiltere'deki nehir taşemenleri artık nesli tükenmekte olan hayvanlar sınıfına girdi. Gerçi görünüşe göre Japonya'da öyle değil. Tarihçi arkadaşım Neil Oliver soruma bir

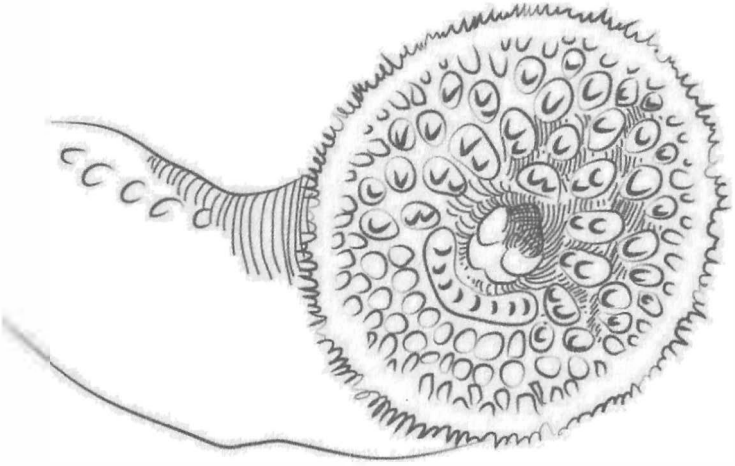
yanıt veren müthiş bir *tweet* atmıştı: "İster inan ister inanma ama şogun Satsuma'nın Kagoshima'daki evinde verilen ziyafetin bir kısmı bunlardan oluşuyordu."



Omurgalıların daha yakından kuzenleri çenesiz balıklar ile (taşemenler de dahil) daha uzaktan kuzenleri batrakları gösteren bir soy ağacı (en alttaki en eski atadır).

Bazı taşemenler nehirlerde, bazılarıysa denizlerde yaşar ve yılanbalığına çok benzerler: Uzun (bir metreye kadar) ve esnektirler, balık pulları da yoktur. Ne var ki yılan balıklarının aksine taşemenlerin çeneleri yoktur. Bir taşemenin ağzı, tıpkı *Yıldız Savaşları: Jedi'nin Dönüşü* filmindeki Sarlacc'ın ağzının minyatür bir versiyonuna benzer. (O kadar benziyor ki bence Sarlacc'ı çizen kişi bir taşemen görmüş ve bu çirkin canavarı tasarlamak için yeterince korkunç olduğunu düşünmüş olmalı.)

Agnatha balıkları çenesiz oldukları için tüketebilecekleri yiyecek sayısı sınırlıdır. Eski çenesiz balıklar ağızlarındaki filtreden süzülenleri yiyordu ama günümüz taşemenleri yemeğe karşı oldukça tiksindirici bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu canlılar kan emici parazitlerdir: Her tarafı keskin dişlerle dolu yuvarlak ağızlarıyla avlarına yapışırlar. (Hak ettikleri bir adla tanınan balık asalakları da oldukça pis ve korkunç yaratıklardır: Vücutları üzerindeki salgı bezlerinden büyük miktarda koruyucu, yapışkan ve sümüksü bir sıvı salgılayarak peşlerindeki yırtıcı hayvanlardan kaçarlar. Ölmekte olan balıkların vücutlarına hücum edip önce iç organlarından başlayarak kendilerine ziyafet çekerler.)



Bir taşemen.

Çenesiz balıkların bazı berbat alışkanlıkları olabilir ama hâlâ omurgalıdırlar; bu da kafatasları olduğu anlamına gelir. En azından erişkin olduklarında kafatasları oluşur. Bir taşemen larvasında kafatası yoktur, hatta neredeyse bir batrağı andırır. Öyleyse bir taşemen larvasında (tıpkı batraklar gibi) solungaç yarıkları, sırtı boyunca uzanan oyuk bir sinir tüpü (notokord), kas segmentleri ve anal açıklığa doğru uzanan bir kuyruk bulunur; yani kordalılarda olmasını beklediğiniz her şey vardır. Dahası, bir taşemen larvası erişkinliğe doğru başkalaştığında omurganın ve kafatasının da bulunduğu bir iç kıkırdak iskeleti geliştirir. İşte bu omurga ve kafatası, bir omurgalı olmanın yapı taşlarıdır.

Batrak ve taşemen genomları karşılaştırıldığında farklılıklar öne çıkar. Bu "iki resim arasındaki farkı bulma" oyunları gibidir. Taşemen genomundaki farklılıklar, basit bir omurgalı öncesi canlıdan omuriliği ve kafatası olan bir canlıya doğru inanılmaz bir dönüşümü mümkün kılmıştır.

Anatomik parçaların birdenbire ortaya çıkmadığı gibi yeni genler de birdenbire var olmaz; *bir şeyden* türemeleri gerekir. Genellikle yeni genler, var olanların kopyası olarak oluşur ve DNA'nın kopyalama hatalarından kaynaklanırlar. Genomlar irdelendikçe omurgalılar soyu boyunca büyük DNA kümelerinin kopyalandığı açığa çıkar. Örneğin memelilerde vücut düzenini belirleyen ve *Hox* genleri olarak bilinen dört DNA kümesi varken batraklarda sadece bir DNA kümesi vardır. Büyük çaplı gen kopyalamaları olmadan önceki zamanlarda tek *Hox* gen kümesine bel bağlayan batraklar, omurgalıların eski atalarından geriye kalan, yaşayan hatıralarıdır.

Genomda bir gen kopyalandığı zaman birkaç şey gerçekleşebilir. Bir gen kopyası, bazen gereğinden fazla üretilip bozunabilir ya da tamamen ortadan kaybolabilir. Öte yandan daha ilginç başka bir olasılık da vardır: Bir gen eski işlevini yerine getirmeye devam ederken bu genin kopyası yeni şeyler denemeye başlayabilir. Şüphesiz genlerin birden fazla işlevi de olabilir; örneğin gelişimin farklı zamanlarında açılıp kapanarak her seferinde farklı görevler yapabilirler. O halde elinizde aynı genin iki kopyası olduğunda ve yapılacak işler bu genler arasında bölüştürüldüğünde üçüncü bir olasılık ortaya çıkar. Her iki kopya da genom için gereklidir, dolayısıyla hiçbiri bozunmayacaktır, ama zamanla yeni işlevler üstlenerek farklı yönlere doğru evrim geçireceklerdir.

Gelişmekte olan bir batrağın nöral tüpü oluşurken, omurgalı embriyolarında bulunan ve nöral krest hücrelerine benzeyen bir hücre grubu göze çarpar; bu hücrelerde de benzer yönde kıvrılmalar gerçekleşir ve benzer genlerden birkaçı aktif hale gelir. Bu "pek de nöral krest hücresi olmayan" hücreler nöral tüpten göçmeye bile başlar ama fazla uzağa gitmezler. Omurgalılardaki gerçek nöral krest hücreleriyle bunlar arasındaki fark, belirli bir gen kopyası dizisine indirgenebilir. Bu genlerden birisine *FOXD3* denir. Batraklarda *FOXD3* geninin sadece bir kopyası bulunurken omurgalılarda dört ya da beş kopyası vardır. Batraklardaki *FOXD*

geni, gelişmekte olan nöral tüpün yanında aktif değildir; taşemenlerde ve öteki omurgalılarda bu genin bir kopyası olan *FOXD3*, nöral katlanmanın tepesinde dişini tırnağına takarak çalışır. Görünüşe göre bu gen, nöral krest hücrelerine neler olduğunu "söyleyen" ve embriyo boyunca göç hareketini başlatan genlerden biridir.

Milyonlarca yıl önce birkaç hevesli gen kopyası, gelişmekte olan embriyoda çeşitli yeni görevler üstelenerek nöral krest hücreleri ve kafatasına sahip omurgalıların evrimine neden olmuştur. Üstelik daha da kısa bir zaman önce, size dönüşecek olan embriyoda da yine aynı genler görev almıştır. Kendi nöral katlanmalarının tepesindeki hücreler, ta en eski omurgalı atalarınızdan kalma bu genetik sinyale yanıt vermiştir. Bu hücrelerin her biri, tıpkı amiplerin psödopodları (Yunancada "yalancı ayak" anlamına gelir) gibi ufak çıkıntılar oluşturup embriyo diskinin orta katmanındaki kalabalık hücre kütlesinden geçerek ilerlemiştir.

Nöral krest hücrelerinden bazıları, sadece kısa bir mesafe giderek omuriliğe yakın bir yerde durup duyu sinirleri düğümlerini (gangliyonları) oluşturur. Öbürleri boyun bölgesine doğru ilerleyip tiroit bezinizin hormon salgılayan hücrelerine dönüşmeyi bekler. Bazıları ağzınızın olacağı yere ulaşıp dişlerinizi oluşturma niyetindedir. Kalpten çıkan önemli atardamarların arasındaki bölmeye yerleşenler de vardır. Bazıları adrenal bezlerinizin çekirdeğine ulaşmıştır, zaman içinde adrenalin hormonunu üretmekten sorumlu olacaklardır. Ötekileriyse kendilerini yağla doldurarak sinir hücrelerinin uzantılarına sarılmıştır, sinir liflerinin etrafında yalıtıcı bir katman oluştururlar. Bazıları doğdukları yerden çok uzağa gitmiş ve cildinize ulaşmıştır, burada pigment üretirler. Son olarak bu hücrelerin büyük bir bölümü, kafatasınızın temellerini atmaya başladıkları baş bölgenize doğru hareket etmiştir. Öyleyse nöral krest hücreleriniz olmasaydı bir yüzünüz de olmayacaktı.

Bugün saygıdeğer herhangi bir embriyoloji ders kitabını elinize aldığınızda, yetişkin vücudunda bulunup yaşama bir nöral krest hücresi olarak başlayan tüm dokuların uzun bir listesini görürsünüz. Oysa tüm bu nöral krest hücrelerinin özgeçmişlerini açığa çıkarmak hem akademik hem de teknik açıdan büyük zorluklarla doluydu.

Hem Harvard Üniversitesi hem de Almanya'daki Freiburg Üniversitesi'nde sürdürdüğü embriyoloji doktorasına dokuz yılını veren Julia Platt adındaki bir kadın, semender embriyosundaki bazı baş kıkırdaklarının nöral krest hücreleri tarafından oluşturulduğunu söyleyen oldukça tartışmalı bir iddiayla 1893 yılında bir makale yayımladı.

O zamanlar bu şok edici bir iddiaydı, çünkü tüm kıkırdak ve kemiklerin embriyonun ortasından, yani mezoderm katmanından geldiği düşünülüyordu. Herkes ektodermin (nöral krest hücrelerinin oluştuğu katmanın) üst deriyi ve nöral yapıları oluşturduğunu biliyordu. Bunun haricinde bir şey ileri sürmek çok anlamsızdı, bu Kaliforniyalı neden söz ediyordu? Embriyoloji alanında yıkıcı eleştirilerden oluşan bir kasırga başladı. Bir embriyolog, Platt'ın örneklerini iyi hazırlamadığını bile söyledi. Ne var ki Platt'ın haklı olduğu eninde sonunda ortaya çıksa da bu haklılık 1898 yılında doktorasını tamamladıktan sonra biten akademik kariyerini kurtarmaya yetmedi.

Çağdaşlarının Julia Platt'ın iddialarına şüpheyle yaklaşma nedenlerinden biri, gelişmekte olan embriyodaki hücreler arasında oldukça zor fark edilen dış görünüş farklılıklarına odaklanmasıydı. Bunlar öylesine ince farklılıklardı ki gerçekten var olduklarından şüphe bile edilebilirdi. Julia Platt, semender embriyosu örneklerini incecik kesitler halinde mikroskop altında inceledi; mezoderm ve endodermde karşılaştırıldığında ektodermden oluşan hücreler arasındaki farkları görebileceğine inanıyordu. Bu yöntem şimdilerde kulağa gerçekten de çok zor geliyor ama öteki embriyologlar tarafından da kullanılıyordu: Ektoderm hücreleri (ve nöral krest hücreleri) mezoderm hücrelerine kıyasla daha küçüktü ve içlerinde kahverengi pigment granülleri vardı. Yine de tüm bu çalışmalar, nöral krest hücrelerinin göç rotasını anlayabilmek için çeşitli yaşlardaki farklı embriyo örneklerini incelemekten ibaretti. Oysa embriyologlar, bir embriyodan ötekine aynı hücrelere baktıklarından nasıl emin olabilirdi ki?

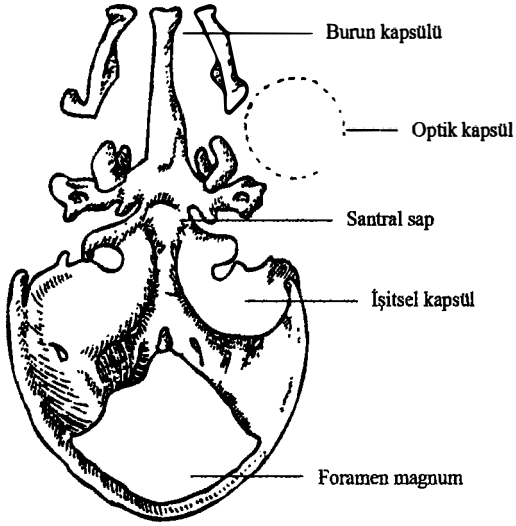
"Hücre kaderi haritası" adlı bir yöntemin geliştirilmesiyle hücreleri takip etmek daha kolay bir hal aldı. Bu yöntem kulağa ulvi bir şeymiş gibi gelse de kristal küreden bakmamızı gerektirmez. Bunun yerine embriyologlar, yaşayan embriyo hücrelerine boya enjekte edip sonra da hücrelerin nasıl farklılaşacağını izler.

Embriyologlar, 1920'li yıllarda göç halindeki hücreleri maviye ya da kırmızıya boyamaktaydı. Ardından 1970'li yılların sonlarına doğru gelindiğinde ellerinde çeşit çeşit floresanlı boya vardı ve 1980'li yıllarda çeşitli floresan boyalarla hücrelerin "kendi kendini boyadığı", genetiği değiştirilmiş embriyolar üretiyorlardı (ki bu, bir süre sonra "Beyinkuşağı" gibi yöntemlerin ortaya çıkmasını sağlayan tekniklerin öncüsüdür). İşte artık nöral krest hücrelerini işaretlemek ve göçlerini takip etmek mümkündü. Embriyologlar, nöral krest hücrelerin kendini ayırıp, baş bölgesine doğru ilerlediklerini ve kafatasının, hem frontal kemiklerini hem de üst ve alt çeneyi kapsayan ön kısmını oluşturmak için gerekli zemini hazırladıklarını gözlemledi. Şimdi tek yapmaları gereken kemiğe dönüşmekti.

BİR KAFATASI YAPMAK

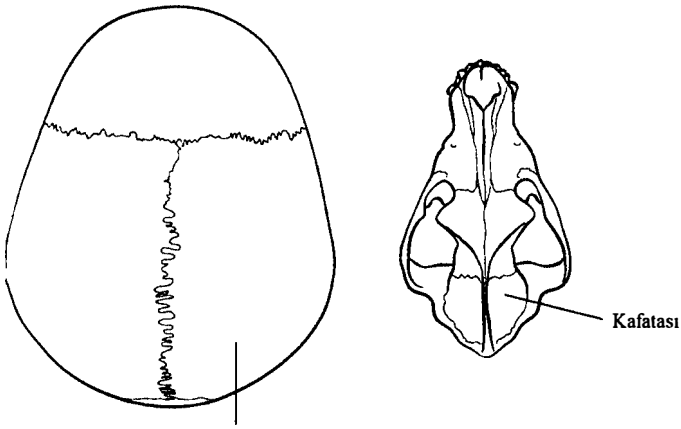
Sizler hâlâ üç katmanlı bir embriyoyken, ortadaki mezoderm katmanındaki hücrelerinizle baş bölgesine göçen nöral krest hücreleriniz bir araya gelip mezenkim adı verilen özel bir embriyo dokusu oluştururlar. Mezenkim hücreleri hâlâ büyüyünce ne olacaklarına karar verememiştir. Hâlâ kararsız, *farklılaşmamış* haldelerdir. Bu hücrelerden büyük bir kısmı, çok yakında kendilerini kemik, kıkırdak, kas ya da kan hücresi olmaya adayacaktır. Ne var ki birkaçı farklılaşmayarak kök hücre olarak kalmaya devam edecek; yenileme hücreleri kaynağı olarak kemik iliğinizde, yağ dokunuzda, yani şu anki erişkin vücudunuzda bulunabilecektir. Rejeneratif tıp adı verilen alan, bu mezenkim kök hücrelerinin vücuttaki bir hasarı tamir edebilme potansiyeline dayanmaktadır.

Kemiği oluşturacak pek çok hücre için ilk adım, mezenkimi kıkırdağa dönüştürmektir. Kafatası tabanının oluşacağı bölgede mezenkim, birleşmeden ve kemiğe dönüşmeden önce kıkırdak adacıkları oluşturur. Önce bir kıkırdak "modeli" belirleyip kemiği dönüşme biçimi, embriyonun en bilinen kemikleşme yöntemlerinden biridir: Omurga, kaburgalar, göğüs kemiği ve köprücük kemikleri hariç kollardaki ve bacaklardaki tüm kemikler bu yöntemle kemikleşirler.



İnsan embriyosunun kıkırdak halindeki kafatası tabanı (kondrokranyum).

Darwin'in *Türlerin Kökeni*'nde "embriyo benzerliği yasası" olarak adlandırdığı durumun başka bir örneğini de gelişmekte olan kafatasında görüyoruz. Yetişkin vücudumuzdaki kafatasları-mız, öbür memelilerdekine kıyasla oldukça farklı gözüküyor. Öte yandan insan embriyosunun kafatası tabanını oluşturan kıkırdak modeli ile öbür memelilerin gelişmekte olan kafataslarını karşı-laştırdığınızda ortaya çıkan benzerlikler çok çarpıcıdır. Kafatası tabanı; burun boşluklarını, gözleri ve kulakları içeren üç çift hava dolu kapsülden oluşur. Öteki memelilerin çoğunda bu kısımlar, erişkin kafataslarında bile rahatlıkla seçilebilir (özellikle de burun kemiğindeki burun kapsülleri öne doğru bir çıkıntı oluşturur); kafatasları küçük ve düzgündür, kulak mekanizmalarını içeren işitsel kapsüllerin üstünde konumlandırılmıştır. Oysa bizim kafa-taslarımız öylesine büyüktür ki yetişkin kafatasına tepeden bakt-ığınızda ondan başka bir şey göremezsiniz. Gözlerimiz kafatasının ön kısmında içeriye tıkılmıştır. Burnumuz çok kısadır, hiç de bir hayvanın burun çıkıntısına benzemez; burun boşluğumuzun tamamı da kafatasının altında saklanmış bir haldedir.

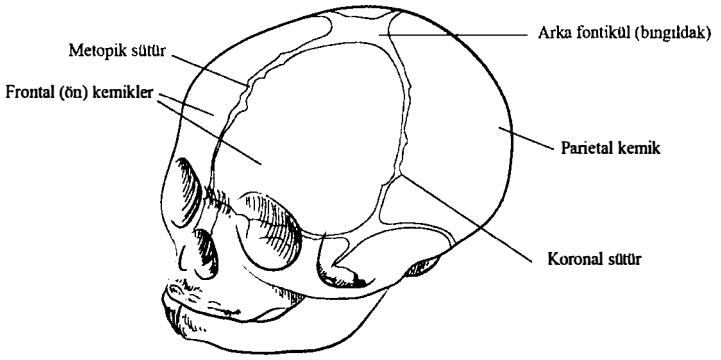


Bir insan kafatasıyla bir köpek kafatasının tepeden görünümü.

Vücudunuzdaki kemiklerin büyük bir kısmı kafatası tabanınızla aynı biçimde gelişmiştir; ilk olarak mezenkim katmanı ufak kıkırdak modelleri oluşturmuş, ardından bunlar sert kemik yapıya dönüşmüştür. Oysa beynin üst tarafını kaplayan ve düz kemiklerden oluşan kafatasıyla birlikte yüz iskeleti ve köprücük kemiklerinin bir kısmı doğrudan mezenkim dokudan kemikleşerek sıradışı bir yol izlemektedir.

Gelişmekte olan beynin etrafını saran mezenkim katmanındaki kemik hücreleri farklılaşır; protein ve kemik minerali içeren kemik matriksinin iğnemsi yapılarını oluşturmaya başlar. Ardından bu iğnemsi yapılar, kemikleşen kısmın ortasından dışarıya doğru yayılır. Kemikler arasında, doğumdan sonra da bir miktar açıklık bulunur; sadece bağ dokusu liflerinden oluşan bir zarla birbirlerine tutunurlar. İki kemik birleştiğinde, aradaki dar birleşim yerine sütür adı verilir. Birkaç kemiğin bir araya gelmesiyle oluşan zar kaplı açıklığa da bıngıldak denir. Bunlar bebeğin kafasındaki "yumuşak" noktalardır; frontal kemiğin parietal kemiklerle birleştiği yerde büyük bir açıklık, parietal kemiklerin oksipital kemikle birleştiği yerde de daha küçük ikinci açıklık bulunur. Kafatası kemikleri arasındaki lifli eklemler, doğum esnasında kafatası kemiklerinin üst üste binmesini sağlayarak (dokuz santimetre çapındaki) bebeğin kafasının (on santimetre çapındaki) kalça kemiği açıklığından geçişini rahatlatır. Bu nedenle yeni-

doğan bebeklerin başları oldukça tuhaf bir biçim alır. Genellikle doğumdan sonraki birkaç gün içinde kemikler eski haline döner; bebeğin kafası daha yuvarlak ve normal gözükmeye başlar. Kafatasının düz kemikleri arasındaki lifli sütürler çocuğun başı büyümeye devam ettikçe açık kalarak kafatasının genişlemesine izin verir. Hatta bu sütürler kafatası gelişiminde çok önemli bir yer kaplar: Büyümenin *tam olarak* gerçekleştiği yer burasıdır. Bu boşluklardaki zarlar kafatası kemiklerinin kenarlarına yeni kemik dokusu ekler.



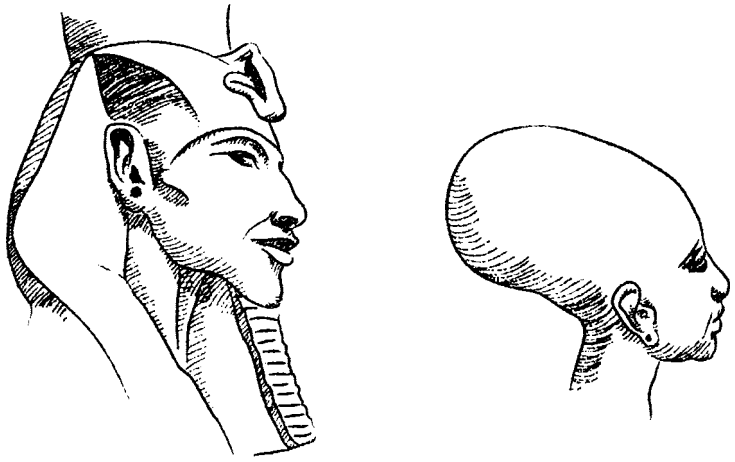
Bir yenidoğan kafatasındaki sütürler ve bıngıldak

KAFATASI BİÇİMLERİ

Bebeklerin kafatasları çok yumuşaktır. Kazara ya da kasıtlı olarak nispeten daha kolay deforme olabilirler. Genç kafatasların kasıtlı olarak deforme edilmesi Antik Mısır, Yunan, Peru ve Avustralya'da uygulanan bir yöntemdi. Bu uygarlıklarda tuhaf kafatası biçimleri sosyal kimlik göstergeleri olarak kullanılıyordu; bir kişinin belli bir gruba ait olduğunu ya da grup içerisindeki statüsünü belirtip onun elit kesimden mi yoksa savaşçı sınıfından mı geldiğini gösterebiliyordu. Mısır firavunu Akhenaten'un kafatası bir çeşit hastalık yüzünden deforme olmuşa benziyordu ama

kraliçe Nefertiti'nin heykellerine bakılırsa onun da uzun, koni biçiminde bir kafatası vardır. Tutankhamun ve annesinin mumyalarında da benzer, koni biçiminde deformasyonlara rastlanmıştır. Kraliyet ailesi betimlemeleri de tüm üyelerin son derece uzun kafataslarına sahip olduğunu gösterir. Görünen o ki bu sadece sanatsal bir yorumdan ibaret değil: Her biri, gerçekten de kasıtlı olarak deforme edilmiş, koni biçiminde kafatasları vardı.

Antik Mezoamerika uygarlıklarında insanlar biri alna, öteki başın arkasına konmak üzere iki parça tahtayı bebeklerinin başlarına bağlıyordu, böylelikle baş önden ve arkadan yassılaşarak yukarı doğru uzuyordu. Bebeklerin kafataslarının arzu edilen koni biçimini alması için sıkıştırılması; Avrupa, Asya ve Afrika'daki tarihsel kültürlerinde de destekliyordu. *Klinik Anatomi* [Clinical Anatomy] adlı akademik dergide kısa bir süre önce yayımlanan bir araştırma makalesi, günümüzde bebeklerde görülen tuhaf kafataslarının aile üyeleri tarafından çeşitli yöntemler kullanılarak üretilebileceğini tüm doktorlara hatırlatmıştır. Hatta 1994 yılı kadar yakın bir tarihte bile *Bebek Güzeli: Bebeklerin Kafataslarını Biçimlendirmenin El Kitabı* [Baby Beautiful: A Handbook of Baby Head Shaping] başlıklı bir kitap yayımlanmıştır.

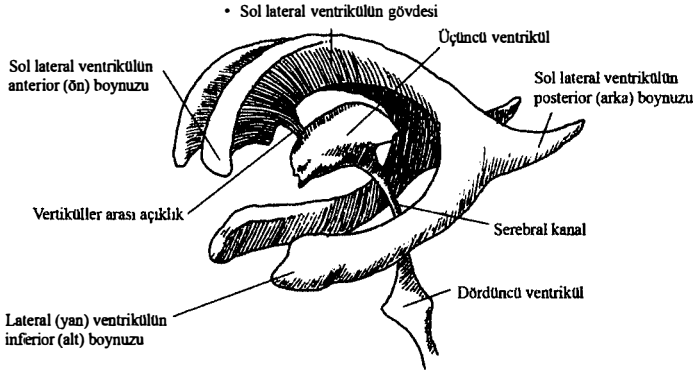


Akhenaten'in heykeli (solda) ve Akhenaten ile Nefertiti'nin kızlarından birinin biçimlendirilmiş kafatası (sağda).

Bebeklerin kafataslarını kasıtlı olarak deforme etmek, bebeklerini içinde taşıdıkları beşik tahtası adındaki verilen eşyaya bağlayan Amerikan yerlileri arasında da yaygındı. Böylelikle başın arka tarafında "duruş göre biçimlenmiş" bir düzleşme, bir oksiput oluşmuştur. Benzer bir durum, 1990'lı yılların başlarında ABD ve İngiltere'deki anne ve babalara bebeklerini sırt üstü yatırmaları tavsiye edildikten sonra da göze çarpmıştı. "Uykuya Dönüş" [Back to Sleep] kampanyası, ani bebek ölüm sendromundan (*Sudden Infant Death Syndrome*; SIDS) ölen bebek sayısını azalttığı için çok başarılı olmuştu. Ne var ki yüzüstü yattıkları için alınları düzleşen bebeklerin sayısında azalma olsa da şimdi de bebeklerin kafatası arkası düzleşiyor. Neyse ki bu yatma biçiminin meydana getirdiği kafatası arkası düzleşmesi geçici görünüyor.

Kazara ya da kasıtlı olarak farklı bölgelere baskı uygulanmasıyla ortaya çıkan kafatası bozukluklarından hiçbiri, kafatası içinde gelişen beyinde bir sorun yaratıyor gibi gözükmez. Öte yandan asıl problem kafatası üzerindeki bazı sütürlerin erkenden kapanarak kafatası gelişimini engellemesiyle ortaya çıkar. Ön-arka eksendeki (sagital) sütürlerin erken kapanması, kafatasının artık yana doğru gelişemeyeceği anlamına gelir; bu da kafatasının önden ve arkadan itilmesiyle ince ve uzun bir biçimde olmasına yol açar. Yanay-dikey (koronal) sütürün erken kapanmasıysa frontal ve parietal kemikler arasındaki büyümeyi engeller; kafatası basık ve uzun bir hal alır.

Kemikler oldukça sert dokular olarak gözükse de (erişkin kemikleri öyledir) kafatası içindeki basınç, gelişmekte olan kafatası çatısı kemiklerinin biçimini etkiler. Sütürların çok erken kapandığı ve kafatası içindeki basıncın normalden yüksek olduğu durumlarda sorun budur. Hidrosefali (Yunanca "su" ve "kafa" kelimelerinin birleşmesinden oluşur) durumunda, kafatasında fazla miktarda bulunan beyin omurilik sıvısı (BOS) kafatasının balonlaşmasına sebep olan bir basınç yaratır. Bu hastalığın kökeni, embriyo halindeki beynin nöral tüpten oluştuğu ana kadar uzanır. Beyin geliştikçe içindeki boş alanlar birbirlerine bağlı odacıklar ya da ventriküller olarak, BOS dolu bir halde karşımıza çıkar.



Normal bir beyindeki ventriküller.

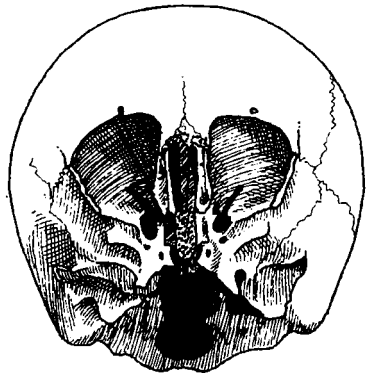
Ventriküller arasındaki ya da omuriliğe giden bazı kanallar çok dardır ve buralardaki tıkanıklıklar BOS'un birikmesine neden olur. Bu durumu cerrahi müdahaleyle tedavi etmek mümkündür: Biriken sıvı, beyine bir tüp yerleştirilerek başka bir vücut boşluğuna (genellikle karın bölgesine) aktarılır ya da beynin tabanındaki ufak bir delik açılarak boşaltılır.

Paranormal olayları araştıran Lloyd Pyne adında bir araştırmacı, 1999 yılında ilginç bir iddia ortaya atmıştır; 1930 yılında Meksika'daki bir madende tuhaf bir kafatası bulunmuştur ve Pyne bu kafatasının, muhtemelen bir kadınla başka bir gezegenden gelen bir uzaylının çocuğuna ait olduğunu ileri sürmüştür. Youtube'a yüklediği bir videoda "Yıldız Çocuğunun Kafatası" hakkında konuşan Pyne, bunun "görünürde insan kafatasıyla hiçbir benzerliğinin olmadığını" söyler. Pyne, daha önce buna benzer bir kafatası deformasyonuyla karşılaşmadığını söyleyen Kanadalı bir kafatası ve yüz cerrahının sözlerini alıntılasa da cerrahın sözlerini temel alıp dünya dışından gelen bir açıklamayı kabul etmek çok akıl dışı geliyor. Pyne'ın bahsettiği bu kafatasında maksilla [maxilla] ya da üst çene kemiği yoktur; bu da kafatasının eğitimsiz gözlere daha da tuhaf gözükmesine neden olabilir. Sıradışı olduğu doğrudur ama bu kafatası, hidrosefaliden ölen bir çocuğun kafatasına daha çok benzer. Dünya dışından gelen ziyaretçilerin heyecan verici hikâyesine kıyasla "Yıldız Çocuğunun Kafatası" öyküsü çok daha üzücü bir hikâyedir. Aslında bu kafatası,

kimliği unutulmuş ve tedavi edilmemiş bir sağlık durumu yüzünden çok genç yaşta ölmüş bir çocuğa aittir.

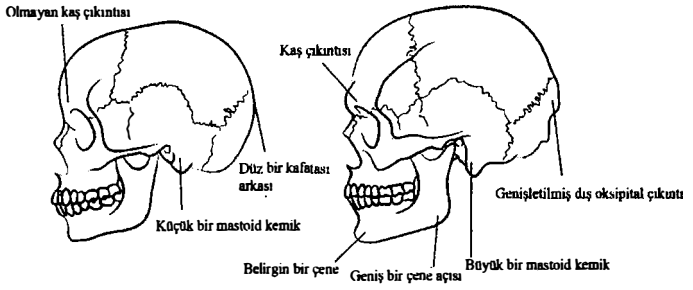
Kafatası bağlamalar ve hidrosefali değişik kafatası biçimlerine yol açsa da normal bir kafatasının biçimi sahibiyle ilgili pek çok bilgi verebilir. Kafatasları, dünya çapındaki popülasyonlar ve cinsiyetler arasında hem biçim hem de boyut olarak farklılık gösterir.

Tipik bir Avrupa erkeğinin göz bölgesinin hemen üzerinde oldukça belirgin bir kaş çıkıntısı vardır. Yandan bakıldığında ileride duran burun kemiği ve bu kaş çıkıntısı arasında belirgin bir çukur görülür. Erkeklerde kafatasının arkasındaki oksipital kemikte de bir kemik çıkıntısı vardır; çıkıntı, bu kemiğin ortasında daha da belirginleşir. Buraya daha kapsayıcı bir adla "genişlemiş dış oksipital çıkıntı" denir. Erkek kafataslarında bu çıkıntıyı elinizle bulabilirsiniz; hatta saçı olmayan ya da saçlarını kazıtanlarda görebilirsiniz. Bu çıkıntının iki yanında iki kavis vardır; bu kavisler ortadaki çıkıntıya doğru yükselir ve arkadan bakıldığında bir martıya benzer. Kulağın alt kısmında, mastoid adı verilen ters piramit biçimde bir kemik vardır; bu kemik boyuna doğru uzanır. Buna da rahatlıkla dokunabilirsiniz, yine erkeklerde kadınlardakinden daha belirgindir. Mastoid kemiği ve dış oksipital çıkıntı, kasların kafatasına bağlandığı kısımlardır. Mastoid kemik, boynun iki yanında uzanan uzun kası (sternokleidomastoid kasını) için çapa görevi görür. Kafanızı yana çevirdiğinizde bu kas çevirdiğiniz yöne ters olarak belirginleşir; hatta kafanızı çevirebilmenizin nedeni bu kasın kasılmasıdır. İki yanındaki martı kanatlarını andıran çukurlarıyla dış oksipital çıkıntı da boynun arka kısmındaki kaslarla bağ kurar. Bu kaslara trapez denilen uçurtma biçimindeki büyük kas da dahildir.



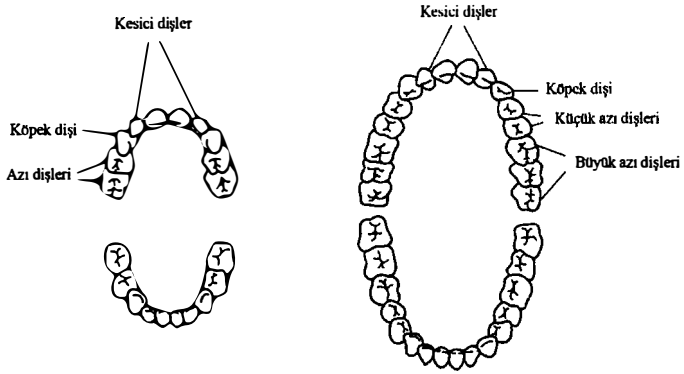
"Yıldız Çocuk"a ait kafatası.

Genellikle kadınların kafatası daha dirençsiz, başka bir deyişle daha narindir. Bahsedilen tüm bu özellikler daha az göze çarpar. Özellikle de kaş çıkıntısı neredeyse yoktur: Frontal kemiğin oluşturduğu hafif yuvarlak bir alın burun kemiğine kadar iner. Mastoid çıkıntı daha az belli olur ve düzdür; oksipital kemik de düz ve yuvarlak biçimdedir, boyun kaslarının bağ noktası neredeyse gözükmez.



İnsan kafatasında cinsiyete bağlı farklılıklar: Dişi (sol) ve erkek (sağ).

Arkeolojik iskeletlere bakıp bir erişkinin cinsiyetini çözmeye çalışırken iyi korunmuş bir kafatasının varlığı bir lütuftur. Kalça kemiğinin paramparça olduğu ya da hiç olmadığı durumlarda bile kafatası bir kişinin cinsiyetini anlamama yardımcı olur. Dişler daha da iyi ipuçları verir; o kişinin öldüğünde kaç yaşında olduğunu anlamamı sağlar. Henüz gelişmemiş dişlerin yaşını anlamak kolaydır: Dişler farklı ama belli zamanlarda oluşup çıkar. Bir çocuk üç yaşına geldiğinde ağzında yirmi adet süt dişi vardır. Her *quadrant* ya da çene çeyreğinde iki kesici diş (insizor), bir köpek dişi (kanin) ve iki azı dişi (molar) bulunur. Üç yıl sonra çocuktaki süt dişleri düşmeye başlar ve yerine kalıcı dişler gelir; bunlar üçüncü büyük azı dişleri ya da yirmilik dişlerle (elbette yirmilik diş çıkarmayan yüzde 10 ila 20'lik popülasyon dilimine dahil değilseniz) toplamda 32 adettir. Ardından bebeklerdeki kesici dişler ve köpek dişleri, yerlerini daha büyük kesici dişlere ve köpek dişlerine bırakır. Bebeklerdeki azı dişleri, tepesinde iki çıkıntı olan küçük azı dişleriyle değiştirilir; sonra da süt dişlerinin arkasında, gelişen çenede açılan yeni yerlere üç büyük azı dişi gelir. Tahminen ilk kalıcı büyük azı dişleri altıncı yılda, ikinciler on ikinci yılda, üçüncüler de on sekizinci yılda çıkar.



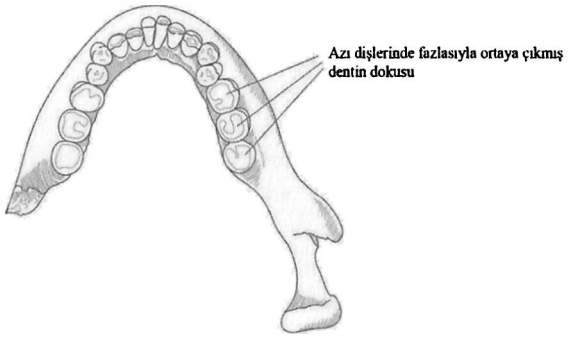
Desidüöz dentisyon ya da süt dişleri (solda)
ve kalıcı ya da yetişkin dişleri (sağda).

Bir kafatasının yaşını belirlemek, ağızdaki tüm dişler çıktıktan sonra daha da zor bir hale gelir. Yine de baktığınız kafatasının genç mi, yoksa yaşlı bir erişkine mi ait olduğunu kafatasının düz kemikleri arasındaki sütürlere bakarak az çok anlayabilirsiniz. Doğumdan itibaren açık ve aralıklı olan bu eklemler, çocukluk döneminde birbirine yaklaşıp kenetlenir; oysa kemikler hâlâ az bir miktar lif dokusuyla birbirinden ayrılır. Yaş aldıkça tüm sütürler kapanır ve kemikler birleşir. Ne yazık ki, diş çıkarmanın aksine, sütürlerin kapanması belirgin bir zaman çizelgesinde ilerlemez. Dolayısıyla bunlara bakarak yaşı anlamak sadece tahmine dayalı olabilir. Oysa dişler, özellikle de arkeolojik insan kalıntılarında çok daha anlamlıdır.

Artık yediklerimiz öylesine işlenmiştir ki, ekmekleri değirmen taşlarından gelen kumtaşlarıyla dolu olan eski atalarımıza kıyasla dişlerimiz daha yavaş çürür. En sert gıdaları çiğnemek için tasarlanmış diş minesi, insan vücudundaki en sert madde olsa da zamanla kaybolur ve dişin dentin dokusu ortaya çıkar; dişin ne kadar eskidiği, yaş belirlemede kullanışlı bir göstergedir. Dentin dokusu ilk olarak dişin uçlarında (kesici dişlerin kenarlarında, küçük azı ve büyük azı dişlerinde de diş tepesindeki çıkıntılarda) açığa çıkmaya başlar. Yıllar geçtikçe dişler, tepelerindeki çıkıntılar tamamen kaybolana kadar aşınır. Çok

aşınmış bir azı dişinin dentin yüzeyi zımparalanmış gibidir, geriye sadece dişin kenarındaki ince mine dokusu kalmıştır. Dişler, tüm mine kaybolacak biçimde aşınabilir ve zamanla köklerine kadar kısalabilirler.

Modern bir insan olarak bugünkü beslenme biçimim dişlerime çok daha nazik davranıyor; bu durum, birkaç yüzyıl önce yaşasaydım çok daha farklı olabilirdi. Dişlerimi fırçalarken aynadan dişlerime baktığım zaman azı dişlerimin iyi dayandığını ama her bir kesici dişimin kenarında beliren ince dentin dokusu katmanlarını görebiliyorum. Dişlerim, yavaş ama emin adımlarla miadını dolduruyor. Siz de bir ara kendi dişlerinize bir baksanız iyi olur.



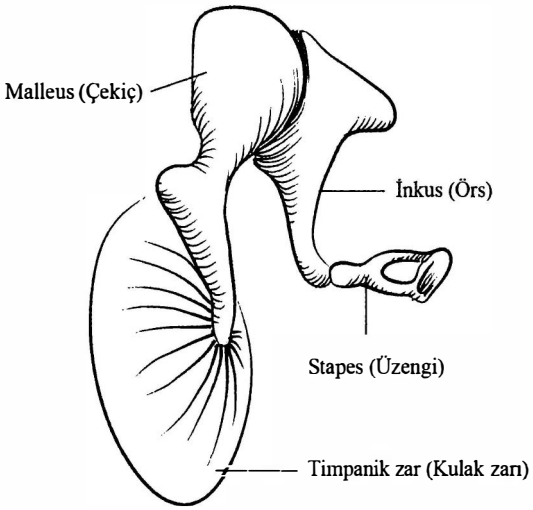
Bir ortaçağ mezarından çıkarılan alt çene kemiğinde ileri derecede bir diş aşınması (kişinin 35 ile 45 yaşları arasında öldüğüne işaret ediyor).

İŞİTME

İskeletten oluşan ipuçlarına bakaran bir kişinin yaşını ve cinsiyetini belirlemeye çalışan fiziksel antropologlar için kafatası ve dişler inanılmaz yararlıdır. Kemik laboratuvarına ne zaman çok iyi korunmuş bir kafatası gelse, büyük ihtimalle sahibinin cinsiyetini ve yaşını bulabileceğimi bilirdim. Öte

yandan insan vücudundaki en ufak kemiklere bakma dürtüme karşı koymak benim için neredeyse imkânsız bir şeydi. Bu ufacık kemikler analizimde pek de yararlı olmasa da ne olursa olsun büyüleyicilerdi.

Bir diş küretiyle (bu aygıt, genellikle yaşayan hastaların diş taşlarını temizlemekte kullanılır) kulak kanalından dikkatlice geçtikten sonra bir elimi kafatasının altına koyup ötekiyle kafatasına yavaşça vurduğumda avucumun içine bir miktar kuru toprak dökülürdü. Parmak ucuyla bu topraktaki taneleri bir kenarı ayırırken küçük kemikçikleri (üçünü birden) ararım: *Malleus* (çekiç), *inkus* (örs) ve *stapes* (üzengi). Çekiç kemiği yaklaşık dokuz milimetre boyundayken en ufakları olan üzengi sadece üç milimetredir. Bu denli küçük yapıların korunabilmesi neredeyse olağandışı gelse de genellikle mükemmel bir biçimde korunurlar. Yaşayanlarda bu kemikçikler, küçücük eklemler ve bağ dokuyla birbirine bağlıdır. Bu sistem, havadaki dalgaları sıvı ortamdaki dalgalara dönüştürmek üzere tasarlanmıştır.



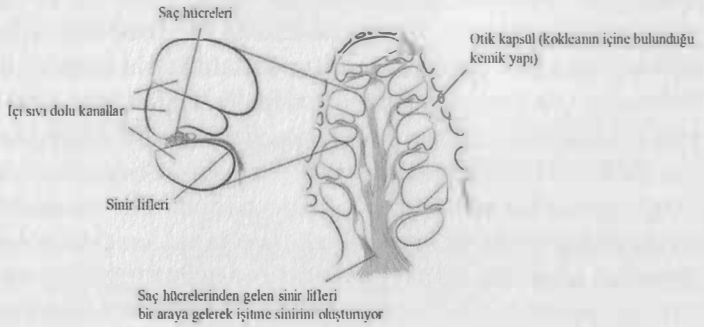
Vücudunuzdaki en ufak kemikler: Kulak kemikçikleri.

Kulak zarı ya da timpanik zar, dış kulak çanağının iç kısmında yer alır ve burayı tamamen kapatır. Eğer otoskop kullanarak yaşayan birinin sağlıklı kulak kanalına bakarsanız en sonda kulak zarını görürsünüz; bu parlak, inci renginde ve neredeyse saydam bir zardır. Bu sırada zarın hemen arkasında, zara bağlı duran çekiç kemiğini bile görebilirsiniz. Kulaktan giren ses dalgaları bu ince zarın titremesine yol açar. Daha sonra zincirleme bir biçimde titreyen kemikler, bu titreşimleri alıp orta kulaktaki boşluğa, yani kokleaya taşır.

Koklea, kafatasının tabanındaki temporal kemiğin içinde yerleşmiş, salyangoz biçiminde sıvı dolu bir boşluktur. Temporal kemikte kokleanın yakınında bulunan başka sıvı dolu tüpler de vardır: Üç adet, C biçiminde yarım daire kanalları. Bu kanallar birbirine doksan derece açıyla durur; böylelikle kafatasının üç uzamsal boyutta da hızlandığını ya da yavaşladığını tespit edebilirler. Kokleanın ve yarım daire kanallarının içinde, bu yapıların içindeki sıvının hareketini algılayan ve küçücük "saçları" olan hücreler bulunur.

Koklea sıvısındaki titreşimler, saç hücrelerinde bir elektriksel iletim başlatır ve bu iletim sinir hücreleri tarafından algılanır. Sinir hücreleri bir sinir demet oluşturmak için birleşir ve işitme (koklear) siniri meydana gelir. Bu sinir, denge (vestibüler) siniriyle birleşir. Denge siniri, yarım daire kanalları da dahil olmak üzere labirentin öteki kısımlarından baş pozisyonu ve hızlanması hakkında bilgi taşır. İki sinirin birleşmesiyle ortaya çıkan vestibülokoklear sinir, kafatasının içinden geçerken beyin sapından yukarı doğru çıkar. Bilgi bir nörondan öbürüne, beyin sapından beynin kendisine doğru aktarılır, en sonunda temporal lobun işitsel korteksine varır.

Bu basit işitme mekanizmasını öteki memelilerle de paylaşırız. İster bir farenin ister bir filin orta kulak boşluğuna bakın, aynı üç kemikçikten oluşan kemik zincirinin kulak zarıyla kokleayı birbirine bağladığını görürsünüz. Oysa sürüngen kulaklarında sadece bir kemikçik bulunur. Öyleyse (sürüngenlerden evrilen) memelilerin nasıl olur da üç kemikçiğe sahip olduğunu anlatan öykü sıradışı olmalıdır. Bu öyküye sonra geleceğiz.



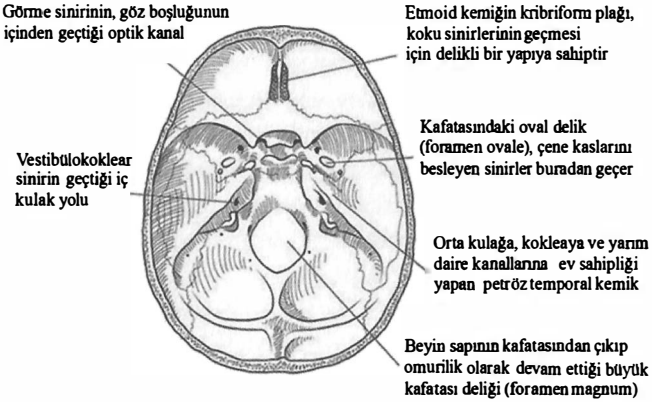
İçi sıvı dolu kanalların merkez doğrudan ya da modiolusundan geçtiği kokleanın enine bir kesiti (Soldaki çizim, saç hücrelerinin görüldüğü büyütülmüş bir kesittir).

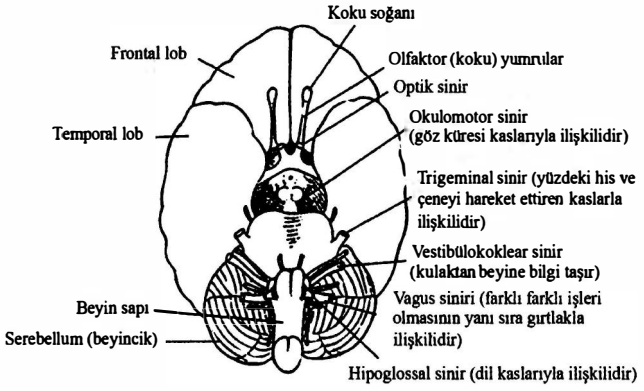
Kulak (neredeyse saydam olan zarın inceliğinden tutun kemikçiklerine kadar) o kadar çetrefilli, narin ve karmaşık bir sistemdir ki işitsel sorunların günümüzdekinden daha fazla görülmemesi neredeyse olağandışı bir durumdur. İşitme kayıpları tamamen ya da kısmen görülebilir; ayrıca sebebi doğuştan genetik temelli ya da sonradan olabilir. Her birimiz, yaş aldıkça yüksek frekanslı sesleri duyma yetimizi kaybederek bir miktar işitme kaybı yaşarız. Bu kaçınılmaz gerilemenin yanı sıra sonradan ortaya çıkan işitme kaybının pek çok nedeni olabilir. Örneğin kızamık, kabakulak ve menenjit gibi enfeksiyon hastalıklarına ek olarak bazı ilaçlar, çözücüler ve böcek ilaçları da bunlara dahildir. Öte yandan çok yüksek seslere maruz kalarak işitme kaybı yaşamanız da mümkündür; hatta sonradan ortaya çıkan işitme kayıplarının yarısına yol açan durum budur. Kokleadaki saç hücreleri son derece hassastır ve yüksek ses, koklea içindeki sıvıda titreşimler yaratarak onları güçlü bir rüzgârla yana yatan buğdaylar gibi dümdüz bir hale getirebilir.

KOKLAMA

Anatomimizde tümüyle bel bağladığımız çok fazla unsur parça vardır. Oysa bu parçaları bir kemik laboratuvarında ya da

diseksiyon odasında incelerseniz ne kadar narin ve kırılgan olduklarını görürsünüz. Beynin kendisi de kemikten kılıfı içinde güvendeymiş gibi gözükür ama yine de kafatasının bütünlüğünü bozmadan ona zarar vermeniz mümkündür. Kafatasının belli bir yönde hızlanması ya da yavaşlaması, herhangi bir darbe olmadan da beyin hasarı yaratabilir; ani bir hareket beynin kafatası içinde kaymasına ve kafatasıyla çarpışıp ezilmesine yol açabilir. Beyin dokusundaki ezilmeler genellikle kendi kendine iyileşse de ortaya çıkan baş ağrısı (pek şaşırtıcı sayılmaz), baş dönmesi ve mide bulantısı gibi semptomlar oldukça tatsızdır. Travmatik beyin hasarlarında görülen uzun süreli semptomlardan bir başkası da koku duyusunun kaybolması, yani anozmidir. Kafatasının içine bakarsanız, burun boşluğundan beyine koku bilgisini taşıyan koku sinirlerinin bu tip hasarlarda neden risk altında olduğunu kolayca anlayabilirsiniz. Kafatasının en ön kısmındaki frontal loblar, göz yuvalarının çatısını oluşturan kemiğin üzerinde konumlanmıştır. İki göz yuvasının tam ortasındaysa küçücük deliklerle dolu ince bir kemik parçası bulunur. Bu, etmoid kemiğe ait kribriform plak adı verilen bir yapıdır. (Orijinali Latince olan kribriform kelimesi "elek gibi" anlamında kullanılırken "etmoid" kelimesinin orijinali de Yunancada "elek" demektir. Öyleyse eleğe benzer bir kemiğin eleğe benzer plağıyla karşı karşıyayız. Aslında "elek" anlamındaki iki kelimenin de kullanılması gereksiz görünebilir ama etmoid kemikte eleğe hiç de benzemeyen kısımlar vardır. Yine de bu yapı adını delikli plaktan alır.) Kribriform plağın alt kısmı; burun boşluğun uzun, dar çatısı meydana getirir. Buradaki burun boşluğunun iç duvarı, zarlarında proteinler (koku alma reseptörleri) taşıyan ve ufak uzantılara sahip olan özel sinir hücrelerini barındırır. Bahsedilen proteinler belli koku moleküllerini tanır. Bir molekül reseptörüne bağlandığında reseptör biçim değiştirir ve elektriksel iletim başlatır. Sonrasında bu iletim, bir araya geldiklerinde koku sinirlerini oluşturan sinir lifleri boyunca ilerleyerek kribriform plaktan geçer. Koku sinirleri, kribriform plağın hemen üzerindeki koklama soğanı adı verilen yapıdan içeriye girer. Sinirler burada yeni bir dizi sinirle sinaptik bağlantı kurarak koku yolunu oluşturur, bu yol da beynin içine dalmadan önce frontal lobun altından geçer.





(Üstte) Kafatasının tabanını göstermek için üst kısmı çıkarılmış bir kafatası, sinirlerin ve damarların geçtiği delikler ya da *foramina*lar gösteriliyor.

(Altta) Beynin alt kısmından çıkan kraniyal sinirler gösteriliyor.

Beyin kafatası içinde hareket ederse kribriform plaktan geçen koku sinirleri tehlikeyle burun buruna gelir. Bu ufacık sinirler kopabilir; dolayısıyla burundaki koku reseptörleri ve koklama soğanı arasındaki bağ kesilebilir. Pennsylvania'da travmatik beyin hasarı geçiren hastalar üzerine yapılan bir çalışmada, hastaların yarısından fazlasında koklama yetisinin kaybolduğu ama bunların yüzde kırkının koku almadığını fark etmediği ortaya çıkmıştır. Bu size çok tuhaf gelebilir; oysa tüm özel duyularımızı ele aldığımızda en az soruna yol açan koklama yetisi kaybıdır. Bu koku almanın gereksiz olduğunu göstermez; sadece koku, öteki hayvanlara kıyasla evrimsel geçmişimiz boyunca üzerine pek de yatırım yapmadığımız bir duyudur.

Memelilerde koku reseptörleri için binden fazla gen bulunur (bu da genom üzerinde yüzde üçlük büyük bir orana denktir), oysa eski dostumuz taşemende sadece altmış gen vardır. Doğal olarak taşemenler, sınırlı sayıda farklı koku algılayabilir. Saygıdeğer herhangi bir memeliyle karşılaştırıldığında taşemenlerdeki koku reseptörü gen sayısı çok az olsa da bu genler biçim ve yapı olarak benzerdir. Öyleyse burada evrimsel süreçteki kopyalamanın bir başka örneğini görüyoruz. Bu kez kopyalanan genler orijinal görevlerinden biraz daha farklı rollere bürünüp daha çeşitli koku reseptörlerini kodluyor. Koku genleri ailesi, taşemenlerle ortak atalarımızdan bu yana pek çok omurgalıda öylesine büyük bir gelişim göstermiştir ki en sonunda memelilerde zirveye ulaşmıştır.

Köpeğim Bob'la defalarca eski bir tenis topunu saklayıp "saklambaç" oynamışımdır; o topun saklandığı yeri aramak yerine koklayarak bulur. Yaklaşık 500 milyon yıllık evrim dilimi (bir taşemenle ortak ata bulabilmek için bu kadar geriye gitmeniz gerekir), çoğu memeliyi olağanüstü burunlarla donatmıştır. Bizler hariç çoğu memeliyi. İnsanlarda dört yüzden az aktif koku geni bulunur. Yaklaşık dört yüzü de hâlâ genomlarımızda yer alır ama o kadar bozunmuş haldelerdir ki artık aktif değildirler; "okunup" proteinlere çevrilemeyecek bir noktaya doğru mutasyon geçirmişlerdir. Köpekler ve elbette fareler, insanlardan üç kat daha fazla aktif koku genine sahiptir. Köpeğim Bob'un topu nereye saklarsam saklayayım koklayarak bulmasının nedeni de muhtemelen budur. Herhalde ben de bu tenis topunu burnumun dibine soktu-

ğumda koklayabiliyorum (hoş bir kokusu olduğu söylenemez) ama bu kokuyu top odanın öbür tarafındayken iki dünya bir araya gelse alamam.

Peki insanlarda daha az sayıda aktif gen varsa ve de öteki memelilere kıyasla daha fazla aktif olmayan gen bulunuyorsa, bu hassaslıkla bilenmiş duyu ne zaman kasten göz ardı edilmeye başlandı? Anlaşılan, bu kadar az sayıda koku geni sadece insanlara özgü değil. Genom örneklerini karşılaştıran bir grup genetikçi, koklama duyumuzun tam da çürümeye başladığı anı bulduğunu düşünmüştür. Görünüşe göre insanlar da dahil tüm kuyruksuz maymunlarla birlikte langurlar, babunlar ve kolobus maymunu gibi pek çok Eski Dünya maymununda, Yeni Dünya maymunları ve lemurlara kıyasla daha fazla aktif halde olmayan koku geni vardır. Bu iki primat grubunun dünyayı görme biçimleri de birbirinden farklıdır. Çoğu Yeni Dünya maymunuyla birlikte lemurların ve lorislerin gözlerinde sadece iki tip renk reseptörü bulunur. Eski Dünya maymunlarında ve kuyruksuz maymunlardaysa üç tip reseptör vardır, bu da onlarda trikromatik denilen renkli görmeyi sağlar. Öyleyse "renkli görme" olarak düşündüğümüz özelliği geliştiren primatlar, koku duyularına yatırım yapmayı bırakmıştır.

Bu çok güzel bir öykü olsa da ne yazık ki ayrıntılı bütün genom analizleri tarafından desteklenemedi. Aksine, koku genlerinin kaybolması primatlar arasında oldukça genel bir eğilime benziyor. Çoğu primatın üç yüz ila dört yüz aktif koku genine sahip olduğu görülüyor. Bizler koku bakımından kendimizi yetersiz olarak görmeye meyilli olsak da aslında şempanzeler, orangutanlar, marmosetler, makaklar ve çalı bebeklerinden daha fazla aktif koku geniyle primatlar arasında koku dehalarıyızdır.

Artık bilimsel kanıtlar, renkli görmenin evrilmesiyle birlikte koku duyusuna yatırım yapılmadığını destekliyor olmasa bile öteki memelilere kıyasla primatların grupça daha az sayıda koku genine sahip olduğu hâlâ geçerlidir. Kokunun genetik temellerindeki bu küçülmeyle birlikte pek çok primat (lemurlar gibi ıslak burunlu primatlar hariç), öteki memelilerden çok daha kısa burunlara ve daha küçük koklama soğanlarına sahiptir. Çoğu memeli için koklama ve işitme baskın duyularken primatların grup olarak görme ve dokunmada özelleştiği görülmektedir.

Öyleyse gözlerimizin ve görmenin kökenlerini anlayabilmek için çok daha eski akrabalarımıza bakmamız ve zamanda daha da geriye gitmemiz gerekiyor.

GÖRME

Bizimkiler gibi gözler en az 500 milyon yıldır vardır; omurgalılar en başından beri gözlere sahipti. Günümüz taşemenlerine benzeyen ilk omurgalılar çenesiz olabilirler ama onların da gözleri vardı. Hatta bir taşemenin gözü öylesine karmaşık bir yapıdır ki bu açıdan tıpkı herhangi bir omurgalı gözüne benzetilebilir; iris ve iç lensiyle tıpkı bir fotoğraf kamerasına benzer ve aynı bizim gözlerimizdeki gibi göz küresini hareket ettiren altı kas bulunur. O halde omurgalıların gözleri, sanki bir anda ortaya çıkmış ve birden, eksiksiz bir biçimde oluşmuş gibidir. Bu da yapıların zaman içinde değiştiğini öngören evrim kuramı açısından biraz sorun yaratır, dolayısıyla yaradılışçıların gözler üzerinden saldırılarına şaşmamak gerekir. *Türlerin Kökeni*'nde Darwin bile gözleri açıklamanın zor olduğunu itiraf ederek şöyle yazar:

> Farklı mesafelere odaklanmaya, farklı ışık düzeylerini algılamaya ve de küresel ve kromatik sapmayı düzeltmeye yarayan onca eşsiz düzeneği bünyesinde barındıran göz gibi bir organın, doğal seçilim yoluyla ortaya çıkmış olabileceği varsayımının kulağa son derece abes geldiğini itiraf etmeliyim.

Yaradılışçılar Darwin'in bu cümlelerini alıntılamaya bayılırlar ama devamını getiremezler. Oysa bu cümle sadece etki yaratmak için kullanılan bir araçtır, bizi daha derinlere çeker. Darwin, Güneş'in Dünya etrafında değil, Dünya'nın Güneş etrafında döndüğünü söyleyen kuramın ilk öne sürüldüğü zamanlarda bu olayı hayal etmenin ne kadar saçma görünmüş olabileceğiyle bahsetme başlar ve cümlelerine şöyle devam eder:

> Ancak kusursuz ve karmaşık bir göz ile kusurlu ve basit bir göz arasında, her biri sahibine yarar sağlayan çok sayıda kademe bulunduğu

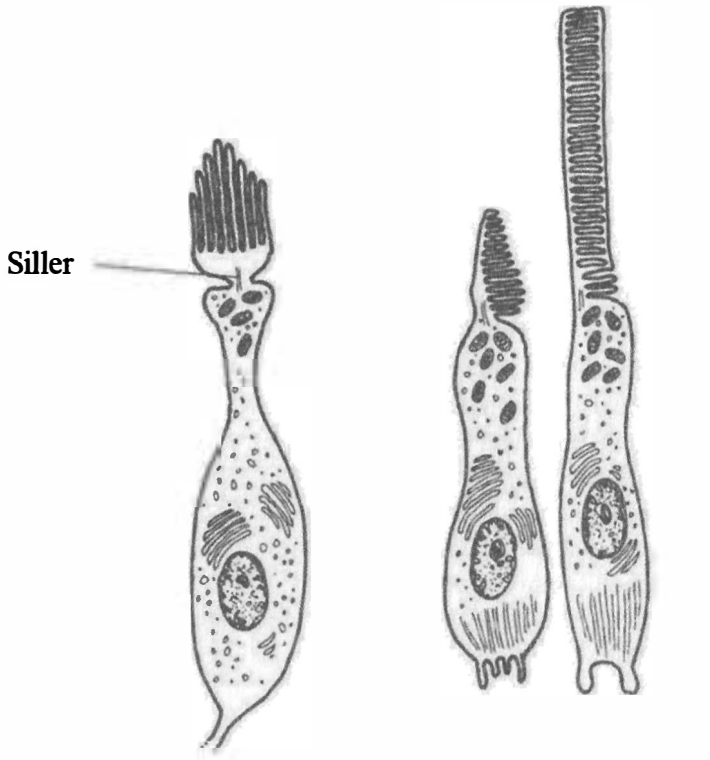
> gösterilirse [...] kusursuz ve karmaşık bir gözün doğal seçilim yoluyla oluşabileceğine inanmak, hayalgücümüzü aşıyor olsa da, benim mantığıma göre gerçek bir sıkıntı yaratmamaktadır.

Zamanda geriye yolculuk yapıp, yirminci ve yirmi birinci yüzyılda yapılan ve evrim hakkında bildiklerimize katkıda bulunan tüm bilimsel keşifleri Darwin'e haber vermeyi çok isterdim. Ona amfibilerin kollarını ve bacaklarını nasıl meydana getirdiğini, dinozor tüylerinin nasıl oluştuğunu ve insanların nasıl evrim geçirdiğini anlatırdım. DNA'dan ve genomlardan bahsederdim. Özellikle de "basit ve kusurlu bir göz" ile "karmaşık ve mükemmel bir göz" arasında yeni keşfedilen genetik bağlantılardan bahsetmeyi çok isterdim.

"Yaşayan fosiller" olan sevgili dostlarımız batraklar, bilim insanlarının görmek için kullanılıp kullanılmadığından emin olamadığı, "ön göz" olarak uzun süredir bilinen bir yapıya sahiptir. "Ön gözde" duyu hücreleri sayılabilecek hücreler bulunur; bu hücreler, koyu pigmentli hücrelerin yakınında durur (tıpkı kendi retinamızın pigmentli hücre katmanı üzerinde ışığa duyarlı hücrelerin bulunduğu bir katmanı olması gibi). Peki böyle bir düzen, gerçekten de ışığa duyarlılık göstergesidir? Batrağın "gözü", çok daha karmaşık haldeki omurgalı gözlerimizin öncüsü olabilecek bir yapının hatırası olabilir mi? Kendi gözlerimizdeki çubuk ve koni hücrelerinden farklı olarak batrağın "ön gözündeki" potansiyel duyu hücreleri oldukça basittir. Karşılaştırmalı anatomi, bu sorulara hücresel seviyede bakıldığında bile cevap bulamamıştır.

Tam da bu noktada sahneye genetik girer. Çekoslovak ve Alman genetikçiler ve gelişimsel biyologlardan oluşan bir ekip, batrağın "ön gözündeki" aktif genleri inceleyerek bu bilmeceyi çözmeye başlamıştır. Batrağın pigmentli hücreleri tarafından üretilen genlerin, omurgalı retinasındaki pigmentli hücrelerin üretilenlerle benzer olduğu bulunmuştur; yani bu hücrelerin "moleküler parmak izi" aynıdır. Batrakta görülen ışığa duyarlı hücrelerin ürettikleri genler de omurgalı gözlerindeki ışığa duyarlı hücrelerin genleriyle benzerdir. Asıl önemli olan bu genlerin, çubuk ve koni hücrelerine gelen ışığı elektriksel bir sinyale çevirmekte görevli olduğu bilinen proteinleri kodlayan genle-

ri de içermesidir. Araştırmacılar, bu duyu hücrelerinden batrağın beynine kadar giden uzun sinir liflerini de takip etmiştir. Bu noktada ilkel bir hayvandaki oldukça basit bir gözün, omurgalılarla nasıl alakalı olduğuna ilişkin son kanıt bulunmuştur; böylelikle karmaşık yapıdaki gözlerimizin daha basit kökenleri aydınlatılmıştır.



Batrağın "ön gözündeki" basit bir siliyer hücre (solda), insan gözündeki ışığa duyarlı koni (orta) ve çubuk (sağ) hücreleri.

Vücudun ön kısmında ışığa duyarlı bir organa sahip olmak, ilk kordalılar gibi serbestçe yüzen organizmalar için avantaj sağlamış olmalıdır. Omurgalılar çeşitlendikçe, görüntüleri alıp yorumlayabilen gözlere ve beyin devrelerine sahip olmak da bazılarının yırtıcılardan kaçmasına, bazılarının da avlanmasına yardım etmiştir.

"Ön göz" gibi basit bir yapıdan (retinaya, lenslere, irise ve hareket edebilmesi için kaslara sahip) omurgalı gözü gibi karmaşık bir yapıya gidebilmek çok büyük bir sıçramadır. Yaşayan bazı çenesiz balıklar, bir köprü kurmakta yardımcı olabilir. Batraklar da tüm omurgalılar gibi karmaşık gözlere sahiptir ama sümüksü balık asalakları kuzenlerinin gözleri gerçekten de çok özensizdir. Balık asalaklarının koni biçimindeki gözleri şeffaf bir deri parçasının altında yer alır ve sinir lifleriyle beynin hipotalamus bölgesine bağlanan bir retinaları vardır. Oysa lensi, irisi, korneası ya da göz kasları yoktur; balık asalağı gözlerini "görmek" için kullanmıyor gibidir. Aslında tam anlamıyla kördür, zavallı gözleri de büyük bir ihtimalle biyolojik saatini düzenlemek için vardır. Yine de balık asalağının gözleri, basit batrak "gözü" ile bizim gözlerimiz arasındaki bir basamağı, Darwin'in aşamalarından birini temsil edebilir. Asıl sorun, şu anda elimizdeki kanıtlara dayanarak balık asalaklarının gerçekten ilk omurgalılarla benzeyip benzemediğini, önceleri taşemen gibi olup olmadıklarını ve zaman içinde çeşitli yollardan yozlaşıp yozlaşmadıklarını anlamanın çok zor olmasıdır. Bu da basit ve karmaşık gözler arasındaki potansiyel yapıları anlama konusunda balık asalağına güvenemeyeceğimiz anlamına gelir.

Sadece erişkin anatomisine bakmayı bir kenara bırakıp gözün nasıl geliştiğini düşünmediğimiz sürece önümüzde hâlâ üstünden atlamamız gereken bir uçurum var demektir. Aslında taşemen larvalarının gözleri balık asalaklarınınkine çok benzer. Bir taşemen erişkinliğe vardığında gözleri büyür ve daha karmaşık bir hal alır: Retina hücreleri ayrıntılı bir lens oluşturur ve her bir göz dışarı doğru çıkarak hareket edebilir bir hale gelir.

Aynı zamanda kendi embriyolarımızdaki gözlerin oluşumuna bakarak gözün nasıl evrim geçirdiği hakkında bir düşünceye sahip olabiliriz. Haeckel'in önerdiği gibi embriyolarımızın gelişimi evrimsel geçmişimizin aynası olmasa da embriyo oluşumunun başlarına kazınmış geçmişimize ilişkin "yankıları" görebiliriz. Evrim, organizmaları sıfırdan oluşturmaz; elinde olan malzemeleri kullanır. Yeni özellikler, gelişmekte olan bir embriyoya "sonradan eklenme" eğilimi gösterir.

Şimdi şanslı bir spermin yumurtaya ulaşmasından yirmi iki gün sonra, ana rahminde olduğunuz zamana dönelim. Nörulasyon sırasında merkezi sinir sisteminizin temeli oluşmuştur; vücudunuzdaki

nöral tüpün ön kısmı tamamen kapanmak üzeredir. Bu ön kısımdan yanlara doğru iki çıkıntı belirir, tıpkı bir salyangozun kafasındaki gözleri gibi. Sadece birkaç gün sonra bu çıkıntılar o kadar uzar ki içeriden minicik vücudunuzun ektodermine, yani yüzey katmanına dokunur. Gelişiminiz bu noktada durmuş olsaydı, balık asalağının ya da taşemen larvasının gözlerine benzer yapılara sahip olurdunuz. Oysa siz, gelişmeye devam ettiniz.

İşte şimdi vücut yüzeyinizde bazı değişiklikler olmaya başlar: Ektoderm kalınlaşıp ufak ve yuvarlak bir disk, bir plakod oluşturur. Ön beyninizden çıkan optik keseler ortadan çökmeye başlayıp bir kâse biçimini alır. Yüzeydeki plakod da içe doğru batmaya başlar ve bir çukur oluşturup tamamen kopar. Ektodermden oluşan bir baloncuk, vücut yüzeyinin altında sıkışıp kalır. Yedinci haftaya gelindiğinde "kâsenin" içindeki boşluklar ve baloncuk yok olur. Kâse biçimindeki yapı retinayı (ışığa duyarlı çubuk ve koni hücrelerinin gelişeceği bir iç katmanını ve pigmentli dış katmanını) ve irisi oluştururken baloncuk da lense dönüşecektir. Optik kâsenin etrafındaki bağ dokusu gelişmekte olan göz küresinin etrafını çift katmanlı bir yapıyla sarar; bu katmanın iç kısmı kan damarlarıyla doluyken daha sert olan dış katmanı da zamanla gözünüzün "beyazını" ve göz küresini hareket ettiren kasları oluşturacaktır. Ayrıca bu kâsenin içindeki bağ doku, gözdeki camsı cismin şeffaf yapısını meydana getirecektir. Optik kâseyle ön beyni bağlayan optik stalk adlı uzun sap da optik sinire dönüşür. Gözkapaklarınız ektoderm katlanmalarıyla oluşur ve gelişmekte olan gözlerinizin üzerini kaplar. Göz kapakları, ana rahmindeki geçirdiğiniz zamanın neredeyse yarısına (döllenmeden sonraki yirminci haftaya) gelene kadar açılmaz.



Kambriyen patlamasının yaşandığı döneme kadar geriye gittiğimizde, her biri "sadece sahibine yarar sağlayan" ve evrimsel zaman çizelgesinde birkaç milyon yılda bir gerçekleşen benzer olaylar dizisini ya da geçişini hayal etmek mümkündür. Omurgalılar öncesi atalarımız; batrakların "ön gözüne" benzeyen, beynin bir bölümü kaplayan ışığa duyarlı tek bir hücre kümesiyle yola çıkmış olabilir. Beynin etrafı bir kafatasıyla sarılmaya başlandığında bu tek küme daha da büyüyüp yanlardan balonlaşarak iki küme olmuştur. Işığa duyarlı

beyin çıkıntılarını kaplayan deri saydamlaşmıştır. Böylece gözler (tıpkı balık asalaklarında olduğu gibi) aydınlığı ve karanlığı fark edebilir ama herhangi bir görüntü oluşturamaz. Bu basit gözlü canlının soyundan gelenlerde şeffaf yüzey dokusu, içeri doğru çökerek lensi oluşturmuştur. Ardından göz kasları ortaya çıkmış; retina daha karmaşık bir hal almıştır. Işığa duyarlı proteinleri (opsinleri) üreten genlerin kopyalanması, her biri ışığın farklı bir dalga boyuna yanıt veren dört ila beş farklı tipte koni benzeri hücre dizisini meydana getirmiştir. Sonrasında çubuk hücreleri evrim geçirmiştir ve tıpkı günümüz taşemenlerinin gözlerinde olduğu gibi retinanın sinir bağlantıları daha karmaşık bir hale gelmiştir. Çok daha uzun bir zaman sonra çeneli balıkların soyundan gelen canlıların kendini karaya atmasıyla, gözlerini korumak için gözkapakları gelişmiştir ve ışığın havadan göze geçerken bükülmesiyle baş edebilmek için lensler de biçim değiştirmiştir.

Günümüz taşemenlerine bakıldığında erken dönem omurgalı gözlerinin karmaşık ve görüntü oluşturan yapılar olmakla kalmayıp dünyayı renkli gördükleri de anlaşılır. Güney yarımküredeki *Geotria australis* taşemeni, beş farklı koni benzeri ışık reseptörüne sahiptir ve her birinin kendine özel opsini vardır. Çoğu balığın (çeneli olanlarının), morötesi ışığa yanıt veren de dahil en az dört çeşit çubuk hücresi vardır. Sürüngenlerin ve kuşların büyük bir bölümünde de dört çeşit çubuk hücresi bulunur. Oysa çoğu memelide sadece iki çeşit çubuk hücresi bulunur; retinalarında da ötekilere kıyasla daha az sayıda hücre vardır. Tüm memeliler içinde bir tek primatlar arasından seçkin bir grup, iki yerine üç farklı çubuk hücresine sahip olarak yeniden renkli görme yetisini geliştirmiştir.

Öyleyse erken dönem omurgalılarından bize gelene kadar yol bir sağa bir sola dönüp durur: Karmaşık yapıda gözler çok uzun zamandır vardır. Renkli görme çok eski bir özelliktir, önce kaybedilip sonra yeniden kazanılmıştır. Balık atalarımızın keyfini sürdüğü renkli görme özelliği, memeli atalarımıza gelindiğinde ışığa duyarlı dört opsinden ikisinin kaybıyla yitirilmişti. Oscar Wilde'ın sözlerini kullanacak olursak; bir opsini kaybetmek şanssızlık olarak kabul edilebilir, ikisini birden kaybetmekse ihmalkârlık gibi gözükür. Öte yandan karanlıkta yaşayan tüm canlılar için dört farklı renk reseptörüne sahip olmak gereksizdir. Başka bir deyişle, birkaçını kaybetmeleri onlara hiçbir zarar vermez. Zaten ilk tüylü atalarımızın tamamen nokturnal olma olasılığı çok yüksektir.

Peki tüm memeliler arasında neden sadece belli bir primat grubu renk görüşünü geri kazanmıştır? Memelilerin çoğunda, biri uzun öbürü kısa dalga boylarındaki ışığa yanıt veren iki tür koni hücresi vardır. Bu da kendi renk algımızı göz önünde bulundurduğumuzda memelilerin büyük oranda kırmızı ve yeşil renk körü olduğu anlamına gelir. Primatlar içinde lemurlar, lorisler ve çoğu Yeni Dünya maymunu da benzer bir biçimde renk körüdür. Ne var ki bundan yaklaşık otuz milyon yıl önce; bugünkü Eski Dünya maymunları, kuyruksuz maymunlar ve bizlerin atası olan bir maymunda uzun dalga boyu opsinini üreten gen kopyalanmıştır. Bu gen kopyalarından biri hafif bir değişikliğe uğramış ve orta boy dalgalara yanıt verebilen yeni bir koni hücresini meydana getirmiştir; bu yeni koni hücresi, doğal seçilim tarafından seçilecek kadar avantajlı olduğunu kanıtlamış olmalıdır.

Eski Dünya maymunları çeşitlenirken yaşadıkları tropik yağmur ormanlarındaki ağaçlar da çeşitleniyordu. Çoğu maymunun beslenme düzeni yapraklardan oluştuğu için renkli görme daha genç, daha taze yaprakların seçilmesinde yardımcı olmuş olabilir. Bu da belki yeni koni hücresini kodlayan bir gen için yeterli yaşamkalım avantajı sağlamış ve maymun popülasyonları boyunca yayılmasına yol açmıştır. Renkli görmenin yemek bulmak için evrim geçirdiği düşüncesi yeni değildir, on dokuzuncu yüzyıl biyologlarından Grant Allen tarafından 1879 yılında yayımlanan *Renk Duyusu* [The Colour Sense] adlı kitapla ileri sürülmüştür. Maymunlar ve kuyruksuz maymunlar renkli görmenin evriminden sonra bu yeni yetiden yararlanıp renkle işaretleşmenin farklı türlerini geliştirmiş olabilir. Örneğin hamileliğe uygun dönemdeki dişi babunlar ve şempanzeler doğurganlıklarını parlak kırmızı popolarıyla ilan eder. Bu, daha az renk duyusuna sahip memelilerde kaybolmuş bir işarettir.

Renk körlüğü maymunlar arasında çok nadir olsa da (örneğin yengeç yiyen makak [*Macaca fascicularis*] erkeklerinin sadece iki yüz elli de birini etkiler), beyaz tenli Avrupalı erkekler arasında çok daha yaygındır; neredeyse her on iki kişiden birinde görülür. Bu renk körlüğünün temeli, orta dalga boyuna yanıt veren opsin geni kopyalarının insanlarda çok yüksek miktarda olmasıdır. Bu gen kopyaları bazen uzun dalga boyuna yanıt veren genlerle karışır ve ortaya melez bir opsin proteini çıkar; bu da kırmı-

zı ve yeşili ayırt etmek için artık kullanışlı bir halde değildir. Bir primat için kırmızı ve yeşili ayırt edebilmek onun taze meyveleri ve genç yaprakları seçmesini kolaylaştırıyorsa, bu yeteneği kaybetmenin bir dezavantaj olacağını ve doğal seçilim tarafından ayıklanacağını düşünmek mantıklıdır. Bu durum, yiyecekleri insanlar kadar paylaşma eğiliminde olmayan maymunlarda daha büyük bir dezavantaja dönüşebilir. Renk körü olan insanlar maymunlara kıyasla biraz daha avantajlıdır, çünkü sadece kendi topladıkları yiyeceklerle beslenmezler. Dolayısıyla renk körlüğünün insanlar arasında daha yaygın görülmesi, doğal seçilimin bu sorunu bencil maymunlarda olduğu gibi titizlikle ayıklamamasından kaynaklanabilir.



Renkli görmenin primatlarda nasıl evrim geçirdiğini incelerken görmenin hücresel ve moleküler mekanizmalarıyla uğraşıp durduk. Oysa primat görüşünün makroskopik seviyede anlaşılabilen önemli özellikleri de vardır. Başka bir deyişle, mikroskoplara ya da proteinlerin kimyasal analizlerine gerek duymadan, kendi gözlerimizle de bu özellikleri kavramamız mümkündür.

Bir primat kafatasını yüzü size dönük bir biçimde tuttuğunuzda doğrudan göz çukurlarına bakıyor olursunuz; bu size çok doğal ve sıradan gelebilir ama her memeli kafatasında bu görüntüyle karşılaşmazsınız. Bir farenin, tavşanın, koyunun, atın, ineğin ya da geyiğin kafatasına önden baksanız göz çukurlarını çevreleyen ve hafifçe yanlardan kenara taşan kemikleri seçebilirsiniz. Bu çoğu memeli için faydalı bir konumlanmadır; başın iki yanındaki gözleriyle neredeyse 360 derecelik bir görüşe sahip olurlar. Gözlerin bu konumu, eğer bir otobursanız ve devamlı yırtıcıları gözetliyorsanız çok işinize yarar. Kediler (hem vahşi hem de evcil olanlar) gibi etoburlarda gözler yan tarafları değil, doğrudan önlerini görecek biçimde konumlanır. İki gözün görsel alanı üst üste biner. Alanların üst üste gelmesi bir alan kaybı gibi gelebilir, aslında beynin çok ustaca bir şey yapmasını sağlar: Beyniniz, iki gözün eşzamanlı olarak gördüğü aynı nesnenin iki farklı görüntüsünü karşılaştırarak o nesnenin mesafesini hesaplayabilir. Hiç

düşünmeden (en azından bilinçli olarak) bu muhteşem hesaplamayı yapabilirsiniz; tek gözünüzü kapattığınızda bu mesafeyi tahmin etmek zorunda kalırsınız. Primatların büyük çoğunluğunda görsel alanların büyük bir kesişim alanına sahip olduğu öne konumlanmış gözler bulunur. Bazı araştırmacılar stereoskopik görmenin, primat atalarımızın mesafeyi hesaplamalarına yardımcı olduğu için evrildiğini öne sürmüştür. Örneğin orman zemininden epey yükseklerde, daldan dala atlayan bir canlıysanız üç boyutlu görme çok işinize yarayabilir. Ne var ki primat gözleri, derinlik algısının stereoskopik görme için *raison d'etre* olabilmesi için birbirine fazla yakındır. Birbirine yakın olan gözler, bir nesneye çok yakından baktığınızda mesafeyi algılamanızı sağlar; bu da böcekle beslenen bir hayvan için çok elverişli olabilir. Görünüşe göre bu da tam eski dönem primatlarının yaptığı bir şeydir: Büyük olasılıkla meyve ve bitki özleriyle besleniyor olsalar da ana yemekleri böceklerden oluşuyordu. Önce yaprak, sonra da meyve tüketimine dayalı bir beslenme biçimi; maymunların, ardından da kuyruksuz maymunların evrimiyle ortaya çıkmıştır.

Stereoskopik görme, dünyayı üç boyutlu görmemizi sağlar. Kafanızın arkasında ya da yanlarında gözleriniz olmadığı için içinizde ukde kalmış olabilir ama evrim size oldukça hareketli gözler ve omzunuzun üzerinden bakmanızı sağlayan hareketli bir boyun bahşetmiştir.

Öteki primatların, hatta genel olarak öbür hayvanların gözleriyle karşılaştırıldığında insanların hareket edebilen gözleri aslında oldukça tuhaftır. Göz akının (gözün beyaz bölümünün) büyük bir bölümünün görünür olması ve göz akıyla iris arasındaki karşıtlık nedeniyle bir insanın hangi yöne baktığını görmek çok kolaydır. Çoğu memelide göz akı beyaz değil siyahtır, dolayısıyla nerede başlayıp bittiğini görmek çok zordur; haliyle hayvanın nereye baktığını görmek de oldukça güçtür. İnsandaki göz akının rengi rastgele ortaya çıkmış bir tuhaflıktan fazlası olabilir: Göz akı ve iris arasındaki bu karşıtlık, özellikle başkasının nereye baktığını anlayabildiğimiz sözlü olmayan bir iletişim biçimi için evrim geçirmesi mümkündür. Bizler oldukça sosyal türleriz; genellikle birlikte bir şeyler üretip çeşitli görevlerde işbirliği yaparız. Başkasının neye baktığını bu kadar çabuk ve kolay bir biçimde anlayabilmemiz bize yarar sağlar; bu da öteki memeliler-

le karşılaştırıldığında gözlerimizin bu denli tuhaf bir biçimde evrim geçirmesinin açıklaması olabilir. Oysa öteki kuyruksuz maymunlara baktığımızda göz akının tamamen insana ait bir özellik olmadığı apaçıktır. Bazı şempanzelerin ve gorillerin de göz akları vardır, hatta gorillerin başka gorillerin baktığı yöne dikkat ettiği bulunmuştur. Yine de insanlardaki göz şekli ve neredeyse herkeste beyaz olan göz akı, her zaman başkasının nereye baktığını kolaylıkla görebileceğimiz anlamına gelir.

Oldukça görsel, sosyal ve iletişime açık hayvanlar olarak öteki insanların gözlerine çok dikkat ederiz. Çiçero, *"Ut imago est animi voltus sic indices oculi"* der; yani "Yüz zihnin bir resmi, gözlerse tercümanıdır" Çiçero güzel söz söyleme sanatı ve kelime ustalığında çok ünlü bir sanatçıdır, dolayısıyla bu çeviri biraz yavan olabilir. Çiçero'nun düşüncesi, bir İngiliz atasözünde daha şiirsel bir biçimde dile getirilir: "Gözler ruhun aynasıdır." İnsanların gözlerine baktığımızda ne düşündüklerine ilişkin fikir ediniriz. Bu bakış takibi yapmanın ve başka birinin nereye baktığını anlamanın çok ötesinde bir şeydir.

Birinin agresif, baskın ya da uysal olup olmadığı; zekâsı, yeterliliği ve anlayışı; bir de fiziksel çekiciliği hakkında yorum yapmak için de göz ve bakış örüntülerinden yararlanırız. Bizler için dikkatimizi başka bir kişinin baktığı yöne doğru yöneltmek doğuştan gelen bir şeydir: Yenidoğan bebekler yetişkinlerin bakış yönündeki değişimlere karşı duyarlılık gösterir. Bebekler altı aylık olduklarında hem baş hem de göz hareketiyle desteklendiğinde başka birinin baktığı yönü takip edebilirler. On sekizinci ayda başın konumundan bağımsız olarak bakışları takip edebilirler. Bunların aksine erişkin şempanzeler, bir insanın baş hareketiyle desteklediği bakış yönünü takip edebilse de baş hareketi olmadan sadece gözleri takip edemezler. Bebekler iki ila üç yaşına geldiklerine bakışları "zihin okumak" için kullanmaya başlarlar; bu yöntemle başkasının ne düşündüğünü çözmeye çalışırlar. Kişilerin genellikle işbirliği halinde çalıştığı bir sosyal türün üyesiyseniz bu, ustalaştığınızda çok işe yarayacak bir beceridir; birinin sizi kandırmaya çalıştığı durumlarda da çok işinize yarar. Örneğin biri kayıp bir objenin nerede olduğunu bilmediğini iddia ederken kazara sakladıkları yere bakabilir. Yetişkin insanlar bu tip ipuçlarını yakalamakta çok iyidir ama çocuklar kandırıldıklarını

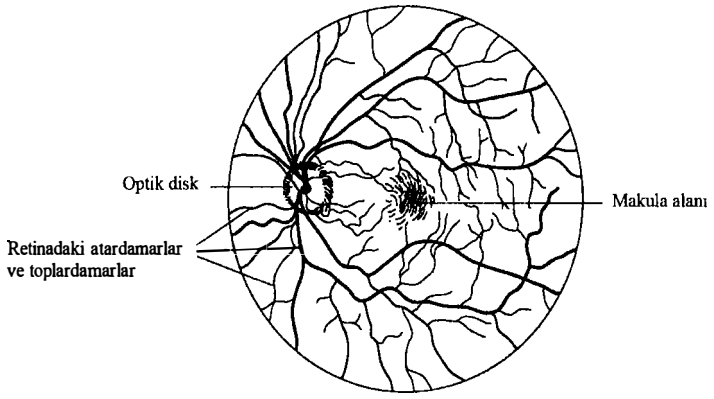
bu kadar kolay fark edebilir mi? Yapılan araştırmalar, üç yaşındaki çocukların böyle bir aldatmacayı hem anladıklarını hem de aynı yöntemle başkalarını aldattıklarını gösteriyor (bunu her anne ve baba bilir!). Peki çocuklar da yetişkinler gibi bakış yönünü bir ipucu olarak mı kullanıyor?

Psikologlar, çocukların kandırıldıklarını "görebilme" yeteneklerini test etmek için kolay bir deney düzeneği kullanmıştır. Farklı yaşlarda çocuklara video izletirler; videodaki kişi, üç adet plastik bardaktan birinin altına bir oyuncak saklar, oyuncağı sakladığı o kritik anda da ekran kararır. İlk deney düzeneğinde, deneyden önce çocuklara videodaki kişinin hilebaz olduğu ve bu kişinin "oyuncağı bulmalarını istemediği" söylenir. Ekranın kararmasından sonra videodaki kişi ekranda yeniden gözüktüğünde önünde sadece üç bardak vardır ve oyuncak gitmiştir. Videodaki kişi, çocuklara oyuncağın nereye gittiğini bilmediğini söyler ama bardaklardan birine bakar. Ardından çocukların oyuncağın hangi bardağın altında saklandığını tahmin etmesi beklenir. Daha aldatmacalı olan ikinci düzenekte, videodaki kişi oyuncağın hangi bardağın altında saklandığı hakkında yalan söyler ve bu sırada da gerçekten altında oyuncağın bulunduğu bardağa bakar. Deneyin daha dürüst olan üçüncü düzeneğindeyse çocuklara videodaki kişinin onları kandırmayacağı söylenir. Bu kez önünde üç bardakla duran biri videoda belirir ve oyuncağın nerede olduğunu bildiğini söyleyerek doğru bardağa bakar. Üç yaşındaki çocuklar, dürüst senaryoda sadece bakışı ipucu olarak alıp doğru bardağı bulmakta hiç zorlanmazlar; oysa videodaki kişi hile yaptığında doğru bardağı seçmekte oldukça başarısızdırlar, üstelik karşılarındaki kişinin "hilebaz" olduğunu bildikleri halde. Ne var ki dört ve beş yaşındaki çocuklar aldatmacalı deney düzeneklerini çok daha kolay çözer; videodaki kişi oyuncağın nerede olduğunu bilmediğini söylese ya da oyuncağın yeri hakkında yalan söylese bile onun baktığı bardağı seçerler.

Tüm bunlar yetişkinlere çok kolay gözükür; belki de bizler artık usandık ve insanlara daha az güveniyoruz. Yine de bu aldatmacayı çözmenin neler gerektirdiğini bir düşünelim. Doğru bardağı seçebilmek için karşınızdaki kişinin sizi kandırmayı amaçladığı ihtimalini de değerlendirmelisiniz. Sonrasında bazı bilgilerin (söylenen sözlerin) sizi kandırmak için verildiğini, bazı bilgilerin de (gözlerin

baktığı yön gibi) doğruya işaret ettiğini çözmeniz gerekir. Görünüşe göre dört ve beş yaşlarındaki çocuklar "lafla peynir gemisi yürümez" atasözünün ne demek olduğunu bilirler; oysa üç yaşındaki çocuklar, birinin onları kandıracağı söylendiği halde o kişinin yalan söylediğine inanmakta çok zorluk çeker. Dört yaşındaki çocuklar başka insanların gözleriyle verdikleri ipuçları çoktan kavrayabilen bir haldedir. Çocukluk dönemi boyunca kandırıldığını anlama ve başkalarını kandırma becerileri gelişmeye devam eder; hatta anaokuluna giden çocuklar bile bakışları sözel olmayan önemli bir iletişimsel ipucu olarak yorumlayabilirler.

Gözler, başkalarının zihinsel durumları hakkında çıkarım yapmamızı sağlamanın yanı sıra tam anlamıyla beyne açılan pencerelerdir. Çok eski dönemlerdeki kordalı atalarımızda ve gelişmekte olan insan embriyosunda ön beyin çıkıntıları olarak evrilen gözler hâlâ "saplarından" beyne bağlıdır: Bu saplara optik sinirler denir. Birinin gözlerine oftalmoskopla bakıp gözün arkasındaki retinaya odaklanırsanız optik sinirin nereden çıktığını görebilirsiniz. Retina boyunca ışık reseptör hücrelerinden bilgi taşıyan yaklaşık bir milyon optik sinir lifi, retinadan çıkış noktasında toplanıp optik siniri oluşturarak beyne doğru ilerler. Toplandıkları noktaya optik disk adı verilir ve oftalmoskopla rahatça fark edilir. Optik disk genellikle dört milimetre çapındadır ve retinanın turuncuya dönük kırmızı renginin aksine parlak bir turuncu renkte gözükür.



Oftalmoskopla retinayı görmek.

Sinir liflerinin retinadan çıktığı optik diskte reseptör hücrelerine yer yoktur. Aslında bu vücudumuzdaki kusurların bir örneğidir; hiçbir öngörüsü ve hedefi olmayan bir süreç tarafından "tasarlandığımızı" gösterir. Ortada bir tasarımcı yoktur: Vücudunuzun yapısı ve işlevi evrimin birer ürünüdür. Eğer sıfırdan bir göz tasarlayacak olsaydınız reseptör hücrelerini muhtemelen retinanın yüzeyine yerleştirirdiniz, ardından da bu hücreleri arkalarından sinir liflerine bağlanacak biçimde bir kablo düzeneği kurardınız. Böylelikle retinanızda bir optik disk olmasına gerek kalmazdı; bu "kör nokta", reseptörü olmayan kısım da olmazdı.

Her bir gözünüzde kör nokta olduğunun farkında olmayabilirsiniz, zaten olmamanız da gerekir. Bunun nedeni, beyninizin kör noktanın kenarlarında gördüğü şeylerden anlam çıkararak kaybolan görüntüyü tamamlamada iyi bir iş çıkarmasıdır. Oysa hemen yapabileceğiniz basit bir deneyle kendi kör noktanızı bulabilirsiniz. Şimdi, sol gözünüzü kapatın ve sakın açmayın. Sağ elinizi uzatabileceğiniz kadar uzatın, sonra da işaret parmağınızı yukarı kaldırın. Doğru bir biçimde duruyorsanız sağ işaret parmağınızın ucunu görebilmeniz gerekir. Şimdi kaldırdığınız işaret parmağınızı hareket ettirmeye başlayın, kolunuzu düz tutmaya dikkat edin. Elinizi sağdan sola, hafif yukarıya ve aşağıya gezdirin. Tüm bunları yaparken devamlı önünüze bakmanız gerekir, sağ gözünüzle sağ elinizin yaptığı hareketleri takip etme dürtüsüne karşı koymalısınız. Sabırlı olursanız en sonunda çok tuhaf bir şeyle karşılaşacaksınız: Bir noktada sağ işaret parmağınızın ucu *kaybolacaktır*; bunu da muhtemelen kolunuz yatay bir düzlemde ve omzunuzdan dışarıya doğru dururken deneyimleyeceksiniz. Kör noktanızı ilk bulma anınız oldukça tuhaftır, aniden görmenin pasif bir süreçten çok daha fazlası olduğunu fark edersiniz. Beyniniz gözlerinizden gelen tüm bilgiyi işleyip bunlardan anlam çıkarmak için çok çalışır. Gelen bilginin bir kısmı kaybolursa da bu boşluğu anlamlı bir şeyle doldurur. Az önceki deneyde parmak ucunuzun olması gerektiği yerde görünen arka plan görüntüsü aslında yoktur. Bunu beyniniz uydurur; küçücük görsel bir halüsinasyon görürsünüz. Büyüleyici bir şeydir. Öyleyse artık kör noktanızın var olduğunu biliyorsunuz. Oysa gözünüz en başta daha mantıklı bir biçimde yapılmış olsaydı, beyniniz böyle boşluk doldurmak zorunda kalmayacaktı.

Optik disk, gözle ilgili herhangi bir "akıllı tasarım" düşüncesine ket vurabilir; yine de doktorlar bu diskin ne için kullanıldığını da bulmuştur. Optik diske bakmak, kafatasının içinde neler olduğunu anlamak için işe yarar bir ipucu verebilir.

Göz küresinin dış katmanları, optik sinirin etrafını saran kaplamanın bir uzantısıdır. Bu kaplamanın kendisi de beyni saran zarların ya da meninkslerin devamıdır. Dış beyin zarı hariç içerideki iki beyin zarı arasındaki bölgede beyin omurilik sıvısı (BOS) bulunur. Kafatasında alışılmadık biçimde yüksek bir basınç olursa BOS optik siniri saran kaplamanın altına itilir. Bu da hem optik siniri hem de içinden geçen merkezi retina damarını sıkıştırır. Basınç göze kadar gelip optik disk sinir liflerinin şişmesine neden olabilir. Papil ödem olarak da bilinen optik disk şişkinliği bir tehlikenin habercisidir; iltihap, beyin tümörü ya da BOS boşaltımının tıkanması gibi nedenler yüzünden kafatası içindeki basınçtaki artışına işaret eder. Papil ödem bizlere göz ve beyin arasındaki yakın ilişkiyi hatırlatır; bu da embriyodaki gözün gelişimiyle artan ve bizleri çok eski atalarımızın gözlerinin kökenine götüren bir ilişkidir.

KONUŞMA VE SOLUNGAÇLAR

GIRTLAĞIN ISLAK KÖKENLERİ

"İnsanlar, sırf bir gün söyleyecekleri anlamlı bir şey olduğunda sağlam gırtlaklara sahip olmak için sadece gırtlaklarını çalıştırmaya yarayan konular hakkında konuşurlar."

KURT VONNEGUT

U BİÇİMİNDE BİR KEMİK VE KELEBEK BİÇİMİNDE BİR KIKIRDAK

Yeni bir liman inşası için dönemin İngiliz mandası altındaki Filistin'in (şimdiki İsrail'in) Hayfa şehrinde yüksek kaliteli taş kaynakları arayan İngiliz jeologlar, 1920'li yıllarda Karmel Dağı'nın batı yamaçlarında ilginç tarih öncesi taş aletler ortaya çıkardılar. Elbette bunu duyan öteki arkeologların kulakları dikildi. Arkeolog Dorothy Garrod'ın önderliğindeki bir ekip, 1929 ile 1934 yılları arasında Karmel Dağı'nda bir dizi kazı çalışması yaptı ve bazı şaşırtıcı keşiflerde bulundu. Arkeologlar, Skhul adlı bir mağarada binlerce taş alet ve on insan gömüsü keşfettiler. Daha o zamanlarda sit alanının çok eski bir döneme ait olduğu belliydi; Paleolitik Çağ'a kadar uzanıyordu. Ne var ki modern tarihlendirme yöntemlerinden anlaşıldığı üzere bu, Dorothy Garrod'ın hayal bile edemeyeceği kadar eski bir tarihe aittir: 100 ila 130 bin yıl öncesine. Aslında buldukları iskeletler, eski modern insanların (*Homo sapiens*) ve Afrika'dan yayılmalarının önemli bir kanıtıdır ama bu öyküyü başka bir zamana bırakalım. Garrod'un ekibi tarafından incelenen Karmel Dağı'ndaki öteki mağaralarda (Kebara Mağarası da dahil) da insanların varlığına ilişkin izler, taş aletler biçiminde göze çarpıyordu.

Arkeologlar, Garrod'un başladığını bitirmek için 1982 yılında yeniden Kebara Mağarası'na döndü. Bu kez Harvard Üniversitesi profesörü Ofer Bar-Yosef öncülüğündeki ekibe Fransa ve İsrail'den bilim insanları da katıldı. Birkaç kazı mevsiminin ardından Kebara sırlarını ortaya döktü: Yeni taş aletler; dağ ceylanı, antilop, geyik, yabani at, gergedan, sırtlan ve tilki gibi birçok türe ait hayvan kemikleri, bir de eski dönemden kalma kalp kalıntıları keşfedildi. Arkeologlar, bir sonraki 1983 kazı mevsiminde yeni bir insan gömüsü ortaya

çıkardılar ama bu kez bulunan modern bir insan değil, yaklaşık 60 bin yıl önce mağaraya gömülen bir Neandertal'di. Bu fosil, kafatası ve bacak kemiklerinin çoğu kaybolmuş olsa da günümüzde en eksiksiz halde bulunan tek Neandertal iskeletidir. Arkeologlar, Neandertal'in çene kemiği çıkıntısının hemen altında küçük, ince ve U biçiminde bir kemik de buldu: Bu, dil kemiğiydi.

Aslında bu kemik de iskeletinizin bir parçasıdır; boynuzun en üst kısmında, çene kemiğinizin hemen altında saklanır. Eğer başparmağınıza işaret parmağınızı C harfi gibi yapıp çene kemiğinizin birkaç santim altından boynunuzu tutarak bastırırsanız bu kemiği hissedebilirsiniz. Elinizle sert bir şey hissetmeniz gerekir, hatta kemiği hafifçe sağa sola oynatabilirsiniz. (Bunu çok fazla yapmayın ya da fazla bastırmayın, canınız yanabilir.)

Dil kemiği, ağız ve boyun bölgesindeki çeşitli kasların ve bağ dokunun sabitlendiği önemli bir noktadır. Ağız tabanını oluşturan kaslar, çene kemiğinin öndeki iç kısmından dil kemiğinin arkasına tutunur. *Hyoglossus* olarak adlandırılan bir çift dil kası, dil kemiğinden çıkarak dilin gövdesine doğru uzanır. *Stylohyoid* kası, aynı isimdeki lifli bağ dokuyla birlikte styloid kemik uzantısından (kafatasının hemen altında temporal kemikten çıkan incecik bir kemikten) çıkıp alttaki dil kemiğine bağlanan ince bir kastır. Boynun daha da aşağısında gırtlak ya da larinks, ince bir lif dokusu ve birkaç kas yardımıyla dil kemiğinin hemen altında asılı halde durur.

Gırtlak, olağanüstü derecede karmaşık bir anatomi ürünüdür. Üç santimetrelik çapı ve dört santimetrelik boyuyla küçük gözükebilir ama bağ doku ve zarlarla tutturulmuş dokuz ayrı kıkırdağın bir araya gelmesiyle oluşur; ayrıca küçücük kasların bağlı olduğu hareket edebilen kısımları da vardır. Tiroit (onunla çoktan tanıştık) ve krikoit, gırtlaktaki en büyük kıkırdaklardır. Krikoit Antik Yunancada "halka biçiminde" anlamına gelir ve bu kıkırdak gerçekten de bir yüzüğe benzer. Tiroit kıkırdak da kadınlara kıyasla erkeklerin boyunlarında çok daha belirgin olan âdemelması adlı yapıyı meydana getirir. Kelebek biçimindeki tiroit kıkırdağı, hafifçe sallanmasını sağlayan ufak eklemlerle yüzük biçimindeki krikoit kıkırdağın üzerinde oturur.



İnsan gırtlağı.

Gırtlağın iç kısmında tiroit kıkırdağının iç yüzeyinden çıkıp krikoit kıkırdağın tepesindeki küçük ve piramit biçimindeki kıkırdaklara bağlanan tel gibi, esnek bir çift doku vardır. (Bu ufak kıkırdaklara her baktığımda piramitlere benzediğini düşünüyorum ama görünüşe göre bu kıkırdaklara isim veren kişi onları çorba kepçesine benzetmiş. Bu yüzden bunlar aritenoit, yani "çorba kepçesi biçiminde" kıkırdaklardır.) Aritenoit kıkırdaklara bağlanan bu dokular ses telleridir. Ses tellerini sabitleyen ve ufak piramitlere benzeyen kıkırdaklara bağlanan kaslar, solunum yolu üzerindeki açıklığın kapanması için ses tellerinin bir araya getirilebileceğini gösterir. Bu olay, yemek parçalarının soluk borunuza ve akciğerlerinize kaçmasını sağlamak adına her yutkunmanızda otomatik olarak gerçekleşir. Aynı zamanda yaprak biçimindeki epiglotis (gırtlak kıkırdaklarından biri), gırtlağı korumak için gırtlak açıklığının üstüne kapanır. Ses tellerinin birleşerek kapanması; ağır bir eşya kaldırırken (gövdenizi kuvvetlendirmek için havayı akciğerlerinizde tutmanız gerektiğini bilinçdışınızda "bilirsiniz"), büyük tuvaletinizi yaparken ya da bir bebek doğururken gerçekleşen bir olaydır. Bazen bu gibi durumlarda havanın ses telleri arasından çıkmasını engellemek zordur, bu nedenle

istemsiz sesler çıkardığınızı fark edebilirsiniz. (Merak etmeyin, bu oldukça doğaldır. Artık neden olduğunu da biliyorsunuz.)

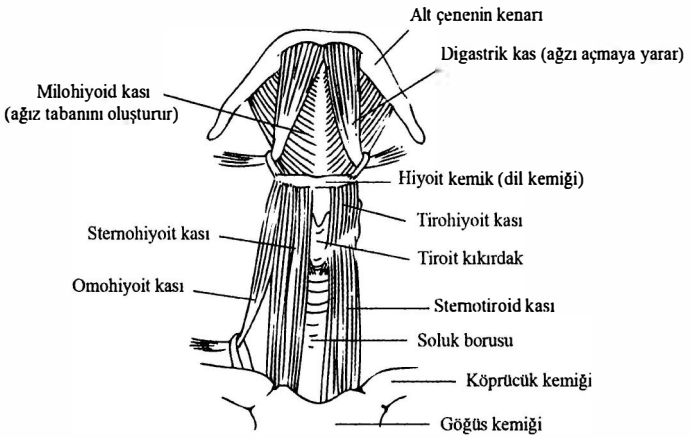
Bir kapak gibi soluk borusu ve akciğerlere inen yolu kapatan gırtlağın bu görevi, evrimsel süreçteki asıl işleviyle aynıdır. Aynı zamanda bir ses üretme organıdır, konuşurken sesin geldiği yer burasıdır.

Aritenoit kıkırdak, konuştuğunuzda ses tellerini birbirine yaklaştırarak onları gerer. Bir miktar hava ses tellerinin içinden geçmek zorunda kaldığında, tıpkı üflemeli çalgılarda sesi titreştirmek için kullanılan ince ve hassas kamışlar gibi onları titreştirir ve ses meydana gelir. Ses perdeniz, ses tellerinizin uzunluğuna bağlıdır. Ses telleri kadınlarda yaklaşık 1,25 ila 1,75 santimetre uzunluğundayken erkeklerde 1,75 ila 2,5 santimetre uzunluğunda olur. Bu da erkek gırtlağının önden arkaya doğru derinleştiğini girdiğini gösterir; böylelikle gırtlak, gözle görülür bir "âdemelması" oluşturarak boyunda daha belirgin durur.

Şüphesiz ses perdenizi değiştirebilir, ses tellerinizi esneterek daha yüksek tonda bir ses üretebilirsiniz. Bu, üzerine hiç üzerine düşünmenize gerek kalmadan, doğal olarak nasıl yapıldığını bildiğiniz şeylerden biridir. Gırtlağın ön kısmındaki krikoit kasın kasılmasıyla gerçekleşir. Bu kas, krikoit kıkırdağı tiroit kıkırdağa doğru yukarı çeker. İsterseniz kendi boynunuzda deneyebilirsiniz: Âdemelmanızı bulun ve hafif bir boşluk hissedene kadar parmağınızı çok bastırmadan aşağıya doğru götürün. Bahsettiğim boşluk tiroit ve krikoit kıkırdakları arasındaki yerdir. Parmağınızı burada tutun ve şimdi kısa, tiz bir ses çıkarın. İşte! Krikoit kıkırdağının ön kısmı tiroit kıkırdağa doğru çekildiği anda parmağınızın altındaki boşluğun kapandığını hissetmiş olmalısınız. Bu boşluğun kapanması, krikotiroit kasınızın çalıştığını gösterir. Krikoit kıkırdak, tiroidin altına menteşeli gibi durduğu için baş aşağı bir testere gibi davranır. Krikotiroit kas önden kasıldığında, krikoit kıkırdağın arkası ve beraberinde aritenoit kıkırdaklar da aşağıya çekilir. Bu da ses tellerini sıkıca gerer, dolayısıyla aralarından hafif bir hava geçirdiğiniz anda ses çok tiz çıkar.

İnsanlar için konuşma bu kadar önemli bir özellikse insan gırtlağının özel olup olmadığını da sormamız gerekmez mi? Öteki memeli gırtlaklarına kıyasla aşırı derecede karmaşık olduğunu düşünmek isteyebilirsiniz ama böyle bir durum söz konusudur.

Bizdeki şatafatsız, oldukça standart bir memeli gırtlağıdır. Aslında gırtlaktan çıkıp konuşmaya dönen sesin, gırtlağın üst kısmındaki anatominin eseri olduğu düşünüldüğünde bunun pek de şaşırtıcı olduğu söylenemez. Sesli söylenen bir hece, ses tellerinin titreşiminden doğan sesle başlıyor olsa da birini konuşurken dinlediğimizde bir titreşimden fazlasını duyarız. Biz konuştukça ses telleri üzerindeki hava sütunu biçim değiştirir; dolayısıyla diliniz, çıkarılan sesi ve solunum yolu biçimini kontrol eden temel etmendir. Dilinizle bir akustik enerji patlaması yaratabilirsiniz; "d" ve "t" sessiz harflerini üretmek için dilinizi damağınızın çatısına bastırıp bırakabilir ya da hafif bir boşluk bırakıp dilinizi dişlerinize doğru iterek "s" harfi sesi çıkarabilirsiniz. Sessiz harfleri üretirken dudaklarınız da olaya katılır; "b", "m" ve "p" harflerini üretebilmek için kapanıp hava akımı için aralanırken "f" ve "v" sesleri için dişlerinizle bir araya gelir. Öte yandan dilinizin biçimini değiştirerek ağzınızdan serbestçe çıkan havayı ünlü harflere dönüştürebilirsiniz.



Dil kemiğine pek çok kas bağlanır.

Kendi ses anatomimi işbaşındayken gördüğüm oldu. Ayna nöronlarımın varlığına göz attığım o fonksiyonel MR tarayıcısında,

ben konuştukça bir dizi ünlü ve ünsüz harf üretmek için çalışan dudaklarımı ve dilimi de gördüm. Ses anatomisi üzerine bir belgesel çekiyordum; deneyden sonra dışarıda bir kafede yeniden söyleyeceğim bazı kelimeleri tarayıcının içindeyken söyledim, böylelikle dışarıda konuşurken çekilen görüntülerimle beyin tarayıcısından alınan animasyonları birleştirebilecektik. Söylediklerim şunlardı:

> Akciğerlerimden gelen hava, ses tellerimin arasından geçerek onları titretiyor. Ses yukarı doğru çıkıyor, dilim ve dudaklarımla biçimleniyor ve konuşmaya dönüşüyor… Aaa… İii… Ooo…

Ben konuştukça çalışan gırtlağımı, dilimi ve damağımı gösteren hareketli fonksiyonel MR görüntülerini izlemekten hoşlanmıştım. Farklı ünsüz harflerin anatomisini kolaylıkla görebiliyordum ama dilimin ağzımın içinde nasıl biçimden biçime girdiğini pek fark etmediğim için bana en ilginç gelen "a, i, o" ünlü harfleriydi. "Aaa" derken dilim ağzımın arkasına toplanıyordu. "İii" derken ortaya itiliyor ve damağıma baya yaklaşıyordu. "Ooo" derken de tuhaf bir şekle giriyor, önde bir boşluk bırakarak toplanıyordu.

Dil organı, anlaşılabilir sözlü bir dil üretebilmek için inanılmaz bir öneme sahiptir. Ayrıca bize en yakın primat kuzenlerimiz şempanzeler dahil olmak üzere öteki bütün memelilerden farklıdır. Bu biraz da bizi insanlardaki "burun kemiğinin" kısa olmasından kaynaklanır. Bizlerdeki dil öteki çoğu memelininki gibi uzun ve düz değil, daha yuvarlak ve çok hareketlidir. Ne var ki tıpkı gırtlak gibi dil de fosilleşmez. O halde atalarımızın ne zaman büyük, hareketleri diller geliştirdiğini öğrenmek için bize yumuşak doku anatomisi hakkında birkaç iç görü verebilecek iskeletlerde ipucu aramamız gerekir; bu da çetrefilli bir şeydir. Atalarımızın dil kaslarına doğrudan bakamadığımız durumda dil kasını besleyen sinirden ipucu alabiliriz: Bunun adı hipoglossal sinirdir. Vücuttaki adlandırılmış sinirler genellikle çıplak gözle görülebilir ve çoğunlukla tekli sinir liflerinden yüz binlercesinin oluşturduğu sinir demetleridir. Hipoglossal sinir gibi motor sinirlerindeki her bir lif, eninde sonunda bir kasa ulaşarak "motor ünite" denilen bir grup kas lifini besler. Öyleyse hipoglossal sinirin bünyesindeki sinir liflerinin sayısına bağlı olan boyutu, dildeki motor ünite sayısı hakkında bir fikir ver-

melidir. Çok sayıda motor ünite, daha büyük bir hassasiyetle kontrol edilen bir dil demektir. Böyle bir dil, konuşma için çok yararlı olabilir gibi duruyor.

Şüphesiz sinirler de yumuşak dokudan oluşurlar, dolayısıyla fosilleşmezler. Neyse ki hipoglossal sinir kraniyal sinirlerden biridir. Kraniyal sinirlerin başlangıç noktaları beyindir ve kafatasından dışarıya çıkarak çeşitli yapıları kontrol ederler. (Kraniyal sinirler on iki çifttir; zaten optik sinir, olfaktor (koku) sinir ve vestibülokoklear (işitme ve denge) sinirle çoktan tanıştık.)

Hipoglossal sinir, hipoglossal kanal adında kendine özgü bir kanaldan geçerek kafatasından çıkar. Hipoglossal kanal, kafatası tabanında beyin sapının geçip omuriliğe devam ettiği büyük *foramen magnum*un yakınından geçer.

Amerika Birleşik Devletleri'nin Durham şehrinde bulunan Duke Üniversitesi'nden bir grup anatomist, 1990'lı yılların sonlarına doğru insan, şempanze, goril ve birkaç fosilleşmiş hominin kafatasındaki hipoglossal kanalların boyutunu ölçmeye başladı. Görünüşe göre bu bilim insanları bir şeyler yakalamıştı. İnsanlarda hipoglossal kanalın boyutu ortalama olarak şempanzelerinkinden neredeyse iki kat, gorillerinkindense üçte bir daha büyüktü. Yaklaşık iki ila dört milyon yıl önce Afrika'da yaşayan ilk hominlerden *Australopithecus* cinsine ait hipoglossal kanallar, şempanzeler ve gorillerdeki gibi küçüktü. Ekip, birer *Homo heidelbergensis* (Neandertaller ve modern insanların ortak atası) ve Neandertal kafatası da dahil olmak üzere geç dönem homininlerini incelediğinde deliğin daha büyük olduğunu görmüştür; insanlardakiyle aynıdır. Eğer büyük bir hipoglossal kanal, dili kontrol eden daha büyük bir sinir ve konuşma için insana daha yakın bir kapasite anlarına geliyorsa insan olmanın bu önemli özelliği en az 400 bin yıl öncesindeki en yakın atalarımızda ve ardından kuzenlerimiz olan Neandertallerde de var olabilir.

Ne şahane bir öykü. Ne yazık ki bu sonuçların yayımlanmasından sadece bir sene sonra ABD'li araştırmacılardan oluşan ikinci bir ekip, dilin evrimi hakkındaki havalı hipoglossal kuramına gölge düşürecek sonuçlar bildirdi. Bu ekip, yüz dört modern insan ve yetmiş beş primat kafatasındaki hipoglossal kanalları ölçtü. Böylesine büyük bir örnek grubunda insanlardaki hipoglossal kanal boyutlarının daha fazla farklılık gösterdiğini, bunların

da öteki kuyruksuz maymunlar ve arkaik hominin lerdeki kanal boyutlarıyla örtüştüğünü buldular. Hatta primatlar arasında en geniş hipoglossal kanallara sahip olanların maymunlar ve ıslak burunlu primatlar (lemurlar ve lorisler) olduğu ortaya konmuştur; onların konuşabildiğini kim düşünür ki? Hipoglossal kuramıyla ilgili bardağı taşıran son damlaysa diseksiyon çalışması oldu. Bu çalışma, hipoglossal kanalın sinirin ne kadar büyük olduğuna ilişkin iyi bir belirteç olmadığını gösteriyordu.

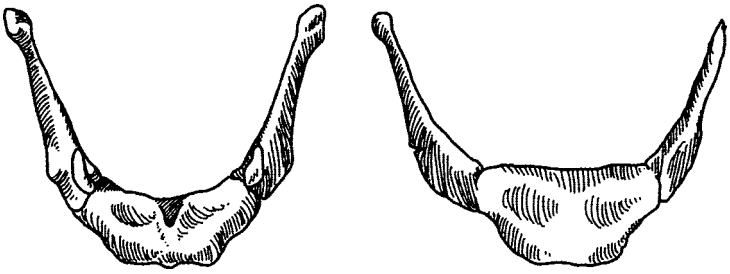
Demek hipoglossal kanalla buraya kadarmış. Peki dil kemiğine ne demeli? Bu kemik konuşmanın kökenlerine ilişkin sorulara yanıt vermemize yardımcı olabilir mi? İsrail'deki Kebara Mağarası'nda bulunan Neandertal dil kemiğini keşfedenler kesinlikle böyle düşünüyor gibiydi. Dil kemiği hakkında yazdıkları rapora göre Neandertal dil kemiği, modern insandakine o kadar çok benziyordu ki Neandertaller tam anlamıyla gelişmiş bir konuşma kapasitesi geliştirmiş olmalıydılar. İspanya'nın Atapuerca Dağlarında bulunan meşhur Sima de los Huesos sit alanında bulunan ve arkaik Neandertallere ait olan iki farklı dil kemiği de bizdekilere benzer. Daha da eski zamanlarda yaşayan hominin türlerinden *Australopithecus afarensis*'e ait fosilleşmiş bir dil kemiği de bulunmuştur ama bu kemik, şempanzedekine daha yakındır. Öyleyse Australopitler konuşamazken Neandertallerde muhabbet bitmiyordu.

Bu iddia böylesine ufak bir kemik için çok büyüktür, hatta biraz da ileri gitmektir. Gırtlak, dil kemiğinin altında asılı olabilir ama dil kemiğine baktığımızda (gırtlaktaki kıkırdaklar da dahil) yumuşak dokuyla ilgili öğrenebildiğimiz pek bir şey yok. Hatta biraz daha sinir bozucu olmak istesem, sadece dil kemiğinden gırtlakla birlikte tüm yumuşak dokuyu anlamaya çalışmanın bir aşkıdan elbise üretmekle aynı olduğunu söylerdim.

Belki de anatomiye bakarak atalarımızın konuşma gücünü *ne zaman* kullanmaya başladığı sorusunu asla yanıt veremeyeceğiz. İnsan gırtlağının kendi başına pek bir ilgi çekici yanının olmadığını az önce gördük; tüm memelilerde bulunan sıradan bir araç işte. Yine de öteki memelilerle kıyaslandığında gırtlağınızla ilgili tuhaf bir şey göze çarpar: Gırtlağın boynunuzun epey aşağısındadır, bu da ses telleriyle dudaklar arasında çeşitli seslerin üretilmesine izin verecek kadar uzun bir ses yolu olduğu anlamına gelir.

Tıpkı kendi ses yolumun MR görüntülerinde olduğu gibi gırtlaktan çıkan hava; dil, yumuşak damak, dudaklar ve dişler tarafından ünsüz ve ünlü seslere çevrilir.

ABD'li bilişsel bilimci Philip Lieberman yıllarca insanın ses yolu anatomisini, işlevini ve evrimini araştırmıştır. Lieberman, yetişkin insanlarda boyun bölgesinin aşağısında konumlanan gırtlağın, aynı zamanda dilin konumunu değiştirdiği için önemli olduğunu söyler. Gırtlağın ve dil kemiğinin daha aşağıda durması, yutağın (dilin arkasında) ve ağız boşluğunun (dilin üst ve ön kısımlarında) boyutlarının da dilin konumuyla değiştirilebileceğini gösterir. İnsanlarda ağız boşluğu ve yutak arasındaki dik açı, ses yolunu etkili bir biçimde iki eşit uzunluğa böler. Lieberman, bu bölünmenin "Aaa", "İii" ve "Ooo" gibi farklı ünlü sesleri üretme becerisinde önemli bir nokta olduğunu düşünmüştü. Akustik olarak farklı ünlüler üretebilmek kulağa lüks bir şey gibi gelir; oysa bu, karşımızdaki insanın farklı sesleri ürettiği durumda beynimizin gerçekten ne dendiğini çözebilme şansını yarı yarıya düşürüyor. Neandertallerin ses yolları, büyük bir ağız boşluğuna neden olan uzun çenelere sahip oldukları için bizlerdeki gibi iki eşit parçaya bölünmüş bir halde olamaz. Ses telleri üzerindeki yutak boruları bizimki kadar uzun olsaydı gırtlaklarının göğüs bölgesine kadar inmesi gerekirdi, bu da anatomik olarak imkânsızdır. O halde ses yolunun eşit bölünmemiş olmaması, Neandertallerin ünlü seslerini birbirinden ayırmasını zorlaştırmış ve konuşmalarını anlaşılamaz kılmış olabilir mi? Lieberman böyle düşünse de öteki bilim insanları ona katılmamıştı: Sonuçta on yaşındaki çocukların ses yolları da benzer bir biçimde orantısız kısımlara ayrılıyordu ama söyledikleri rahatlıkla anlaşılabiliyordu.



Modern insanın dil kemiği (solda) ve Kebara Mağarası'ndan çıkan Neandertal dil kemiği.

Peki Neandertalin sesleri neye benziyordu? Southampton Üniversitesi ve University College London'daki meslektaşlarıyla birlikte çalışan akustik bilimci Anna Barney ve anatomist Sandra Martelli, bu soruya yanıt verebilmek için işe koyuldu (elbette Neandertallerin akustik olarak farklı ünlüler üretip üretemedikleri hakkında daha ciddi soruları da ele aldılar). Araştırma ekibi, bilgisayarlı tomografi taramalarını kullanarak yaşayan insanların ve Neandertal fosillerinin ses yollarını sanal ortamda yeniden ürettiler. Ardından modern insana kıyasla Neandertal sesinin ne kadar farklı olduğunu anlayabilmek adına konuşma eyleminin bilgisayar modellemesinden faydalandılar.

Bu bilgisayar modellemesinde Neandertal dil kemiğinin konumu, tıpkı sizin boynunuzdaki gibi tam çenenin altında kalıyordu. Sadece dil kemiğinden ağzın ön kısmına olan mesafe, Neandertallerin daha uzun çene kemikleri olduğu için modern insanlardakine kıyasla daha uzundur. Neandertallerde üst yutağın bulunduğu servikal omurgayla dil kemiği arasındaki mesafe de daha fazladır; dolayısıyla Neandertal dilleri, yutağa doğru bizlerdeki kadar çekilemezler. Akustik modellemede gösterildiği üzere dilin bu hareketi ünlü seslerini etkiler. Neandertallerdeki "İii" ve "Ooo" sesleri modern insanlarınkine benzerken sanal ortamda yaratılan Neandertal ses yoluyla modern insanlardaki gibi bir "Aaa" sesi üretememiştir. Bunun nedeni, tıpkı kendi MR taramam sırasında da gördüğüm gibi "Aaa" sesi üretirken dilin arkaya doğru yaslanıp üst yutağın biçimini değiştirmesiyle oluşmasıdır.

GIRTLAK MİTLERİ

Boynun aşağısında konumlanan insan gırtlağı ve bu gırtlağın konuşmadaki rolü, bir organizmanın evrimsel geçmişine ve parçalarına bakarak onu yeniden inşa etmenin ne kadar ilginç ve sinir bozucu olduğunu gösteren şahane bir örnektir. Çoğu anatomik bölgemizin işlevleriyle birebir uyuştuğunu düşünmek çok kolaydır. Belki de kendimizi hâlâ yaşam ağacının acımasızca budanan

dalları arasında yaşamkalım mücadelesi veren incecik bir dal parçası olarak değil, evrimin zirvesi ya da *scala naturae*nin son halkası olarak görmek istiyoruz.

Biraz düşündüğünüzde vücudunuzdaki her anatomik bölgenin işleviyle birebir uyuşması pek gerçekçi değildir; çoğu anatomik parçanın birden fazla işlevi vardır. Örneğin bir yapı için işlevlerinden biri daha önemli olabilir; doğal seçilim aracılığıyla bu yönde bir ilerleme görülebilir. Öte yandan bu yapının öteki işlevlerine yönelik karşılanma ihtiyacı da muhtemelen bir gerilim yaratacaktır. Bu durumda ister istemez ödün vermek gerekecektir. Öyleyse bir yapının son hali, hangi işlevine bakarsanız bakın bir "tasarım uzlaşmasına" işaret edecektir.

Anatominin her bir parçasını uyarlanım olarak görmek de cezbedicidir. Uyarlanımlar, bir yapının son haliyle işlevi arasındaki uyumu sağlamak için doğal seçilimin etkisindedir. Örneğin insan gırtlağının boynun aşağısında konumlanmasının, seslendirmeyi daha iyi ve muhtemelen daha belirgin yaptığını varsayarız. Gırtlağın yetişkin insanlardaki konumu, ses yolunun eşit boydaki iki ayrı tüpten oluştuğunu gösterir; görünüşe göre bu da farklı ünlü sesleri üretebilmek için gereklidir.

Eşsiz konumuyla insan gırtlağının evrimini anlatan geleneksel öykü, boynun daha aşağısında konumlanan gırtlağın artık yaşamsal bir tehlikeye yol açtığına da dikkat çeker: Şimdi de boğulma ihtimali çok yüksektir. Evrimsel açıdan bakıldığında konuşmanın sağladığı yarar, daha yüksek riskte boğulma tehlikesiyle yaşamaktan daha ağır basmış olmalıdır. Öteki memelilerde gırtlak daha yukarıdadır ve gırtlak kapağı çok daha yukarıya, yumuşak damağa kadar uzanır; bu da gırtlaktan geçen solunum yoluyla yemeklerin geçtiği yerin birbirinden ayrı tutulduğunu gösterir. İnsanlardaki gırtlak boynun çok daha aşağısında yer alır ve gırtlak kapağının ucu yumuşak damaktan epey aşağıdadır. Yutulan bir lokma yemek gırtlağın üstünden geçmek zorundadır, dolayısıyla solunum yolunu keser ve bazen de bu yolu tıkayabilir.

Bahsedilen bu öyküye karşı her zaman şüphe duymuşumdur. Öncelikle köpeğim devasa lokmalar yerken sık sık boğulma tehlikesi atlatır (neyse ki rahatsız edici lokmaları çıkartarak solunum yolundaki tıkanıklığı gidermeyi başarır). İkinci olarak bir hayvanın gırtlak kapağı, bir şey yutmuyorken yumuşak damağına kadar uzansa da

yutma esnasında aşağıya bastırılarak yumuşak damakla olan bağlantısını koparır. Dolayısıyla tıpkı sizde ve bende olduğu gibi bir lokma yemek yutağa gelip oradan da yemek borusuna geçebilmek için yine gırtlaktan geçmek zorundadır. Öyleyse gırtlaklarımız daha aşağıda olduğu halde bizler de çoğu memeli gibi yutuyoruz.

Evrimsel antropolog Leslie Aiello da boğulmayla ilgili bu geleneksel öykünün gerçekliğinden şüphe duymuştu. İngiltere'de son yüz yıl içindeki ölüm kayıtlarını incelediğinde boğulmanın nadiren bir ölüm nedeni olduğunu görmüştü. Görünüşe göre gırtlakları hâlâ boynun yukarısında konumlanan çocuklarla kıyaslandığında yetişkinlerin boğulma riskinde herhangi bir artış da yoktu.

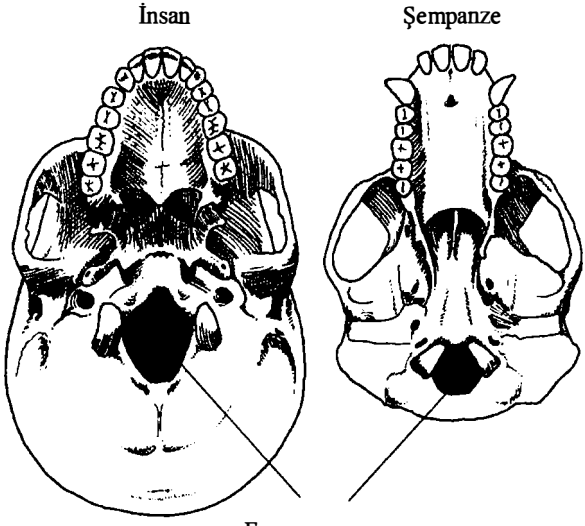
Öyleyse konuşmanın ortaya çıkması için gırtlağın daha aşağıda bir konum alması üzerindeki seçilim baskısının, boğularak ölme riskini alt edecek kadar güçlü olduğu iddiası pek de sağlam değildir. Şüphesiz şunu da unutmamak gerekir: Ya gırtlağın konumu konuşma için gerçekleşen bir uyarlanım değilse? Ya gırtlak bambaşka bir nedenden dolayı böylesine aşağıda bir konum almışsa ve bu da uzun vadede konuşma için oldukça faydalı bir hale gelmişse?

Kafanız servikal (boyun bölgesindeki) omurganızın üzerinde dengede durur. Bir şempanzenin servikal omurgası, kafatasının arka kısmından eklemlenir. Şempanze kafatasının değil de bir insan kafatasının altını çevirip bakarsanız, foramen magnumun (beyin sapının omuriliğe devam ederek kafatasından çıktığı büyük deliğin) farklı bir konumda olduğu açıkça görülür. İnsandakine kıyasla şempanzedeki foramen magnum kafatasının arkasına çok daha yakındır. Foramen magnumun iki yanında da (her iki türde de) oksipital kondil olarak adlandırılan oval biçimde iki çıkıntı vardır; burası, kafatasının omurganın ilk omuruyla eklemlendiği yerdir.

Biz insanlar sıklıkla iki ayak üstünde dururuz, sürekli iki ayağımızın üzerinde yürürüz ve geziniriz. Anatomimiz de iki ayaklı olduğumuzu gösterir; buna alışmak için sadece bacaklarımız ve kalça kemiğimiz değil, iki S harfi biçimindeki omurgamız da değişmek zorunda kalmıştır. Başın omurgayla bağlandığı yönün değişmesi de vücudumuzun durduğu biçimden kaynaklanmıştır: Başlarımız, dik duran omurgamızın üzerinde dengede durur. Tam da bu nedenle foramen magnum ve oksipital kondiller, insan kafatasında çok daha

öne doğru konumlanmıştır. Foramen magnumun arkasından kafatasının arkaya doğru çıkıntı oluşturmasında da büyük beyinlerimizin gelişimi rol oynamıştır.

Şimdi bahsedilen iki kafatasının altına yeniden bakın. İnsan kafatasındaki foramen magnumun, sert damağın arka kısmına ne kadar yakın olduğuna dikkat edin. Şempanzede bu iki yapı arası mesafe çok daha fazladır; bu da çenenin arkasında boyundaki yapıları üst üste dizebilecek yeterli yerin olduğunu gösterir. Atalarımız sürekli iki ayak üstünde yürümeye başladığında gırtlak mecburen boynun daha aşağısına inmiştir; eğer inmemiş olsaydı dil ve omurga arasında ezilirdi, dolayısıyla ne nefes almak ne de yutmak mümkün olabilirdi. Başka bir deyişle insan gırtlağı yeni konumu, konuşma için bir uyarlanım değil, iki ayak üstünde yürümenin ikincil etkisi olabilir. İki ayak üstünde durmak hominin atalarımızda ortaya çıkan en eski "insan" özelliğidir; dolayısıyla gırtlak, atalarımızdan birinin konuşmaya başlamasından çok uzun zaman önce, insan evriminin en başlarında yer değiştirmiş demektir.



İnsan kafatasındaki foramen magnum kısmen daha önde durur.

Evrimsel antropolog Dan Lieberman, sadece iki ayak üstünde durmanın gırtlağı aşağı itemeyeceğini iddia eder. Ayrıca Australopit atalarımızda görülen çıkıntılı çenelerin, daha yukarıda duran bir gırtlak için yeterli alanı sağlayacağını öne sürer. O halde gırtlağın aşağıya itilip boyunda yeni bir yere taşınmak zorunda kalması, sadece kendi *Homo* cinsimizin ve bize ait daha basık yüzlerin (yüzün bu biçimi, yemekleri yumuşatmak için pişirmek gibi beslenme alışkanlığı değişikliklerinden meydana gelmiş, dolayısıyla daha küçük dişlere sahip olmamızı sağlamış olabilir) ortaya çıkmasıyla mümkün olmuştur.

Boynun daha aşağısında konumlanan gırtlağın kökenini insan evriminde göreceli olarak daha erken bir aşamada ele almak ve bu yer değiştirme hakkında çeşitli neden sunmak, atalarımızın en temel insan yeteneği olan konuşmayı ne zaman geliştirdiği konusunda hâlâ tahminden öteye gidemememize sebep oluyor. *Homo* cinsinin en eski üyelerinin ağız ve boyun bölgelerinde konuşma için gerekli tüm anatomik araçlar olsa bile, bu araçlar konuşma için kullanılmadan yüz binlerce yıl önce de var olabilir. Öyleyse konuşmayı sağlayan asıl anatomik değişiklikler kafatasının içinde, atalarımızın gelişmekte olan beyinlerinde meydana gelmiştir.

Neandertal ses yollarını yeniden yaratmaya çalışma girişimleri, muhtemelen bizden daha farklı seslere sahip olduklarını, belki de belirgin olmayan ünlüler ürettiklerini göstermiştir. Dolayısıyla Neandertallerin de konuşabildiğinden şüphe etmek için geçerli bir sebebimiz yok gibi gözüküyor (zaten birçok arkeolog, Neandertallerde görülen teknoloji ve kültürün dile sahip olduklarını fazlasıyla gösterdiğine inanıyor). Neandertallerle kıyasladığımızda doğal seçilimin modern insanın konuşma yeteneğini geliştirmek üzere etki göstermiş olması kesinlikle mümkündür. Oysa bizler, farklı nedenlerden dolayı yarışa önde başlamış da olabiliriz: Daha basık yüzlerimiz ve kısa çenelerimiz, şans eseri iki eşit parçaya bölünmüş bir ses yolu yaratmış, böylelikle daha temiz sesler üretmemizi sağlamış olabilir.

Gırtlağın göreceli konumu, doğumdan sonraki gelişim ve büyüme sürecinde değişir. Ses yolu, aşağı yukarı sekiz yaşındayken "iki eşit parça" haline gelerek bire bir orana ulaşır; sonrasındaki yıllarda her şey büyümeye devam etse bile bu oran korunur. En azından ergenlik çağına giren kız çocukları için durum budur;

erkek çocuklarında elbette çok daha farklı bir durum söz konusudur. Ses telleri uzamaya devam ettikçe sesleri çatallaşır; öte yandan gırtlakları boynun daha da aşağısına indiği için mükemmel bire bir orandan geriye eser kalmaz.

Öyleyse erişkin ses yolunun mükemmele yakın bir oranda olması (hatırlarsak farklı sesleri temiz bir biçimde üretebilmesi için önemlidir) kadınlarda görülebilen bir şeydir. Modern insanların ses yolu hakkında yapılan son çalışmalar, erkek ses yoluna kıyasla kadınların daha geniş bir yelpazede farklı sesler ürettiğini göstermiştir. Dolayısıyla erişkin erkeklerde gırtlağın aşağıya inmeye devam etmesi, konuşmanın daha iyi telaffuz edilmesiyle ilişkili evrimsel bir yarar sağlamış olamaz. Erkekler temiz sesler üretme konusunda üstünlüklerini kaybetseler de gırtlaklarının konumu sayesinde kalın sesli olma hakkını kazanırlar. Erkek gırtlağının konumu cinsel seçilimle ortaya çıkmış olabilir: Kalın bir ses daha geniş bir vücut ölçüsü anlamına gelebilir; yıllar önce yaşayan dişiler, daha kalın sesli erkekleri çekici bulmuş olabilir. Böylelikle gırtlakları daha aşağıda konumlanan erkekler, genlerini başka bir canlıya aktarma zamanı geldiğinde avantajlı olmuştur.

KALIN SESLİ ERKEKLER

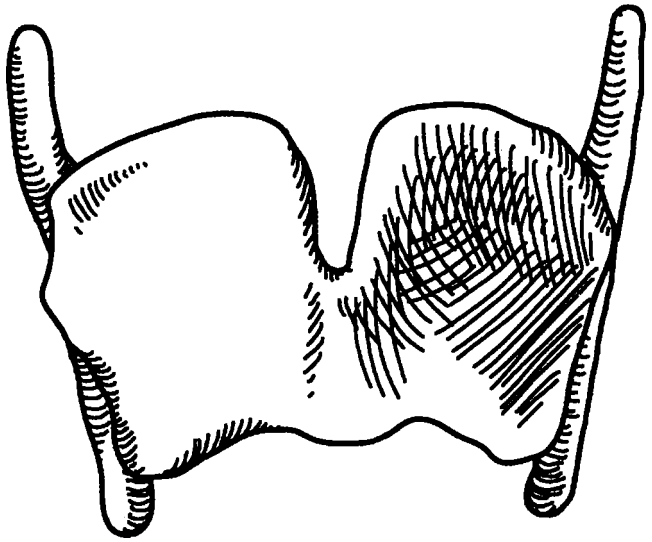
Gırtlağın konumu üzerine yapılan tüm bu tartışmalardan onun eşsiz bir insan özelliği olduğu düşünülebilir ama bu doğru değildir. Erkek kızıl geyiklerin ve alageyiklerin de gırtlakları aşağıdadır. Hatta bu gırtlaklar, geyiklerin ne kadar büyük vücutlara sahip olduklarını birbirlerine kükreyerek göstermeye çalıştıkları kızışma anlarında daha da aşağıya itilir. Bir erkek kızıl geyiği çok ısrarcı olup bütün gün boyunca iki dakikada bir kükreyebilir. Dövüşmek pahalı bir şeydir; kükremek, bu riskli eyleme girişmeden önce erkeklerin birbirinin büyüklüğünü ve dövüş yeteneklerini değerlendirmesini sağlar.

Sonbaharda dişi kızıl geyikler toplanır ve erkek geyikler onlarla tanışmaya gelir. Erişkin erkek geyikler, dişilerden oluşan (korumayı da pek sevdikleri) haremlerini toplar ve dişilerini yakın, rakipleri de bir boynuz mesafesinde tutarlar. Haremlerini korumak için öylesine heveslilerdir ki bunu yapabilmek için neredeyse yemek yemeyi bırakırlar, bu nedenle de vücut kütlelerinin yüzde yirmisini kaybedebilirler.

Rekabete neden olan bir erkek geyik haremini koruyan başka bir geyiğe yaklaştığı zaman, özellikle ikisi de aynı boyutlarda olduğu durumda genellikle bir kükreme yarışı başlar. Bu yarışlardan sadece birkaçı şiddetle sonlanır. Sonu kavgayla biten kükreme yarışları üzerine yapılan çalışmalar, iki erkek geyiğin kükreme oranını karşılaştırmanın, kimin kazanacağını tahmin etmede iyi bir yöntem olduğunu göstermiştir: Kazananlar daha sık kükreyenlerdir.

Erkek kızıl geyiğin ya da alageyiğin gırtlak konumu insanınkine benzerdir ama gördüğünüz gibi konuşmayla hiçbir ilgisi yoktur, hatta tamamen kükremeyle ilgilidir: Ne kadar kalın olursa o kadar iyi. Erkek geyik kükrediğinde gırtlağın boynundaki konumum daha da aşağıya iner. Kızışmaya gidilen süreçte steroid hormonlarının atmasıyla hiyoit altı kasları (göğüs kemiğinden başlayıp gırtlaktaki tiroit kıkırdağından ve dil kemiğinden geçen kaslar) genişler. Erkek geyik kükrediğinde bu kaslar gırtlağı daha da aşağıya (insanlardakinden de aşağıya) çekip ses tellerinin üstünde bulunan yutaktaki hava sütununu uzatır; böylelikle geyiğin sesi kalınlaşır. Buradaki ses yolunun "iki eşit parçasında" yutak, geyiğin ağız boşluğuna göre iki kat daha uzundur. Alageyikte de gırtlak göğüs kemiğine kadar (yani gidebileceği en uç noktaya kadar) çekilebilir.

Düşük frekanslı sesler yüksek frekanslılardan daha çok yol kateder; dolayısıyla böylesine aşağıda duran bir gırtlak tarafından üretilen kükreme daha geniş bir alana yayıldığı için erkek geyiklere evrimsel açıdan bir avantaj sağlamış olabilir. Öte yandan bu kuramla ilgili sorun şudur: Sesin büyük bir kısmı, kükreyen geyiğe zaten haddinden fazla yakın duran öteki erkek geyikler tarafından duyulur. Alternatif bir açıklama, kalın bir sesin daha büyük bir vücut ölçüsü anlamına gelmesi olabilir. Geyik, ses yolunu uzatarak (şüphesiz bilinçsiz bir biçimde) vücut boyutunu abartır.



Gırtlaktaki tiroit kıkırdağı.

Görünen o ki öteki memelilerde de oldukça esnek zarlar ve lifli dokularla tutulan gırtlaklar vardır; bunlar da aşağı inebilir ya da çekilebilir. Bu özelliğe sahip olanların kükreyebilen hayvanlar (aslanlar, kaplanlar ve boru sesli olan filler) olması da muhtemelen şaşırtıcı değildir. Şu an asıl meseleyi teğet geçiyormuşuz gibi görülebilir ama tüm bunlar insanın evrimiyle ilgilidir; gırtlağın boynun aşağısında konumlanması için konuşabilmenin ötesinde pek çok neden olduğunu gösterir. Görünüşe göre insan gırtlağı, kafatası dik bir omurga üzerinde duran basık suratlı bir canlıya engel oluşturmaması için olması gerekenden çok daha aşağıdadır. Gırtlağın şimdiki konumuna tam olarak ne zaman indiğini hesaplayabilsek bile bunun konuşma için bir uyarlanım olup olmadığından yüzde yüz emin olamayız. Öteki memelilerdeki gibi vücut ölçüsünü olduğundan fazla göstermek amacıyla ortaya çıkmış bir uyarlanım olabilir; hem bildiğimiz kadarıyla geyikler, aslanlar, kaplanlar ve filler konuşmazlar.

Belki de bu memeliler bize kalın seslerin insan erkeklerinde neden evrimleştiğini gösteriyordur. Bunun nedeni, kadınların biraz "Barry White etkisi" gibi bas sesleri tercih etmeleri (ve muhtemelen hâlâ tercih etmeleri) olabilir. Aberdeen

Üniversitesi'nde yapılan bir çalışma, kadınların kalın sesleri tercih etmekle kalmayıp kalın sesli bir erkek tarafından söylenen şeyleri daha iyi hatırladıklarını da ortaya koymuştur! Oysa tıpkı geyikler gibi erkekler de cinsellik yarışındaki rakiplerini caydırmak için ses yoluyla vücut ölçülerini olduğundan daha büyük göstermek için evrimleşmiş olabilir. Görünen o ki erkekler, her ne kadar bilinçsiz olarak yapsalar da ses perdelerini çok akıllıca kullanıyor. Seslerini bir "dinlenme perdesine" ayarlamış oldukları halde bunu değiştirebilirler. Değiştiriyorlar da.

Pittsburgh Üniversitesi tarafından yürütülen bir çalışmada 111 erkek öğrenci, seslerinin kaydedildiği bir flört oyununa katıldı. İlk önce her öğrenciden bir paragraf okuması istendi; böylelikle araştırmacılar kişinin "normal" sesinin nasıl olduğuna ilişkin bir fikir sahibi oluyordu. Ardından bu kişiye, başka odada bekleyen bir kadınla yemeğe çıkmak için yine başka odadaki gizli (ama sesi kaydedilmiş) bir "rakibe" karşı yarışacağı söylendi. Öğrencinin sesi rakibiyle konuşurken de kayıt altına alındı. En sonunda öğrencinin, kendini ne kadar baskın olarak tanımladığı hakkında maddeler içeren bir anket doldurması gerekiyordu.

Bu çalışmanın en ilginç bulgusu, kendilerini öbür odadaki rakipten fiziksel olarak daha baskın gören katılımcıların seslerini kalınlaştırmasıdır. Bir öğrenci rakibinden daha az baskın olduğunu düşündüğü durumda ses tonunu daha yüksek bir perdeye çıkarmıştır. O halde bu deney, iki şey gösterir: Erkekler öteki kişilerin fiziksel baskınlıklarını seslerine göre değerlendirir ve duruma göre kendi seslerini ayarlar.

Kükreyen kızıl geyiği düşündüğümüzde bu daha anlamlı bir hal alır. Eğer erkek bir kişi baskın olduğunu düşünüyorsa bu baskınlığını, sesini alçaltarak vurgulayıp rakiplerinin gözünü korkutarak kavgadan bu biçimde kaçacaktır. Buradaki mesaj şudur: Kadını o kapacaktır ve onunla kavga etmek bunu değiştirmez. Öte yandan o kadar baskın olduğunu düşünmüyorsa yükselen sesi, ondan baskın olan rakibini yatıştıracaktır: "Benimle zaman kaybetme, sen kazandın dostum!"

Eş bulma rekabeti, erkeklerin dişi tercihlerinden çok daha fazlasını kapsar; her iki cinsiyet için bir eşe erişebilmenin rekabeti de söz konusudur. Bu durumda kalın bir ses, bir erkeğin öteki uysal erkekleri bu eş bulma oyununda saf dışı bırakmasında yar-

dımcı olabilir ve onu karşı cins için daha çekici yapabilir. Öyleyse kalın sesli erkekler her türlü kazanır; tabii rakibi tatlı tenor sesiyle kaslı ve sıradışı biriyse ya da etkilemeye çalıştığı kadın Jim Morrison ya da Eddie Vedder yerine Justin Timberlake ya da John Lennon'ı tercih ediyorsa o zaman durum başka.

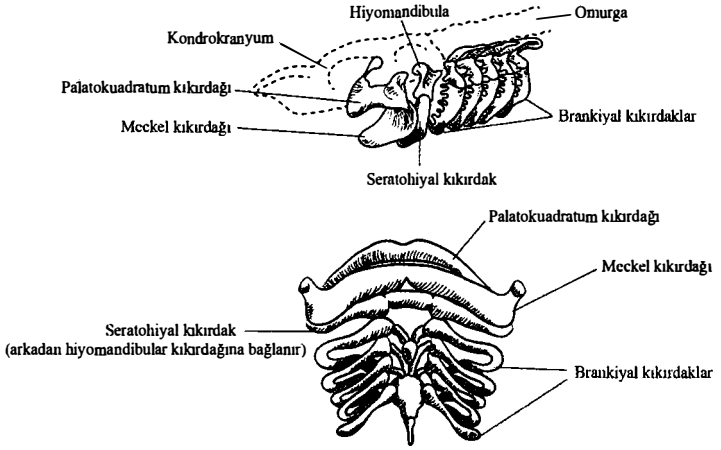
SOLUNGAÇLARDAN GELEN BİR SES

Yakın zamandaki insan evrimini bir kenara koyup zamanda daha da geriye gittiğimizde bir gırtlağın ilk olarak nereden geldiğini bulabiliriz. Gırtlak sadece ataları sudan karaya çıkan omurgalılarda görülen bir şeydir. Balıkların gırtlakları yoktur. O halde gırtlak nasıl gelişmiştir? Bu tip anatomik parçalar yoktan var olmazlar; dolayısıyla gırtlağın değiştirilebilen, çoğaltılabilen ya da ufak eklemeler yapılabilen bir öncülü olmak zorundadır. Peki öyleyse gırtlak nerden gelir?

Erişkin omurgalıların anatomisinde bu soruya ilişkin ipuçları vardır ama yanıt embriyolara bakmaya başladığım anda açıkça görünür. Embriyoya bakmak bizi omurgalıların kökenine ve kapanmakta olan nöral tüpün tepesinden göçen özgün bir hücre popülasyonuna götürür. Nöral krest hücreleri pek çok farklı yere göç eder, bunlardan bazıları cildinizi, kalbinizi ve böbrek üstü bezlerinizi oluşturur. Bazı nöral krest hücreleri yutağın yakınlarındaki yumuşak dokuya yerleşir ve buradaki destekleyici iskelet yapılarına dönüşür. Bu hücreler, yüz iskeletini ve boyundaki sert(imsi) dokuları oluşturan "splanknokranyum" adlı yapıyı oluşturur. Artık iskeletinizin sadece kemiklerden oluştuğunu düşünmeyi bırakmalısınız: Erişkin vücudunda bile kıkırdaklarla doludur. Kıkırdaklar vücudunuzun hareketli eklemlerini sarar, kaburgaları göğüs kemiğine birleştirir ve tamamen kıkırdaktan oluşan gırtlağın iskeletini oluşturur; bunlar tiroit, krikoit, aritenoit, epiglotis ve bahsetmeye değmeyecek kadar küçük olan öteki kıkırdaklardır.

Splanknokranyum, çoğu balıkta çeneyle solungaçları oluşturan ve destekleyen kemik ve kıkırdak yapılardan oluşur.

Şimdi göreceğiniz çizim, alt çene kemiği ya da mandibulanın ön kısmını oluşturan Meckel kıkırdağı da dahil erişkin bir köpekbalığındaki splankokranyumu betimler. Altındaki çizimdeyse kafatasındaki otik kapsüle (tıpkı bizlerdeki gibi yarım daire kanallarına sahiptir) hiyomandibular kıkırdakla bağlanan çene ve bu çenenin altında solungaçlara yardım eden bir dizi destek kıkırdağı görülür. Köpekbalıkları ve vatozlar kıkırdaklı balıklardır; tüm iskeletleri hiçbir zaman kemiğe dönüşmeyen kıkırdak yapıdan oluşur.



Bir köpekbalığı çenesinin ve solungaç kemerlerinin soldan (üstte) ve alttan görüntüsü.

Splanknokranyum örüntüsü, kemikli balıklarda (yani köpekbalığı, vatoz, balık asalağı ya da taşemen olmayan tüm balıklarda) da çok benzerdir. Balık embriyosundaki bu yapılar, önce kıkırdak biçiminde üretilip sonra osifikasyon geçirirler (yani kemikleşirler). Meckel kıkırdağı, hem kemikleşir hem de tıpkı kafatasınızdaki düz kemikler gibi hiçbir kıkırdak aşamasından geçmeden mezen-

kimden (farklılaşmamış embriyo dokusundan) ortaya çıkan yeni bir kemik tabakasıyla sarılır. Balıkların çeneleri ve dil kemikleri, solungaçları destekleyen kıkırdaklar ya da kemik çubuklarla birlikte balık embriyosunun boynu boyunca bir dizi brankiyal (solungaç) çubuğu oluşturur.

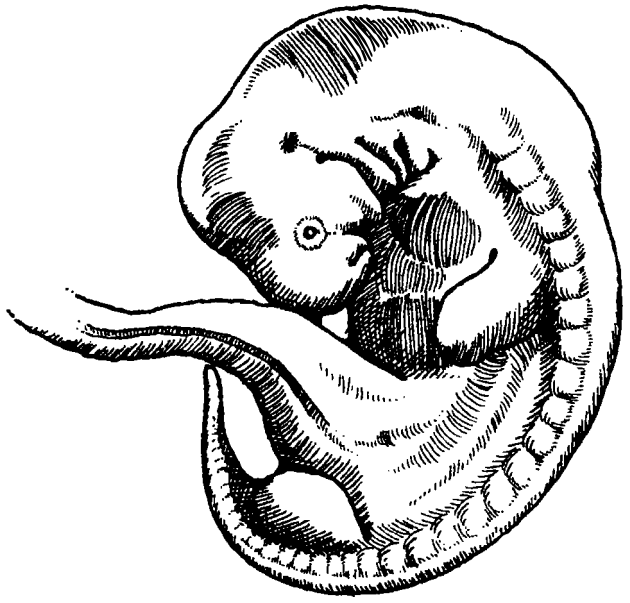
Asıl ilginç olan şudur: Beş haftalık bir *insan* embriyosunda da tıpkı brankiyal çubuklara benzeyen bir dizi yapı vardır ama bunlar hiçbir zaman solungaca dönüşmez. Ne büyük şanssızlık! Aslında su altında nefes alabilmeyi çok isterdim. Peki bu durumda kendi embriyomuzdaki brankiyal çubuklara ne olur? Bunların sadece eski bir atadan miras kalan kalıntılar olduğunu düşünebiliriz ama görünüşe göre bu çubuklar, birer kalıntıdan çok daha fazlasıdır. Hava soluyan bir hayvan için tamamen gereksizmiş gibi görünseler bile öylece ortadan kaybolmazlar.



Gelişmekte olan embriyonuzu, kendinize nöral tüp yaptığınız gelişimin dördüncü haftasında bırakmıştık. Nöral oluğun tüpü oluşturmak için kapanmasıyla üç katmanlı sandviçin (üç katmanlı embriyo diskinin) kenarları da kıvrılmaya başlamıştı. Bu kenarlar eninde sonunda buluşacaktır; artık siz de yassı bir sandviç olmak yerine iç içe geçmiş silindirlerden oluşacaksınız: Tüpün içindeki tüpün içindeki tüp. Dördüncü haftanıza yassı bir sandviç olarak başladığınız için ancak şimdi başı ve kuyruğu olan bir canlıyı andırmaktasınız. Üç katmanlı embriyo diski sandviçinin en üst katmanındaki ektoderm, artık sadece sırtınızı değil, tüm vücudunuzu kaplar. Sindirim kanalınızın iç duvarı endodermden oluşur; bu katman önden gözükmez, vücudunuzun içinde saklanır. Ektoderm ve endoderm "ekmekleri" arasında sandviçin içini oluşturan mezoderm tabakası vardır. Artık embriyo gerçekten de fırına verilmeye hazırdır: Tarifi tutturmaya başladık, hem Mary Berry ya da Paul Hollywood gibi ünlü aşçıların hayal bile edebileceğinden çok daha karmaşık bir yemek yapıyoruz.

Şu an inanmakta zorlanabilirsiniz ama bu iç içe gelmiş silindirler, vücudunuz en temel yapısını yansıtır. Silindirin ektodermden oluşan dış kısmı; derinizin en dıştaki kısmını (epidermisi) oluştura-

caktır. Silindirin iç kısmı da ağzınızdan anüsünüze kadar uzanan sindirim kanalınız olacaktır. En dıştaki deriniz ve sindirim kanalı duvarlarınız arasında kalan mezoderm de organlarınız, kemikleriniz ve kaslarınız dahil geriye kalan her şeye dönüşecektir.

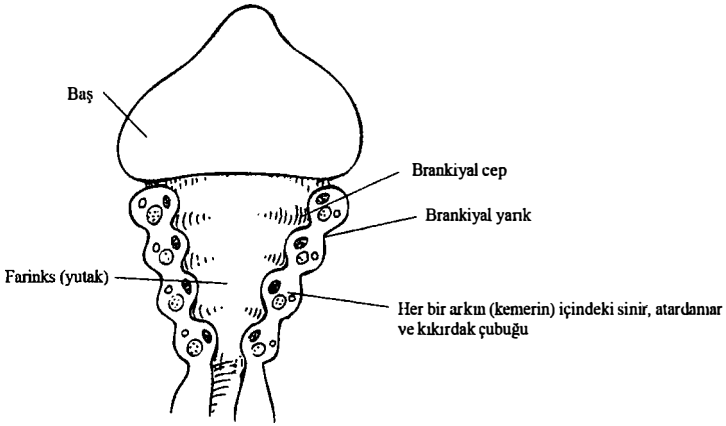


Beş haftalık bir insan embriyosu.

Embriyo durmak bilmez. Siz beşinci haftanıza başlarken, bu minik embriyonuzda bir sürü tuhaf olaylar gerçekleşmeye başlar. Boynun yukarısında, iki tarafta da beşer adet olmak üzere brankiyal ya da faringeal çubuklar belirir. Gelişmekte olan embriyonuzda brankiyal çubuklar dışarıdan görülebilir; oysa bu çubukların iç yüzeyleri yutağa (sindirim yolunun üst ucuna) bitişiktir. Çubukların dışı, tüm embriyonun dış yüzeyini kaplayan aynı katmanla (ektodermle) kaplıdır. İç yüzeyi de sindirim kanalı duvarından, yani endodermden oluşur. Ortada mezenkim adı verilen gevşek bir embriyo dokusu vardır; bu dokunun bir kısmı mezodermden, bir kısmı da göçmen nöral krest hücrelerinden meydana gelir. Mezenkimi, kıkırdak çubukları ve kasları oluşturacaktır; her bir brankiyal çubukta da bir atardamar ve sinir bulunacaktır.

Balıkta tüm bu parçalar solungaçların temel kısımlarını oluşturur. Kıkırdaklar solungaçları destekleyecek; atardamarlar da

oksijenden arındırılmış kanı kalpten solungacın kılcal damarlarına taşıyacaktır. Kan, balık omurgasının hemen altında bulunan sırt aortunda ilerlemeden önce solungaçlarda oksijenli bir hale getirilecektir. Balık embriyosunun brankiyal çubuklarındaki bazı mezenkim hücreleri, solungaçları açıp kapayan kaslara dönüşecektir. Her bir çubuğun içinden geçen sinirler, hem bu kasları besleyecek hem de duyu desteği verecektir.

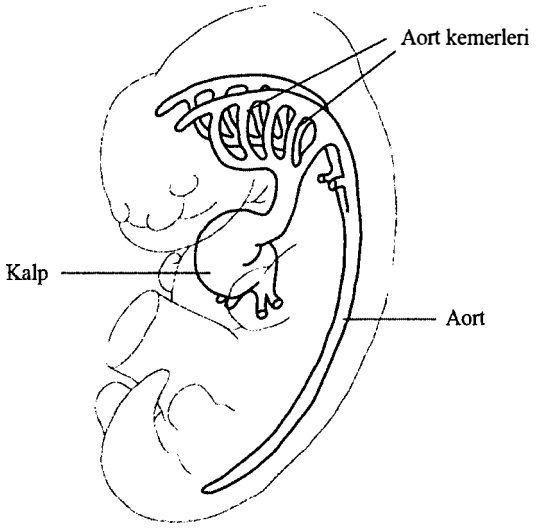


Bir insan embriyosunda yutağın ve brankiyal kemerlerin enine kesiti.

Bizler bu solungaç araçlarından hiçbirine ihtiyaç duymayız. Balık atalarımızın karaya çıktıklarında çevreden oksijen almanın yeni bir yoluna ihtiyaç duyup solungaçlarını akciğerlerle takas etmiştir. Evrimin uzun zaman dilimleri boyunca, brankiyal çubuklar (ve içlerinde olan her şey) yeniden kullanılmak ve geri dönüştürülmek için evrim değirmeninde öğütülmüştür. Evrim, yapıları yeniden kullanma ve geri dönüştürme konusunda oldukça iyidir. Evrimsel biyolog Jay Gould, bu durumu eski araba lastiklerinden sandalet yapmaya benzetir: İlk başta çok özel bir amaç uğruna tasarlanan bir şey, bambaşka bir şeye dönüşebilir. Bu

durumda bir zamanlar solungaç olan parçalar, gırtlağı oluşturmak için geri dönüşüme uğramıştır.

Bir insan embriyosunda en alttaki iki brankiyal kıkırdak çubuğunun izini sürdüğümüzde bunların, gırtlak kıkırdaklarına dönüştüğünü görürüz. Balığa benzeyen atalarınızın solungaçlarını açıp kapatan kaslar, gırtlaktaki ufak kaslara (ses tellerini hareket ettirenlere de) dönüşmüştür. Ne var ki asıl tuhaflık, bu kasları kontrol eden sinirdedir.



Brankiyal kemerlerin atardamarları, kalpteki kanı iki arka aorta taşır (bu aortlar alttan birleşerek tek bir aort haline gelir).

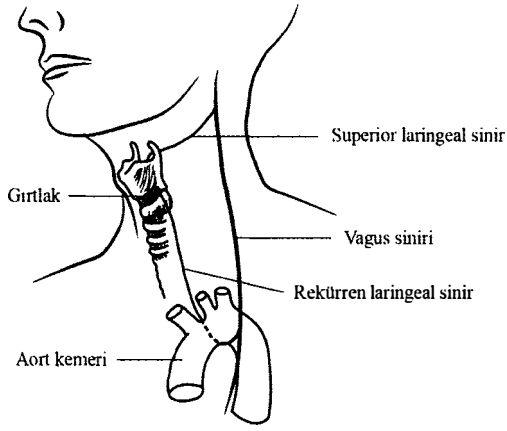
U DÖNÜŞÜ YAPAN REKÜRREN LARİNGEAL SİNİR

Onuncu kraniyal sinir (vagus sinir olarak da bilinir), kafatasının en altından çıkıp boyundan aşağı iner ve burada gırtlağa doğru bir dal verir. Ne var ki bu dal dosdoğru gırtlağa gitmez; tam aksine boyundan devam edip göğse kadar iner, burada bir U dönüşü

yaparak tekrar gırtlağa döner. Bu dala rekürren ("geri dönen") laringeal sinir denir.

Bu sinirin yolculuğu, erişkin insan anatomisindeki kafa karıştırıcı tuhaflıklardan biridir. Doğrusu bir zürafada daha da olağanüstü gözükür; hayvanın boynundan aşağıya onca yol gidip edip sonra geri döner. Bir sinir nasıl olur da bu denli yoldan çıkıp göğse kadar indikten sonra başladığı yere döner ki? Üstelik kestirmeden gidip boyun bölgesinde yeni yatay bir dal vermesi daha verimliyken? Aslında embriyodaki rekürren laringeal sinir, tam olarak yatay bir dal olarak gelişmeye başlar. Oysa brankiyal çubuklarda işleri karıştıran başka yapılar vardır: Brankiyal çubuklardaki atardamarlar, embriyo kalbini aorta bağlar.

Kalbiniz, embriyonun tam boyun bölgesinde oluşmaya başlar. Sinirler ilk kez gırtlak kaslarına ulaştığında, kalpten aorta uzanan en aşağıdaki atardamarların altından geçerler. Daha sonra embriyonuzdaki kalbiniz, göğüs bölgenize doğru hareket ederek bu atardamarları ve laringeal sinirleri de beraberinde sürükler. Atardamarlar yeniden doğrultabilir ama sinirleriniz artık göğsünüzde sıkışmıştır; soldaki aort kemerin altından döngü yaparken sağdaki sağ subklaviyen atardamarının (ki bu da sağ kolunuzdaki ana atardamar olacaktır) altından ilerler.



Sol rekürren laringeal sinir dallanarak vagus sinirini oluşturur, aort kemerinin altından geçer ve yeniden boyun bölgesindeki yutağa gelir.

Rekürren laringeal sinir, anatominin gereksiz yere karmaşık görünen bir oyunudur; elbette biraz embriyoloji biliyorsanız tüm taşlar yerine oturur. İşin içine evrimsel bakış açısını katarsanız her şey daha da anlamlı bir hale gelir. Hiçbir hayvan sıfırdan tasarlanmamıştır; sadece daha önceden gelenin üzerinde hafif bir değişiklik yapılmıştır. Özellikle de damarlar ve sinirler söz konusu olduğunda ortaya çok karmaşık bir erişkin anatomisi çıkar; bu, milyonlarca yıldır üzerinde devamlı oynanan elektrik kablolarına ve tesisat sistemine bakmaya benzer. Sizler tüm elektrik sistemi eskimiş ve karman çorman olmuş eski bir ev satın alırsanız evi komple yıkıp sıfırdan bir ev inşa edebilirsiniz. Evrim böyle bir lükse sahip değildir, vücutlarımız yeniden yapılamaz. Bu durum anatomiyi daha da karmaşık bir hale getirebilir; aynı zamanda vücudumuzun kendi kadim evrimsel geçmişi hakkında inanılmaz ipuçları barındırdığını gösterir.

ÇENE EKLEMLERİ VE KULAK KEMİKÇİKLERİ

Öteki brankiyal kemerlerin de anlatılacak olağanüstü bir evrim ve embriyoloji öyküsü vardır. Birinci kemer çok kadim bir öyküye sahiptir, zaten çoğu balıkta ikili bir yapıdadır. Balık çenelerinin embriyoda nasıl geliştiğine bakarak evrimsel bir senaryo görebiliriz; filtreli ağzıyla beslenen bir balık atada tek bir brankiyal çubuk olmalıdır, bu çubuk da bir çift çene oluşturmak adına ortadan "kırılmak" zorunda kalmıştır. Böylelikle birinci brankiyal çubuk, üst ve alt çeneyi oluşturmuştur ve bu kısımlar bir menteşeyle birbirine tutunur. Bu menteşe çene eklemidir. Birinci brankiyal kemerin alt kısmında, alt çeneye katılan kıkırdak çubuk, "Meckel kıkırdağı" adını kaşifinden almıştır.

Birinci brankiyal kemer, evrim geçirerek memelileri oluşturan sürüngenlerin öyküsünde de önemlidir. Bu sürüngenler inanılmaz değişikliklere uğramıştır; pullarını tüylerle takas etmiş, süt üreten salgı bezleri üretmiş ve en sonunda yavrularını doğurmak için yumurtlamayı bırakmıştır (ki bu çoğu memelinin atasına işaret

eder). İlk memelilerin çenelerinde ve kulaklarında daha küçük ama bir o kadar önemli değişiklikler de olmuş olabilir.

Sürüngenlerde iç kulaktaki kulak zarını kokleaya bağlayan tek bir kulak kemikçiği vardır ve bu sizin kulağınızdaki üzengiye eşdeğerdir. Ne var ki öteki memelilerde olduğu gibi sizin de her bir kulağınızda iki kulak kemikçiği daha vardır: Daha eskilerden kalma üzengiye ek olarak örs ve çekiç kemikleri de görülür. Kulak zarını kokleaya bağlayan orta kulaktaki bu yeni üç kemikçikli sistem, memelilere sürüngenlere kıyasla daha yüksek frekanslı sesleri duyma yeteneği gibi önemli bir avantaj sağlamıştır. Bu yetenek, geceleri sessizce dolaşıp karnınızı doyurmak için böcek ararken gezegendeki öbür baskın yaşam formlarının midesini boylamamak için oldukça faydalıdır. Memeliler, dinozorların Dünya'ya hükmettiği zamanlarda evrim geçirmiştir.

Embriyo gelişimine bakarak bu iki yeni kemikçiğin evrimsel açıdan nereden geldiğinin izini sürebiliriz. Her ikisi de birinci brankiyal kemerden gelir, hatta sürüngenlerde çene eklemine dönüşen yapının parçalarıdır. Sürüngenlerdeki eski çene kemiği yerine sıfırdan bir yapı "icat eden" memeliler, eski olanı iki kulak kemikçiği olarak yeniden kullanabilmiştir.

Yine de hâlâ evrimsel bir bilmeceyle karşı karşıyayız. Bu yapılması imkânsız bir sihirbazlık numarası, inanılmaz bir el çabukluğu gibi görünüyor: "İşte, kendi gözlerinizle görün! Artık eski çene eklemi kulakta ve onun yerinde yeni bir çene eklemi duruyor!" Bahsedilen yer değiştirme gerçekten de bu kadar hızlı olabilir mi? Tüm bunlar masadakileri oynatmadan masa örtüsünü çekme numarasının evrimsel bir hali gibi. Oysa eski çene ekleminin fazladan bir çift kemikçiğe dönüşmek için çalınmasıyla yeni çene ekleminin ortaya çıkışının *aynı anda* gerçekleşmiş olması, biyolojik açıdan mümkün görünmüyor.

Bu olay, yaklaşık 205 milyon yıl önce yaşamış eski bir memeli olan küçük *Morganucodon*'un keşfine kadar gizemini korumuştur. Bu küçük, fareye benzeyen canlıya ilişkin fosillerin çoğu Galler'in Glamorgan idari bölgesinden çıkmıştır (hayvanın adı, kulağa berbat bir rahatsızlıkmış gibi gelen "Glamorgan dişi" anlamına gelir). *Morganucodon*'un çenesi epey sıradışıdır: Her iki tarafta da çeneyle ikişer eklemlenme bulunur. Bu memelinin dişleri sürüngen atalarından farklıdır: *Morganucodon*'un dişleri kesme sırasında makasın

çelik kısımları gibi birbirinin üstünden kayar. Böyle bir ısırma biçimi çeneye dönme kuvveti uygular; ikinci bir çene ekleminin dahil olması, bu kuvvete direnmeyi sağlamış olabilir. Yeni bir çene eklemi evrildiğinde de orijinal çene işitme araçlarına dönüşmekte özgür kalmıştır. *Morganucodon*, kulaklarında tek bir kemikçik bulunan ve çok eski çene eklemleri olan sürüngenlerle yeni bir çene eklemi ve iki kulak kemikçiği olan memeliler arasında anatomik bir köprü görevi görür. O halde gizem çözülmüştür ve bu değişim sürecinde kimse çenesiz kalmamıştır.

Aslında kulak parçaları üretmek için çeneden çalmak yeni bir şey değildir. Sürüngenler, bunun gibi çalıntı malları memeli evriminden çok daha önce toplamaktaydı. Örneğin köpek balıklarında alt çeneyi kafatasına bağlayan üst çene kıkırdağı, kemikli balıklarda üst çene kemiği olarak ortaya çıkar. Kara hayvanlarında üst çeneleri kafatasına sıkıca bağlıdır; dolayısıyla ek bağlantılara gerek yoktur. Öyleyse bir çene yaparken üst çene kemiği bir üretim fazlasıdır; buna rağmen üzengiye dönüşmüş ve otik kapsüle bağlı kalmıştır.

Kulağınızda üzengiye bağlı küçücük bir kas vardır. Bu kas, gerçekten de vücudunuzdaki en küçük kastır ve stapedius kası olarak bilinir. Stapedius kası kasıldığında üzengiyi çeker ve titreşimini azaltır. Bu, çok önemli bir güvenlik düzeneğidir: Stapedius kası, çok yüksek seste bir gürültü duymaya başlar başlamaz kasılır; narin saç hücrelerine zarar gelmemesi için bu büyük titreşimlerin kokleaya ulaşmasını önler. Sizdeki üzengi kemiği nasıl balığın çenesini tutan üst çene kıkırdağının eşdeğeriyse, küçücük stapedius kasınız da balıklarda ve sürüngenlerde çenenin açılmasını sağlayan kasın homoloğudur.

Embriyonun ikinci brankiyal kemerinden gelişen öteki kaslar da (stapedius kası gibi) yüzümüzde bulunur. Balık atalarımızın solungaçlarını saran ve hareketini sağlayan kaslar, yüzlerimizi kullanarak duygularımızı ifade etmemizi (örneğin gülümseyebilmemizi) sağlar.

Konu göz alıcı bir gülümseme olduğunda en önemli kas, zigomatikus majördür. Bu kas elmacık kemiğinin (ya da zigomanın) üstüne tutunur ve buradan ağız kenarlarına bağlanır. Fasiyal sinirin dalları bu kasa ve ikinci brankiyal kemerden gelişen öteki tüm "yüz ifadesi kaslarına" uzanır. Şimdi aynaya bakın ve gülümse-

yin; zigomatikus majör kası, ağzınızın kenarlarını her iki taraftan yukarıya ve yanlara doğru çekiyor. Eğer zigomatikus majör kasında yarık olan (ve alttaki kası üzerindeki deriye tutunan) insanlardan biriyseniz, güldüğünüzde yüzünüzde bir gamze oluşacaktır.

Gülüşünüzü büyütebilirsiniz; böylelikle başka kaslar üst dudağınızın tamamını yukarı kaldırmaya, alt dudağınızı da aşağı doğru çekmeye başlar ve dişlerinizi açığa çıkar. Daha da abartarak gülmeyi denerseniz *risorius* (adını Latincede "sırıtmak" anlamına gelen kelimeden alır) kasınızı devreye sokarsınız; bu kas ağzınızın kenarlarını iyice yana doğru çeker. Böylelikle sevimsiz bir sırıtma ya da yüz buruşukluğu meydana gelir: Bu kadar abartılı bir gülüş neşeliden çok tehditkâr ya da korkutucu görünür.

Yakından akraba olduğumuz primat akrabalarımızın yüzlerinde de embriyolarının ikinci brankiyal kemerinden oluşan (tıpkı bizdekiler gibi) yüz ifadesi kasları bulunur. Geçmişteki çoğu antropolog, bunun insanlardaki gülmeye benzediğini öne sürse de ötekiler, korkutucu bir yüz buruşturmaya daha yakın olduğunu söylemiştir. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, daha da karmaşık bir resim ortaya çıkarmaktadır. Belki de pek şaşırtıcı sayılmaz ama görünüşe göre "diş gösterme" ifadesi, her türde farklı anlamlara gelir. Bazı makak türlerinde bir teslimiyet işaretiyken Gelada babunları ve şempanzelerde daha yatıştırıcı ve sosyal bağlanmaya yardım eden bir etkisi vardır; başka bir deyişle gerçekten de insanlardaki gülmeye eşdeğer gibi görünür. Şempanzelerdeki "diş gösterme" ifadesi kesinlikle gülmeye benzer: Ağız kenarları yukarı çekilir ve dudaklar birbirinden ayrılır (hatta bu, insanın "sevimsiz sırıtmasından" daha da büyük bir gülüştür). Şempanzelerin derisi altında (zigomatikus majör ve risorius kasları da dahil olmak üzere) bizlerdekine neredeyse tıpatıp benzeyen yüz kasları bulunur. Şempanzelerde bizdeki kahkahaya eş değer olan ve ağızlarını açarak yaptıkları bir "oyun yüzü" ifadesi de vardır.

Şempanzelerin görünürde gülüyor ve kahkaha atıyor olması önemlidir; onlar bizim yaşayan en yakın akrabalarımız. Dolayısıyla bunlar, ortak atamızın da muhtemelen gülüp kahkaha attığını ve bu yüz ifadelerinin kökeninin, atalarımızın hâlâ ormanda dolaştığı yedi milyon yıl öncesine dayandığını da gösterir. Atalarımızın yaşamkalım mücadelesine gülmenin nasıl bir katkıda bulunduğunu anlamak bile mümkündür. Dikkatimiz, olumsuz duyguların

pençesindeyken etrafımızdaki dünyayla sınırlanır (ki bu da kısa süreli tehditlerle çözmeye çalışırken yararlı olabilir). Oysa olumlu duygular daha esnek bir biçimde düşünmemizi ve davranmamızı sağlar, bu da uzun süreli yaşamkalım çabamız için kullanışlı bir şeydir. Psikologlar insanların mutluyken ve gülüyorken daha kapsamlı ve yaratıcı bir biçimde düşünebildiğini göstermiştir. Peki, mutluluğumuzun yüzümüzden okunması bize nasıl bir yarar sağlar? İnsanlığın ayırt edici özelliklerinden biri (tür olarak başarımızın altında yatan) özgürce fikir alışverişinde bulunabilmemizdir ve bu sayede karmaşık bir kültür yaratabiliriz. Gülmek ve kahkaha atmak "sosyal tutkal" görevi görüyorsa fikir alışverişine de yardımcı olurlar. Öte yandan öbür hayvanların da gülebildiğini unutmamamız gerekir.

AZ KALSIN SOLUNGAÇ YARIKLARIMIZ OLACAKTI

Brankiyal çubukları oluşturan yapılar yeniden kullanıldığı ve geri dönüştürüldüğü için bugünkü baş ve boyun yüzeyinizde embriyoya ilişkin bu yapılardan eser kalmadığını düşünebilirsiniz. Gerçekten de çubukların kendileri (insan embriyosunda kısa bir süreliğine görünüp kaybolan beşinci brankiyal çubuk hariç) çenenizi ve boynunuzu meydana getiren yapılara dönüşmüştür ve aralarındaki oluklar düzleşip kaybolmuştur. Bir dakika, bu pek doğru değil. Artık bir oluktan çok derin bir çukura benzese de bunlardan birinin hâlâ orada olduğunu itiraf etmek gerekir: Bu yapı, kulak kanalınızdır.

Kulak kanalınız ya da (anatomi jargonuyla söylersek) dış kulak yolunuz, birinci ve ikinci brankiyal çubuklar arasındaki oluktan oluşan ve birinci brankiyal yarıktan geriye kalan bir yapıdır. Balıklarda her bir brankiyal yarık, kendisine karşılık gelen brankiyal keseyle birleşmek için içe doğru genişler. Brankiyal kese de gelişmekte olan gırtlaktan dışarıya doğru büyür ve bu iki yapı birleştiğinde bir solungaç yarığı ortaya çıkar. Balığın ağzından alınan su, brankiyal kemer atardamarı tarafından beslenen

solungaç kılcal damarlarında kana oksijen verir ve solungaç yarıklarından dışarı çıkar.

Sadece hava soluyan bir hayvanda solungaç yarıklarına ihtiyaç yoktur ama kulaklar gereklidir; böylelikle havadaki ses dalgalarının koklea sıvısındaki titreşimlere dönüştürülebilir. Sizler daha embriyoyken, gelişmekte olan başınızın her iki yanında da birinci brankiyal yarık ve kese birbirine doğru yaklaşır; az daha balık embriyosunda olduğu gibi bir oyuk oluşacaktır. Ne var ki bu iki tünel birleşse bile aralarında bir zar kalır; bu da sizin kulak zarınızdır.

Brankiyal kesenin iç kısmı, orta kulağınızın hava dolu boşluğunu oluşturur; burası ince bir boruyla (östaki ya da işitsel boruyla) yutağınıza bağlı kalır. Bu boru, orta kulağınızdaki basınçla başınızın etrafındaki ve kulak kanalınızdaki hava basıncını dengede tutmanızı sağlar. Basınç dengesi yapamıyor olsaydınız, orta kulağınızda kısmen daha yüksek basınç olduğu için kendinizi düşük basınca maruz bıraktığınız durumlarda (bir dağa tırmanmak ya da uçağa binmek gibi) kulak zarınız tehlikeli bir biçimde dışarıya doğru şişerdi. Östaki borunuz çok incedir; orta kulaktaki kısmen daha yüksek olan basınç borunun içinden bir miktar havayı ittirene kadar neredeyse tamamen tıkalı kalır. Bu hava geçişi de kulaklarınızın "açılmasını" sağlar. Eğer kulaklarınız kendi kendine açılmıyorsa, erişkin kulakları ve çenelerinin hâlâ sıkı fıkı olan ilişkisinden yararlanabilirsiniz. Esniyormuş gibi çenenizi açarsanız östaki borunuzun açılmasına yardımcı olabilirsiniz. Bu boru yutağa bağlandığı için, buradaki kaslarının kasılmasıyla gerçekleşen yutma hareketi de işinize yarayabilir.

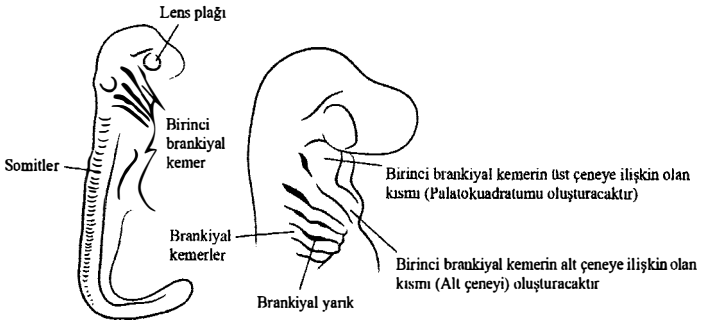
Kulak kanalınızı oluşturan birinci yarığın hemen altındaki öteki brankiyal yarıklar çabucak ortadan kaybolmalıdır. Oysa embriyoloji, işlerin ters gitmesi için sayısız fırsatla doludur: Yapılar hiç gelişmeyebilir ya da fazlasıyla gelişir; embriyoda ortaya çıkıp sonrasında kaybolanlar kalmaya devam edebilir. Çoğu zaman ikinci brankiyal kemer, aşağıya doğru büyüyerek ikinci, üçüncü ve dördüncü yarıkları örter. Ne var ki bunu yapmadığı durumlarda, brankiyal fistül adı verilen ince bir boru ortaya çıkar ve bu boru, boynun yan tarafında kist oluşmasına neden olur. Bu gibi vakalarda yeniden kullanılmaya programlanan brankiyal yarıklar, solungaç yarığı *olmayacaklarını* adeta unutmuş gibidir.

VON BAER VE GENETİK

Brankiyal çubuklar, neden Haeckel'in haksız ve von Baer'in haklı olduğunu gösteren en iyi örneklerden biridir. İnsan embriyosu erişkin bir balığa benzemese de en azından boyun kısmına bakıldığında bir balık *embriyosu*yla kesinlikle andırır. Bu kuramı kabul etme konusunda biraz isteksizlik söz konusudur, çünkü bunu kabul etmek, her şeyiyle rekapitülasyon düşüncesine inanıyormuşsunuz gibi durabilir. Günümüzde lisans eğitiminde okutulan embriyoloji kitaplarından birinde "Baş ve Boyun" bölümü, insan embriyosunu anlatırken neden "brankiyal kemerler" değil de "faringeal kemerler" diyeceğini açıklayarak başlıyor. Aslında bunu yaparak rekapitülasyon tuzağının tam ortasına düşüyor. Haeckel'in "daha yüksek hayvanların" embriyolarındaki yapıları "daha alçak" olanlarının erişkin anatomisiyle denk tutma hatasını bu kitap da yapıyor:

> Baş ve boyunun gelişiminde en çarpıcı özellik faringeal kemerlerin (bu yapılar için kullanılan eski terim brankiyal kemerlerdir, çünkü bir balık solungaçlarını [*branchia*yı] biraz andırırlar).

Oysa asıl bakmamız gereken yer erişkin bir balığın solungaçları değil, balık embriyosunda solungaçların öncülleri olan brankiyal kemerlerdir. Bir insan embriyosuyla köpekbalığı embriyosunu karşılaştırdığınız zaman, insan embriyosundaki kemerlerin köpekbalığı embriyosundaki brankiyal kemerleri "biraz andırdığını" görmezsiniz; iki yapının da olağanüstü bir biçimde birbirine benzediğini görürsünüz. Bahsedilen yapılar gerçekten de homolog oldukları için bu benzerlik önemlidir. Aynı görünürler çünkü *aynıdırlar*, ortak bir atadan miras kalmışlardır. Yapıların bu benzerlikleri dış görünüşten çok daha ötesine de gider. Daha önce de gördüğümüz gibi; kıkırdak, kas, sinir ve kan damarları gibi insan embriyosunun her bir kemerinde gelişen dokuların izini sürebilmek ve kökenlerinin nasıl ortaya çıktığını anlamak mümkündür. Çok daha derinlere inerek brankiyal kemerlerin parçalara bölünmüş yapısını oluştururken hangi genlerin etkin olduğunu belirleyebiliriz.



Lekeli kedi balığının brankiyal kemerleri.

Brankiyal kemerlerin içinde yer alan kıkırdaklar nöral krest hücrelerinden oluşur. Bu hücreler, nöral tüpün arka beyin kısmına yakın bir yerde yaşama adım atar. Nöral krest hücreleri brankiyal kemerlere doğru ilerler ve hedeflerine vardıklarında kemerlerin iç duvarını kaplayan endoderm katmanının oluşturduğu kimyasal sinyallere yanıt üretirler. Bu sinyaller onlara iskelet dokusuna dönüşmelerini söyler. Yine de tam olarak *hangi* iskelet dokusuna dönüşecekleri, henüz arka beyini terk etmeden önce etkin olan kendi planlayıcı genlerine bağlıdır. Bu genlerin evrimsel geçmişi oldukça eskidir. *Hox* genleri olarak adlandırılan bu genler, her bir vücut bölümünün dizilimini denetler. *Hox* genleri sadece brankiyal kemerlerin değil, embriyonun boynundan kuyruğuna kadar her bir yapının da planlamasını yapar. O halde kendi *Hox* genlerimizi anlamak istiyorsak yaklaşık 800 milyon yıl öncesine (balıkların evriminden çok daha önce) omurgasızlarla paylaştığımız bir ortak ataya kadar geri gitmemiz gerekir. Tıpkı meyve sineği gibi alçakgönüllü olan omurgasızlara kadar.

OMURGALAR VE BÖLÜMLERİ

YAŞAM ÖRÜNTÜSÜ VE S HARFİ BİÇİMİNDEKİ
OMURGANIN EVRİMİ

"Çoğu tür kendi kendine evrim geçirip kendi akışında devam eder, tıpkı Doğa'nın olmasını istediği gibi. Bu süreç çok doğal, organik ve evrenin gizemli döngüleriyle de uyum içindedir; evren, bir türe ahlak yapısını ya da bazen bir omurgayı bahşetmek için milyonlarca yıl süren sinir bozucu deneme yanılma yönteminden daha iyi bir yöntem olmadığına inanır."

TERRY PRATCHETT

MEYVE SİNEKLERİ VE OMURGANIN KÖKENİ

Mutfağımdaki meyve tabağı her yaz ufak bir sinekçik sürüsüne ev sahipliği yapıyor. Tahminimce sinek yumurtaları muzlarla birlikte eve giriyor, sonra da sinekler büyüyüp üremeye başlıyor. Endişelenmeme hiçbir zaman gerek olmadı: Buna bir istila olarak adlandıracak kadar çok meyve sineğiyle hiç karşılaşmadım (bir grup meyve sineğini anlatmak için hangi terim kullanılır ki? "Biraz sinir bozucu miktarda" meyve sineği ya da "kanat çırpması" mı?) ve aslında bu küçük sineklere bayılıyorum.

Lisedeki biyoloji derslerinde meyve sinekleri evcil hayvanlarımız gibiydi. Pratik derslerinde iki farklı nesilden gelen meyve sineklerini çiftleştirerek genetik bilimini öğrendik. Uzun kanatlı meyve sinekleri ve kısa kanatlı meyve sinekleri… Beyaz gözlü meyve sinekleri ve kırmızı gözlü meyve sinekleri… Bazılarının vücudu kahverengi, bazılarının da sarıydı. Meyve sinekleri, genler ve gözlemlenebilen özellikler (ya da fenotip) arasındaki bağlantıları incelemek için ideal yaratıklardır.

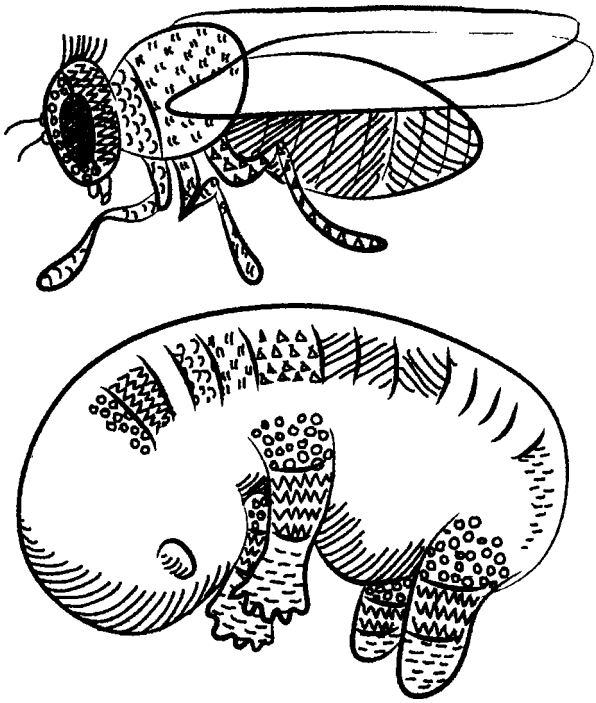
Meyve sinekleri genetik bilimine yaptıkları katkılarla ünlüdür. Tüm bunlar yirminci yüzyılın başlarında, Columbia Üniversitesi'ndeki laboratuvarlardan birinde başlamıştır. Evrimsel biyolog Thomas Hunt Morgan, başı koparılan solucanların nasıl yeniden baş ürettiklerini ve kurbağaların nasıl geliştiğini anlamaya çalışmaktan bunalmıştı. Bu nedenle 1909 yılında alçakgönüllü meyve sineklerini kullanarak kalıtım çalışmaya başladı. Morgan mutant sinekler üretti ve bu mutasyonlardan bazılarının kalıtımla taşınabildiği ortaya çıktı, böylelikle baskın ve çekinik fenotiplerin klasik 3:1 oranı da dahil olmak üzere Mendel kalıtım modellerine uygun yavrular doğdu. Morgan'ın çalışmaları, genleri kodlayan gerçek molekül yapılarının çözülmesinden onlarca yıl önce kromozomların kalıtımla ilgili olduğunu ve genlerin kromozomlar üzerinde çizgisel bir biçimde dizilmesi gerektiğini kanıtlıyordu. Morgan'ın büyük buluşu, 1933 yılında ona bir Nobel Ödülü

kazandırdı, böylelikle meyve sineğinin genetik laboratuvarlarındaki yeri tescillenmiş oldu. Genetikçiler, 1970'li yıllarda epey ter döküp krɔmatografi yönteminden yararlanarak genleri dizilemeye başladı. Ardından DNA'nın yapı taşlarını floresanla etiketleyebilen yöntemler gelişmeye başladı ve tüm DNA dizilimi sürecini otomatik bir hale geldi. Daha önce birkaç DNA dizileme laboratuvarında belgesel çekmiştim. Yapımcılar, bu dizileme sürecinin görsel olarak ne kadar sıkıcı olduğunu görünce genellikle dehşete kapılırlar: Tüm laboratuvarlar tezgâhlarının üstü beyaz kutularla doludur ve büyülü gen dizilemeleri gizli bir biçimde, insan elinin değmediği kutuların içinde gerçekleşir.

Bir meyve sineğinin gen dizilemesi yapıldığında ortaya çok şaşırtıcı genetik sırları çıkmıştır. Özellikle de bir grup mutant meyve sineği genetikçilerin ilgisini her zaman çekmiştir. Bunlar bir organı başka bir organla yer değiştiren sineklerdir: Bazen karın bölgesindeki bölümler göğüstekilerle yer değiştirmiştir, bazen bir sinekte iki katı fazla kanat vardır ya da normalde anteninin olmasını beklediğiniz başında bir bacak çıkmıştır. On dokuzuncu yüzyılın sonunda İngiliz embriyolog William Bateson, vücuttaki bir organın ötekiyle değişmesini anlatacak bir terim bulmuştur: *Homeosis.* Genetikçiler, bu tuhaf mutant sinekleri üreten DNA mutasyonlarında odaklanmışlardı, böylelikle normal bir sinek embriyosunda vücut bölümünü düzenlediği anlaşılan "homeotik" genleri bulmuşlardır. Bir sineğin genomundan tüm bu düzenleyici genlerin silindiği deneylerdeki sonuç; aynı vücut bölümünün bir sıra halinde görüldüğü tuhaf görünüşlü bir larva olmuştur. Bu genlerin meyve sineği DNA'sındaki konumu da ilgi çekmiştir. Çoğu gen, genom üzerinde rastgele bir biçimde dağılmış gibi görünür, dolayısıyla beraber çalışan genler bile tamamen farklı kromozomlarda yer alabilir. Ne var ki bu düzenleyici genler, baştan karın bölgesine kadar tek bir kromozomda, sineğin vücut bölümlerinin dizilimiyle aynı dizilimle sıralanmıştır.

Bu düzenleyici genler bir başka sürprize daha yol açmıştır: Gen dizilimi yapıldığında bunlardan her birinde aynı, yaklaşık 180 baz çiftine sahip kısa bir DNA açılımı olduğu görülmüştür. Bu dizilime "*homeobox*" denir ve bu dizilime sahip genler de "*homeobox* genleri" ya da kısaca *Hox* genleri olarak adlandırılırlar. *Hox* genleri, "ana kumanda" genleridir ve öteki pek çok gen

aktivitesini kontrol ederler. *Homebox* dizilimi, bu genlerin düzenleyici görevlerinden en önemli kısmıdır, çünkü DNA'ya bağlanabilen bir protein parçasını kodlarlar.



Bir meyve sineğinde ve gelişmekte olan insan embriyosunda vücut bölümlerini düzenleyen benzer *Hox* genleridir.

Hox genlerinin asıl şaşırtıcı yanı, sadece meyve sineği embriyosundaki düzeni kontrol etmekle kalmamalarıdır. Bu genler, her böceğin ve her eklem bacaklının genomunda vardır. Hatta solucanlarda da görülürler. İşin aslı, bu genler omurgalılar da dahil olmak üzere vücudu bölümlerden oluşan her bir hayvanın genetik altyapısını oluşturur. Bu da *Hox* genlerinin inanılmaz eski genler olduğu gösterir: Siz ve meyve sineğinin paylaştığı son ortak ata, yaklaşık 800 milyon yıl öncedir. Meyve sinekleriyle evrimsel açıdan çok ama çok uzaktan kuzen olabiliriz; yine de siz embriyoyken temel vücut planlamanızı benzer *Hox* genleri yapmıştır.

Meyve sineklerinde ve öteki böceklerde, sadece sekiz genden oluşan ve bir sıra halinde dizilmiş *Hox* genleri bulunur. Eski dostumuz batrakta on dört *Hox* geni bulunan tek bir gen kümesi vardır ama memelilerin çeşitli gruplarında genomun bazı kısımlarının kopyalanmasıyla gen kümelerinin sayısı artar. Dolayısıyla memelilerde her biri farklı kromozomda olan dört adet *Hox* geni kümesi bulunur.

Hox genlerinin eski doğası, 1986 yılında bir grup araştırmacının ilk büyük omurgalı *Hox* geni kümesini deşifre etmesiyle ortaya çıktı. Bu araştırmacılar, tıpkı meyve sineklerinde olduğu gibi, genlerin sırasının hayvanın vücudundaki düzene göre dizili olduğunu buldular. Araştırmacılardan biri, omurgalılarda ve omurgasızlarda *Hox* genlerinin benzerliğini göstermeye başladı (bu da her birindeki genlerin çok eski bir ortak atadan geldiği savını güçlendiriyordu) ve 1990'lı yıllarda aynı genlerin uzuvların dizilimiden de sorumlu olduğunu açığa çıkardı. Bu araştırmacı İsveçli gelişimsel biyolog Denis Duboule'dı ve kendisini 2013 yılının Ocak ayında, Cenevre'deki yuvasında ziyaret ettim.

Cenevre Üniversitesi'nin pek yüksek olmayan Bilim Fakültesi [Sciences III] binasının bir köşesindeki ofisinde buluştuk. Panomik pencerelerden Cenevre şehir merkezi görülüyordu, bu manzara da tek bir tarafı karla kaplı derin bir uçurumla çerçeveleniyordu. Alçak binalardan oluşan (halk tarafından böyle tutulmak istenen) manzara, dış cephesi camdan yapılma bir televizyon kulesi fazlalığıyla bozuluyordu.

Bilimsel nesnelerden [objets de science] oluşan harika bir koleksiyon büyük bir masaya yayılmıştı. Bunların arasında bir keseli sıçan iskeleti (ki bu iskelet kolaylıkla bir maymun iskeletiyle karıştırılabilirdi, aradaki farklar sadece göz yuvası etrafında bir kemik halkasının ve kalça kemiğinden çıkan fazladan kemiğin olmamasıydı), camdan bir kavanozda saklanmış bir yılan iskeleti, ufacık fare embriyolarının bulunduğu tüpler (bu iskeletler kemiklerini göstermek için kök boyayla, kıkırdaklarını göstermek için de mavi renkle boyanmıştı), bir kurbağa iskeleti, son olarak da balık, kertenkele gibi kavanozlarda saklanan çeşitli canlılar vardı.

Duvarlardan birinde olağanüstü bir sanat eseri vardı; görür görmez bunun ne olduğunu anlamıştım. Sanırım dünya üzerindeki hemen hemen her biyoloğa, bunun için hiçbir talebi olmadığı

halde Harun Yahya'nın meşhur *Yaratılış Atlası* kitabı yollanmıştır. Bristol Üniversitesi'nde çalışırken bana da bir adet yollanmıştı. Bu kitap aşırı derecede resimlendirilmiş ağır ve büyük bir kitaptır; evrimin yalan olduğu söyleyen Yaratılışçı mesajı taşır ve bugün yaşayan hayvanların fosillerle benzerlik göstermesinin Darwin'in yanıldığını ispatladığını iddia eder. Doğal seçilim yoluyla evrimi kasıtlı olarak yanlış anlamaya dayanmasına rağmen kitabın kalitesinden (basımından ve ciltlenmesinden) etkilenmemeniz mümkün değildir. Ayrıca böyle bir kitabı basmanın ve dağıtmanın ne kadar tuttuğunu düşününce biraz dehşete düşebilirsiniz. Bana gönderilen kitap, devasa bir kâğıt yığını olarak birkaç hafta masamda durdu. Sonra onu çalışırken ayaklarımı dayamak için bir süre daha kullandım ve eninde sonunda bir kâğıt geri dönüşüm kutusuna attım.

Denis, elindeki bu meşhur *Yaratılış Atlası*'yla daha güzel bir şey yapmıştı. Duvarında, çok hoş bir biçimde üçgenler ve yamuklar halinde kesilmiş kitabın birkaç kopyası asılıydı, kitaplar bir daha açılmamak üzere vidalanmıştı (Denis'e göre bu, bir kitaptan kurtulmanın en Fransız yoluydu) ve bunlar birbirine kablolarla bağlanmıştı. Benim çözümüme kıyasla bu çok daha yaratıcı bir çözümdü, geri dönüşümün çok daha düşünsel bir haliydi. Zaten geri dönüşüm kavramı evrime uyan bir şey değil miydi? Bu kez, eskiyen düşüncelerin sanat eserine dönüşümüyle gerçekleşmişti.

Denis yıllarını *Hox* genlerine, düzen kuruculara ya da onun deyişiyle vücudun mimarlarına vermişti. Bana *Hox* genlerinin bir dizilimde nasıl çalıştığını anlattı. Vücudun her bölümü ya da bölümleri için bir genin çalışmasından çok başarıyla oluşan her bir vücut bölümünden sonra daha fazla gen açılıyor, dolayısıyla genlerin etkinliği giderek artıyordu. İşte meyve sineğinde de sizin gelişmekte olan embriyonuzda da vücudunuz bölümleri böyle belirlenir. Bu bölümlenmenin yetişkin bir insanda en açık bir biçimde görüldüğü yer omurgadır. *Hox* genleri, omurga bölgeleri (servikal, torakal, lomber ve sakral) arasındaki farklılıkları yaratmanın yanı sıra bölgeler arasındaki omurların ayrımı sağlar.

Ofisin köşesinde cam bir akvaryum vardı ve Denis kapağı açarak içinden dişi bir piton yılanı (isimsizdi) çıkardı. Çok güzel bir hayvandı; parlak ve uzundu, hem de yaklaşık yetmiş santimetre kadar. Benden çok daha fazla omuru vardı ama ikimizde de

aynı sayıda, otuz dokuz *Hox* geni olduğunu öğrendiğimde çok şaşırdım.

"Bu pitonda benimle aynı sayıda gen olmasını olağanüstü buluyorum," dedim ve ekledim, "Yine de benden çok daha fazla omuru var. Bu nasıl olabilir?"

Denis, "Bir yılanın kloak (sindirim yolunun bittiği yer) bölgesinde 'vücudun bittiği yer' sinyali gecikir. Bu nedenle *Hox* genleri 'dur' diyene kadar yaklaşık iki yüz elli omur üretilir. Dur sinyalinden sonra geriye kalan tek şey kuyruğu oluşturmaktır," diye açıkladı.

Temel vücut düzeni açısından insanlar ve yılanları ayıran çok daha belirgin bir fark vardır: Pek çok tetrapod (amfibiler, sürüngenler, kuşlar, memeliler) gibi ben de uzuvlara sahibim. Denis, "Vücut düzeninde bölümlere ayırmayı yöneten genlerin hepsi, kol ve bacakların düzenini de kodluyor," diyerek devam etti, "Ayrıca parmak uçlarına vardığında gelen durma sinyali de 'vücudun bittiği yer' sinyaliyle aynıdır."

Bu gelişimsel programlamanın karmaşıklığı hakkında konuşmuştuk. Tek bir gen embriyonun bambaşka bölümlerini etkileyebiliyordu, dolayısıyla vücut bölümleri teker teker ayarlanamıyordu. Vücut yapısında uyulması gereken kısıtlamalar vardı; bu kısıtlamalar, tüm yapıların birbirine bağlanmasını ve mantıklı çalışmasını sağlıyordu. Bahsedilen yapısal ve maddesel kısıtlamalara ek olarak genetik kısıtlamalar da söz konusuydu; her bir gen tek bir yer ve tek bir zamanda, tek bir iş yapmıyordu.

Denis, "İnsan genomunu deşifre etmenin en büyüleyici yanlarından biri, o kadar da fazla gene sahip olmadığımızı fark etmekti. Bir sineğin genlerinden daha fazlasına sahip değiliz," dedi ve ekledi, "Örneğin vücudun farklı bölümlerinin aynı gen tarafından kontrol edilebilir olması, çocuk doktorlarını da şok etmişti. Diyelim el ya da ayak parmaklarıyla ilgili genetik bir sorun gördünüz. Artık genital bölgeye de bakmak zorundasınız, çünkü aynı sorun muhtemelen orada da karşınıza çıkacaktır."

Bence bazı doktorlar buna biraz şaşırmış olsalar da tek bir genin bir ya da birden fazla vücut bölgesini etkileyeceğini tahmin ediyordu. Ne de olsa bazı kalıtsal sendromların vücudun farklı bölümlerinde sorunlara yol açtığı yüzyıllardır biliniyordu. Şimdi de genetik bu tür sorunlara yol açan belli genleri bulma olasılığını sunuyordu.

Tüplerin içinde saydamlaşmış ve iskeletinin görünmesi için kırmızı ve mavi renklerle boyanmış ufacık fare fetüslerine baktık. Bunlar, Denis ve meslektaşlarının gelişimin belirli yönlerini kontrol eden genlerin yerini belirleme yöntemiydi. Denis, "Deneysel çalışmalar titizlik ister," dedi ve devam etti, "İstediğiniz genetik değişikliği yapmak ve bu genetik değişikliğin etkilerini görebilmeniz için fare embriyosunun büyümesi iki yıl sürer. Sonuçlar için bu kadar uzun süre beklemeye hazır olan çok öğrenci yoktur."

Ne var ki bu uzun süreli iş başarıya ulaşmıştı. Ortaya çıkan embriyoların kusurları sayesinde, değişen genin normal çalıştığı durumda gelişmekte olan embriyoda ne gibi bir rol oynayacağı anlaşılıyordu. *Hox* genleri gibi sabit bir sistemde, insanlardaki gelişimin farelerdeki gelişime benzeme ihtimali çok yüksekti. Denis gibi biyologlar omurgalıların vücut bölümlerini belirleyen programlamayı anlamaya yaklaşmakla kalmıyor, bu programlama sırasında nelerin yanlış gidebileceğini de daha iyi görüyorlardı.

Thomas Hunt Morgan, bilimsel kariyerine gelişimi ve yeniden oluşumu inceleyerek başlamıştı. Odağını kalıtıma kaydırmadan önce, vücut düzenlemesinin embriyoda ve yeniden oluşabilen uzuvlarda nasıl olduğuna bakıyordu. Şüphesiz, model olarak seçtiği organizmanın (meyve sineğinin) genetik alanında böylesine büyük bir etki yapmakla kalmayıp genler ve embriyoloji arasındaki bağlantıları aydınlatarak, onu usandıran bilmeceyi çözmede de yardımcı olacağını bilmekten büyük mutluluk duyardı.

EMBRİYO OMURLARININ GELİŞİMİ

Şimdi (döllenmeden sadece dört hafta sonra) yarım santimetreden de kısa olduğunuz ufacık embriyo halinize geri dönelim. Kordalılarda görülen tüm özelliklere sahipsiniz: Bir notokordunuz, oyuk bir nöral tüpünüz ve kuyruğunuz var. Tüm omurgalı embriyolarında olduğu gibi brankiyal kemerleriniz de var. Ufacık başınızın iki yanında kalın, yuvarlak ve kalınlaşmış dokular var; her iki gözünüzdeki lensleri oluşturacak bu dokular bunlar içeri

doğru çökmekte. Embriyo sırtınızda da tıpkı sıralanmış boncuklara benzeyen çift sıralı tümsekler görülüyor.

Bu tümsekler, içlerinde bulunan hücreler tarafından gönderilen sinyallere yanıt olarak oluşmuştur. Ardından öteki dokular da bu tümseklerle konuşmaya başlar; şüphesiz kimyasal sinyallerin ya da morfojenlerin dilini kullanırlar. Bu morfojenler tümseklerin etrafını saran dokulardan içeriye doğru nüfuz ettikçe tümsek içindeki hücreler farklılaşmaya başlar. *Haikouella* ya da batraklar gibi omurgalı öncesi canlılarda notokord, vücudun ekseninde önemli ve sağlam bir çubuk olarak kalmaya devam eder. Öte yandan sizin ve benim gibi omurgalılarda omurgayı oluşturmak için bu çubuğun yerini kemikler alır; bu kemikler, oynar eklemlerle bir araya gelir. Aslında notokord bir bakıma kendi sonunu hazırlar; kendisi, tümseklerdeki hücrelere (artık bu hücrelere somit demeliyiz) omurlar da dahil iskelet parçaları üretmesini söyleyen dokulardan biridir. Nöral tüpten sızan öteki sinyaller, somitlerin üst ve dış kısmındaki hücrelere dermis (derinin en dış katmanın altındaki kısım) ve kasların öncüllerine dönüşmelerini söyler.

Tek bir tümsekten ya da somitten gelişen her şey bir omurilik siniri tarafından karşılanır. Bu dokular nereye gidecek olursa olsun, kendi bölümlerindeki sinir kaynaklarının nereden geldiğini "hatırlar". Kaslar bulundukları embriyo bölgesinden çok uzaklara göç edebilir ama hâlâ en baştaki sinir kaynaklarından beslenirler. Örneğin beşinci ve altıncı servikal somitlerden ortaya çıkan kas hücreleri, *bicep brachii* adındaki kası (arkadaşları arasında pazu olarak da bilinir) oluşturmak için yeni gelişen üst kola doğru göç eder. Öyleyse her bir kolunuzdaki pazularınıza bağlı sinirleri nereden geldiğini bulabilirsiniz: Kolunuzdan boynunuza kadar gidip, omurgadan çıkan beşinci ve altıncı servikal omurga sinirlerine bağlanırlar.

Her bir somitin iç taraftaki iskelet bileşenli hücreleri embriyonun tam ortasına doğru göç eder ve kendileriyle aynı ikili sıradaki somitten gelen hücrelerle burada, nöral tüpün üzerinde ve notokordun etrafında buluşurlar. Bahsedilen hücreler zamanla omurlarınızın kıkırdak yapısını oluşturur. Hatta her bir omurunuz, bir somitin alt kısmının öbür somitin üst kısmıyla iç içe geçmesiyle oluşur. Bu önemli bir şeydir, çünkü somitlerin tam ortasından çıkan omurilik sinirlerinin iki omur arasından geçeceği gösterir.

Ayrıca her bir somitin dışında gelişen kas yapılarının iki omur arasında köprü görevi göreceğini anlamına gelir, böylelikle bu kasları kullanarak omurganızı hareket ettirebilirsiniz.

Eğer hamile bir kadınsanız bebeğinizin omurgasının sorunsuz bir biçimde gelişmesini sağlamak için yapabileceğiniz birkaç şey vardır. Nöral tüpün üzerinde toplanan somit hücreleri eninde sonunda omurganın nöral kemerlerini oluşturacaktır; bunlar kapanıp omuriliği koruyacaktır. Bu hücreler ortada buluşamazlarsa nöral kemer oluşmayacaktır ve omurilik korumasız kalacaktır. Bu duruma spina bifida (tam anlamıyla "ayrık omurga") denir. En hafif vakalarda omurganın arka tarafta açık kalır ama omurilik ve etrafındaki deri sağlamdır, dolayısıyla omurilik sinirleriyle ilgili hiçbir sorun yaşanmaz. Daha ciddi vakalarda omurilikteki sinir dokusu bebeğin sırt yüzeyine çıkar, bu da omuriliği enfeksiyon kapmaya açık bir hale getirir; ayrıca sinir sistemiyle ilgili ciddi sorunlar olabileceğine işaret eder. Bu açıklık cerrahi müdahaleyle kapatılsa bile bebeğin bacakları felçli kalabilir.

Spina bifida için risk faktörlerinden biri, annenin folik asit seviyesinin düşük olmasıdır. Folik asit, DNA sentezinde devamlı rol oynayan temel vitamindir, embriyoda nöral tüp oluşumu esnasında da çok önemlidir. Bizler vücutlarımızda folik asit üretemeyiz, dolayısıyla bunu yediklerimizden almamız gerekir. Folik asit yeşil yapraklı sebzelerde (ki adı da buradan gelir, Latincede *folia* "yaprak" demektir), bezelyede, fasulyede, yumurta sarısında ve ay çekirdeğinde bol miktarda bulunur. Kadınlara folik asit takviyesi alması önerilen ülkelerde nöral tüp kaynaklı sorunların oranı ciddi anlamda azalmıştır. Bazı tahıllar ve ekmekler de folik asitle takviye edilmiştir. Birkaç araştırma, ABD'de folik asit takviyeli tahılların üretilmeye başlandığı 1998 yılından itibaren spina bifida gibi nöral tüp sorunu oranlarının yarıya indiğini gösteriyor. Gerçekten de hamileliğin başlarında folik asit takviyeleri alan annelerde, benzer doğuştan gelen sorunların yüzde yetmişinin önlenebileceği tahmin ediliyor. Bu nedenle tüm hamile olan ve hamile kalmayı düşünen kadınların yeterince folik asit tüketmesi çok önemlidir. Bunu yapmanın en iyi yolu da sağlıklı ve dengeli beslenmenin yanı sıra folik asit takviyesi almaktır.

Omurların büyük bir bölümü oldukça basmakalıp bir şekle uysa da aralarında farklılıklar vardır. Omurgadaki farklı omurların kim-

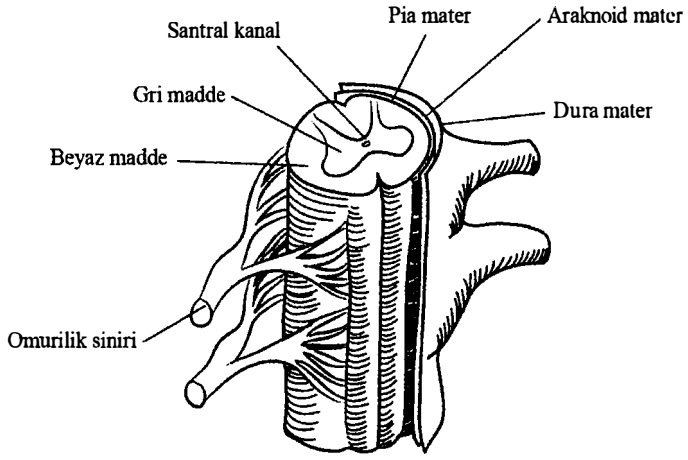
likleri embriyolojik gelişimin ilk başlarında, daha somitler oluşmadan önce *Hox* genlerinin embriyonun eksenindeki hücrelerde açılmasıyla belirlenir. Her bir omurga bölümünde etkin olan *Hox* genlerinin düzeni, sklerotomdan çıkan kemiklere ne tür bir omur olmaları gerektiğini söyler: Bunlar servikal, kaburgaların bağlandığı torakal, lomber, kalça kemiğinin bağlandığı sakral ya da kuyruk sokumu kemiğinin bulunduğu kaudal omurlara dönüşür.

OMURGANIN VE OMURİLİĞİN ANATOMİSİ

Omurların belli özellikleri aynıdır; bazıları bölgelere özgü (örneğin boyunda ya da belde olmalarına göre) özellikler gösterirken bazıları da kendine özgü özelliklere sahiptir. Tipik bir omurganın genel özellikleri, yapması gereken iki temel işi yansıtır: Vücudu desteklemek için ağırlık taşıyabilmeli ve omuriliği korumalıdır. Ağırlığı taşıyan kısım bir omurun gövdesidir, bu gövdenin hemen arkasında omuriliği saran bir kemer bulunur. Omur kemerinde çeşitli kemiksi uçlar bulunur ve bunlar kasların çektiği levyeler gibidir. Omurganın arkasındaki omur kemerleri bir zırh gibi üst üste gelerek omuriliği korur. Omur kemerleri arasına bir şey sokmak zordur ama hastayı uyuşturmak için epidural anestezi uygulayan anestezi uzmanlarının yapması gereken şey tam olarak budur.

Yana doğru, cenin pozisyonunda yatan ya da yatakta oturup öne doğru yaslanan bir hastanın omur kemerleri arasındaki boşluklar mümkün olduğu kadar açılır. Bu açıklık çok büyük olmasa da iğnenin girebileceği kadardır. Omuriliği saran zarlar beyni saran zarlarla aynıdır. Üç katmanlı bir zar yapısı vardır: İlk olarak omuriliğin kendisine sarılı haldeki *pia mater*, onun üzerindeki ince ve örümcek ağına benzer *araknoid mater* ve en üstteki kalın, sert kaplama olan *dura mater*. En dıştaki kalın zarla kemiksi nöral kemer arasındaki alan yağ ve bir sürü damarla doludur. Bu zar etrafındaki (zaten "epidural" kelimesinin anlamı budur) alan, anestezi uzmanının iğneyi soktuğu yer-

dir. Anestezi sıvısı buraya enjekte edildiği zaman omurilikten çıkan omurilik sinirlerini etkiler. Tıpkı beyin gibi omurilik de beyin omurilik sıvısının (BOS) içinde yüzer; bu sıvı, örümcek ağına benzer zarın altındaki alanı doldurur. Omurilik anestezisinde iğne en dıştaki ve ortadaki zarı geçerek daha da derine batırılır, böylelikle omuriliğin kendisi uyuşturulur. BOS örneği alabilmek için belden su alınması işleminde de iğnenin batırılması gereken yer burasıdır ama bu işlem genellikle omuriliğin altındaki kısımdan yapılır. Bebekler omurilikleri omurgaları kadar uzun olarak doğsalar da omurga çok daha çabuk uzar. Omurilikse daha yukarıda bel omurlarının olduğu noktaya kadar incelir, birinci ve ikinci bel omurunun arasındaki diskin olduğu yerde sonlanır. Omuriliğin en altında BOS, bel ve sakral omurilik sinirlerinin köklerinin yer aldığı en dıştaki ve ortadaki zardan oluşan uzun bir "torba" vardır. Neyse ki bir BOS örneği almak için bel boşluğuna iğne sokulduğunda bu sinir kökleri hiçbir hasar görmeden ortadan çekilir.



Omuriliğin etrafındaki zar katmanları.

Her birinde omur gövdesi, nöral kemer ve kemiksi uçlar olduğunu düşününce çoğu omurun "aynı şeyi farklı bir biçimde söylemek gibi" olduğunu düşünebilirsiniz, aslında her birinde

belli farklılıklar vardır. Laboratuvarda arkeolojik bir iskelet inceliyorken ilk yaptığım şey kemikleri kutudan çıkarmak ve onları uzun bir masaya dizmektir. Genellikle vücut ekseni üzerindeki kemikleri (yani kafatasını ve omurgayı) dizerek başlarım. Kafatası kısmı yeterince kolaydır (elbette ufacık parçalara bölünmemiş bir haldeyse); omurgayı oluşturan otuz üç tuhaf görünüşlü omur da tahmin ettiğinizden çok daha kolay bir biçimde sıralanır. İlk olarak, her bir omur üstündeki omurdan daha fazla ağırlık taşıyacağı için omurgada aşağı indikçe omur gövdelerinin genişlediği bilgisinden yararlanırım. Ne var ki servikal (boyun), torakal, lomber, sakral ve koksiks bölümlerindeki omurlar arasında başka önemli farklılıklar da bulunur.

Tipik bir servikal omurunun gövdesi küçük, nöral kemeri büyüktür. Kemiksi ucu çatallıdır ve tam tersi yöndeki çıkıntılarında (yanlara doğru giden uçlarında) delikler vardır. Bu delikler omurga atardamarının geçtiği yerlerdir, kafatasından içeri girmeden önce boyundan geçerler ve sonra da beyni oksijenli kanla besleyen internal karotid atardamarlara dahil olurlar.

Ötekilerden epey farklı olan iki adet boyun omuru vardır; bunlar omurganın ilk iki omurudur. Bahsedilen omurların tuhaf olma nedeni birkaç eklemdir, bu eklemler de iletişim amacıyla kafanızı oynatmanız açısından önem taşırlar. En yukarıdaki omura "atlas" denir (Antik Yunan mitolojisinde göğü taşıyan Titan'ın adı verilmiştir), bu omur kafatasını destekler. Atlas omurunun iki yanında büyük, kıvrımlı yüzeyler vardır ve bunlar, beyin sapının kafatasından çıktığı foramen magnumun iki yanındaki oksipital kemiğin alt kısmından eklemlenir. Bu eklemler kafatasının omurga üzerinde öne ve arkaya doğru gitmesini sağlar, böylelikle birini başınızla bir şeyi onaylayabilirsiniz.

Atlas omuru gerçekten de çok tuhaf bir yapıdır, omur gövdesi olmadığı için eşsizdir. Atlas omurunun gövdesi olması gereken yerde, ikinci omurdan çıkan kemiksi bir kanca vardır. İkinci omurun da özel bir adı vardır; ona *axis* denir. İkinci servikal omurun kemiksi kancası, yukarısındaki atlas omurunun önündeki kemerle eklemlenir. Böylelikle atlas omuru (ve beraberinde taşıdığı kafatası) sağa ve sola dönebilir, dolayısıy-

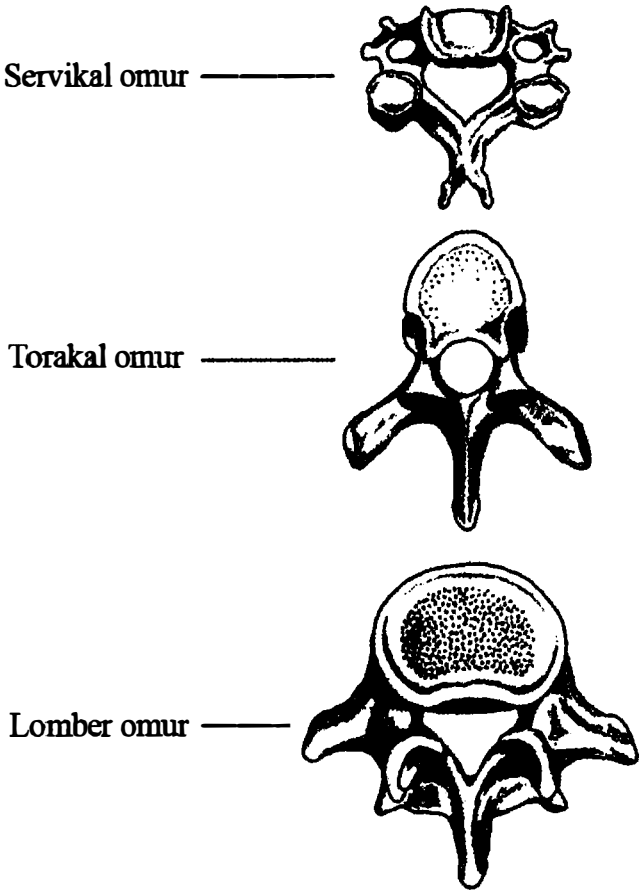
la hayır demek için kafanızı iki yana sallamanızı sağlayan omur budur.

Servikal omurlarınızın her biri arasında hareket kabiliyeti bulunur. Boynunuzu öne doğru getirip çenenizi göğüs kafesinize değdirebilir, arkaya doğru atıp gökyüzüne (ya da tavana) bakabilir, boynunuzu hem sağa hem de sola esnetebilirsiniz. Hatta bu hareketlerin hepsini birleştirip başınızı boynunuzun etrafında döndürebilirsiniz.

Torakal omurlar kaburga bağlantılarıyla nitelenir. Bu omurların gövdelerinin ön ve arka yanlarında küçük yüzeyler bulunur. Lomber omurlar, nöral kemerlerinin boyutuna kıyasla geniş gövdeleriyle kalın omurlardır ve kare biçiminde kemik tabakalardan oluşan "dikenleri" vardır.

Göğüs kafesinin bağlandığı torakal omurlarında hareket kısıtlıyken omurga bel bölgesinde yeniden özgürleşir. Ardından omurganızda yine hiçbir hareketin olmadığı sakrum ve koksiks denilen bölümler gelir.

Anatominiz evrimsel geçmişinizi ve öteki hayvanlarla akrabalığınızı yansıtır; omurganız da bu kurala dahildir. Kendinizi uzaktan akraba olduğunuz canlılarla karşılaştırdığınızda temel anlamda benzerlikler karşınıza çıkacaktır. Bir omurgalı olarak omurganız vardır ve bu balıklarla olan temel bir benzerliğinizdir. Tüm omurgalılarda omurganın görevi aynıdır: Tüm vücuda güçlü, esnek bir destek sağlamak ve değerli omuriliği korumak. Kendinizi öteki omurgalı kara hayvanlarıyla (jargona uygun olarak söylemek gerekirse tetrapodlarla) kıyaslarsanız farklı bölümlerden oluşan bir omurgayı paylaştığınızı görürsünüz. Onlarda da servikal, torakal, lomber, sakral ve koksiks bölümleri bulunur ama Denis Duboule'nin yılanında olduğu gibi omur sayıları epey değişkenlik gösterebilir. Eğer daha dar bir açıdan bakıp daha yakından akraba olduğumuz memeli kuzenlerimizi ele alırsak, omur sayılarının tüm grup içinde pek de farklı olmadığını görürüz. En büyük farklılık kuyruktadır. Bazı hayvanlar (bizler gibi) sadece bir avuç kuyruk omuruna sahiptir. Muhtemelen en çok kuyruk omuruna sahip olma övgüsünü, kuyruğundaki kırk dokuz omuruyla hızlı yüzen beyaz yanlı musur (Phocoenoides dalli) hak eder. En az farklılık gösteren kısımsa boyundur: Tüm memelilerin yedi servikal omuru vardır. Musurların ve zürafaların bile.



Omurganın boyun, göğüs ve bel bölgelerindeki omurları birbirinden farklıdır.

Bölgeler arasındaki sınırların bulanıklaştığı yerlerdeki ufak farklılıkların dışında (kaburgalardan biri servikal omura, bir lomber omur da kuyruk sokumuna bağlanır) biz insanlarda genellikle yedi servikal omur, on iki torakal omur (ve onlara bağlanan on iki çift kaburga), beş lomber omur, beş sakral omur ve birleşip kuyruk

sokumu ya da koksiksi oluşturan üç ila beş kaudal omur bulunur. İnsan omurgasındaki bu son birkaç omur, Yunancada "guguk kuşu" anlamına gelen bir kelimeden türemiştir, çünkü biçimi guguk kuşunun gagasını biraz andırır. Bazen bu omurların atalarımızın bir zamanlar sahip olduğu ama artık bizim işimize yaramayan, işlevini kaybetmiş bir kuyruğun kalıntıları olduğu da söylenir. İnanın bana, kuyruk sokumunuz olmadan yaşamak istemezsiniz. Artık pek bir kuyruk görevi görmeyebilir ama kaslar ("pelvik taban kası" adıyla bilinen *levator ani* de dahil) ve bağ doku için önemli bir dayanak noktası oluşturur. Kuyruk sokumunuz olmasaydı kalça kemiğinizi oluşturan yapıların yere düşmesi an meselesi olurdu.

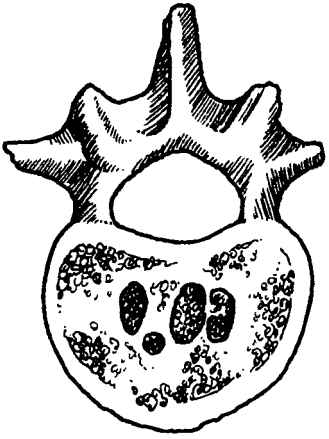
DİSK KAYMALARI VE SORUNLU YÜZEYLER

Kuyruk sokumunun yukarısında kalan tüm omurlarınız, basınca dayanıp şok emici olmanın yanı sıra harekete izin veren değişik bir eklem yapısıyla birbirine bağlıdır: Bunlar omurlar arası disklerdir.

Omurganızın embriyodaki gelişimi sırasında iki omur arasındaki "boşlukta" bulunan hücreler fibrokartilaj üreterek esneyebilen bir eklemi, omurlar arası diski ortaya çıkarırlar. Omurganın gövdesi oluştuğu noktada notokord yok olur ama notokord hücreleri, omurlar arası disklerin yumuşak olan merkezlerinde bir süre daha yaşamaya devam eder. Burada birkaç önemli görevleri vardır: Bu hücreler farklılaşmamış kök hücrelerdir, dolayısıyla bölünüp omurlar arası disklerdeki hücrelerin yerine geçebilirler. Ayrıca bu disklerdeki öteki kıkırdak hücrelerinin işlevlerini kontrol edebilirler. Ne var ki bu notokorddan kalma hücreler yaş aldıkça yavaş yavaş yok olur. Bu durum, ilerleyen yaşlarda görülen disk erimesinin nedenlerinden biri olarak düşünülmektedir.

Diskler eridikçe size sorun çıkarma olasılıkları artar. Genç bir omurgadaki omurlar arası diskler işlerini çok iyi yapar. Basınca direnirler ve omurlar arasında birer yastık görevi görürler. Diskin jelimsi orta kısmı (ki genç bir diskte bu kısmın kıvamı bir diş macununa

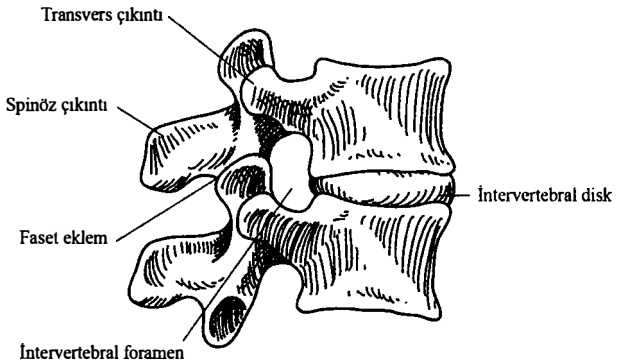
benzer) yükün omurun uçları arasında dağılmasını sağlar; sert, lifli bir halkayla yerlerine sabitlenir. Ne var ki bazen ortadaki jelimsi kısım lifli halka yapısının çatlaklarından dışarıya sızar ve bu da genellikle "disk kayması" olarak bilinen duruma neden olur. Omurilik sinirleri, iki omur arasından çıktığı için omurlar arası disklerle aynı seviyede bulunur. Bir disk kaydığında basıncın fazla olduğu tarafa, yani arkaya doğru gider: Tam da omurilik sinirlerinin olduğu yere. Bu bel ağrısına yol açabilir ama bazı durumlarda ağrı çok daha uzakta, kayan diskin basınç uyguladığı sinir boyunca hissedilir. Bu tip bir sorun genellikle beli etkiler; omurganın öteki kısımlarına kıyasla daha fazla ağırlık taşıyan bölge burasıdır. Bel omurlarından çıkan sinirler kalça kemiğinden geçerek sakral sinirlerle birleşir ve yaklaşık iki santimetre genişliğindeki devasa siniri oluşturur. Uyluğun arkasından geçen bu sinir, siyatik sinir olarak adlandırılır. O halde disk kayması, bu nedenle bacağın arka kısmında siyatik denilen zonklamalı bir ağrıya yol açar. Omurlar arası diskin ortasındaki jelimsi kısım yaşla küçülmeye ve kurumaya başlar; bu durum yükün artık omur tabanlarında eşit dağılmaması anlamına gelir ve ufak çatlaklara neden olabilir. Bazen jelimsi kısım, lifli halka yapının kenarlarında diske doğru taşmak yerine yukarı ya da aşağıya doğru ilerleyip omurun kendisi ittirebilir. Omurlar arası diskin bir omurun tabanını kırıp geçmesine "Schmorl nodülü" denir. Röntgenle bakıldığında bu nodüller, omur gövdesinin üst ya da alt kısmında koyu lekeler olarak gözükür. Kurumuş kemiklerde de bunları görmek kolaydır: Disk çoktan gitmiş olsa da diskin omur gövdesine açtığı delik hâlâ görülebilir.



Arkeolojik sit alanında bulunun bir omurdaki Schmorl nodülü.

Söz konusu evrim olduğunda insan omurgaları "yeterince" iyidir ama özellikle de yaş aldıkça sorun yaratırlar. Eğer sırt ağrısı çekiyorsanız bilin ki yalnız değilsiniz. Bel ağrısı pratisyen doktorların yaygın olarak karşılaştığı bir şikâyettir ve dünyadaki genel popülasyonun üçte ikisinin omurgaya ilişkin ağrılar çektiği tahmin edilmektedir. Omurlar arasındaki her bir diskiniz, iki omurun arasında öne ve arkaya sallanmak ve sağa sola dönmek gibi hafif bir hareket yeteneği sağlar. Ne var ki kalçanız, dizleriniz ya da parmak eklemleriniz gibi daha "geleneksel" eklemleriniz de vardır; bu hareketli eklemlerinizde düz hiyalin kıkırdak bulunur ve kaygan eklem sıvısıyla yağlanmışlardır.

Omurganın arka tarafında omurları birbirine bağlayan faset eklemler, belirli yönlerde hareket edebilmeyi sağlasa da asıl önemli olan, omurganın hareketini ne açıdan kısıtladıklarıdır. Genellikle kaburgalar tarafından sabit tutulan göğüs bölgesindeki faset eklemler, biraz öne ve arkaya uzanmayı sağlasa da bu bölgedeki omurganızı sağa ya da sola döndüremezsiniz. Oysa bu çevirme hareketi boyun bölgesinde oldukça serbesttir. Bel omurgasındaki faset eklemleri de esneme ve uzamanın yanı sıra sağa ve sola dönmenize yardımcı olur. Üstelik en yakın kuyruksuz maymun kuzenlerimize kıyasla bizim bel bölgemizdeki omurlar gerçekten de çok esnektir.



Omurların arasındaki eklemler, omurlar arası [*intervertebral*] disk ve faset eklemlerden oluşur.

Hareketli parçalar hangi mühendislik ürünü olurlarsa olsunlar genellikle en sorunlu kısımlardır; omurga eklemleriniz de öyledir. Disklerinizin ortasındaki jel yapının nasıl dışarıya çıkıp sorun yaratabileceğini gördük, şimdi bel ağrısının başka bir kaynağı olan faset eklemlerine gelelim. Şu anda hiç kıpırdamadan oturduğunuzu ya da uzandığınızı düşünseniz de büyük bir olasılıkla vücut ağırlığınızı biraz değiştirip omurganızı hareket ettiriyorsunuz, dolayısıyla faset eklemleriniz aslında hiçbir zaman dinlenemez. Yaşamları boyunca aşırı kullanıma ve ufak hasarlara göğüs gererler. Artan yaşla disklerin kendileri de eridiği için bu kıkırdaklar da erimeye daha yatkındır. Vücut ağırlığı, bu kadar ağır bir yükü taşımak için tasarlanmamış faset eklemlerine doğru kayma eğilimindedir. Eninde sonunda hiyalin kıkırdak yüzeyler aşınır ve eklem kenarlarında kemik çıkıntıları gelişmeye başlar; tüm bunlar, eklem kireçlenmesinin klasik belirtileridir.

Duyu sinirleri, faset eklemlerden geçer. Bu sinirler iki omurun arasından çıkan omurilik sinirinin dallarıdır; dolayısıyla eklemlerin kendisi de ağrıya yol açabilir. Peki bu eklemler ne denli bir ağrıya neden olabilir ki? ABD'li bir grup anestezi uzmanı, bu soruya yanıt bulmak için sırt bölgesinde çeşitli ağrılar çeken beş yüz hastanın faset eklemlerine anestezi yapmıştır. Kronik boyun ağrısı çeken hastaların yarısında, sırt omurlarında ağrı çeken hastaların yarısından fazlasında ve kronik bel ağrısı çeken hastaların da üçte birinde ağrının yatıştığını keşfetmişlerdir. Ayrıca boyunlarını incittikten sonra kronik sorunlarla boğuşan hastaların büyük bir kısmında da ağrının kaynağının faset eklemler olduğu ortaya konmuştur.

Faset eklemleri ağrının doğasına ilişkin bir şeyi gözler önüne serer: Bazen ağrının nereden geldiğini anlamamız hiç de kolay değildir. Eğer vücudunuzun dış yüzeyinde bir yaralanma varsa ağrının nereden geldiğini net bir biçimde belirleyebilirsiniz. En son ne zaman bir sivrisinek tarafından ısırıldığınızı hatırlıyor musunuz? Bu ısırık küçücük bir yaraya yol açsa da tam olarak nereden ısırıldığınızı bilirsiniz; çoğu zaman ısırıldığınızı anladığınız anda sivrisineğe bir tokat yapıştırırsınız. Vücudunuzun dış yüzeyi beyninizdeki duyu korteksinde haritalandırılmıştır; bu yüzeyden gelen her bir bilginin haritada üzerinde tam olarak geldiği nokta bellidir.

Görünen o ki iç organlardan gelen ağrının kaynağını bulmak çok daha zordur. Vücudunuzun iç kısmı farklı duyu nöronlarıyla kaplıdır; bu nöronlar beyne, genellikle bilinçdışında işlenen bilgiler yollar, böylelikle siz de sürekli ne yaptığınızı bilinçli bir biçimde düşünmeden fizyolojik parçalarınızı yönetebilirsiniz. Zaten böyle olmasaydı iç organlarınızın ne yaptığından başka hiçbir şey düşünemiyor olurdunuz. Koşarken kalp hızınızı bilinçli olarak artırmaya ya da yediğiniz yemekleri safra kesesinizden on iki parmak bağırsağınıza kasten boşaltmanıza gerek yoktur. İyi ki yoktur; yoksa tüm bu "ev işlerini" düşünmekle meşgulken sohbet edebilmeniz, bir sorun çözebilmeniz ya da kitap okuyabilmeniz mümkün olmazdı. Yine de iç organlarınızdan gelen duyu sinyalleri belirli bir yoğunluğa ulaştığı zaman bunu bilinçli olarak fark etmeye başlarsınız. Bir rahatsızlığın ya da ağrının farkına varsanız da tam olarak nereden geldiğini anlamak çok zordur. Bazen ağrılar yayılır ve belli belirsiz bir hal alır. Bazen de beyindeki kablolar sanki yanlış bağlanmış gibi ağrı geldiği kaynaktan değil de ondan çok uzak bir yerde hissedilir; bu "yansımalı ağrı" adı verilen bir fenomendir. Görünüşe göre beyin, aynı noktada omuriliğe giren farklı duyu sinirlerinin gönderdiği sinyalleri anlamakta zorlanır ve bu da bizi embriyodaki orijinal vücut bölümlerine geri götürür.

Somitlerin (gelişmekte olan embriyonun sırt kısmında, boncuk gibi dizilen tümseklerin) her birinde iskelet, kas ve dermis yapılarını oluşturacak hücre grupları bulunur. Bu dokular nereye giderlerse gitsinler, onlara bağlı olan omurilik sinirlerini sayesinde somit kökenlerini her zaman "hatırlarlar". Örneğin dördüncü omurilik siniri (L4); omurganın bölümlerinden, bacaktaki belirli kas bölgelerinden ve embriyonun dördüncü bel somitinden gelişen sırt ve bacak derisinden sorumludur. L4'ün bağlı olduğu bir faset ekleminden gelen ağrı, sorunun asıl çıktığı yer olan sırtta hissedilmeyebilir. Ağrı belde, kaba ette ya da uylukta; hatta bazı durumlarda L4'ün geçtiği alt bacakta ve ayakta bile hissedilebilir.

Beldeki faset eklemlerine bölgesel anestezi yapmak, bu eklemlerdeki ağrıyı tanılamak ve tedavi etmek için de kullanışlı bir yöntem olabilir. Eğer bel ağrısı çekiyorsanız görünen o ki kendiniz için yapabileceğiniz en yararlı şeylerden biri yoga yapmaktır.

Şempanzeler ya da goriller gibi daha az hareketli bel omurlarına sahip olsaydık bel ağrısı çekmekten büyük bir oranda kurtulmuş olurduk. Oysa esnek bel omurları bizi biz yapan şeylerdir: Hareket etme biçimimizi onlara borçluyuz.

UZUN BEL OMURGASI

Şempanzeler ve gorillerin genellikle yedi boyun omuru, on üç sırt omuru, dört bel omuru ve altı sakral omuru vardır. Öyleyse bizler, Afrikalı kuyruksuz maymunlarla karşılaştırıldığında bel bölgesinde daha uzun bir omurgaya sahibiz. Öte yandan elbette omurgamızın boyu ya da esnekliği, normalde yedi bel omuru olan Afrikalı ve Asyalı uzaktan primat kuzenlerimiz Eski Dünya maymunlarının yakınından bile geçemez.

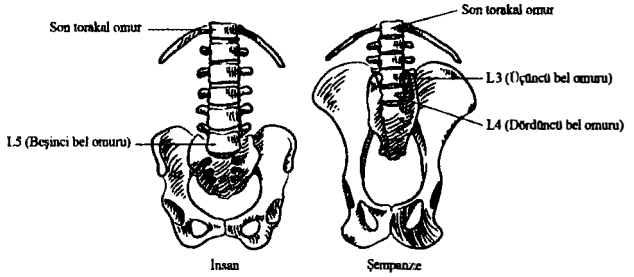
Evrimsel geçmişimizde daldığımızda, tıpkı yaşayan Eski Dünya maymunlarında olduğu gibi uzun ve hareketli bel omurgaları olan atalarımızı görürüz. *Pliopithecus* fosilleri (yaklaşık on beş milyon yıl önce yaşamış) maymunların altı ila yedi omurdan oluşan esnek bir bel omurgası, kısa bir sağrı kemiği ve uzun bir kuyruğu olduğunu göstermiştir. Bu da iki soruyu beraberinde getirir: Omurgamız ne zaman bu kadar kısaldı? Ayrıca neden şempanze ya da gorillerdeki kadar kısa değiller?

Görünüşe göre kuyruğun tamamen kaybedilmesi gibi bel omurgasının kısalması da maymunlardan evrilen kuyruksuz maymunlarda ortaya çıkan anatomik değişiklerdendir. Kuyruğun kaybedilmesi tuhaf bir bilmecedir çünkü kuyruklar, ağaçlarda yaşayan hayvanların dengelerini sağlayabilmeleri için çok kullanışlıdır. Babunlar gibi büyük maymunlar yatay dalların üzerinde dört ayak üstünde yürürken dengelerini korumak için kuyruklarını bir sağa bir sola sallarlar. En eski kuyruksuz maymunlar da bu dallar üzerinde benzer bir biçimde, avuç içleri ve ayak tabanları üzerinde yürümüştür. Oysa *Proconsul* gibi eski dönemlerden kalma fosilleşmiş kuyruksuz maymunlar çoktan kuyruklarını kaybetmiştir. Görünüşe göre kuyruk yerine daha hareketli kollara ve bacaklara, sağlam dirseklere, kendilerinden önceki maymunlar-

dan bile daha iyi tutunan el ve ayaklara sahip olsalar da kuyruğun kaybedilmesi için gerekli olan ilk neden hâlâ gizemlidir. Kuyruksuz maymun soyundan geldiğim için gurur duyuyorum ama evrimin halka kuyruklu lemurdan tutun da örümcek maymunlarına ve babunlara kadar çoğu kuzenlerimizde hâlâ olan ufak bir anatomi parçasını elimizden alması beni bazen üzüyor.

Kuyruklu ya da kuyruksuz büyük vücutlu bir hayvan için dalların tepesinde dört ayak üstünde yürümenin tehlikeli olmaya başladığı bir an vardır. Ağırlığınızı daldan sallandırmak ya da dik durup ellerinizden destek alarak dalların arasında yürümek çok daha güvenlidir. Bu da maymunlar ve kuyruksuz maymunlar arasındaki temel farkı ortaya koyar: Maymunlar gövdelerini yatay düzlemde tutarak dört ayaklarının üstünde ağaçlarda gezer; oysa kuyruksuz maymunlar vücutları dik bir biçimde ağaçlara çıkar, tırmanır, ağaçlardan asılır ve vücutlarını sallandırırlar. Eğer böyle hareketler yapan bir kuyruksuz maymunsanız esnek bir bel omurgasına sahip olmak aniden bir sorumluluk haline gelir. Hareketli bir omurga yaralanmaya açıktır, oysa daha sert bir omurga bir ağaçtan ötekine uzandığınızda gövdenizi destekler. Öyleyse şempanzelerin ve gorillerin bel omurgalarının neden daha kısa olduğu şimdi anlaşılmıştır: Omurgalarının bu bölümü sadece kısa değil, daha sabittir de. Kalça kemiğinin üst kısmı iki yandan yükselerek son bel omurunu "sıkıştırır", böylelikle bu omur neredeyse hareketsiz kalır.

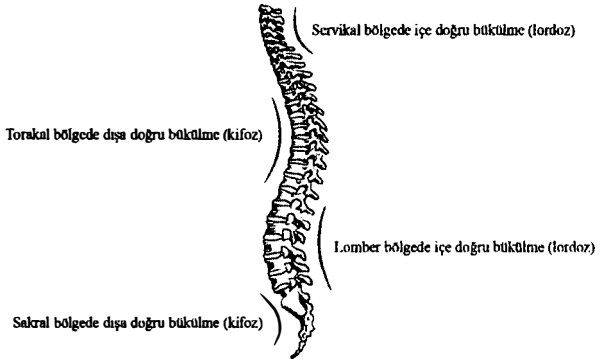
Sizlerde birer kuyruksuz maymunsunuz ama omurganızın alt kısmı ve kalça kemiğiniz ötekilerden tamamen farklıdır. Bel omurganız, hem daha uzundur hem de kalça kemiği tarafından sıkıştırılmaz. Ayrıca bel omurlarınızın gövdelerinde de önemli farklılıklar görülür; her bir omurun vücut içine bakan kısmı, dışa bakan kısımdan daha kısadır. Bu da omurların üst üste gelmesiyle kendiliğinden ters bir S harfi biçimi oluşturduğunu gösterir. Oluşan bu çukur, lomber lordoz olarak adlandırılır. Bel çukurunuz öteki kuyruksuz maymunlarda bulunmayan bir şeydir; oysa hominin aile ağacımızın çok eski üyelerinden birkaçında vardır. İki ila üç milyon yıl önce yaşayan *Australopithecus africanus* türüne ait iyi korunmuş bir omurga fosilde (daha yaygın olarak STS 14 olarak bilinir), bel omurunun dışa bakan kısmının içe bakan kısımdan daha uzun olduğu görülmüştür. Yani tıpkı bizlerde olduğu gibi bu eski dönem homininlerde de bel çukuru bulunur. Ayrıca bu homininler, beş (hatta bazen altı) omurdan oluşan uzun bel omurgalarına sahipti.



İnsanın bel kısmındaki omurga beş omurdan oluşurken şempanzeninki dört omurdan oluşur. Ayrıca şempanzenin omurgası, kalça kemiğinin parçalarından biri olan ilye kemiğiyle sıkıştırılır.

Bir bel çukuruna sahip olmak size çok etkileyici gelmeyebilir, hatta "Eee, ne olmuş?" diye düşünüyor olabilirsiniz. Oysa bel çukurunuz; göğsünüzü kalça kemiğinizin üzerinde, kalça kemiğinizi de iki bacağınızın üzerinde dengeleyerek vücudunuzu dikleştirebildiğiniz anlamına gelir. Görünen o ki şempanzeler ve goriller vücut ağırlıklarını kalça kemiklerine doğru verirken omurgalarını bükmekte zorlanır; bu nedenle iki ayakları üstüne kalkıp yürüdüklerinde bunu kalçalarını ve dizlerini bükerek yapabilirler. Şüphesiz iki ayak üstünde yürüyebilirler ama bu yürüyüş bizimki kadar iyi bir biçimde olamaz. Dizlerinizi ve kalçanızı hafifçe kırıp yürümeyi deneyin; uyluk kaslarınızın ne kadar çok çalıştığını hissedeceksiniz. Eğer iki ayakları üzerinde hareket etmeye alışık bir kuyruksuz maymunsanız (yani benim, sizin, tüm insanların ve hominin atalarımızın olduğu gibi), omurganızdaki çukur iki ayak üstünde durmayı ve yürümeyi etkili hale getiren temel özelliktir. Australopit omurgalarındaki lomber lordozlar da bu atalarımızın çoktan iki ayak üstünde dik bir biçimde yürümeye alışık olduğunu gösteriyor. Oysa madalyonun bir de öteki yüzü var: Eğer daha kısa ve sabit bir omurga yaralanma riskini azaltıyor ve ağaçlarda gezinmeyi kolaylaştırıyorsa *Australopithecus africanus*'un bel bölgesindeki omurga kısmının uzun ve esnek olması, homininlerin ağaçlarda yaşamayı tamamen geride bıraktığı anlamına gelir. Sizler bir bel çukuruyla doğmadınız.

Yenidoğanların omurgaları doğal bir biçimde içe doğru bükülür. Bir bebek yaklaşık bir yaşına geldiğinde omurgasının bel bölgesinde çukurlaşma başlar. Gövdenin üzerinde duran başın dengelenmesi adına boyun bölgesinde de benzer bir çukur meydana gelir. İnsan omurgası, zamanla iki S harfi biçimini alır: Boyun bölgesinde içe doğru bir bükülme, göğüs bölgesinde dışa doğru bir bükülme, bel bölgesinde yine içe doğru bir bükülme ve kuyruk sokumu kemiğine gelmeden son bir dışa doğru bükülme daha.



İnsan omurgasının "kıvrımlı hatları".

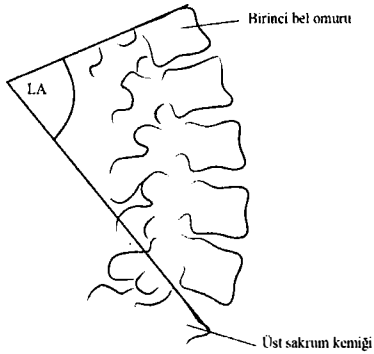
KIVRIMLARI OLMAYAN KUZENLERİMİZ

Hominin aile ağacımızdaki en yakın kuzenlerimizin, Neandertallerin omurgalarına baktığımızda bel bölgesindeki omurganın öyküsü ilginç bir yöne gitmeye başlar (elbette mecazi anlamda).

Bu kısa boylu ve sağlam yapılı insanlar, 300 bin ila 30 bin yıl önce Avrupa ve Asya'da yaşamıştır. Neandertallerden geriye çok büyük miktarda fosil kanıt kalmıştır (iki yüz yetmiş beşten fazla insan kalıntısı keşfedilmiştir). Keşfedilen hiçbir iskelet tam olmasa

da farklı kazı alanlarından çıkarılan kalıntıları bir araya getirerek "toplama bir iskelet" oluşturmak mümkündür. Irak'taki Şanidar, İsrail'deki Kebara ve Fransa'daki Chapelle-aux-Saints mağaralarında bulunan Neandertal fosillerinin her birinde iyi korunmuş bel omurları bulunur. Yakın zamanda yapılan bir çalışma, Neandertallere ait bel omurlarıyla daha eski insanlardan ve modern insanlardan alınan omurları karşılaştırıp her türün lordoz ya da bel çukuru açısını ölçmüştür. Sonuçlarsa epey şaşırtıcıdır. Modern insanlarda görülen ortalama lordoz açısı elli bir dereceyken, insan olmayan kuyruksuz maymunlarda bu açı yirmi iki derecedir. *Australopithecus africanus* türünün bel çukuru, insana benzer bir biçimde kırk bir derecelik bir açıya sahiptir; bu açı *Homo erectus* türündeyse kırk beş dereceye çıkmıştır. Oysa Neandertallerde, ortalama olarak neredeyse yirmi dokuz derecelik bir açı söz konusudur.

Bu bulgu, Neandertallerin bel bölgesindeki omurganın bizlere kıyasla çok daha dik durduğunu gösterir. Yakın kuzenlerimizin sırtları, insan evrimindeki kıvrımlı omurgalar modasına ters bir biçimde ilerleyerek atalarımızınkinden bile daha düz bir hal almıştır. Omurganın bel bölgesinde çukur olması, hem etkili bir biçimde dik durmayı sağlar hem de şok emici olarak etkili olur. Bel çukurları olmayan Neandertaller, muhtemelen daha kısa adımlarla ve gövdeleri hafifçe öne doğru eğilmiş halde yürüyorlardı. Tüm bunları düşününce evrimin geriye gitmiş gibi görünebilir ama hiçbir kıvrımı olmayan, düz bir omurganın ortaya çıkması için çok iyi bir neden olabilir: Bu neden, dengedir.



Omurganın bel bölgesindeki lordoz açısı (LA) (Been et al. 2012 makalesinden çizilmiştir).

Bel bölgesinde kıvrımsız, sağlam bir omurgaya sahip olmak omurganın genelindeki baskıyı azaltmış olabilir; böylelikle Neandertaller üst vücutlarını daha iyi kullanabilmiş ve biz modern insanların ataları olan kuzenlerine kıyasla daha ağır yükler kaldırabilmiştir. Kim bilir, belki bizler de Neandertal soyundan gelseydik (ki ben de dahil bazı insanların genomlarında ufak bir miktar Neandertal DNA'sı bulunur, görünüşe göre bu DNA omurgamızı değiştirmeye yetmez ya da çok yanlış bir yerdedir) bugün bu denli bel ağrılarıyla uğraşmak zorunda kalmazdık.

Neandertal iskeletleri pek çok açıdan bizimkine benzer olsa da görünüşe göre aramızda bazı önemli farklılıklar vardır. Bu farklılıklar büyük bir olasılıkla bizler ve atalarımız arasındaki yaşam tarzı farklılıklarını yansıtır. Kıvrımsız bel omurgalara ek olarak Neandertallerin göze çarpan başka bir özelliği de geniş ve yuvarlak biçimdeki göğüs kafesleridir. Sizlerin göğüs kafesi da aslında oldukça sıradışıdır; biçim olarak çoğu memeliden, hatta öteki kuyruksuz maymunlardan bile farklıdır.

KABURGALAR, AKCİĞERLER VE KALPLER

ATALARIMIZDAN GELEN KABURGALARLA BALIKLARDAN GELEN KALPLER VE AKCİĞERLER

"Bilir misin kalpten akan kan,
Nasıl akar bir odacıktan ötekine?"

JOHN DONNE
Ruhun Seyri [Of The Progesse of The Soule]

GÖĞÜS KAFESİ VE DİYAFRAM

Arkeolojik bir iskeleti incelerken ilk yaptığım iş, kemikleri anatomik düzenine uygun olarak, sanki iskeletin sahibi sırt üstü uzanıyormuşçasına kolları yanlarda ve avuç içleri yukarı bakacak bir biçimde dizmektir. Ardından her bir kemiği dikkatle incelemeden önce kişinin yaş ve cinsiyetini belirlemede yardımcı olabilecek ya da bir hastalığa işaret edebilecek özelliklerle ilgili bir envanter hazırlarım.

Kaburgalar gerçekten baş belası olabilir. Genellikle çok ufak parçalara ayrılmış olsalar da biraz sabırla bu yapbozu tamamlamak mümkündür. İnsanlardaki göğüs kafesi fıçı biçimindedir; önden ve arkadan basık görünür. Her bir kaburganın biçimi de konumlandıkları yer hakkında bilgi verir. Kaburgaların baş ve boyun kısımlarındaki faset eklemler, göğüs kafesinin sağında mı, yoksa solunda mı durduklarını gösterir. Ayrıca en üstteki ve en alttaki kaburgalar oldukça kolay ayırt edilebilir. İlk kaburgalar kısa, C harfi biçiminde kemiklerdir; biçimleri yassıdır ama yatay düzlemde konumlanmışlardır. Aynı biçimde yassı olan öteki kaburgalarsa dikey düzlemde konumlanır

Tıpkı vücudunuzdaki öteki kemiklerde olduğu gibi kaburgalar da embriyodaki bağ dokudan ya da mezenkimden meydana gelen kıkırdak yapıdan oluşur. Kaburgaları üreten hücreler, sırt bölgesindeki omurları oluşturan hücrelerle aynı kökene sahiptir: Her ikisi de embriyonun göğüs bölgesindeki somitlerden (embriyonun sırtında çift sıra halinde bulunan tepeciklerden). O halde sırt bölgesinde on iki adet omur ve on iki adet de kaburga bulunur (ve bazı yaratılışçıların inandığının aksine kaburga sayısı her iki cinsiyette de aynıdır). Göğüs kemiği ya da sternum, embriyo henüz disk biçimindeyken dış kenarlarından oluşan mezenkim katmanından meydana gelir. Bu dış kenarlar, (döllenmeden dört hafta sonra) embriyonun bir silindir biçimini almasıyla önde ve ortada

birleşir. Kaburgalarda olduğu gibi göğüs kemiği de kıkırdak bir yapıdan üretilir ve zaman içinde kemiğe dönüşür.

Göğüs kafesinizin ilk yedi kaburgası, vücudun arkasındaki omurgadan çıkıp öne doğru uzanır ve göğüs kemiğiyle birleşir. Bir dakika, bu doğru değil. Aslında kaburganın kemik kısmı kısa kalır; göğüs kemiğine ulaşmak için geriye kalan bölüm, kostal kıkırdak adındaki bir kıkırdak yapıyla tamamlanır. Kaburgalar önce kıkırdak olarak üretilip sonra kemikleşir; öyleyse kostal kıkırdaklar, kaburga uçlarının kemikleşmemiş halleridir. Bu kıkırdaklar göğüs kafesinizin esnek olmasını sağlar (daha önce bir rock konserinde en ön sırada bulunduysanız bu esnekliğe sahip olmanın ne büyük bir şans olduğunu bilirsiniz). Göğüs kafesinizin esnekliği, kalp masajı (kardiyopulmoner resüsitasyon; KPR) yapılabilmesini de mümkün kılar: Göğüs kemiği, kanı kalpten dışarıya atmak ve defibrilatör gelene kadar dolaşımın devamını sağlamak için beş santimetre içeriye kadar bastırılabilir.

Kaburgalarınız, interkostal kaslarla birbirine tutunur; her bir kas kümesi, bir çift omurga sinirinin dallarıyla beslenir. Göğsünüzdeki bu kasların bölgesel bir biçimde sinir dallarıyla donatılması, tıpkı meyve sineği larvalarında olduğu gibi embriyonuzun temel olarak bölgelere ayrıldığını gösteren başka bir örnektir.

İnterkostal kasların ana işlevi, çoğu anatomi kitabında nefes alıp verdiğinizde kaburgaları genişletmek ya da daraltmak için hareket sağlamak olarak geçer. Bu kaslar gerçekten de göğüs kafesinin biçimini ve hacminde değişiklik yaratabilir ama asıl işlevleri bu değildir. Zaten konu solunum olduğunda interkostal kaslardan çok daha önemli bir kasınız vardır: Adı diyaframdır. Bu kubbe biçimindeki kasın tepesi göğüs kafesinizin alt kenarlarına, arka kısmı omurganıza ve ön kısmı da göğüs kemiğine tutunur.

Şu anda sakince oturuyorsanız, diyaframınız muhtemelen dakikada bir buçuk santimetre (ve yaklaşık on iki kere) yukarı ve aşağı hareket ederek tıpkı bir gelgit gibi ciğerlerinize girip çıkan havanın devamlılığını sağlıyordur. Diyaframınızın kubbemsi tepesi gevşeyince göğüs boşluğunuza kadar yükselir; oysa derin bir nefes alırsanız yaklaşık on santimetre aşağıya inerek kasılır ve düzleşir. Böylelikle göğüs kafesinizde bulunan akciğerlerinizin hacmi artar. Bu da akciğerlerinizdeki basıncın düşmesi ve havanın burun deliklerinizden, burun boşluğunuzdan, yutağınızdan,

gırtlağınızdan, soluk borunuzdan ve bronşlarınızdan emildiğini gösterir. Tüm bunlar olurken interkostal kasların asıl amacı kaburgaları hareket ettirmek değildir. Nefes aldığınızda göğüs kafesinizde negatif basınç oluşur; interkostal kasların amacı, kaburgalarınızı aralardaki boşluklardan içeriye çekilmekten alıkoymaktır. İnterkostal kaslar göğüs duvarını sertleştirir. Bu sayede diyaframın düzleşmesiyle artan göğüs hacmi, aralardaki boşluklara çekilmekten kurtulur.

Diyaframın kasılarak göğüs kafesinizin (ve akciğerlerinizin) hacmini üç litreye kadar çıkartabilmesi için interkostal kasların düzgün çalışması şarttır. Kasların felç olması durumunda her nefeste akciğerlere doğru gömülürler; dolayısıyla akciğer hacmindeki artış neredeyse yarı yarıya düşer. Bahsedilen durum, boyun en alt kısmından geçen omurilik hasarlarına ortaya çıkabilir. Bu bölgedeki herhangi bir hasar, interkostal kasları besleyen sinirler de dahil olmak üzere omuriliğin devamındaki tüm sinirleri etkileyecektir. Oysa diyafram etkilenmez. Bu anatomik tuhaflığın nasıl olduğunu anlamamızın tek yolu, embriyo gelişimine bakmaktır. Frenik sinir çifti, boynunuzdan başlayıp sırayla köprücük kemiğinizden, birinci kaburganızdan ve göğüs kafesinizden geçer. Ardından kalbinizin yanından geçerek göğüs kafesinizin alt sınırını oluşturan diyaframa kadar iner. Geçmişe dönüp beş haftalık embriyonuza bakarsak, kalbinizin çoktan oluştuğunu, hatta kan pompalamaya başladığını görürüz. Ne var ki bu haftada kalbiniz hâlâ boyun bölgesindedir. Kalbin hemen altında (ama hâlâ boyun bölgesinde) geniş bir doku, vücudunuzun önünden arkasına doğru büyümektedir. Enine doğru genişleyen bu yapı diyaframı meydana getirir; bu aşamada diyaframa bağlanan servikal omurilik sinirlerinizin dalları, bu kararlarına sadık kalmaya devam edecektir. Gelişmekte olan diyafram, sonraki bir ay boyunca embriyonun da uzamasıyla vücutta aşağıya iner. Diyafram zamanla göğüs kafesinin altında kalsa da çok daha yukarılarda kalan sinirlerle kontrol edilmeye devam edecektir. Tıp öğrencilerine, "Üçüncü, dördüncü ve beşinci servikal omur; diyaframın hareketi budur," tekerlemesinin öğretilme nedeni de budur. Frenik sinir boyun bölgesinden başlar; üçüncü, dördüncü ve beşinci servikal omurlar arasından çıkan omurilik sinirleriyle desteklenir.

GÖĞÜS KAFESİ BİÇİMLERİ

Göğüs kafesi her memelide farklı biçimlerde ve boyutlarda olabilir. Ne var ki söz konusu iç organlarsa hepsi aynı işlevleri yerine getirmelidir. Kaburgalar, kalbi ve akciğerleri korur; ayrıca diyafram ve interkostal kaslar arasındaki bağlantılarla nefes alıp vermeyi sağlar. Göğüs kafesinin biçimi sadece içindekilerle değil, dışındaki yapılarla da ilgilidir. Göğüs kafesine tutunan yapılardan en önemlisi kürek kemikleridir; bu kemikler öteki hayvanlarda ön ayaklara bağlanırken bizlerde üst uzuvlara (kollara) bağlanır. Dört ayak üstünde yürüyen ve koşan hayvanlarda yanlardan basık bir göğüs kafesi görülür. Gözünüzün önüne evcil bir kedi ya da köpek getirin: Bu canlıların göğüs kafesleri dardır ama sırtlarından karınlarına doğru derinleşir. Dört ayaklılardan olan maymunların göğüs kafesleri de benzer bir biçimdedir. Bahsedilen hayvanların kürek kemikleri, dar göğüs kafeslerinin iki yanına montelenmiştir. Bu kemikler, her adımda ön ayakların harekete bağlı olarak dönerler. Öte yandan kuyruksuz maymunlarda farklı bir durum söz konusudur; göğüs kafesleri sırttan karına doğru genişlemeyip yassılaşmıştır, dolayısıyla genişleme yanlara doğru olmuştur. Göğüs kafesinin biçimi insanlarda da böyledir; her birimizin göğüs kafesi yassıdır. İnanmıyorsanız kendiniz de bir bakın. Veterinerler kedilerin ve köpeklerin göğüs röntgenlerini yandan çekmeye alışıktır; oysa doktorların incelediği standart göğsü röntgenleri, göğüs kafesini önden arkaya doğru gösterir. (Aslında bu standart göğüs röntgenleri arkadan öne doğru çekilir, buna posteroanterior ya da PA yöntemi denir.)

Yassı bir göğüs kafesi, kuyruksuz maymunların hareket biçimleriyle ilişkilidir. Kuyruksuz maymunlar, çok daha küçük gövdeli maymunlardan evrim geçirmiştir; yine de boyutları büyütülmüş maymunlardan ibaret değillerdir, zaten çoğu maymundan farklı hareket ederler. Büyük bir gövdeye sahipseniz dalların tepesinde dört ayak üstünde yürümek pek kolay olmayabilir. Tırmanmak ve etrafınızdaki dallara tutunarak destek almak için ellerinizi kullanmanız çok daha kolay ve güvenlidir. Böylelikle incelik dallarda tırmanabilir, ağaçtaki meyvelerin en bol olduğu kısımlara uzanabilirsiniz. (Kuyruksuz maymunların özelliklerinden biri büyük bir

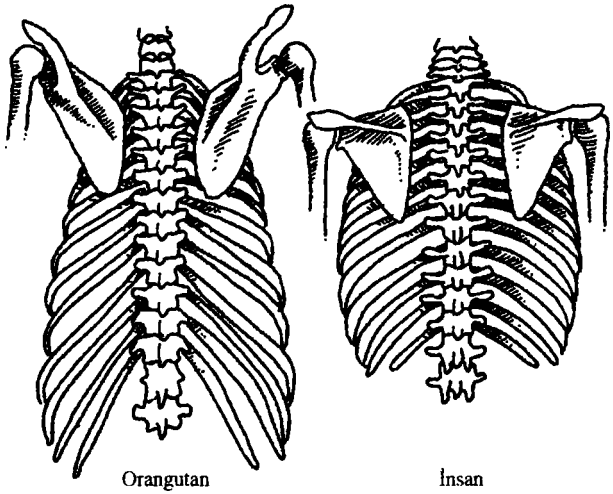
kısmının meyveyle beslenmesidir.) Gibonlar ve orangutanlar da dahil olmak üzere yaşayan kuyruksuz maymunlardan birkaçı, kollarıyla dallardan sarkarak yine gövdelerini dik bir konumda tutar.

Net bir biçimde "kuyruksuz maymunumsu" yassı göğüslere sahip bazı maymunlar vardır: Örneğin Orta ve Güney Amerika'da yaşayan örümcek maymunları (*Ateles* cinsi). Bu maymunların göğüs biçimleri yakınsak evrimin bir örneğidir; dik duran gövdeleriyle bir ağaçtan ötekine uzanarak ve dallardan sarkarak gibonlar gibi hareket ederler. Örümcek maymunlarının göğüs kafesleri, kuyruksuz maymunlarda olduğu gibi bu hareketlere uyarlanım göstermiştir. Örümcek maymunlarının yanı sıra, artık (eskisi kadar) ağaçlarda dolaşmayan ama hâlâ yassı göğüs kafesleri bulunan kuyruksuz maymunlar vardır: Yani bizler. Göğüs kafesi biçimimiz, zamanlarının büyük bir kısmını ağaçlara tırmanarak geçiren atalarımızdan bize miras kalmış olsa da dik duran gövdesiyle yerde gezinen bir kuyruksuz maymun için de oldukça kullanışlıdır. Tüm bunlara rağmen bizlerin ve kuyruksuz maymunların göğüs kafesleri arasında hâlâ bazı farklılıklar görülür.

Bir insanın göğüs kafesiyle orangutanınkini karşılaştırdığınızda apaçık farklılıklar ortaya çıkar. İnsana ait bir göğüs kafesi fıçıya benzer ve en alt kısmı içeriye doğru kıvrılır. Öte yandan bir orangutanın göğüs kafesi huni biçimindedir ve alttaki kaburgaları yanlara doğru genişler. Bu huni biçimindeki göğüs kafesinin üst kısmı dardır; dolayısıyla kürek kemikleri en yukarıda, bitişik halde durur. Bu nedenle tüm orangutanların ve insan olmayan kuyruksuz maymunların omuzları sürekli kalkık duruyormuş gibi görünür.

İnsan göğüs kafeslerinin üst kısımları oldukça geniştir; kürek kemikleri, hem daha aşağıda durur hem de aralarında daha fazla mesafe vardır. Dolayısıyla omuzlarımızın konumu tırmanmaya pek yardımcı değildir. Oysa bu konum, yürürken dengenizi sağlayabilmek için kollarınızı sallayabileceğiniz anlamına da gelir. Bir dahaki sefere yürüyüşe çıktığınızda uzun, rahat adımlar atarak yürüyün. Göğüs kafesinizin, omuzlarınızın ve kollarınızın nasıl hareket ettiğine bakın. Omuzlarınız, bir ayağınızı öne atarak başlattığınız hareket yönüne zıt olarak döner; bu sırada kollarınız da harekete yardımcı olmak için ileri geri sallanır. Kollarınızı düz tutmaya çalışırsanız yürümek aniden çok rahatsız edici bir eyleme

dönüşür, aslında enerji açısından da daha verimsiz bir hale gelir. Üst kısmı geniş bir göğüs kafesinde omuzlarınızın ve kollarınızın yanlarda konumlanması, kollarınızın özgürce sallanabileceğini gösterir. Oysa huni biçiminde bir göğüs kafesiyle daha yukarıda ve bitişik duran omuzlara sahip olsaydınız, kollarınız gövdenize çarpmadan yürüyebilmeniz için onları iki yana açmanız gerekirdi.



Bir orangutanın huni biçimindeki göğüs kafesiyle insanın fıçı biçimindeki göğüs kafesi.

İnsan göğüs kafesi, yürürken kollarımızı özgürce sallayabilmemizi sağlasa da bu fıçı görünümün ardında yatan başka bir neden de olabilir. Göğüs kafesinizin kalça kemiğinizle bağlantısını sağlayan kaslar vardır. Bunlar göğüs kafesinin yanlarından öne doğru gelen üç kas katmanı ve vücudun tam ortasından geçen bir çift uzun şerit halindeki rektus abdominis kaslarıdır. Karın duvarınızı oluşturan bu kaslar aynı zamanda gövdenizi hareket ettirmeye yardımcı olur. Göğüs kafesinizin yanlarından öne doğru uzanan kaslar yana doğru eğilme ve dönme hareketlerini sağlarken rektus kasları, gövdenizin öne doğru eğilmesini sağlar (mekik çekerken kullandığınız kaslar bunlardır). Göğüs kafesinizin en alt kısmı (ki burası, bahsedilen kasların başladığı yerdir) biçim ola-

rak kalça kemiğinizin biçimini de yansıtır (burası da kasların bittiği yerdir). Ayrıca kalça kemiğinin biçimi, insan evrimi boyunca çok ciddi değişikliklere uğramıştır.

Kuyruksuz maymunların kalça kemikleri geniştir; bu kemikler, huni biçimindeki göğüs kafeslerinin yanlara doğru genişleyen en alt kısmıyla uyum içindedir. İki ayak üstünde yürümeye uyarlanım gösteren uzun, dar kalça kemikleri olan insanlarda göğüs kafesinin en alt kısmı da bu değişikliğe uygun bir biçimde daralmıştır. Bu noktada göğüs kafesinin iç hacmi de önemlidir, çünkü burası, kalbin ve akciğerlerin bulunduğu yerdir. O halde iki ayak üstünde yürümek ve dar kalça kemikleri, insanların göğüs kafesi biçimindeki değişikliği tetikleyen nedenler olabilir: Göğüs kafesi, alt kısmının daralmasıyla yeterli akciğer hacmini koruyabilmek için üstten ve ortadan genişlemek zorunda kalmıştır. Böylelikle insanlara özgü, fıçı biçimindeki yassı göğüs kafesleri meydana gelmiştir.

Göğüs kafesinin biçimini değiştiren her ne olursa olsun, görünüşe göre kuyruksuz maymunların huni biçimindeki göğüs kafesleri ve sürekli "kalkık" duran omuzları, ağaçlara tırmanmanın daha sık yapıldığı bir yaşam tarzını yansıtıyor. Oysa iki ayakları üzerinde yürümeye alışan insanların daha aşağıda konumlanan geniş omuzları var; bu omuzlar da fıçı biçimindeki göğüs kafeslerinin yanlarında duruyor. O halde göğüs kafeslerinin biçimleri, eski hominlerin nasıl hareket ettiği konusunda işe yarayabilir. Hatta atalarımızın ne zaman yürümeye karar verdiğini ortaya çıkarmada da yardımcı olabilir. İnsanların ve şempanzelerin son ortak atasında konik bir göğüs kafesi olduğunu varsayarsak, fıçı biçimindeki "insanımsı" bir göğüs kafesine geçiş insan evriminde gerçek bir dönüm noktası olur.

KABURGA FOSİLLERİ

Kaburgalar ince kemiklerdir ve ne yazık ki kolayca kırılırlar. İyi korunmuş kaburga kemiği fosilleri çok az bulunur, bu nedenle göğüs biçiminin zaman içinde nasıl değiştiğini görmek zordur. Yine de bize önemli ipuçları verebilecek birkaç fosil bulunuyor.

Gerçekten de insanın fıçı biçimindeki göğüs kafesine benzeyen en eski fosil, yaklaşık 1,5 milyon yıl öncesinden kalma bir erken dönem *Homo erectus*'a aittir. Bu göğüs kafesi iskeleti, şimdilerde Nariokotome Çocuğu olarak bilinen ve aslında kitabın bir sonraki bölümünde tanışacağımız olağanüstü genç bir adama aittir.

Homo erectus'tan da öncesine gittiğimizde kaburga fosillerinin çok az bulunduğunu görürüz. Aslında *Homo erectus*, cins adımız *Homo*'yla bezenen en eski tür değildir. İlk kez 2,4 milyon yıl önce ortaya çıkmış iki insan türü daha bulunur: *Homo habilis* ve *Homo rudolfensis* (insan türlerinde cins adı belirlemek zordur, dolayısıyla başlarındaki *Homo* kelimesini doğru bulmayanlar da vardır). Bu iki tür çoğunlukla kafataslarından, çene kemiklerinden ve dişlerinden tanınır; iskeletlerinin geri kalanına ilişkin pek bir kanıt bulunmaz.

Öte yandan *Homo* cinsinin atası olduğu ileri sürülen bir türe ilişkin birkaç kaburga fosili vardır. Bahsedilen tür, 2008 yılında Güney Afrika'da bir paleontoloğun dokuz yaşındaki oğlu tarafından keşfedildi. Babası oğlunun yanında bir kazı üzerine çalışıyordu. Bu sırada oğlu bir taşa takılıp tökezledi; taşın üzerinden kemik gibi bir şey vardı. Sorumluluk bilinciyle taşı babasına götürdü. Babası bu çıkıntının bir klavikula ya da köprücük kemiği olduğu anladı; ayrıca taşı çevirdiğinde üzerinde hâlâ bir adet diş duran çene kemiği parçasını fark etti. Matthew Berger adındaki küçük çocuk, babası Lee Berger'in *Australopithecus sediba* adını vereceği yepyeni bir türün ilk fosillerini keşfetmişti. Kemikler, "ölüm tuzağı" olarak da bilinen ve homininlerin içine düştüğü bir mağara çukurunda bulunmuştu. *Sediba* kelimesi, Güney Afrika'da dillerinden biri olan Sotho dilinde "iyi" ya da "bahar" demektir. Bu ilk tesadüfi keşiften bu yana Malapa'daki kazı alanından birkaç Australopit insanına ait yüzlerce kemik ortaya çıkmıştır ve her biri iki milyon yıl öncesine tarihlenmektedir.

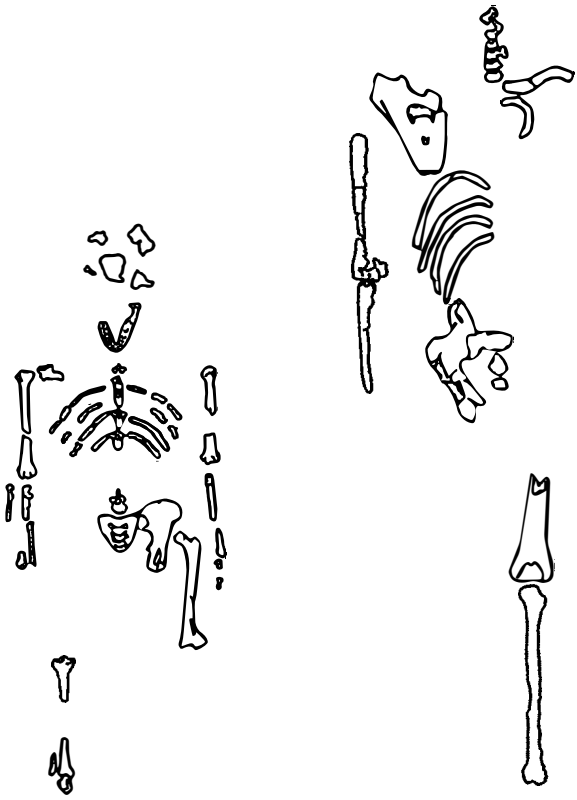
Australopithecus sediba'da bazıları daha eski görünen, bazılarıysa insandakilere daha çok benzeyen tuhaf özellikler görülür. Malapa'dan çıkarılan fosiller, çoğunlukla göğsün üst ve orta kısımlarına ait iyi bir kaburga parçası koleksiyonu sunar. Bu hominin göğüs kafesinin üst kısmı "kuyruksuz maymunumsu" koni biçimindedir. O halde *Australopithecus sediba*'nın bir hominin olduğuna ve iki ayak üstünde yürüdüğüne şüphe yoktur. Öte

yandan göğüs kafesinin tamamlanmış hali huni biçimindeyse, yürürken bizler gibi enerji tasarrufu sağlayan kol sallama hareketini yapmaları mümkün değildir. Bu da bahsedilen homininlerin, özellikle de uzun mesafeleri verimli bir biçimde yürüyemediklerine ya da koşamadıklarına işaret eder.

Turkana Çocuğu ve *Australopithecus sediba*'ya bakıldığında da ilk homininlerde huni şeklinde göğüs kafesleri olduğunu ve bunların zamanla fıçıya benzer bir biçim aldığını varsaymak çok kolaydır. Oysa başka bir fosilin varlığı, bu basit varsayımı sorgulatıyor. Kadanuumuu adı verilen fosil, 2005 yılında Etiyopya'nın kuzeyindeki Afar bölgesinde bulunmuştur; Lucy adındaki ünlü *Australopithecus afarensis* fosili de aynı geniş arazide keşfedilmiştir. Kadanuumuu büyük bir ihtimalle Lucy ile aynı türdendir ama ondan çok daha büyüktür; bu nedenle de adı, bölgede konuşulan Afar dilinde "büyük adam" anlamına gelir. Lucy'nin boyunun yaklaşık bir metreyken (karşılaştırma yapacak olursak bu üç yaşındaki bir çocuğun boyu kadardır) Kadanuumuu'nun boyu yaklaşık bir buçuk metreyle bir metre yetmiş santim arasındadır.

Kadanuumuu'nun neredeyse bütün bir halde beş kaburga kemiği vardır. Bunlar göğüs kafesinin üst kısmının geniş olduğunu söylemek için yeterlidir, yani huniden çok fıçı biçiminde bir göğüs kafesi vardır. Öteki anatomik ipuçlarıyla beraber ele alındığında Kadanuumuu'nun kaburgaları, bu homininin ağaçlardaki yaşamını tamamen terk ettiğini ve yerde yürümeye kararlı olduğunu varsaymakta işe yarar.

Bir dakika, burada bir gariplik var. Eğer Kadanuumuu ve *Australopithecus sediba* doğrudan insan atalarıysa, ilk homininlerde "kuyruksuz maymunumsu" göğüs kafesleri bulunması gerekir. Demek ki sonradan (Kadanuumuu'daki gibi) daha "insanımsı" göğüs kafesleri ortaya çıkmış, bunu yine (bu kez *Australopithecus sediba*'da olduğu gibi) "kuyruksuz maymunumsu" göğüs kafesleri takip etmiştir. *Homo erectus*'a gelindiğinde yine "insanımsı" göğüs kafesi biçimine geri dönülmüştür. O halde *Australopithecus sediba* geriye gitmiştir; yine sürekli "kalkık" bir halde duran omuzlara dönmüş ve (iki ayağı üzerinde yerde dolaşmadığında) zamanının büyük bir kısmını ağaçlarda sallanarak geçirmiştir.



Australopithecus afarensis türüne ait iki ünlü fosil.

Evrimin bir ileri bir geri gittiğini düşünmek, pek çok nedenden ötürü evrim hakkında faydasız bir düşünce biçimidir. Basit gidişatlar ve eğilimler beklememiz gerekir. Tıpkı yakından bağlı olduğumuz öbür hayvan gruplarında olduğu gibi hominin evrimi de dümdüz ilerleyen bir yürüyüş değildir. Hominin evrimi devasa yaşam ağacının bir dalından çıkan incecik bir dal değil tek başına

altı ila yedi milyon yıldır dallanan küçük bir ağaçtır. Bu küçük ağacın dallarında kümelenmiş halde bulunan her bir tür kendi çevrelerine uyarlanım göstermiştir; bunu nasıl yaptıklarını daha yeni anlamaya başladık. Dolayısıyla homininler arasındaki çeşitli göğüs kafesi biçimleri, farklı homininlerin farklı zamanlarda ağaçlarda sallandığını ya da yerde dolaştığını gösteriyor olabilir.

Bazen insan türlerinin hominin ağacında nereye ait olduğunu anlamak zordur. Böyle durumlarda türler arasındaki bağlantıları göz önünde bulundurabiliriz ama bu bağlantılardan tam anlamıyla emin olamayız; bazı türler en eski homininlerle bizler arasında gerçekten köprü görevi görürken bazıları da apayrı dallardan ilerliyor olabilir. Öyleyse şöyle bir olasılık da söz konusudur: Belki de türleri belli bir soy haline getirmek için fazla uğraşıyoruz. Belki de *Australopithecus sediba* insanların atalarından biri değil, hominin soy ağacının bağımsız dallarından biridir.

Sonuç olarak anlamaya çalıştığımız asıl şey, göğüs kafesimizin öbür kuyruksuz maymunlardan neden farklı bir biçimde olduğudur. Kendi soyumuzda görülen fıçı biçimindeki göğüs kafeslerinin ne zaman huni biçimindekilerle yer değiştirdiğini bulmaya uğraşıyoruz. Oysa en başta yanlış bir varsayımla başlıyor olabiliriz; bu da oldukça ilginç bir olasılıktır. İlk homininlerin huni biçiminde göğüs kafesleri olduğunu varsaydık ama bundan emin olabilmek için gereken kanıtlar gerçekten çok az ve parçalara ayrılmış haldedir. Öyleyse ya en başından beri ilk homininlerin göğüs kafesleri insanlardakiler gibi fıçı biçimindeyse?

Huni biçimindeki göğüs kafesleri insan olmayan kuyruksuz maymunlarda görülebilir ama bu noktada birkaç istisna var. Orangutanlar, şempanzeler ve gorillerdeki huni biçiminde göğüs kafeslerinin alt kısımları daha geniştir; oysa daha küçük gövdeli uzaktan akrabalarımız gibonların ve siyamangların göğüs kafesleri fıçı biçimindedir (hatta bizdekinin minyatür bir versiyonu gibilerdir). Öteki büyük kuyruksuz maymunların anatomilerinden anlaşılan asılma davranışları (örneğin bir dala tutunup sarkmak) için gerekli temel kas uyarlanımları insanlarda bulunmaz. O halde insanlar ya bu davranışı gösteren atalarından bu yana belli kas uyarlanımlarını kaybetmiştir ya da bu uyarlanımlar (ve de bu davranış) bizim atalarımızda hiçbir zaman var olmamıştır. Bundan en az otuz yıl önce bazı paleoantropologlar (sadece bu kaslarla ilgili gözlemlerine dayanarak) insanların küçük bir kuyruksuz

maymundan evrimleştiğini ve bu canlının göğüs kafesinin gibonlardakine benzediğini ileri sürmüştür.

Bu iddia, göğüs biçiminin evrimiyle ilgili fikirleri tepetaklak edebilir. İnsanların ve büyük kuyruksuz maymunların son ortak atasında huni biçiminde bir göğüs kafesi olabileceğini varsaymıştık. Ayrıca yaşayan (insan olmayan) kuyruksuz maymunların göğüs kafeslerinin de aynı biçimde olduğunu, insana doğru zamanla biçim değiştirip fıçı biçimini aldığını kabul etmiştik. Oysa bu iddiayı düşününce, son ortak atamızın da bizimkine benzer bir göğüs kafesi olabilir; dikey tırmanmayı pek seven büyük kuyruksuz maymunların göğüs kafesleri de bu davranışlarına uyarlanım göstererek huni biçimine doğru evrim geçirmiştir. Bu bakış açısına göre, eski soylarından kalma bir göğüs kafesini bir türlü bırakmayan tutucu canlılar insanlardır. Kendimizi özel hissetmeye çok meraklıyız; ne de olsa öteki kuyruksuz maymunlarla paylaştığımız ortak atadan bu yana en gelişmiş canlılar bizler olmalıyız. Ne var ki göğüs kafesi biçimi, evrimsel zaman sürecinde insanların öteki kuyruksuz maymunlara kıyasla daha az değiştiği bir örnek olabilir.

NEANDERTAL GÖĞÜS KAFESİ

Göğüs kafesinizin biçimi duruşunuzu ve (özellikle de artık ağaçlardan asılmayan ve yürürken kollarını iki yanda sallayan dik gövdeli bir kuyruksuz maymun olarak) nasıl hareket ettiğinizi göstermenin yanı sıra yaşam tarzınız hakkında daha genel bir bilgi verir. En azından göğüs kafesinizin *boyutu* bize bir şey söyler. Kendimizi bize en yakın olan nesli tükenmiş akrabalarımız Neandertallerle kıyasladığımızda bu "bir şeyin" ne olduğu ortaya çıkar.

Bugüne kadarki en eksiksiz Neandertal göğüs kafesi, daha önce "Konuşma ve Solungaçlar" bölümünde tanıştığımız Neandertal dil kemiğini de içeren Kebara "K2" örneğinde bulunur. K2 göğüs kafesi, inanılmaz bir biçimde her bir kaburga parçasını barındırır. Dolayısıyla eski hominilere ait birkaç kaburga parçası üzerine dönen tartışmaları düşününce, bu örnek sayesinde Neandertal göğüs kafesi hakkında ne kadar az soru işareti olduğunu görebiliriz.

Neandertal kemiklerine her baktığımda, modern insan kemiklerine kıyasla ne kadar kalın ve sağlam olduklarına şaşırırım. En sağlam Anglosakson iskeleti bile bir Neandertal iskeletiyle karşılaştırıldığında cılız gözükür. Neandertal iskeletindeki her bir kemik (tuhaf bir biçimde aşırı uzun ve ince olan köprücük kemikleri hariç), modern insandaki eşdeğerinin daha büyük bir hali gibidir. İskeletin tamamına bakıldığında da dayanıklılığı göze çarpar. Göğüs kafesi kocamandır. Modern insan popülasyonlarda görülen kaburgalarla karşılaştırıldığında K2 kaburgaları, mutlak verilere ve göreceli uzunluğuna göre daha geniştir. Böylesine uzun kaburgalar, Neandertal göğüs kafesi hacminin modern insanlardan daha büyük olması gerektiğini gösteriyor. Ne var ki Neandertal kaburgaları iyi korunmuş olsalar bile toprağın altına gömülmelerinden bu yana bir miktar çarpıklaştıkları için bahsedilen hacim artışının gerçek nedenini anlamak zordur; genişlemenin sırttan karına doğru mu, yoksa yanlara doğru mu olduğu anlaşılamaz. O halde bu soruya yanıt vermek için birinin birkaç düzgün Neandertal kaburgası bulması gerek.

Hafif çarpık kaburgalardan oluşsalar bile Neandertal göğüs kafesinin bizimkinden, hem daha büyük hem de daha farklı bir biçime sahip olduğu ortadadır. Bu göğüs kafesinin en üstteki ve en alttaki kaburgaları modern insandakine benzer boyutta olsa da ortadaki kaburgaları çok daha büyüktür. Modern insanın göğüs kafesinin fıçıya benzettiğimizi düşünürsek Neandertal göğüs kafesi, ortası daha da şişik bir "süper fıçı" biçimindedir. Böyle büyük bir göğüs kafesinin büyük akciğerlere ev sahipliği yapması mümkündür (gerçi bu bile kesin değildir, çünkü diyaframın konumu ve ne kadar yükseldiği akciğer hacmi üzerinde çok büyük bir etkiye sahiptir). Neyse, en azından modern insanlarda büyük bir göğüs kafesi büyük akciğerlere işaret eder. Örneğin günümüzde And Dağları tepelerinde yaşayan yerli halkın göğüs kafesleri geniştir ve içlerinde de büyük akciğerler bulunur.

Neandertaller genellikle "soğuk havaların insanları" olarak tanımlanırlar; dolayısıyla geniş göğüs kafesleri ve büyük akciğerlerinin de bu yönde uyarlanımlar olduğu öne sürülmüştür. Görünüşe göre Avrupa ve Afrika'dan gelen eski homininlerde de geniş göğüs kafesleri olduğunu düşünmek için (her ne kadar elimizde bir yığın kaburga bulunmasa da) iyi nedenlerimiz var. Ayrıca göğüs kafesiyle kalça kemiği biçiminin nasıl "eşleştiğini" daha önce konuşmuştuk. Yakın

bir zamanda *Homo erectus*'a ait oldukça geniş bir kalça kemiğinin keşfedilmesi (Etiyopya'da Gona adındaki bir kazı alanında bulunmuştur, bu konuya döneceğiz), daha geniş ve kalın yapılı bir vücudun *Homo* cinsine ait bir özellik olduğunu gösterir. Öyleyse Neandertallerin geniş göğüs kafesleri ile geliştirdikleri yeni ve sıradışı kalınlıkları, soğuk iklime uyarlanımlar değildir; aslında onlar ilkel vücut planlarına sadık kalmışlardır. Öte yandan modern insanlar, bu planı yırtıp atarak yakın zamandaki atalarımızdan daha ince ve zarif vücutlara doğru evrimleşmiştir. Neandertallerde ve daha eski türlerde görülen geniş göğüs kafesleri, muhtemelen günümüz insanlarına kıyasla daha büyük vücutlar ve daha aktif bir yaşam için tüketilen oksijeni karşılayabilmek adına gereklidir. Bizler günde yaklaşık 2000 ila 2500 kaloriye ihtiyaç duyuyoruz; öte yandan Neandertallerin enerji ihtiyacının günlük 3500 ila 5000 kalori olduğu tahmin ediliyor. Vücudun daha yüksek ısı üretmesiyle ilişkili olan yüksek kalori alımı Neandertallerin doğal olarak soğuk ortamlara uygun olduğunu gösterebilir. Yine de bunu söylemekle Neandertallerin vücut yapılarının soğuk iklimlere uyarlanım sağladığını söylemek arasında çok büyük bir fark vardır.

KALP

Atalarımızın ve öteki yaşayan kuyruksuz maymunların göğüs kafesleriyle kıyaslandığında bizimkilerde önemli değişiklikler olsa da her bir kuyruksuz maymunun (hatta her bir memelinin) göğüs kafesinin içindekiler aynıdır. Hangi memelinin göğüs kafesinden içeri bakarsanız bakın, bir çift akciğerle hem sağ hem sol tarafında birer kulakçık ve karıncık bulunan dört odacıklı bir kalp görürsünüz. Kalbin sağ tarafı, oksijenden arındırılmış kanı akciğerlere pompalar. Akciğerlerde oksijen eklenen kan, bu kez kalbin sol tarafına döner ve buradan vücudun geri kalanına pompalanır. Bahsedilen, kalbin sağ ve sol tarafını kapsayan sekiz rakamı biçiminde bir döngüdür. Aslında kalbin iki tarafı da aynı anda kasılır; bu nedenle kan sağ karıncık tarafından akciğerlere pompalanırken sol karıncık tarafından da aort damarına ve vücuda pompalanır. Bu çift döngü, biz dahil hava soluyan tüm kara hayvanlarının belirgin bir özelliğidir. Balıklarda sol ve sağ tarafı olmayan, çift döngünün bulunmadığı daha farklı bir kalp

vardır. Ne var ki kendi embriyonuzun gelişimi, balıksı atalarınızla ve onların daha basit yapıdaki kalpleriyle aranızdaki bağlantıyı bir kere daha gözler önüne serer.

EMBRİYODA KALBİN GELİŞİMİ

Kalp, embriyonun gelişim sürecinde çok erkenden gelişmeye başlar. Siz henüz üç katlı bir embriyo diskiyken (reçelli bir sandviçe benzerken ve iç içe geçmiş silindirlerden oluşan ilkel bir vücuda sahip değilken) hücreleriniz kalbi oluşturmak için bir araya gelir. Bu hücreler, embriyo diskinin kenarlarında at nalına benzeyen iki tüp oluşturur. Vücudunuzun silindir biçimini almaya başladığı dördüncü haftada, at nallarının uçları vücudunuzun ön kısmında birleşir; ardından bu iki tüp, bir adet ilkel kalp tüpü oluşturmak için iç içe geçer. Embriyonuzun boyun bölgesindeki brankiyal kemerlerin ortaya çıkmasıyla bu kemerlerde, bir dizi aort kemeri de meydana gelir. Aort kemerleri, sırtınız boyunca uzanan iki damara bağlanarak sırttaki aort damarlarını oluşturur. Böylelikle sırtınızdaki aort damarları, kalbinize bağlanmış olur.

Tüp biçimindeki embriyo kalbiniz, döllenmeden sadece dört hafta sonra atmaya başlar ve yeni oluşan kan hücreleriniz, yeni oluşan damarlarınızda dolaşır. Dolayısıyla kalp ve dolaşım, büyük bir nakliye sistemidir. Tek hücreler ve küçük hücre kümeleri difüzyon aracılığıyla çevreyle gaz, besin ve atık değişimi yapabilir; öte yandan elinizde daha büyük eşyalar varsa bunları taşıyabilmek için nakliyeye ihtiyaç duyarsınız. Oksijen ve besinler, gaz değişimi ya da besin emilimi yapılan yerlerden uzaktaki hücrelere taşınır; atıklar da vücuttan atılabilecekleri yerlere bırakılır. Öyleyse kalbin ve dolaşımın nakliye sistemi olduğunu söylerken çok büyük bir sistemden bahsediyoruz.

Embriyonuzdaki kalbiniz kan pompalamaya başladığında dolaşımınız balıklardaki gibi tek bir döngü halinde gerçekleşir. Gelişiminizin bu anında küçücük embriyonuzdaki kalbinizle bir balık kalbi çok benzerdir. Haeckel'in rekapitülasyon yorumunun ("üst" hayvanların embriyo gelişimi sırasında daha "alçak" hayvanların erişkin hallerinden geçerek oluştuğunun) affedilebileceği tek örnek budur.

Bir balığın kalbi, "kuyruk ucundan" gelen kanın "başucundan" atıldığı bir kas tüpünden ibarettir. Kan solungaçları besleyen atardamarlara dolar ve burada oksijenlenip balığın sırtındaki iki aort damarına akar; bu aort damarları, balığın kuyruk kısmına doğru birleşerek tek bir damar haline gelir. Beş haftalık bir insan embriyosunun kalbi ve aort kemerleri, olağandışı bir biçimde erişkin bir balığınkine benzer. Oysa kan oldukça tuhaf bir yerde oksijenlenir: Burası ne solungaçlar (brankiyal kemerlere sahip olsanız da bunlar hiçbir zaman gerçek solungaçlara dönüşmez) ne de akciğerlerdir (daha yeni oluşmaya başlamışlardır ve içleri havayla değil amniyotik sıvıyla doludur). Bir embriyo ve bir fetüs (döllenmeden sekiz hafta sonra ve doğana kadar resmi adınız budur) olarak ihtiyaç duyduğunuz tüm besin ve oksijeni plasenta aracılığıyla annenizden alırsınız. Oksijenli kan tek bir damarla plasentadan embriyoya taşınır. Kan hızlıca embriyo kalbine ulaştıktan sonra brankiyal kemerlerdeki atardamarlardan sırttaki aort damarlarına ve vücuda pompalanır. Göbek bağındaki çift atardamarlar da oksijensiz kanı embriyodan alıp plasentaya götürür.

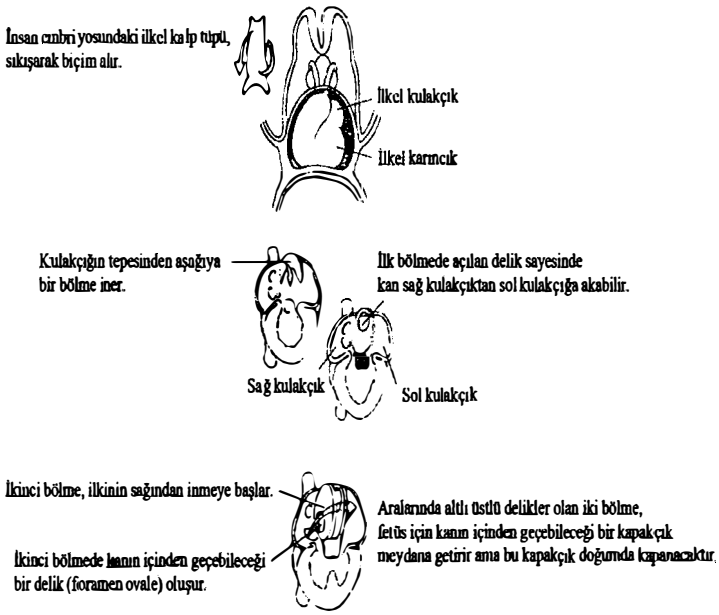
Fetüs için tek dolaşım uygun olabilir ama doğduktan ve hava solumaya başladıktan sonra işinize yaramaz. Tek dolaşım, oksijeni sudan alan ve etrafı suyla çevrili olan erişkin bir balık için uygundur. Balık kalbi, kanın solungaçlarda oksijenlendikten sonra *bir de* tüm vücudu gezmesine yetecek bir basınçla pompalayabilir. Oysa hava soluyan canlılar olarak bizler, bir balıktan çok daha düşük basınçlı bir ortamda yaşarız. Akciğerlerimize hava doldurduğumuzda içerideki basınç, etrafımızdaki atmosfer basıncından bile daha düşük olur. Akciğerleri ve ardından tüm vücudu dolaşabilecek kadar güçlü bir basınçla kan pompalayabilen tek dolaşım döngümüz olsaydı akciğerlerin kan basıncı çok yükselirdi. Bu nedenle de kan, ince duvarlı kılcal damarlardan akciğerdeki boşluklara doğru itilirdi.

O halde çift dolaşıma sahip olmamızın nedeni bellidir: Kalbin bir tarafı nispeten daha düşük bir basınçla kanı akciğerlere pompalar, akciğerlerde oksijenlenen kan da kalbin öteki tarafına döner. Ardından kan, başınızdan ayak parmaklarınızın ucuna ulaşacak kadar yüksek bir basınçla pompalanır ve dokularınızdaki bütün kılcal damarlarınızı doldurur. Kalbin sol tarafının yeterli miktarda kan pompalayamadığı "pulmoner venöz hipertansiyon" adlı durumda akciğerlerdeki kan basıncı çok yükselir. Dolayısıyla çift dolaşım, hava keselerine sıvı dolma-

dan kanın akciğerlere pompalanması görevini yerine getiremez. Bu hastalık tedavi edilmediği durumda akciğerlerin yavaş yavaş sıvıyla dolmasına neden olur. Gaz değişiminin gerçekleşmesi gereken hava keseleri sıvıyla dolar ve hasta kendi sıvısında boğulmaya başlar.

Kendi amniyotik havuzunda yüzen ve göbek bağı toplardamarı sayesinde tüm oksijenini annesinden alan bir embriyoyken hiç hava solumazsınız, bu nedenle de düşük basınçlı akciğer dolaşımına ihtiyacınız olmaz. Tıpkı balıklardaki gibi tek dolaşım sistemine sahip olursunuz; hatta kalbiniz de aynı bir balık kalbine benzer. Ne var ki doğduğunuzda kalbinizin hem sağ hem de sol kulakçık ve karıncıkları hazır olmalıdır. Oysa kalbiniz, dünyaya gelip ilk nefesinizi alana dek tek dolaşım sistemiyle çalışmak zorundadır. Tüm bunlar, embriyodaki kalbin ne kadar karmaşık bir gelişim sürecinden geçtiğini ve bir kapakçığa ihtiyaç olduğunu gösteriyor. Bahsedilen kapakçık, embriyo kalbinde kanın bir taraftan öbürüne akmasına izin vermelidir; öte yandan doğum esnasında kapanıp kalp bölmeleriyle akciğerleri vücuttaki dolaşımdan ayırmalıdır.

Şimdi size dönelim; gelişiminizin dördüncü haftasında kan pompalayan ve aort kemerleriyle sırtınızdaki aort damarlarına bağlanan tüp biçimindeki kalbinizle karşımızdasınız. Bu kalbinizde ilkel bir kulakçık ve karıncık da dahil olmak üzere bir dizi odacık bulunur. Tüp biçimindeki kalbiniz S harfi gibi bükülür; tam da bu noktada bir balık kalbine çok benzer. Oysa o bükülmeye devam eder ve ilkel kulakçığı karıncığın arkasına iter. Hemen ardından sol ve sağ taraftaki yapılar birbirinden ayrılmaya başlar. Bu olay, tıpkı iki taraf arasında sürgülü kapıların konması gibidir. Hem karıncık hem de kalpten çıkıp aort damarını ve akciğer atardamarını oluşturacak olan kanal ikiye bölünür. Embriyo kalbindeki kulakçıkların bölünmesi daha da karmaşık bir olaydır. Kulakçığın tepesinden aşağıya bir bölme iner ama tam zemine ulaştığında üst kısmı delinmeye başlar. Dolayısıyla sağ ve sol kulakçık arasında oval bir açıklık ya da *foramen* oluşur. Ardından ilkinin sağından ikinci bir bölme inmeye başlar; bu bölme kısa olduğu için alt kısmında bir delik meydana gelir. Bu zeki düzenleme, embriyo kalbindeki kanın bir tarafından öbürüne akabilmesini sağlar. En sonunda göbek bağı toplardamarlarından gelen oksijenli kan, alt ana toplardamardan kalbe ilerleyerek sağ kulakçığa dolar; ardından doğruca oval açıklıktan geçerek sol kulakçığa boşalır.

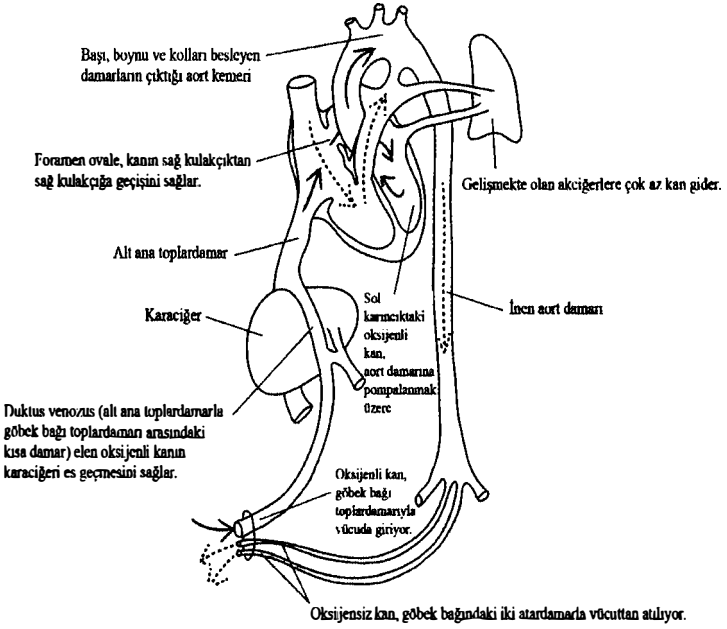


Embriyoda kalbin gelişimi.

Bu dolaşım yöntemi anne karnındaki fetüs için işe yarar. Oysa bebeğin ilk nefesini almasıyla gerçekleşecek dönüşüm için sahne hazırdır. Bebeğin ilk nefesini aldığı anda akciğerleri genişler ve ilk kez havayla dolarlar. Genişleyen akciğerlerdeki düşük basınç, kanın akciğerlere dolmasına neden olur; oksijenli kan kıyıya çarpan bir dalga gibi akciğer toplardamarından ilerleyerek sol kulakçığa boşalır. Sol kulakçıkta basıncın artmasıyla iki bölme birbirine itilir ve kulakçıklar arasındaki kapakçık kapanır; artık iki kulakçığın da farklı işlevleri vardır. İlerleyen aylarda iki bölme iyice birleşse de orijinal deliklerin izleri yetişkinlerde bile görülebilir. Sağ kulakçığınızın içine (sol kulakçıkla arasındaki duvara) bakarsanız hâlâ oval bir çöküntü ya da *fossa* görebilirsiniz; işte burası, oval açıklığınızın kalıntısıdır.

Embriyo gelişimi karmaşıktır; hatta bazen bu karışıklığa rağmen daha sık tökezlememesi şaşırtıcıdır. Kalp kapakçığı

oluşumu, sanki işlerin ters gitmesi için yaratılmış bir fırsattır. İki bölmenin üst üste gelmediği durumlarda kapakçık hiçbir zaman tam olarak kapanamaz, dolayısıyla kalpte kalıcı bir delik kalır. Küçük bir delik çok önemli olmayabilir, zaten bu deliklerin çoğu kendi kendiliğine kapanır. Öte yandan daha büyük bir delik, kanın sol kulakçıktan sağa doğru itilmesi ve sağ tarafta kan basıncının yükselmesi anlamına gelir; bu da çift dolaşım sisteminin kaçmaya çalıştığı sorunun ta kendisidir. Akciğerlerdeki kan basıncının yükselmesi iyiye alamet değildir; kalbin ve kan damarlarının yüksek basınca alışmasıyla zamanla kalıcı değişikliklere yol açabilir. Neyse ki günümüzde kalp deliklerini ekokardiyografi adı verilen ultrason yöntemiyle belirlemek ve cerrahi müdahaleyle onarmak mümkündür; hatta bazı delikler, kapalı ameliyatla bile düzeltilebilir.



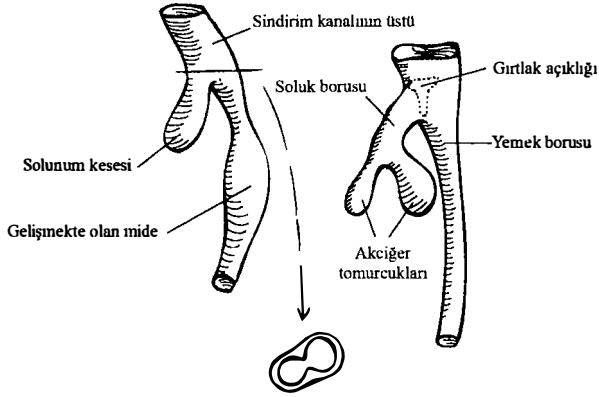
Fetüsteki kan dolaşımı.

AKCİĞERLERİN OLUŞUMU

Embriyonun sadece dört haftalık gelişimi ardından atmaya başlayan ve anne karnındaki fetüsün gelişiminde çok önemli bir rol oynayan kalbe kıyasla akciğerlerin gelişimi çok daha uzun sürer. Aslında bu çok da mantıksız değildir: Döllenmeden yaklaşık kırk hafta sonraya kadar (yani bebeğin doğup havayı içine çektiği ve ilk kez kendi başına oksijen aldığı ana kadar) akciğerlere ihtiyaç duyulmaz.

Gelişiminizin başlarında birkaç milimetrelik bir embriyo diskinden iç içe geçmiş silindirleri andıran bir yapıya dönüştünüz. Tam da bu sırada sindirim kanalınız da oluşmaya başladı; endodermden oluşan en iç kısımdaki ince silindir, ilkel sindirim kanalınızı meydana getirdi. Gelişiminizin beşinci haftasında akciğerleriniz de bu kanaldan oluştu. İlk başta sindirim kanalının üst kısmından öne doğru gelişen küçük bir yumru, bir akciğer tomurcuğuydu. Bu tomurcuk büyüyüp kollara ayrıldı; ardından sağ akciğer tomurcuğu üç kısma, sol akciğer tomurcuğuysa iki kısma bölündü (böylelikle sağ tarafta üç ve sol tarafta iki lobdan oluşan yetişkin akciğerlerinizin biçimi çoktan belirlenmiş oldu). Aynı zamanda altıncı brankiyal kemer atardamarından çıkan ve akciğer tomurcuklarınızın etrafını saran bir kan damarı ağı, akciğer dolaşımının öncüllerini oluşturmaktaydı. Gelişimin ilerleyen haftalarında tomurcuklar büyümeye ve ayrılmaya devam etti. En sonunda bu solunum ağacının uçları binlerce ince dalla kaplanana dek yaklaşık yirmi kez daha dallandı. Bu ince dalların uçlarında, gaz alışverişinin gerçekleşeceği baloncuklara benzeyen alveol yapılarının ilkel halleri oluşmaya başladı. Artık her bir dalın ucunda, tıpkı bir böğürtlene benzeyen baloncuklar vardı.

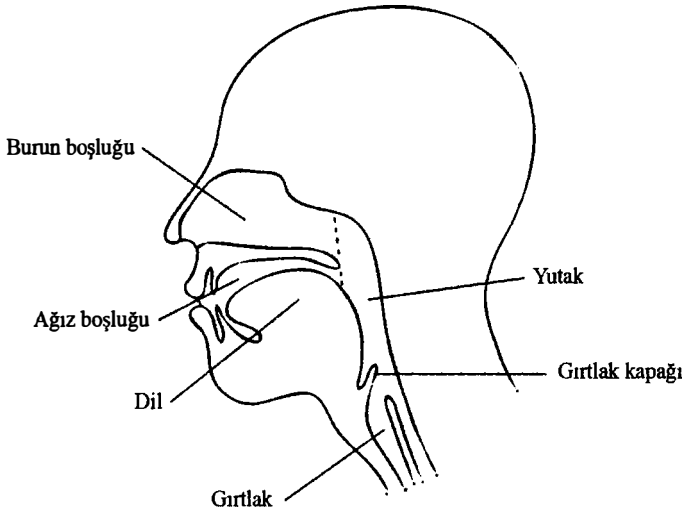
Akciğerlerin yavaş gelişimi, bebeklerin erken doğduğu durumlarda sorunlara yol açar. Bir bebek olması gerekenden çok daha erken doğarsa akciğerlerindeki alveoller, gaz alışverişini sağlayacak kadar gelişmemiş olabilir. Bu küçük baloncukları çevreleyen hücreler ilk başta oldukça kalındır ama zamanla düzleşerek giderek daha da incelirler. Dolayısıyla baloncukları saran bağ dokusundaki kılcal damarlar da çoğalmaya başlar. Hamileliğin yirmi dördüncü haftasında alveollerin etrafında yeterli miktarda düzleşmiş alveol hücresi ve kılcal damar bulunması, bebeğin yaşamkalım şansını artırır.



Embriyodaki sindirim kanalının üst kısmından filizlenen akciğer tomurcukları.

Henüz olgunlaşmamış akciğerlerle ilgini başka bir önemli nokta da yüzey aktif madde eksikliğidir. Yüzey aktif madde, bazı alveol hücreleri tarafından salgılanan ve alveoller içindeki yüzey gerilimini düşürüp çökmelerini önlemeye yardımcı olan yağlı bir maddedir. Akciğerler, dışarıdaki hava basıncına kıyasla içerde negatif hava basıncı oluşturmak için genişleyerek çalışır; dolayısıyla yüzey aktif maddenin olmaması bir çökme tehlikesi yaratır. Negatif basınç, hem havayı hem de bu ince duvarlı alveolleri içeri çekmekle tehdit eder. Akciğerlerdeki yüzey aktif madde miktarı, doğuma hazırlık olarak hamileliğin son üç ayında artar. Normal seyreden bir hamileliğin son birkaç haftasında (bu da annenin son adet döneminden itibaren kırk hafta ya da hamile kalınan günden otuz sekiz hafta sonra olarak hesaplanır), bebeğin akciğerlerindeki alveoller olgunlaşır ve doğumdan sonra yaklaşık on sekiz ay boyunca gelişmeye devam eder.

Akciğerleriniz sindirim kanalınızdan oluşması biraz tuhaf gelebilir ama bir dakikalığına durup kendi anatominizi düşünün. Solunum yolunuzun ilk durağı olan gırtlağınız, boğazınızdaki yutağınıza bağlıdır. Gırtlak, burun ve ağız boşluğunun arka kısmından yemek borusuna kadar uzanan kas yapıda bir kanaldır. O halde solunum yolunuz *hâlâ* sindirim kanalınıza bağlıdır!



Gırtlak, yutağa bağlı bir kanaldır.

Karada yaşayan herkes, yani aklınıza gelebilecek her dört ayaklı canlı (tüm amfibiler, sürüngenler, kuş ya da memeliler), oksijeni havadan almak zorundadır. Bazı amfibiler (semenderlerden oluşan büyük grup da dahil) oksijeni derilerinden emebilir ama biz kara hayvanlarının oksijenli kana sahip olma biçimi farklıdır: Bizlerin akciğerleri vardır. Ne var ki suda yaşayıp oksijeni solungaçlarla almak ile akciğerleri kullanarak hava solumaya geçmek arasında büyük bir sıçrayış olması gerekir. Öte yandan balık anatomisine dikkatle bakıldığında bu sıçrayışın, pek de göz korkutucu olmadığı ortadadır. Embriyonun ilkel sindirim kanalından dışarıya doğru büyüyen hava yastıkları, sadece hava soluyan dört ayaklılara ait yapılar değildir.

Kaya balıklarından mersinbalıklarına pek çok kemikli balıkta yüzme kesesi bulunur. Yüzme kesesi aslında bir hava kesesidir ve balık embriyosunda sindirim kanalından dışarıya doğru büyür. Yüzme keselerinin duvarları, gazların kandan yüzme kesesine ve tekrar kana geçmesine yarayan ufak bir kan damarı ağına da ev sahipliği yapar. Çoğu balıkta sindirim kanalı ve yüzme kesesi arasındaki orijinal bağlantı kanalı kaybolmuştur; yine de sazan

balığı, alabalık, ringa balığı ve yılan balığı gibi bazı türlerde bu kanal kapanmamıştır. Dolayısıyla yüzme kesesindeki gaz fazlası yutağa kaçarak baloncuk halinde balıkların ağzından çıkabilir. Aynı zamanda bu balıklar yüzeye çıkıp ağızlarını açarak yüzme keselerine hava alabilir. Başka bir deyişle bu tip yüzme keseleri, bir miktar gaz alışverişine izin vererek akciğerler gibi çalışır. Bakın, oksijeni sudan alan balıklardan hava soluyan dört ayaklı canlılara geçiş tüm etkileyiciliğini kaybediverdi!

Yaşayan birkaç tür, oksijeni sudan alan balıklarla hava soluyan dört ayaklıların bağlantısını daha açık bir biçimde gözler önüne serer. Bir grup seçkin balıkta bulunan hava yastıkları gaz alışverişinde öylesine iyi bir iş çıkarır ki, onlara akciğer dememek için hiçbir sebep yoktur. Bahsedilen bu "akciğerlerde" bizimkilerdeki gibi hava baloncukları bile vardır. Tahmin etmiş olabileceğiniz gibi bu balıklara akciğerli balıklar adı verilir. (Akciğerleri olan öteki balıklar da vardır. Daha uzaktan akrabalarımız olan ve "bişirler" adıyla bilinen çok saçaklı balıklarda da akciğerler bulunur ama bunlar düzleşmiştir; bizdeki ya da akciğerli balıklardaki gibi küçük hava keseleriyle dolu değillerdir.)

Öteki tüm kemikli balıklar arasından dört ayaklılara en yakın olan akciğerli balıklardır; bu da muhtemelen pek şaşırtıcı bir bilgi değildir. Günümüzde Afrika, Brezilya ve Avustralya'da yaşayan üç grup akciğerli balık vardır. Bu balıkların hepsinde hem solungaçlar hem de akciğerler bulunur. Avustralyalı akciğerli balıklar kanlarına oksijen almak için solungaçlarını kullansa da Afrikalı ve Brezilyalı balıkları bir süre suyun altında tutarsanız boğulabilirler. Onlar atalarından kalan ve amfibi kuzenleriyle paylaştıkları bu hava soluma mirasını korumaya yemin etmişlerdir. Tıpkı amfibilerde olduğu gibi bu balıkların akciğerleri de yutaklarına bağlıdır ve altıncı aort kemerinden gelen kanla beslenir. Bunlar kulağa çok tanıdık gelebilir, çünkü bizim solunum sistemimiz de aynıdır. Akciğerli balıklar, öteki balıkların aksine (ama amfibilerde olduğu gibi) kulakçık ve karıncığın kısmen ikiye ayrıldığı kalplere sahiptir. Akciğerlerden alınan oksijenli kan, vücudun geri kalanından kalbe dönen oksijensiz kandan büyük bir ölçüde ayrı tutulur. Kalpten çıkan damarda sarmal biçimde bir kapakçık bulunur ve bu kapakçık iki farklı kan akışını ayrı tutmaya yarar. Böylelikle oksijen bakımından fakir kan, aort kemerlerinin alt çiftlerinde

gönderilir, buradan akciğerlere ve solungaçlara taşınır. Oksijen dolu kan da vücudun geri kalanına iletilmek için daha yukarıdaki aort kemerlerine pompalanır.

Yaşayan bir örnek olarak akciğerli balıklar, kara hayvanlarında akciğerlerin nasıl ortaya çıktığını bize gösterebilir. Mevcut yapıların (ve genlerin) yeni işlevler için bir araya getirilmesiyle akciğerler de evrimin geri dönüştürmeye ve yeniden kullanmaya olan yatkınlığının mükemmel bir örneğidir. Bazen yeni roller üstlenilmeden önce mevcut yapılar ve genler kopyalanır. DNA'mızdaki gen kopyalanmaları, öbür genlerin yeni roller üstlenmesine yardımcı olabilir. Ne var ki benzer bir süreç oldukça büyük anatomik yapılarda da gerçekleşebilir. Buna örnek olarak ilk memelilerdeki çene eklemi kopyası düşünülebilir; asıl eklemin etrafındaki kemikler, kulak kemikçiklerine dönüşmek için kulağa doğru göçmüştür. Yapıların farklı roller üstlenebilmesinin bir başka yolu da eski işlevlerine gerek kalmadığında şans eseri yeni bir role sahip olmalarıdır. Sindirim kanalına bağlı hava yastıkları (ki bunlar oksijeni sudan alan balık atalarımızda *çoktan* vardı), hava soluyan dört ayaklı atalarımızın karaya çıkmasıyla temel bir işleve sahip olmuştur. Öyleyse evrim, öngörülemeyen fırsatlardan en iyi biçimde yararlanmak için geri dönüşüm yapmayı sever.

SİNDİRİM KANALLARI VE YUMURTA KESELERİ

YUMURTLAYAN ATALARIMIZ VE MEYVEYLE BESLENEN KUYRUKSUZ MAYMUNLAR ARASINDAKİ BAĞ

"Kuyruksuz maymunlara benzediğimizi kabul ediyoruz ama kuyruksuz maymunların ta kendisi olduğumuzu nadiren fark ediyoruz."

RICHARD DAWKINS

SİNDİRİM KANALININ GELİŞİMİ VE KIVRIMLARI

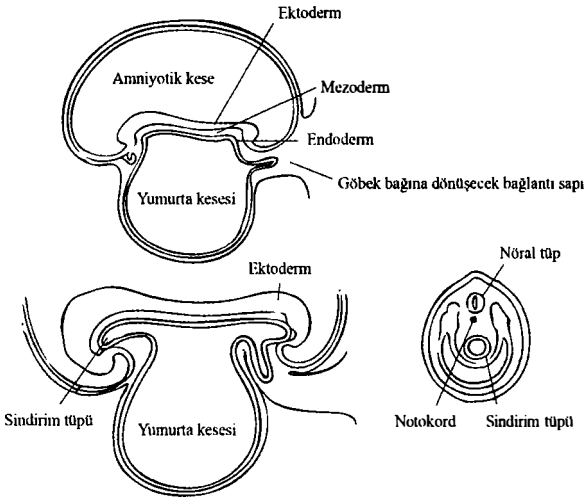
Embriyodaki sindirim kanalı (ister balığa ister kümes hayvanına, isterse bir insana ait olsun), yüzme keseleri ya da akciğerler gibi ilginç yapılar oluşmadan önce endodermden oluşan basit bir tüptür; daha önce bahsettiğimiz iç içe geçmiş silindirlerin en iç katmanıdır. En başta bu tüpün iki ucu da kapalıdır, ağız ya da anüs kısmında açıklık bulunmaz. Bu tüpün tam ortası, embriyonun vücudu dışında kalan yumurta kesesine bağlıdır.

İnsan embriyosunda bir yumurta kesesinin varlığı evrimin yankılarından biridir. Bizlere yumurtlayan atalardan geldiğimizi hatırlatır. Yumurtanın içinde büyüyen ve kendilerini annelerinin vücutları dışında korumak zorunda olan embriyolarda yumurta sarısı büyüktür ve önemli bir besin kaynağıdır. Bir tavuk yumurtasındaki sarının boyutu, yeni oluşan civciv embriyosunun boyutuna kıyasla kocamandır. Bunun nedeni, gelişmekte olan civcivin yumurtadan çıkıp kendi yemeğini bulabilecek noktaya gelene kadar yumurta sarısıyla beslemek zorunda olmasıdır. Embriyonun annenin vücudunda daha uzun süre kaldığı plasentalı memelilerde (bizler de bu gruptanız), plasenta embriyoya besin ve oksijen sağlayıp atıklarını uzaklaştırır. O halde bizlerde yumurta kesesinin modası çoktan geçmiştir ama hâlâ oluşur. Yeni oluşan insan embriyosunun yumurta kesesi kuş embriyosundakine kıyasla ufacıktır ve zamanla küçülerek bebek doğduğunda tamamen yok olur.

Yumurta kesesi, hamileliğin ilk haftasında gelişen ve rahim duvarına tutunan içi boş hücre kümesi blastosistin içindeki boşluktan meydana gelir. Bu kese, embriyonun reçelli bir sandviçe benzediği üç katmanlı diskin en altındaki endoderm katmanının yanında bulunur. Aslında bu endoderm katmanındaki hücreler, hemen bitişiğindeki yumurta kesesinin iç duvarlarına da yayılmıştır. Zamanla embriyo diski yuvarlanarak iç içe geçmiş silindirlere dönüşür ve en içteki silindir, sindirim kanalını oluşturur.

Yumurta kesesiyle aralarındaki bağ durur ama bu bağ, zamanla yumurta kesesi sapı denilen dar bir kanal haline gelir.

Sindirim kanalı üç kısımdan oluşur: Baş bölgesine yakın üst sindirim kanalı, yumurta kesesi sapının bağlandığı orta sindirim kanalı ve embriyonun kuyruk bölgesine yakın alt sindirim kanalı. Üst sindirim kanalı; gırtlak, soluk borusu ve mideyi oluşturacak kısımlarla birlikte ağız boşluğu ve yutağı oluşturur. Orta sindirim kanalı, ince bağırsak kıvrımlarını ve kalın bağırsağın yarısını oluşturmak için muazzam bir biçimde uzar. Arka sindirim kanalıysa rektum ve anal kanala kadar kalın bağırsağın geri kalanını meydana getirir, ufak bir kısmı da ayrılıp idrar kesesini oluşturur.

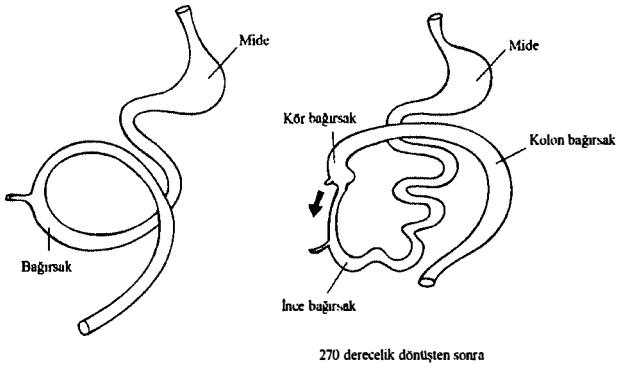


(Üst) Katlanmanın erken aşamasındaki bir embriyonun yandan kesiti, (sol alt) daha ileri aşamada benzer bir kesit ve (sağ alt) aynı aşamadaki embriyonun üstten kesiti gösteriliyor.

Mideniz, embriyo gelişiminin beşinci haftasında üst sindirim kanalında bir şişkinlik olarak ortaya çıkar. Ardından, bir muza benzer bir biçimde gelişmeye başlar; bir tarafı ötekinden daha hızlı büyür, dolayısıyla kavisli bir biçim alır. Büyüme devam ettikçe mide geniş bir torbaya dönüşür ve giderek erişkin haline benzeme-

ye başlar (erişkin bir mide besinleri sindirmekle kalmaz, onları depolayarak sırayla bağırsaklara da gönderir). Sindirime yardımcı organlar da bu üst kanaldan oluşur; karaciğer, safra kesesi ve pankreas sindirim kanalından tomurcuklanır. Bahsedilen organlar her zaman sindirim kanalıyla olan bağlantılarını korur. Bu bağlantılar, salgıların (karaciğerden gelen safranın ve pankreastan gelen sindirim enzimlerinin) ince bağırsaklara salıverildiği kanallara dönüşür.

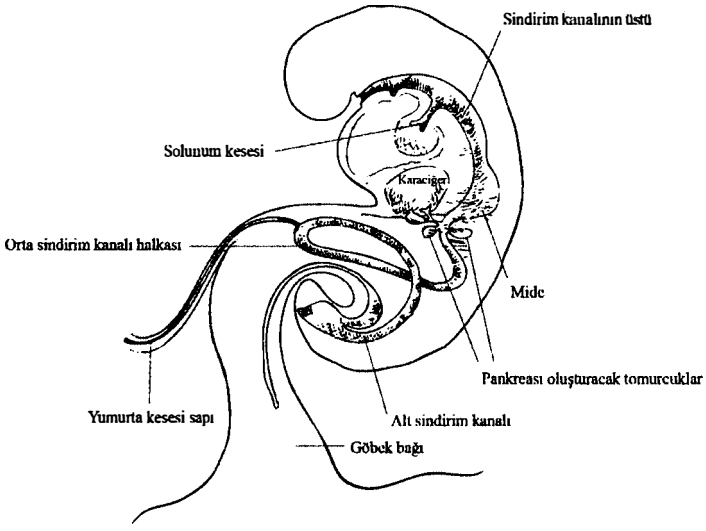
Karaciğer ve pankreas tomurcuklarının çıktığı noktanın devamında orta sindirim kanalı uzamaya başlar. Bu uzama o kadar hızlı gerçekleşir ki embriyonun vücudu ona ayak uyduramaz; sindirim kanalı, embriyonun karın boşluğundan dışarı çıkıp göbek bağına doğru itilir. Bir başka deyişle, sindirim kanalında fıtık görülür. Yani biri sizde fıtık olup olmadığını sorduğunda, normalde hayır diyecek olsanız da yanıtın herkes için evet olduğunu unutmayın. Gelişimin beşinci haftasından itibaren embriyodaki bağırsakların karın duvarından dışarıya itildiği bu fıtık tüm insanlarda olmuştur. Neyse ki bu vakaların çoğu, embriyonun gelişimine devam etmesiyle (sekizinci haftadan sonra fetüs adını da almasıyla) düzelir ve bağırsağın dışarı çıkan kıvrımı yeniden karın boşluğuna girer. Bağırsak dışarı çıkıp sonra yeniden vücut içine itildiği için döner, böylelikle bağırsağın alt kısmı üst kısmının üstüne gelir. Bu düzenleme, yetişkin vücudunuzdaki bağırsaklarınızın konumunu oluşturur: Transvers kolon adı verilen ve karın boşluğunda yatay bir biçimde duran kalın bağırsak bölümü, ince bağırsağın başladığı onikiparmak bağırsağının önünde konumlanır.



Orta sindirim kanalı uzuyor ve dönüyor.

Embriyo gelişimin herhangi bir noktasında olabildiği gibi, sindirim kanalı gelişimi esnasında da işler ters gidebilir. Gelişimin yaklaşık on ikinci haftasında dışarı çıkan tüm bağırsakların karın boşluğuna dönmesi gerekir ama ara sıra (tahminen her on bin bebekten dördünde) bağırsak geri toplanamaz ve fetüste omfalosel (Yunancadaki "göbek" ve "boşluk" anlamındaki kelimelerden türemiştir) adı verilen kalıcı bir fıtık meydana gelir. Bu tür bir sorun, genellikle yirminci hafta çekilen ultrasonda tespit edilir. Fıtık, bebek doğduktan sonra göbek bağından çıkan yarı saydam bir torba gibi gözükür; torbanın içinde bağırsağın kıvrımları görülebilir. Omfalosel tanısının konduğu durumda, dışarı çıkan bağırsakların yeniden karın bölgesine yerleştirilmesi ve açıklığın kapatılması için ameliyat gerekir.

Bazen bağırsaklar düzgün bir biçimde karın boşluğuna dönse de transvers kolonun onikiparmak bağırsağının önünde konumlanmasını sağlayan 270 derecelik dönüş gerçekleşmez. Bu gibi durumlar önemsiz olup belirti göstermeyebilir; yine de bazı vakalarda bağırsağın olması gereken biçimde bükülememesi, kanalı kapatarak kan akışını engelleyebilir.



Mide şişliği, karaciğer ve pankreasın tomurcuklanması ve orta sindirim kanalı halkasıyla gelişimin altıncı haftasındaki sindirim kanalı.

FANTASTİK BİR YOLCULUK

Kendi bağırsaklarımda dönme bozukluğundan kaynaklanan küçük bir sorun olduğunu biliyorum; yine de 2007 yılında bir araştırma için halk arasında *PillCam* olarak da bilinen kapsül endoskopisi yaptırmayı tereddütle kabul ettim. Bunun için Birmingham'daki Selly Oak Hastanesi'ne gittim; gastroenterolog Dr. Roy Cockel, sarı bir kapsülünün içindeki minicik kamera sayesinde kendi bağırsaklarımı görebilmem için bana yardım etmeye hazırdı.

Roy ve meslektaşları bu hap kamerasını ilk kullanmaya başladıklarında, bağırsakların daha önce hiç göremedikleri bölgelerini görebildiler. Ağızdan girip yemek borusundan mideye giden boru biçimindeki endoskoplar, sadece ince bağırsağın ilk kısmı olan onikiparmak bağırsağına kadar görüntü alabiliyordu (bu yöntemin inanılmaz uzun bir adı vardır: Özofagogastroduedonoskopi. Neyse ki genellikle ÖGD olarak kısaltılır). Endoskoplarla sindirim kanalının öteki ucundaki anal kanaldan girip rektum ve kolona ilerleyerek ince bağırsağın sonuna kadar görüntü de alabilir, buna kolonoskopi denir. Öte yandan onikiparmak bağırsağından kıvrımlı bağırsağa kadar uzayan ince bağırsak, bu türden esnek kameraların uzanabileceği sınırların dışında kalır. Doktorlar, bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans (MRI) taramaları kullanarak ince bağırsak kıvrımlarını görebilse ve bağırsak içerisindeki lümeni ya da boşluğu görebilmek için kontrast madde ekleyebilse de bağırsağın bu bölümündeki duvar ayrıntılarını göremiyorlardı. Ta ki hap kamerası icat edilene kadar.

Roy Cockel bu icadı Selly Oak Hastanesi'nde kullanmaya başladığında *Birmingham Post* gazetesi, bu teknolojik gelişmeyi haber yaparak onu 1996 yapımı *Esrarengiz Yolculuk* filmine benzetmişti (bu filmde denizaltına binen bir grup doktor, denizaltının küçültülüp bir hastanın damarından enjekte edilmesiyle beyindeki kan pıhtısını yok etmek için bir yolculuğa çıkar). Kapsül endoskopisi muhtemelen bu kadar görkemli ve kontrolsüz (filmde denizaltının normal boyutuna dönme tehlikesi gibi) bir yöntem olmasa da tüm ince bağırsak duvarlarını görmek için yeni bir fırsat sunmuştur. Dolayısıyla bağırsak kanaması yaşayan hastalar

için çok büyük bir fayda sağlamıştır; artık kanamanın tam olarak neden kaynaklandığı tespit edilebilmektedir.

Kendi hap kamerası deneyimim için Dr. Roy Cockel'le tanıştığımda, ilk olarak karnımın üzerine ufak elektrotlar yapıştırarak işleme başladı ve hap kamerasında çekilen görüntüleri kaydedecek veri kayıt işlemcisini bağladı. Ardından bana hap kamerasını gösterdi. Beklediğimden daha büyük olsa da bir antibiyotik ya da vitamin kapsülünden çok da büyük sayılmazdı. Doktor kamerayı parmaklarının arasında tutarken saniyede iki kere yanıp sönen flaşını görebiliyordum (bağırsakların ne kadar karanlık olduğunu düşünürsek flaşlı fotoğraf çekmek şarttır). Bu kamera, toplamda elli bin görüntü kaydedene kadar yanıp sönmeye ve bağırsaklarımdan saniyede iki kere fotoğraf çekmeye devam edecekti. Çektiği görüntüleri canlı olarak dizüstü bir bilgisayarda izleyebiliyorduk. Önce açılmış ağzımın görüntüleri vardı, sonra kamera ağzımın içine giriyordu; bir yudum suyla kolayca yutabilmiştim. Ufak kamera, birkaç dakika sonra çoktan midemden geçip onikiparmak bağırsağıma ulaşmıştı; burası ince bağırsağımın başladığı yerdi. Yaklaşık yirmi dört saattir hiçbir şey yememiş ve su dışında hiçbir şey içmemiştim, dolayısıyla çekilen görüntülerin net görünmesi beni mutlu etmişti. Bağırsak duvarım gül pembesi renginde ve yumuşak gözüküyordu. Bu kadifemsi görüntüden sorumlu olanlar, parmaklara benzeyen mukoza yapıdaki çıkıntılardı.

Bağırsağımdaki tek olağandışılık, duvarında kırmızı bir sivilceyi andıran yapıydı. Pek endişe verici bir şeye benzemiyordu; zaten bana asıl ilginç gelen, kameranın sindirim kanalımda ilerlediği yoldu. Kameranın yolculuğu bağırsaklarımın kıvrımlarını ve dönüşlerini de kaydediyordu. İlerlediği yola bakınca alışılmadık bir şey olduğunu fark ettim. Benim onikiparmak bağırsağım çoğu insandan farklı bir yapıdadır; sizinki muhtemelen güzel bir C harfi gibi kıvrılıp ince bağırsağın ikinci kısmı olan boş bağırsağa devam etmeden önce midenin arkasına saklanır. Benimki öyle yapmıyor. Kamerada görüldüğü üzere onikiparmak bağırsağım aşağıya doğru devam ediyor ve boş bağırsak kıvrımlarım karnımın sağ tarafında, aşağıda başlıyor. Oysa sizinki (büyük bir ihtimalle) karnınızın orta ve üst kısmında bulunuyor.

Hap kamerasının ince bağırsağımdaki yolculuğu üç saat sürdü; bu geçiş, normalde besinlerin geçmesini sağlayan sindirim duvarın-

daki kasların rutin kasılmalarıyla oldu. Kamera artık kalın bağırsağıma geçtiğinde görüntü bulanıklaşmaya başladı (bağırsaklarımın bu kısmının boşalacağı kadar uzun bir süre aç kalmamıştım).

Tahmin ettiğim üzere yirmi dört saat içinde kapsül vücudumdan atıldı. Esrarengiz bir yolculuğu tek başına tamamlamış olan bu küçük kameraya hayranlık duyduğum için onu (elbette plastik eldivenlerle) aldım, temizledim ve dezenfekte ettim. Bu kamera, bağırsaklarımdaki bir fotoğraf yolculuğunun anısı olarak yatak odamdaki pencere pervazında durdu, ta ki eşim ona daha fazla dayanamayana kadar. (Kamera hâlâ bir kutuda, evimde duruyor. Ona karşı tuhaf bir bağlılık duyuyorum ve çöpe atmaya kıyamıyorum.)

HİÇ DE EŞSİZ OLMAYAN İNSAN SİNDİRİMİ

Temel düzeyde insan sindirimi, etçil ve otçul beslenen (etten tutun bitkilere her şeyi tüketen) çoğu memeliden pek de farklı sayılmaz. Bazen sağlık görevlilerinin yanı sıra veterinerlik öğrencilerine ders verdiğim Bristol Üniversitesi Anatomi Bölümü derslerinden birinde, ilk kez bir köpeğin karnını kesip açtığımı hatırlıyorum. Köpeğin sindirim kanalıyla daha alışkın olduğum insan sindirim kanalı arasındaki benzerliği görünce çok şaşırmıştım. Köpeğin bağırsakları, insanınkiyle kıyaslandığında daha kısa olsa da bunun dışında çok büyük farklılıklar görünmüyordu. Memeli dünyasının en uzun, karmaşık ve kıvrımlı bağırsaklara sahip olanlar, katı bir biçimde vejetaryen beslenenlerdir. Vejetaryen canlılar, tükettikleri besinlerden en iyi biçimde faydalanabilmek için büyük alanlara ihtiyaç duyarlar; bu alanlar, çiğnenmiş yapraklar ve bakterilerden oluşan bir karışım hazırlayabilecekleri büyük fermantasyon tanklarına benzer. Bazı otoburların fermantasyon tankları midelerinde yer alır; örneğin ineklerin büyük ve birkaç odalı mideleri vardır. Öteki canlılar, karışımlarını hazırlamak için besinin bağırsak yolculuğuna başlamasını bekler. Atların büyük kör bağırsakları vardır; burası büyük bir puroya benzeyen ve alt karındaki kalın bağırsaktan göğüs kemiğine kadar uzanan bir

kesedir. Biz insanlarda, ne çok odalı bir karın ne de büyük bir kör bağırsak bulunur. Hatta sizin vücudunuzda "kör bağırsak" olarak adlandırılan yer kalın bağırsağınızın başladığı yerdir ve aslında öteki hayvanlardaki kör bağırsağın eşdeğeri değildir. Bu yapının bizdeki eşdeğeri ya da homoloğu, içinde bağışıklık hücreleri bulunan ince bir tüp biçimindeki apandistir. Öte yandan apandis, herhangi bir bitkisel maddeyi fermente etmek gibi yararlı bir iş yapabilmek için çok küçüktür. Bizlerdeki sindirim kanalı genelci türlerdekine benzer ve kuyruksuz maymun atalarımızdan mirastır. Atalarımızın beslenme biçimi, yapraklardan biraz daha besleyici besinlerden oluşur: Yani meyvelerden.

İnsanın sindirim kanalı, meyveyle beslenen herhangi bir kuyruksuz maymununkine benzese de uzun yıllar boyunca insan evriminde çok önemli görülen bir farka sahip olduğu düşünülmüştür. Bahsedilen fark, sindirim kanalındaki belirli özelleşmelerle ilgili değildir; kanalın göreceli olarak boyutuyla ilgilidir. Görünen o ki insanların sindirim kanalları, vücut boyutlarına kıyaslandığında oldukça kısadır. Bu gözlem, 1990'lı yıllarda insanların çok büyük beyinlere sahip olması gerçeğiyle ilişkilendirilince "Pahalı Doku Varsayımı" [Expensive Tissue Hypothesis] dünyaya gelmiştir.

İnsan beyninin eşsiz bir boyuta sahip olduğu ve tür olarak başarımızda bu büyük beyinlerimizin rol oynadığı su götürmez bir gerçektir. Birbirimizi taklit etmek ve işbirliği yapmak, kültür yaratmak gibi tüm özel yeteneklerimiz, her nedense kafamızdaki bu büyük organ sayesinde gerçekleşir ama bu organın istekleri de hiç bitmez. Beyinler enerjiye susamıştır, vücut kütlemizin sadece yüzde ikisini oluşturmalarına rağmen günlük tüm enerji ihtiyacımızın yaklaşık yüzde yirmisini tüketirler. Görünüşe göre atalarımız, kafataslarımızın içindeki bu "pahalı dokuya" ödeme yapmanın bir yolunu bulmuş olmalılar: Bunun için ya günlük enerji alımını artırdılar ya da başka bir yerden tasarruf ederek denge kurdular.

Atalarımız (hatta bugün siz ya da ben) beyin için gereken ödemeyi daha fazla enerji elde ederek yapmış olsaydı vücutlarımızın, bu fazladan enerji devrini tamamlamakla uğraşması gerekirdi. Dolayısıyla insanın metabolizma hızı, öteki hayvanlarla kıyaslandığında belirgin bir artış gösterirdi. Yaklaşık altmış beş kilo ağırlığında ortalama bir insanın beyni 1,3 kilogramdır; yani aynı ağırlıktaki

bir memelinin beyninden bir kilo daha fazladır. Vücudunuzun ortalama metabolizma hızının kilogram başına 1 Watt olduğunu düşünürsek, daha talepkâr olan beyin dokusu kilogram başına 11 Watt'a ihtiyaç duyar. O halde bir kilo daha fazla beyin dokusu size en az 10 Watt'a mal olur. Böyle bir alışverişin metabolizma hızınızdan anlaşılması gerekir ama bizim boyutumuzdaki bir memeli için tahmin edilen metabolizma değerinden daha fazlasına sahip olduğumuza ilişkin kesin bir kanıt yoktur.

Fiziksel antropologlar Leslie Aiello ve Christopher Dean, 1990'lı yılların ortalarında bu bilmeceyi fark edip onu çözdüklerine inanmışlardı. Homininlerdeki enerjiye susamış beyinlerin büyümesiyle öteki "pahalı dokulardaki" azalmanın dengelenebileceğini öne sürmüşlerdi. İnsanlardaki vücut bileşimi araştırmalarına göre değişik organların göreceli boyutları düşünüldüğünde doğru yanıtı bulduklarını sanıyorlardı. Kalp, karaciğer ve böbrekler gibi organlar altmış beş kiloluk bir primatta bekleyeceğiniz boyutta olsa da bağırsaklar çok ufak kalıyordu. Aiello ve Dean, beyin ve bağırsak boyutu arasında bir "ortak evrim" gerçekleştiğini, bu sayede beyinler büyürken bağırsakların da küçülerek metabolik hızın değişmeden kalabildiğini öne sürüyorlardı. Araştırmacılar daha da ileri giderek insan bağırsaklarındaki kütle kaybını beslenme tarzındaki bir değişiklikten (erken dönem homininlerinin et yemeye başlamasından) kaynaklandığını ortaya atıyordu. Sonuçta otoburlarla etoburların bağırsakları arasındaki temel farklardan biri, ikincisinin nispeten daha kısa bağırsaklara sahip olmasıdır. Kolay sindirilebilir, yüksek kaliteli bir beslenme tipiniz varsa bu kadar uzun bir bağırsağa ihtiyacınız kalmaz. Daha sonraki dönemlerde homininler, başka bir enerji tasarrufu daha yapıp vücuttaki sindirim işini hafifletmek adına besinleri tüketmeden önce pişirmeye başlamış olabilirler. Böylelikle daha kısa bağırsaklar sayesinde tasarruf edilen enerji miktarı, beynin büyümesi için kullanılmış olabilir.

Beslenme ve beyin boyutu arasında bir bağlantı olduğunu fark eden ilk araştırmacılar Aiello ve Dean değildir. Öteki araştırmacılar, beyin ve bağırsakların enerji isteklerine bakmaktan çok büyük bir beyine sahip olmanın besin bulmadaki etkisine yoğunlaşmıştır. Düşük kaliteli, yaprakla beslenen hayvanlarda çok uzun bağırsaklar olmalıdır: Onlara kıyasla hepçillerin bağırsakları kısa,

etçillerin bağırsakları daha da kısadır. Yaprakları alt etmek, canlı avların peşinde koşmaktan daha kolaydır; dolayısıyla etçiller, folivorlara kıyasla daha büyük beyinlere sahip olma eğilimindedir. Dolayısıyla kısa bağırsakların büyük beyinlerle ilişkili olmasının (ve de tam tersi durumun) geçerli olmasını bekleriz. Oysa Aiello ve Dean, bu kadarla kalınmaması gerektiğini düşünüyordu: Onlara göre daha büyük beyinlere sahip olabilmek için yüksek enerjili beslenme ve kısa bağırsaklar *mecburen* olmalıydı.

O zamanlar bu varsayım epey eleştirilmişti. Bazıları varsayımın hominin beyinlerinin *neden* büyüdüğünü açıklamadığına, sadece beyinlerin bu denli fazla enerjiyi tüketirken *nasıl* büyüyebileceğini söylediğine dikkat çekmişti. Bu haklı bir eleştiri olsa da Aiello ve Dean hiçbir zaman paleoantropolojinin kutsal kâsesini (çok büyüyen beyinlerimizin arkasındaki nedeni) bulduklarını iddia etmemişlerdi. Bağırsaklardaki küçülme, beynin büyümesi için sadece bir *conditio sine qua non*'du; yani o olmadan beynin büyümesi mümkün olamazdı.

Pahalı Doku Varsayımı, araştırmacıların kısa bağırsakların daha büyük beyinlerle bağlantılı olduğuna (ve tam tersinin de geçerli olduğuna) ilişkin bir kuralın, çoğu primat türünde geçerli olduğunu bulmasıyla ağırlık kazandı. Hatta aynı kural, balıklar için de geçerlidir. Buradaki tek sorun, iki değişken arasındaki ilişkinin nedensellik göstermemesidir. Büyük bir beyine için neden kısa bağırsaklara *ihtiyacımız olduğu* hâlâ bilinmemektedir. Büyük beyinler çoğunlukla elde etmesi zor olan, yüksek kaliteli beslenme tipleriyle ilişkilidir; bu beslenme tipleri de ancak kısa bağırsaklarda düzgünce sindirilebilir. Yine de tüm bunlar, büyük bir beyine enerji sağlamak için kısa bağırsaklara sahip olmamız *gerektiğini* göstermez. Hatta yarasalar bu akıma karşı gelip büyük beyinlerin uzun bağırsaklarla, küçük beyinlerin de kısa bağırsaklarla ilişkili olabileceğini gösterir. Öyleyse beynin boyutu, yemek bulmadaki rolüyle ilgili olabilir. Uzun bağırsaklara sahip olan yarasalar çoğunlukla meyveyle beslenir ama büyük beyinlere sahiplerdir. Bunun nedeni, görme ve kokuyla ilgili beyin bölgelerinin sevdikleri meyveleri bulmalarına yardımcı olmak adına büyümüş olmalarıdır. Gördüğünüz gibi beyin ve bağırsak arasındaki ilişki çok karmaşıktır. Bazı araştırmacılar, farklı hayvanlarda beyin ve bağırsak boyutu arasındaki farkın çeşitliliği yüzünden birbirinden bağımsız olarak incelenmesi gerektiğini bile ileri sürmüştür.

Yayımlandığı günden itibaren "Pahalı Doku Varsayımı" hakkında başka endişeler de olmuştur. Örneğin beynin büyümesini desteklemek için gereken enerji tasarrufunun başka bir biçimde (daha az aktif olarak ya da biraz daha fazla uyuyarak genel vücut kütlesini azaltmayla yoluyla) sağlanabileceği öne sürülmüştür. Büyük beyinlerin bağırsakların kısalmasından önce ortaya çıktığını düşünmek, muhtemelen evrimsel açıdan daha mantıklıdır: Büyüyen bir beyin, avlanma ve yemek pişirme gibi becerilerin gelişmesine neden olmuştur. Belki de bu sayede atalarımız daha yüksek kaliteli bir beslenme tipini seçebilmiştir ve bunun *sonucunda* bağırsaklarımız kısalmıştır. Nitekim bir hayvanın bağırsak boyutunun yaşamı boyunca beslenme tipine bağlı olarak değişebileceğini gösteren, hayvanlardan elde edilen bazı kanıtlar da vardır.

İnsanların bağırsaklarının *gerçekten de* kısa olup olmadığına ilişkin şüpheler de olmuştur. İnsanlardaki organların göreceli boyutları oldukça küçük bir örnek grubu baz alınarak hesaplanmıştır ve yaşayan insanlarda çok çeşitli anatomik değişiklikler söz konusudur. Ayrıca insan bağırsaklarının tahmini boyutu hakkında bir fikir sahibi olabilmek için öteki primatlarla nasıl bir kıyaslama yapıldığına ilişkin sorunlar ortaya çıkmıştır. Çoğu primat, meyve ya da yaprak yiyiciler olarak kabaca sınıflandırılabilir. Kuyruksuz maymunlar genellikle meyve yiyicidirler; bu türlerin bağırsakları, en azından bağırsakların yüzey alanı ölçüsü baz alındığında yaprak yiyicilere göre daha kısadır. Öyleyse meyve yiyici (yani hepçil) bir primatın (buna "primat A" diyelim) bağırsak uzunluğunu tahmin etmek için tüm primatları ele aldığımızda, hesapladığımız uzunluk gerçeğini aşacaktır. Öte yandan vücut boyutuna göre bağırsak alanının değişim grafiği çizerseniz insanlar, meyve yiyici/hepçil ekseni üzerinde yer alacaktır. Yani tam da bir kuyruksuz maymunun olmasını beklediğimiz yerde.

Tamam ama tüm bunlar ne anlama geliyor? Görünen o ki bizlerle aynı boyutlardaki herhangi bir meyve yiyici ya da hepçil kuyruksuz maymunun bağırsaklarından daha kısa bağırsaklara sahip olup olmadığımız konusunda hâlâ bazı şüpheler var. Öte yandan Aiello ve Dean'in ileri sürdüğü varsayım doğru değilse, metabolizma hızımız değişmediği halde bu büyük beyinleri nasıl karşılıyoruz?

Kısa bir süre önce, 2011 yılında yayımlanan yeni bir araştırmada, yüz memeli türünü temsil eden 191 örneklik yeni bir veri bankası incelendi. İlk olarak, Pahalı Doku Varsayımı'nı destekleyen hiçbir veri bulunamadı; beyin ve öteki "pahalı" organların boyutları arasında hiçbir bağlantı yoktu. Öte yandan araştırmacılar, daha "ucuz" sayılan başka bir vücut dokusuna ilişkin ilginç bir şey fark ettiler: Görünüşe göre beyin boyutu, vücuttaki yağ dokusuyla ters orantılıydı. Başka bir deyişle, yağ dokusu fazla olan hayvanların daha ufak beyinleri vardı; bu durum, tam dersi için de geçerliydi. Araştırmacılara göre bu ilişkinin nedeni, hayvanların açlıktan ölmemeye çözümü olarak zeki olmakla yeterli enerji depolarına sahip olmak arasında bir *seçim* yapmalarıydı. Ayrıca beyin ve yağ dokusu arasındaki dengenin, bir enerji alışverişinden kaynaklanabileceğini öne sürüyorlardı. Yağ dokusu çok fazla enerjiye ihtiyaç duymasa da taşınan fazla kilolar bir hayvan için pahalıya mal olabilir. Bu nedenle araştırmacılar, insanların sahip olduğu büyük beyinler ve ortalama metabolik hızları arasındaki bilmeceye bir yanıt verebildiklerini düşündüler. Görünen o ki insanlar, öteki kuyruksuz maymunlara kıyasla, hem daha büyük beyinlere sahip olup hem de nispeten daha kilolu olarak memelilere ayak uyduruyor. Oysa bu fazladan (düşük maliyetli) yağlar, büyük ve pahalı bir beyne yatırım yapmanın etkilerini gizliyor olabilir. Yağsız vücut kütlesine baktığınızda insanlardaki bazal metabolizma hızının öteki kuyruksuz maymunlardakine kıyasla daha yüksek olduğunu görürsünüz. Öte yandan yağ kütlesini eklediğinizde vücudun tüm ortalama metabolizma hızı düşer. Öyleyse büyük beyinlerimize rağmen insanlardaki "tahmin edilenden daha fazla olmayan" metabolizma hızı problemi çözülmüş olabilir ya da en azından yağların arkasına saklanmıştır. Elbette beynin fazladan enerji taleplerini hâlâ hesaba katmak zorundayız; ne var ki artık enerjiye aç olan başka bir dokudan alışveriş yapmamıza gerek yok. Beynin ihtiyaç duyduğu fazladan enerji, hareket etme ve üreme gibi vücut işlevlerinden tasarruf edilecek karşılanıyor olabilir.

Daha önce de bahsettiğim gibi atalarımızın beslenme tipi, muhtemelen onlara bir enerji takviyesi sağlamıştır. Bu beslenme tipi yiyecekleri ezmek, öğütmek ve pişirmek gibi besin işleme yollarıyla sindirim maliyetini düşürmeye yönelik olabilir.

Atalarımız muhtemelen et gibi daha yüksek kalitede yiyecekler yemeye başlamış olsalar da beslenmelerindeki yumru kökler gibi nişastalı yiyeceklerin önemini de göz ardı etmemeliyiz. Yüksek kaliteli yiyecekler tüketmek, daha esnek bir beslenme programı takip etmek ve yiyeceklerini paylaşmak homininlerin güvenebilecekleri yüksek enerjili bir beslenme yöntemi uyguladığını gösteriyor. Tüm bunlar, hem beyin boyutunun orantısız artışı hem de vücut boyutunun artışı için çok önemli olabilir.

Kendi sindirim kanalımıza bakınca aslında pek de eşsiz olmadığını görürüz. İnsan bağırsaklarıyla en yakın kuyruksuz maymun akrabalarımızın bağırsakları arasında çok büyük farklar olduğunu düşünmüyorum. Bizimkiler sıradan, meyve yiyenlerinkine benzeyen bağırsaklardır; yine de hepçil bir canlı için kullanışlılardır. Bir başka deyişle, sindirim kanalımızı göz önünde bulundurunca insan olarak hiçbir özelliğimiz kalmaz. Oysa bu sıradanlık bize avantaj sağlar ve değişik besinler tüketebileceğimiz anlamına gelir. Bizler çok çeşitli yiyecekler tüketerek yaşamkalımımızı sürdürebiliriz; günümüzde yaşamkalım uğruna bazılarımız sadece etobur beslenirken, bazılarımız da katı bir vejetaryen olabilir. Uzak geçmişimize baktığımızda atalarımızın sıradan bağırsakları sayesinde çeşitli besinler tükettiğini görürüz, böylelikle çevrelerindeki besinlere göre beslenme tiplerini değiştirerek yaşamkalım başarısı göstermişlerdir. O halde insanlar, yemek konusunda hiç mızmız değillerdir (bunu ara sıra üç yaşındaki kızıma hatırlatmam lazım).

Sindirim sistemimizin anatomik olarak değil, besinleri sindirdiğimiz enzimler açısından *değiştiğine* ilişkin bazı kanıtlar bulunur. Nişasta parçalayan ve yumru kökler gibi nişastalı besinleri daha iyi sindirmemizi sağlayan amilaz enzimini üreten gen şempanzelerde bir adetken bizde kopyalanmıştır. Son on bin yılda Avrupa, Hindistan, Afrika ve Ortadoğu gibi farklı insan popülasyonlarında görülen genetik değişiklikler, normalde çocukluk döneminde "kapalı olan" bir genin "açık kaldığını" gösteriyor. Bahsedilen gen, bizim süt proteini laktozu sindirmemizi sağlayan laktaz adlı enzimi kodlar; bu enzim, bebekken anne sütüyle beslenen tüm memeliler için önemlidir. Çoğu memelide ve birçok insanda, bebek sütten kesildikten sonra laktaz üretme yeteneği kaybolur, çünkü artık bu enzime gerek kalmaz. Ne var ki tarih

öncesinden bu yana hayvan besleyen ve süt içen popülasyonlarda laktaz üretme yeteneğinin yetişkinliğe kadar sürmesi yaygın görülen bir durumdur. Gendeki bu değişim, Neolitik dönem boyunca farklı zamanlarda ve farklı yerlerde hayvanların evcilleştirilmesinden sonra meydana gelmiş olabilir. Böyle bir genetik değişikliğin popülasyona yayıldığı durumlarda, doğal seçilimin laktaz üretme yeteneğini devam ettirmek için çok güçlü bir biçimde hareket ettiği görülür. Muhtemelen bu genetik değişiklik, taze süt içip bunu sindirebilmenin ölüm kalım meselesi haline geldiği kuraklık ve kıtlık koşullarında ortaya çıkmıştır. Laf aramızda, sindirim fizyolojimizde gerçekleşen bu yeni değişiklikler "paleo diyeti" düşüncesinin (avcı toplayıcı toplumlarda uygulanan beslenme tipinin daha sağlıklı olduğunu öne sürer) tamamen yanlış olduğunu gösterir. Zaten beslenme tipleri, ta Paleolitik çağda bile bulundukları yere göre çeşitlilik göstermiştir. Ayrıca çoğu popülasyon, avcı toplayıcı yaşam biçimini geride bıraktıktan bu yana genetik olarak değişmiştir. Bizler avcı toplayıcı insanların fosilleri değiliz ki!

Amilaz ve laktaz genlerini biraz kurcalamanın dışında, sindirim kanallarımız hâlâ kuyruksuz maymunlardaki gibidir. Görünen o ki eskiden kendimize ait bazı parçaların eşsiz olduğunu düşünmeye çok hevesliydik. Elbette hiç kimse insanın bir bütün olarak eşsiz olduğunu inkâr edemez (gerçi bu her tür için söylenebilir, o yüzden çok şımarmayın) ama bu bütünü oluşturan parçalar pek ilginç değildir. Bir zamanlar eşi benzeri olmayan ve sadece insana ait olduğu düşünülen yapıların, genellikle öteki hayvanlarla, özellikle de yakın akrabalarımızla paylaştığımız şeyler olduğu ortaya çıkmıştır. İnsanın sindirim kanalı da buna örnek olabilir. Belki de pek sıradışı olmayan kuyruksuz maymun bağırsaklarına sahip olduğumuzu artık kabul etmemiz gerekiyordur.

EŞEY BEZLERİ, CİNSEL ORGANLAR VE HAMİLELİK

ÜREMENİN ANATOMİSİ VE ÇARESİZ İNSAN YAVRULARI

"Eğer ona küçük parmağınızla bile dokunursanız... Alınan zevk, isteseniz de istemeseniz de tohumların her yöne, rüzgârdan daha hızlı bir biçimde akmasına neden olur."

REALDO COLOMBO, 1559

(Kendini klitorisin kâşifi olarak adlandıran kişi)

TEPELER, TÜMSEKLER VE TÜPLER

İnce bağırsağın kıvrımlarından kolonun büyük ilmeğine kadar sindirim kanalının sonuna doğru yol alırken kendimizi pelvis bölgesinde buluruz. Sindirim kanalı pelvis bölgesindeki kalın bağırsağın son bölümüyle anal kanalda sonlanır. Bu bölge, simfizis pubisin (iki kasık kemiği arasındaki kıkırdağın) hemen arkasında konumlanan idrar torbasına da ev sahipliği yapar. Şüphesiz burada başka organlar da vardır, bunlara cinsel organlar denir.

İnsan üreme sistemi, iç döllenmeyi (yani spermin yumurtayla *vücut içinde* birleşmesini) mümkün kılar. Bu kulağa çok özel bir şey gibi gelmeyebilir ama sadece tek bir omurgalı alt kümesinin yapabildiği bir şeydir. Çoğu balık ve amfibide döllenme vücut dışında olur (dış döllenme söz konusudur). Dişi balık, yumurtalarını doğruca suya bırakır ve erkek balık da bu yumurtaların üzerine spermlerini fışkırtır, işte bu kadar! Atalarımız için sudan karaya geçiş, pek çok açıdan zorlayıcı olmuştur: Oksijeni sudan almak yerine hava solumak için akciğerleri, hareket edebilmek için solungaçların yerine yeni uzuvları ve havadaki titreşimleri algılayabilmenin yeni bir yolunu bulmak için de kulakları icat etmeleri gerekmiştir. Bunlar yetmiyormuş gibi bir de döllenme sorununu çözmeleri gerekmiştir: Dişi bir kara hayvanı yumurtalarını yere bırakır, bir erkek de spermlerini üzerine fışkırtırsa ortaya yapış yapış, karman çorman bir şey çıkardı; ilginç bir canlıya dönüşme fırsatı yakalayamadan kuruyup ölürdü.

Bu sorunun çözümlerinden biri, günümüzdeki amfibilerin yaptığı gibi üremek için suya dönmektir, ki bizler de en eski kara hayvanlarının tam olarak bunu yaptığını varsayıyoruz. Kara kurbağaları suyun dışında zaman geçirmekten keyif alıp ağaçlarda, taşların altında ya da duvarların üstünde yaşasalar da üreme dürtüsü bastırdığında sulu kökenlerine geri dönüp

yumurtalarını ve spermlerini bırakmak için bir su birikintisi bulur. Tıpkı pek çok balıkta olduğu gibi bu canlılarda da dış döllenme gerçekleşir. Yine de bazı amfibilerde iç döllenme yöntemi gelişmiştir ama bu sanıldığı kadar ilginç bir yöntem değildir. Çoğu su kelerinde ve semenderde, dişiler yumurtayı vücudunun içinde tutar ve spermin yumurtayla birleşmesi dişinin vücudunda gerçekleşir. Oysa bahsedilen döllenme sırasında dişi ve erkek arasında doğrudan temas yoktur. Erkek semender, mukus yapıdaki kamçılarla korunan yapışkan sperm kütlesini "yere serer"; bunu bir dişiye yakınken yapar. Şanslıysa, dişi semender bu jelatin yapıdaki spermatoforun üzerine gelip oturur. Bu süreç dışarıdan oldukça sıkıcı görünse de semenderler bundan keyif alıyor olmalı, sonuç olarak yapmaya devam ediyorlar (ki bu da tür olarak yaşamkalım başarılarının temelini oluşturuyor).

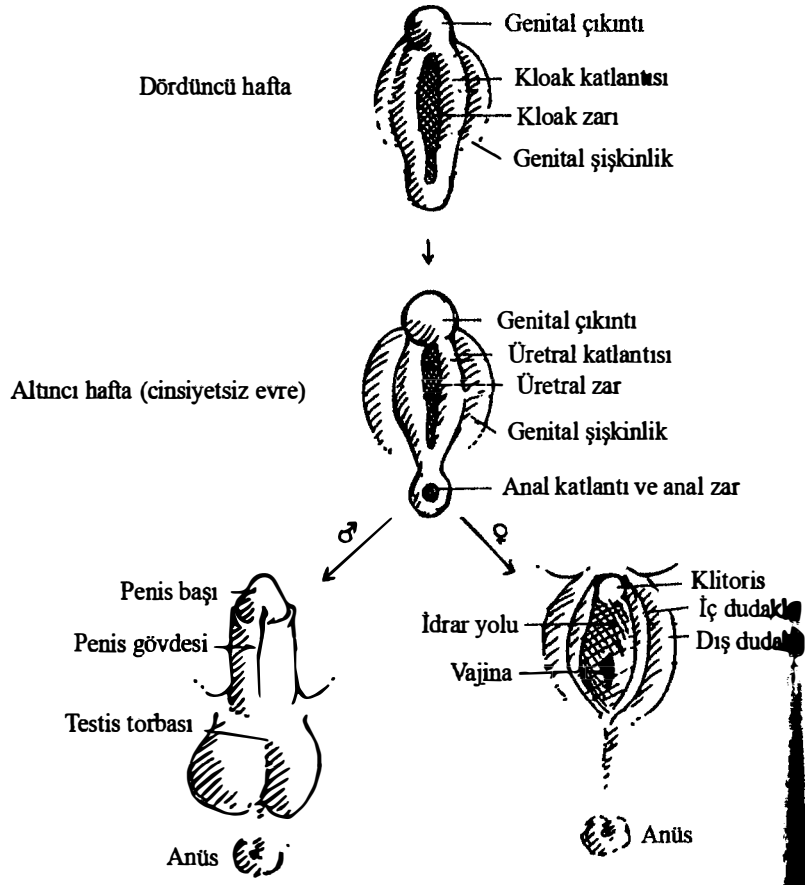
Yaşayan soylarından anladığımız kadarıyla erken dönem sürüngenleri, bu işleri yapmanın yeni yollarını aramıştır: Dişiler yine yumurtalarını vücutlarında tutmuştur ama bu kez erkekler, üzerine oturulması için yere yapışkan bir paket bırakmak yerine spermlerini doğrudan dişiye aktarmıştır. Bundan sonra da meydan, çeşitli dağıtım yöntemleri geliştiren erkek kara hayvanlarına kalmıştır. Şunu da belirtmek gerekir ki bu tip organlar sürüngenlerde çok basit yapıdadır. Sürüngen embriyolarındaki sindirim kanalının alt ucu "kloak" adı verilen bir yapıya dönüşür. Aslında bu güzel bir addır (Latincede "kloak", kanalizasyon anlamına gelmektedir); bu tüp, hem idrar kesesine hem de kalın bağırsağın alt ucuna bağlıdır, böylelikle üre ve dışkılar vücuttan atılmadan önce burada toplanır. Erkek bir sürüngenin sperm kanalları da kloaka açılır. Dişi bir sürüngende de kalın bağırsak, idrar kesesi ve iki yumurta kanalı kloaka çıkar. Sürüngenlerin çoğunda sperm aktarımı, temel olarak erkek ve dişinin vücutlarının alt kısmını birbirine bastırmasıyla gerçekleşir. Erkekler, işleri biraz daha kolaylaştırmak ve spermi doğru yöne itmek için kloaktaki iki cebi (bunlara "hemipenisler" denir) dışarı çıkarır.

Sürüngenlerden gelen kuşlar ve memelilerde, anne ve baba adayının yakın bir ilişki kurmasıyla iç döllenme görülür. Erkek kuşların çoğunda penis bulunmaz, dolayısıyla öteki pek

çok sürüngen gibi onlar da kendilerini eşlerinin vücutlarındaki alt kısmına bastırarak spermin bir kloaktan öbürüne geçmesine destek olurlar. Sadece birkaç kuş (hatta timsahlar ve kaplumbağalar gibi bazı sürüngenler de) dikleşebilen bir penise sahiptir ve bu organ spermi boşaltmak için dişinin kloakına yerleştirilebilir. Örneğin ördeklerin sarmal yapıda, spermin her yönden dişiye aktarıldığı penisleri vardır. Oysa birkaç sürüngen ve kuş penisleri çoğu memelininkinden farklıdır. Penisi olan erkek sürüngenler ve kuşlarda bu organ, kloakına tabanında bulunur. Penisin içindeki süngerimsi doku kanla dolduğu zaman kloaktan çıkar ve çalışmaya hazır hale gelir. Memelilerde penis vücudun dışındadır. Kloak, önde ürogenital sinüs (bu yapı, idrar torbasını ve idrar yolunun üst kısmını oluşturur) kesesi ve arkada rektumla anal kanalın bulunduğu iki kısma ayrılır. Erkek memeli penisi, embriyodaki ürogenital açıklığın ön ve yanlarındaki çeşitli tepelerden ve tümseklerden oluşur. Ortaya çıkan son ürün oldukça farklı gözükse de aslında aynı tepeler ve tümsekler dişi embriyosunda da bulunur.

Kloak zarı, sindirim kanalının en son bölümüyle vücut dışı arasındaki sınırdadır. Sonraki haftada kloak zarının iç kısmı, ürorektal bölmeyle ayrılır. Kloak zarının dış kısmı da ikiye bölünerek ürogenital zarı ve anal zarı meydana getirir. Aynı haftada ürogenital zar delikli bir hal alır; böylelikle üstünde asılı duran sinüs, amniyotik boşluğa doğru boşaltılabilir. Tüm bu olaylar, hem erkek hem de dişi embriyolar için gelişimin dokuzuncu haftasına kadar aynıdır. Bu cinsiyetsiz kısımların her biri, daha sonra cinsel organları oluştururken kullanılacaktır.

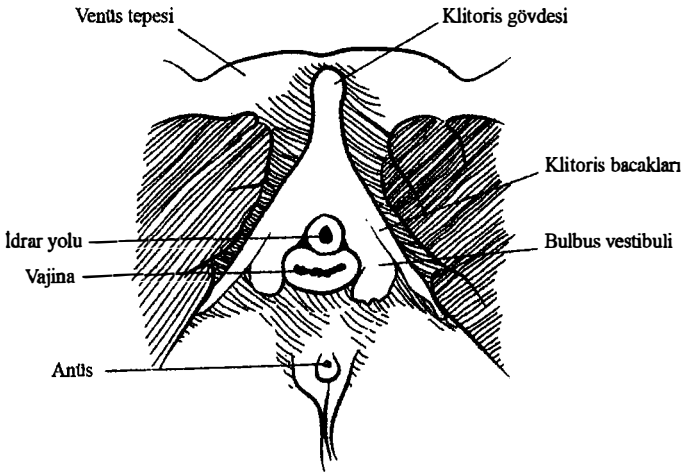
Bu noktadan sonra dış cinsel organlarınızın gelişimi, Y kromozomuna sahip olup olmamanıza bağlıdır. Y kromozomu eşey bezlerinizi testislere dönüştürür; testisler de buna karşılık testosteron üretir. Bahsedilen erkek hormonuna sahip değilseniz cinsiyetsiz kısımlarınız dişileşir: Genital çıkıntı klitorise dönüşür, üretral katlantılar vajinanın iç dudaklarını oluşturur ve de genital şişkinlikler, hem vajinanın dış dudaklarını meydana getirir hem de büyüyüp klitorisin ön kısmında birleşerek *mons pubis*i yaratır.



Cinsiyetsiz kısımlar zamanla erkek ve dişi dış cinsel organlarına dönüşür.

Testosteronun etkisi altındaki erkek fetüste genital çıkıntı büyüyerek penisin gövdesini ve başını oluşturur. Dışarıdaki genital şişkinlikler genişleyip testis torbasını meydana getirirken üretral katlantıları içeren iç şişkinlikler de bir araya gelip birleşir ve arkadan öne doğru kapanarak penisin iç kısmında kalan idrar yolunun etrafını sarar. Embriyo gelişiminin her aşamasında olabileceği gibi cinsel organların oluşumunda da bazı aksilikler yaşa-

nabilir. Bunlardan en sık görüleni üretral katlantıların kapanamamasıdır; bu duruma hipospadias[1] adı verilir. Hipospadias, her bin çocuktan birinde görülebilir. İdrar yolu, penisin ucundan dışarıya açılacağı yerde alttan ya da apış arasından (testis torbasıyla aynı seviyeden) açılabilir. Hipospadias, cerrahi müdahaleyle tamamen düzeltilebilir: İdrar yolunu cerrahi müdahaleyle yeniden oluşturmak ve penisin içine kalmasını sağlamak mümkündür.



Dişi pelvis bölgesinin MR taramasında gözüktüğü biçimde klitoris (O'Connell et al., 2005 makalesinden çizilmiştir).

Kadınlardaki dış cinsel organlar erkeklerdekinden net bir biçimde farklı olsa da ikisi arasında gelişimin ilk haftalarından kalma benzerlikler de vardır. Görünenin ötesine bakarsak, klitoris sadece kasık kemiğinin altındaki bir çıkıntı değildir. Burası, her iki tarafta bacak arasını çerçeveleyen kemiksi iskiyopubik kol[2] boyunca uzanan iki erektil doku[3] gövdesine bağlıdır. Bu dokular, klitorisin bacaklarını

1 Halk arasında "peygamber sünneti" adıyla da bilinir -çn.

2 İskiyopubik kol [*ischiopubic ramus*], kasık kemiğiyle [*pubis*] kalça kemiğinin arka kısmının [*ischium*] bir araya gelmesiyle oluşan yapının adıdır -çn.

3 Bunlar içlerinde pek çok kan damarı bulunan ve bu damarlara kan dolmasıyla sertleşebilen dokulardır -çn.

(Lat. *crura*) oluşturur. Vajina açıklığını çevreleyen ve klitorise kadar uzanan bir başka erektil doku gövdesi çiftine de *bulbus vestibuli*[4] (vestibül, iç dudaklar arasındaki alandır) denir. Klitorisin gövdesi, bacakları ve *bulbus*ları tamamen süngerimsi yapıdan oluşur; dolayısıyla bu delikli yapı, cinsel uyarı sırasında kan dolarak şişer. Klitoris, tahmin ettiğinizden çok daha karmaşık bir yapıdır (hatta çoğu anatomi kitabında gösterildiğinden daha karmaşıktır). Klitorisin tepe ve gövde kısımları, herhangi bir uyaranın olmadığı dinlenme durumunda iki ila dört santimetre uzunluğundadır. Bu organ cinsel uyarı geldiğinde büyür. Her bir *bulbus vestibuli* yaklaşık üç santimetreyken iskiyopubik kollar boyunca uzanan klitoris bacakları da dokuz ila on bir santimetre uzunluğunda olabilir.

Klitorisin *bulbus*larını ve bacaklarını oluşturan süngerimsi doku, penistekiyle tamamen aynı türden bir dokudur. Peniste *bulbus*lar iç içe geçmiştir (ki bu da üretral katlantıların embriyoda bir araya gelmesiyle olur) ve penis bacağı çok daha uzundur.

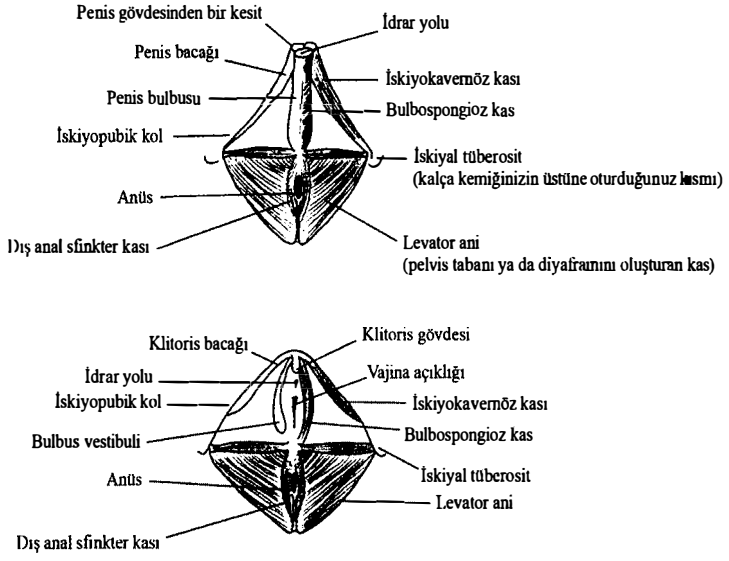
İçeriye baktığımızda iç cinsel organlar da cinsiyetsiz kısımlardan gelişmeye başlar. Ortaya çıkan sonuçların ne kadar farklı olduğunu düşündüğümüzde bu benzerlik daha da ilginç gelir. Öte yandan altıncı haftada gelişen eşey bezleri ve kendi kendine üreme kanallarına dönüşen bir dizi tüp, dişi ve erkek arasında ayırt edilemez.

Eşey bezleri, ilk olarak embriyonun karın duvarının arkasında oluşmaya başlar. Her biri mezonefroz (ya da Wolff gövdesi) adı verilen şişkinliğin yanında yer alır. Burada, adlarını önde gelen Alman embriyologlardan alan iki kanal (Wolff ve Müller kanalları) da göze çarpar.

Caspar Friedrich Wolff, Berlin'de tıp ve embriyoloji okudu; 1759 yılında embriyoloji alanında bir dönüm noktası olan *Üreme Kuramı* [Theory of Generation] adlı tezini sundu. Tezinde, bitki ve civciv gelişimi üzerine kendi gözlemlerine dayanarak Aristotelesçi epigenez fikrini yeniden ele alıyordu. Wolff şöyle diyordu: "Epigenez kuramından, vücudun parçalarının önceden var olmadığı, aksine kademeli olarak oluştuğu sonucuna varabiliriz." Bu iddia tartışmalara yol açmıştı çünkü o dönemde geçerli kuram preformasyon kuramıydı; embriyonun, şu anda küçük ve zaten var olan parçaların büyümesiyle geliştiği düşünülüyordu.

4 Dış cinsel organlardan *bulbus vestibuli*, vajina açıklığın yanlarındaki şişkinliğe (erektil doku kitlesine) verilen addır. Benzer bir yapı, *bulbus penis* adıyla peniste de görülür -çn.

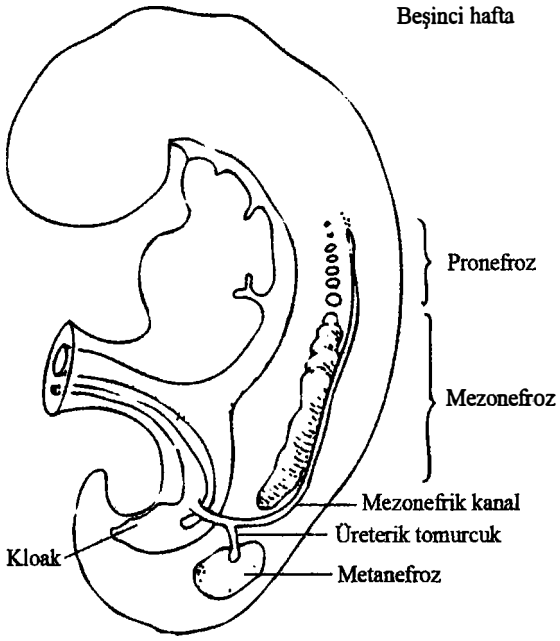
Wolff, alandaki yetkili bilim insanlarını epigenez konusunda ikna etmeyi başaramasa da embriyoloji alanındaki araştırmalarına devam etti ve sindirim kanalının oluşumu da dahil olmak üzere gelişimin pek çok yönünü ilk kez tanımlayan kişi oldu.



Dışarıdan bakıldığında çok farklı görünen erkek ve dişi dış cinsel organları, derinin altında benzer yapılardan oluşuyor. Bu çizimler erkek (üstte) ve dişi (altta) perineumunu gösteriyor (bacakların arasında kalan perineum, önde pubis simfizis ekleminin ve arkada koksiks kemiğinin bulunduğu alandır).

Wolff, 1759 yılında yazdığı tezinde civciv embriyolarında böbrek oluşumunu oldukça ayrıntılı bir biçimde ele almıştı. Civcivin karın bölgesinin ardındaki birkaç yapıyı anlatıyordu ve bunların arasında mezonefroz ve ona bağlı duran Wolff kanalı da yer alıyordu. *Nephros* kelimesi Yunancada böbrek demektir; mezonefroz da içinde ufak kanalları bulunan, gelişmekte olan bir böbreğe benzer. Bu yapı, hem civciv hem de insan embriyosunda böbrek işlevlerini yerine getirir,

kanı süzer ve idrarın mezonefrik kanaldan akmasını sağlar. Ne var ki böyle çalışmaya devam ederken, gelişmekte olan embriyonun pelvis bölgesinde metanefroz adında yeni bir böbrek oluşmaya başlar. Metanefroz görevi devralıp böbreğe dönüşür, karın bölgesinin arka kısmındaki duvarda yükselerek oraya yerleşir. İşte böbrekleriniz tam buradadır: Aslında böbrekleriniz o kadar yukardadır ki her birinin tepesi, on ikinci kaburgalarınızın altına girer.

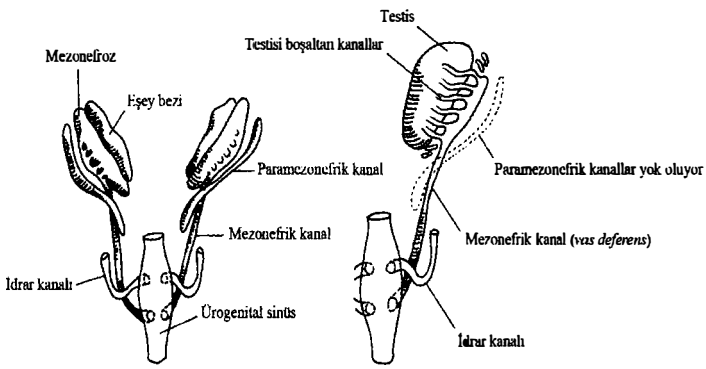


Embriyonun gelişmekte olan böbrekleri.

Peki bu durumda mezonefroza ne olur? Kadınlarda pek de bir şey olmaz, gelişime devam etmeyip yumurtalıkların yakınlarında iki doku adacığı olarak kalır. Yetişkin erkeklerde mezonefrozun böbreklerle bir ilgisi kalmasa da bu yapının içindeki tüpsü yapılar başka bir amaçla kullanılmak üzere geri dönüşüme uğrar. Tüpler

testis içindeki kanallara dönüşürken, mezonefrik kanal testislerdeki sperm idrar kanalına taşıyan sperm kanalını oluşturur.

Civcivler, insanlar ve bu ikisi arasındaki pek çok hayvanda mezonefroz, embriyoda böbrek görevi görür, ardından erkek üreme sistemi tarafından el konulur. Balık ve amfibiler gibi daha uzak akrabalarda mezonefroz erişkin bir böbrek görevi görmeye devam eder. Bu noktada yine bir yapıyı kopyalamanın, öteki yapıları serbest bırakıp yeni bir rol üstlenmeye ittiği bir durumla karşı karşıyayız. Eski dönem sürüngenlerindeki yeni metanefrozun "icadı", mezonefrozların böbrek olmayı bırakıp başka işlere yöneldiğini gösterir. Aslında sperm taşımak, mezonefrozun içindeki tüpsü yapılar ve mezonefrik kanal için yeni bir görev değildir. Balıklardaki (ki bu canlıların çoğu mezonefrik tüpü, böbreğin parçası olarak çalışır) tüpsü yapıların bazıları, testislerdeki sperm mezonefrik kanala taşır ve bunu böbrek üzerinden yapar. Bu yöntem, balıkların karınlarının arka duvarında yan yana duran testisleriyle böbrekleri gördüğünüzde (insan embriyolarında böyledir) çok da anlamsız gelmez. İşte yine, gelişmekte olan insan embriyosunda evrimin daha önceki aşamalarından kalan ve görmezden gelmesi imkânsız olan yankılarını görüyoruz. Rahimdeki insanda mezonefrozun böbrek görevini üstlenmesiyle hem yapısal hem de işlevsel yankılarla karşılaşıyoruz.



İç cinsel organların cinsiyetsiz kısımları (solda) ve mezonefrik kanalın (Wolff kanalının) sperm kanalına (*vas* deferens) dönüştüğü erkek insan embriyosundaki gelişim süreci (sağda).

Dişi insan embriyolarında Wolff kanalları kaybolur ve cinsel organları öteki tüplerden oluşur: Müller tüplerinden.

Johannes Peter Müller 1801 yılında doğdu ve papaz olmak için Cizvit Tarikatı'na ait bir papaz okulunda eğitim gördü. Ardından biyoloji biliminden çok etkilenip tıp okumaya karar verdi; en sonunda Berlin'deki Kaiser Wilhelm Akademisi'nde [*Kaiser Wilhelm Academy*] anatomi, fizyoloji ve patoloji profesörü oldu. İlginç bir biçimde ondan yüz yıl önce Wolff da aynı üniversitede okumuştu. Müller'in araştırması; anatomi, fizyoloji, patoloji ve embriyoloji alanlarından oluşan oldukça geniş kapsamlı bir araştırmaydı. O da tıpkı Wolff gibi civciv embriyoları üzerine çalışıyordu. Müller kanalları daha önce biliniyor olsa da önemi anlaşılmamıştı. Müller, bu kanalların erkek ve dişi embriyolarda nasıl farklı yolları izlediğini görmüştü. Erkek civcivlerde Wolff kanalı yolculuğuna sperm kanalı olarak devam ediyordu ve Müller kanalının gelişimi duruyordu. Dişi civcivlerdeyse Wolff kanalının varlığıyla yokluğu bir oluyordu, bu sırada Müller kanalları da yumurta kanallarını meydana getiriyordu.

Wolff ve Müller kanallarının keşifleri ve izledikleri farklı yolların anlaşılması arasında uzun bir zaman vardır. Yapbozun eksik kısımları, yirminci yüzyılın genetik keşifleriyle tamamlanmıştır: Bu keşifler cinsiyet kromozomları, DNA yapısının anlaşılması ve tek genleri deşifre edebilmektir.

Y kromozomu üzerinde, kısaca SRY olarak bilinen ve açılımı "Y kromozomunun cinsiyet belirleyici bölgesi"[5] anlamına gelen bir gen vardır. Bu gen, testislerin farklılaşmasına neden olur (bunu öteki genlerle birlikte yapar, çünkü embriyonun gelişimi sırasında genetik iletişim hiç de basit değildir). Testislerin içindeki belirli hücreler, anti-Müller hormonu ya da kısaca AMH olarak bilinen maddeyi üretmeye başlar. Bu hormon, erkek embriyolarındaki Müller kanallarının kapandığını gösterir. Testislerdeki öbür hücreler testosteron üretmesiyle Wolff kanalları, erkeklere özgü bir hale gelir ve sperm kanalına dönüşmeye başlar. Aynı zamanda testosteron, gelişmekte olan dış cinsel organların erkeklere özgü bir hal almasını sağlar.

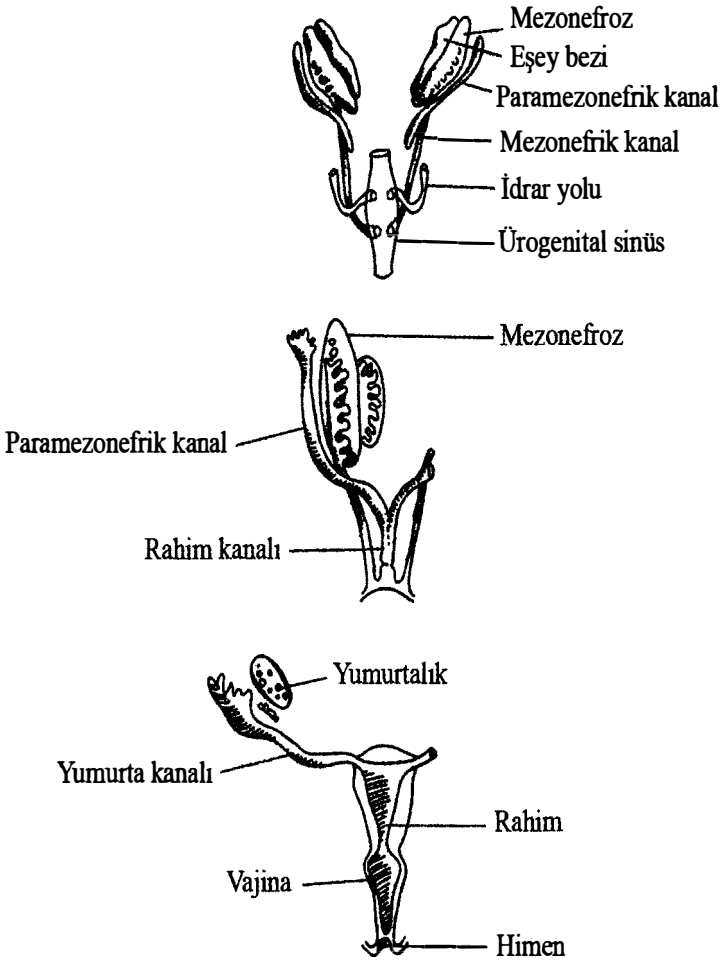
5 *İng. Sex-determining region of the Y chromosome (SRY).*

Yumurtalığın oluşumunda etken olan bir gen de keşfedilmiştir. Bu genin protein ürünü "erkek" genleri baskılayarak cinsel organların dişilere özgü bir hal almasına yol açsa da bunu tam olarak nasıl yaptığı hâlâ üzerinde çalışılan bir konudur. Dişileşme sürecinin ilerleyen kısımlarında yumurtalık tarafından üretilen hormonlar, öbür dişi cinsel organlarının gelişimini destekleyerek dış genital organların dişilere özgü bir hale getirir.

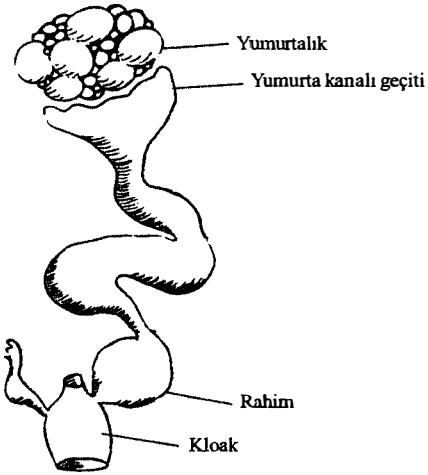
Civciv embriyoları, cinsel organların kökeni hakkında genel ilkeleri anlamak açısından oldukça yararlı olabilir ama kuşlarda dişi üreme sisteminin gelişimi kendine özgüdür. Köpek balıklarından insanlara pek çok omurgalının Müller kanalları kaybolmaz ve genellikle kloaka açılan iki ayrı yumurta kanalını oluşturur. Kuş ve timsah embriyolarında en başta bir çift Müller kanalı bulunur ama bunlardan biri yumurta kanalına farklılaşırken öteki yok olur.

Bir tavuğun üreme kanalı, spermin yumurtayla buluşması için bir yer sunmanın yanı sıra döllenmiş (ya da döllenmemiş) yumurta için fazladan koruma sağlamalıdır. Tavuğun yumurtası (ki bu, kafa karıştırıcı bir biçimde yediğimiz tavuk yumurtaların sarısına benzer) yumurta kanalında yuvarlanır ve albüminle (yumurtanın beyazıyla) kaplanır, ardından da sert bir kabukla sarılır.

Plasentalı memelilerde dişi üreme kanalında yapılacak çok iş vardır. Bu kez döllenmiş yumurta dışarı atılmayacak, bebek doğmaya hazır olana kadar dişinin vücudunda tutulacaktır. Dolayısıyla embriyonun tam anlamıyla bir fetüse dönüşebilmesi için üreme kanalının bir yerinde saklanması gerekir. Müller kanalları birbirinden ayrı bir biçimde, üreme kanalının en üst kısımlarında durup yumurta kanallarını oluşturur (bu kanallara Fallop tüpleri de denir, bu adı on altıncı yüzyılda İtalyan bir anatomist tarafından tanımlandıktan sonra almışlardır). Ne var ki daha aşağıda birleşerek tek bir vajinayı oluştururlar; vajina ve yumurta kanalları arasındaki alana da rahim denir. Kangurular ve keseli sıçanlar gibi keseli hayvanların dişilerinde iki vajina (erkeklerinde de bunlara uygun çatallı yapıda penisler) ve birbirinden tamamen ayrı iki rahim vardır. Plasentalı memelilerin çoğunda "çift boynuzlu" ya da bikornuat rahim görülür (ve bu hayvanlar aynı anda en az iki bebek doğurur); oysa çok azında Müller kanalları iç içe geçerek boynuzları olmayan tek bir rahim oluşturmuştur. Bahsedilen memeliler arasında bazı yarasalar, maymunlar, kuyruksuz maymunlar ve insanlar bulunur. Tüm bu hayvanlar, genellikle tek bir bebek doğurabilir.



(En üstte) Dişi insan embriyosu da cinsiyetsiz kısımların gelişmesiyle meydana gelir. (Alttaki çizimler) Bu kez paramezonefrik kanallar (Müller kanalları) gelişimine devam ederek yumurta kanallarını, rahmi ve vajinanın üst kısmını oluşturur.



Dişi tavuklardaki tek yumurtalık ve tek yumurta kanalı.

Plasentalı memelilerin rahmi gerçekten inanılmaz bir organdır. İnsanlarda bir avokado boyutunda olan rahim, yeni bir embriyoya ev sahipliği yapana kadar bu büyüklükte kalır ama embriyonun tutunmasıyla sürekli büyür. Hamileliğin son ayında rahim, sternum ya da göğüs kemiğinin alt kısmına değecek kadar genişler. Üstelik genişlemekle kalmaz, gereken zamanda fetüsü dışarı itmek için kullanacağı kasları da geliştirir. Soyundan geldiğimiz dişilerin döllenmemiş yumurtalarını suya bırakmalarından bu yana epey zaman geçmiş olsa da rahmin içindeki fetüs, amniyotik sıvıyla dolu özel havuzunun içinde gelişir. Amniyotik kesenin icadı, kara hayvanlarını üremek için suya dönmekten kurtaran yeni bir adımdır. Sürüngenlerin, kuşların ve memelilerin embriyoları hâlâ bir sıvının içerisinde büyür. Yumurtlayan hayvanlarda bu sıvı yumurtanın içinde kalır; plasentalı hayvanlardaysa bunu, dişi vücudunun içerisinde, anne karnında görürüz. Embriyonun içinde yüzdüğü amniyotik sıvı, kendisi için pek çok açıdan çok büyük önem taşır. Bu sıvı, annenin vücudundaki embriyo için yastık görevi görür. Embriyo, amniyotik sıvıyı yeni oluşan akciğerlerine "solur", yutar ve kanını emer. Gelişmekte olan böbrekleri kanı süzerek üre üretir

(bu üre, bebeklerin ya da yetişkinlerin üresindeki toksinlerden hiçbirini barındırmaz, o toksinler plasentayla fetüsten uzaklaştırılır) ve bu ürenin geçişi amniyotik sıvıyı tazeler. Embriyonun böbrekleri düzgün çalışmadığında amniyotik sıvı azalır; bu durumda embriyonun akciğerleri gelişemez ve zaten yeni gelişmekte olan uzuvları bodur ve eğri büğrü bir biçimde büyür.

TOPLARA DİKKAT: GÖÇEBE TESTİSLER (VE YUMURTALIKLAR)

Eşey bezleriniz, siz henüz bir embriyoyken sırtınızın iç duvarında, yukarıda oluşmuştur. Oysa bir dakikalığına düşünürseniz ister erkek ister kadın olun eşey bezlerinizin burada olmadığını bilirsiniz. Böbrekleriniz, pelvis bölgenizdeki başlangıç noktalarından sırtınızın iç duvarı boyunca yükselirken eşey bezleriniz tam tersi yönde ilerleyerek kalça kemiğine ulaşana kadar aşağı inerler. Bir kadınsanız yumurtalıklarınız burada kalmış demektir. Bir erkekseniz, testislerinizin hâlâ gitmesi gereken epey yolu vardır. Testisleri tutan bağlar, AMH de dahil pek çok erkeklik hormonunun etkisi altında erirken testislerin altında onlara yol gösteren yeni bir bağ gelişir. Bu bağa gubernakulum denir, Latincede anlamı "yol gösterici" anlamına gelir (İngilizcede yönetici anlamına gelen *governor* kelimesi de buradan türemiştir). Hamileliğin ikinci ayında testisler göç etmeye başlar; çoğu erkek bebeğin testisleri, doğum zamanı geldiğinde çoktan testis kesesine ulaşmış olur. Bazı erkek bebeklerde testislerin yolculuğu henüz tamamlanmamış olabilir; genellikle birkaç ayda varış çizgisine varırlar. Nadiren testislerin aşağıya inemediği durumlar da görülebilir.

Peki ama testisler neden aşağıya iner ki? Eşey bezlerini içerde tutan akıllı kadınlara kıyasla erkekler, kendi eşey bezlerini dışarıda sergileyerek tuhaf bir savunmasızlık yaratıyorlar. Ayrıca bu çok mantıksız gözüküyor! Bu organlar sırtın iç duvarında, korunaklı bir yerde meydana gelmişti. Öyleyse *neden* onları testis kesesine taşıyıp kazalara karşı savunmasız bir hale getire-

lim ki? Sırf bu yüzden bisiklete binmek, bir şeyin üzerinden atlamak, bahçe kapısının üzerinden tırmanmak gibi oldukça zararsız gözüken eylemlerin her biri, insan nüfusunun yarısı için riskli bir hale geliverdi.

Önceki iki soruya verilecek tek yanıt, en iyi sperm üretiminin vücut ısısının altındaki ısılarda gerçekleşmesidir. Yüksek ısıların daha fazla DNA hasarına ve kusurlu spermlere yol açabileceği varsayılmaktadır. Testislerin içinde bulunduğu testis kesesi eşsiz bir memeli icadıdır; muhtemelen (36 ila 38 santigrat derecelik) sıcak vücut ısısını koruma yeteneğinin gelişmesiyle birlikte evrim geçirmiştir. (Gerçi kuşlar bu konuda bir soru işareti yaratıyor, çünkü genellikle daha yüksek vücut ısılarına sahip olmalarına rağmen görünüşe göre testislerini karınlarının içinde tutmada bir sorun yaşamıyorlar.) Filler ve balinalar gibi testislerini vücut içinde tutan birkaç memelide, eşey bezlerini soğuk tutan özelleşmiş bir kan akışı mevcuttur. Bazı böcekçillerin testisleri de dışarıda değildir ama bu hayvanlar genellikle düşük vücut ısılarına sahiptir. Öte yandan insanlar da dahil çoğu memelide testis keseleri, erkek eşey bezleri için soğutucu bir torba görevi görür.

Testislerin testis kesesine inemediği duruma kriptorşidizm ("gizlenmiş testisler") denir ve bu durum ciddi sorunlar doğurabilir. Sperm üretimi, kısırlığa yol açacak kadar olumsuz etkilenebilir. Kriptorşidizmin testis kanseri riskini de artırabilir. Testisler, testis kesesine başarılı bir biçimde inse bile eşey bezleri etrafındaki ısıyı yükselten başka faktörler ortaya çıkabilir. Dar pantolonlar giymek, sıcak banyo yapmak, saunaya gitmek, hatta aynı yerde uzun süre oturmak testis kesesinin ısısını artırarak doğurganlığı azaltabilir. Bebeklerde testisleri sarmanın ve onları sıcak tutmanın uzun dönemde testis kesesi ısısını birkaç derece artırdığı ileri sürülmüştür; hatta bazı araştırmacılar, bunun sperm üreten testis kök hücrelerini etkileyebileceğini iddia etmiştir. Ne var ki erkek bebeklere bez bağlamanın ilerleyen zamanlarda üremeyi gerçekten etkileyip etkilemediği henüz bilinmemektedir.

Erkek memelilerde testisler çiftleşme mevsimine kadar saklanır. Öte yandan primatlar testisleri, bütün bir yıl boyunca testis kesesinin içinde bir sağa bir sola sallanıp durur. Bu noktadaki tek istisna sumo güreşçileri olabilir. Sumo güreşçileri, dövüş esnasında eşeysel bezlerini koruyabilmek için onlara masaj yaparak kasıklarına

çekebilme konusunda isim yapmışlardır. Yine de bu bilgiyi gerçek bir sumo güreşçisinden almadığımı itiraf etmem gerek, bu tamamen bir şehir efsanesi olabilir. Gerçi yazılı bir kaynakta geçtiğini görmüştüm ama bu kaynak bir James Bond romanıydı; biyoloji konusunda Ian Fleming'e güvenebileceğimden emin değilim.

Farklı primatlar testis boyutları çok çeşitlilik gösterir. Bu çeşitlilik, sadece biz insanlar ve en yakınımız olan kuyruksuz maymunlar ele alındığında da söz konusudur. Bir çift insan testisi yaklaşık kırk gram ağırlığındayken bir çift goril testisi daha ufaktır ve yaklaşık otuz gram gelir. Şempanzelerse yüz otuz beş gramlık testisleriyle bu grup içindeki en ağır testislere sahiptir. Bu farklar, vücut boyutunu düşündüğünüzde daha da çarpıcıdır: Bir erkek şempanze yaklaşık kırk kilogram, bir erkek insan yaklaşık yetmiş kilogram ve bir erkek goril yaklaşık yüz yetmiş kilogram ağırlığındadır. Öyleyse şempanzeler en zayıf tür olmalarına rağmen en büyük testislere sahiptir. Buna zıt bir biçimde, devasa gümüş sırtlı gorillerin oldukça mütevazı cinsel organları vardır. Testislerin boyutu, ürettiği spermle doğru orantılıdır. Eş seçimleri gelişigüzel olan, çok erkekli ve çok kadınlı ilişkiler kuran şempanze gibi türlerde erkekler arasındaki rekabet yüksektir. Erkekler dişilere ulaşmak için yarışır ama yarış burada bitmez: Bir dişi şempanzenin üreme kanalında birden fazla erkeğin spermi bulunabilir.

O halde farklı şempanzelerin spermleri de rekabet içindedir, aslında sayıca fazla olan kazanır. Dişi şempanze yumurtasının, en çok spermi üreten erkek şempanzenin spermlerinden biriyle dölleme ihtimali daha yüksektir. Çok eşli gorillerde tüm yarış, cinsel birleşmeden önce sonuçlanır. Tek bir baskın gümüş sırtlı goril, bir sürü dişiden oluşan haremine kavuşmak için dövüşür. Dolayısıyla goril testislerinin çok fazla sperm üretmesine gerek yoktur; hatta vücut boyutuna göre kıyaslandığında şempanze testislerinin ürettiği spermin yirmide biri kadar üretirler. İnsan testisleri ortalamadır; vücut boyutuna kıyasla gorillerinkinden daha büyük olsa da şempanze testislerinin onda biri kadardır. O halde biz insanlarda sperm yarışı orta seviyededir; hiçbir eş seçimi olmayan şempanzeler kadar zorlu bir yarış olmasa da gümüş sırtları ve haremleri olan gorillerden daha çekişmelidir. Öyleyse insan testislerinin boyutu, genellikle tekeşli olsa da ara sıra bazı kaçamakların yapıldığını bir çiftleşme sistemine işaret eder.

PENİSLER, KLİTORİSLER VE ORGAZM

Memeli penisleri arasında büyük bir çeşitlilik vardır. Memeliler, böylesine şahane bir organın icadından sonra farklı boyutlardaki ve biçimlerdeki penisleriyle (hatta çeşitli donanımlarıyla) gösteriş yaparlar. Bazıları iki parçalıyken (eşlerinde de onlara uygun iki vajina vardır) bazıları uzun ve incedir; bazıları kısa ve kalınken bazıları dikenli ya da kemikli (penis kemiği [os penis] ya da bakulum) olabilir. Bu çeşitlilik sadece primatlar arasında bile hayret vericidir.

Memelilerde klitoris de çeşitlilik gösterir. Örneğin dişi sırtlanların ve köstebeklerin klitorisi uzun ve penise benzer bir biçimdedir; primatlar arasında da (bazı lemurlarda, örümcek maymunlarında, bonobolarda ve cüce şempanzelerde) bu tip uzun klitorisler görülebilir. Çoğu dişi primatta bir *os klitoridis* bulunur, bu klitorisin içindeki bir kemiktir ve çoğu erkek memelide bulunan penis kemiğinin eşdeğeridir.

Erkek memelileri büyük bir kısmı, lazım olana kadar bir kılıfın içinde saklanır. Bu durum erkek primatlarda (yani erkek insanlar da) tam tersidir; tüm erkek primatların bacakları arasında sallanan penisleri vardır. Bunların çoğunda penis kemiği bulunurken örümcek maymunlarında, yünlü maymunlarda ve insanlarda yoktur (insan erkeklerin çoğunda penis kemiğinin olmadığını söyleyebiliriz, çünkü tıp tarihinde sadece kırk beş vakada görülmüştür). Erkek insanlar (ve de bahsedilen maymunlar) için penisi dikleştirebilmek ve bu dikliği korumak sadece bölgesel kan basıncına bağlıdır; zaten Viagra da bu prensiple çalışır. Dikleşmemiş bir penisin süngerimsi dokusundaki düz kaslarla penisi destekleyen atardamarların duvarlarındaki düz kaslar kasılmış haldedir. Bahsedilen kaslar soğuk havada daha da kasılır ve bu da penisin küçülmesine neden olur. Cinsel uyarı geldiğinde pelvis bölgesindeki parasempatik sinirlerden gönderilen sinyaller, atardamarlardaki düz kasların rahatlamasını sağlar; böylelikle damarlar genişler ve süngerimsi dokuya kan akışının artmasıyla buradaki düz kaslar da esner. Kan basıncı arttıkça, kanın penisten vücuda döndüğü rota üzerindeki ince duvarlı damarlar sıkışarak kapanır. Böylelikle kan hiçbir yere gidemez ama kan akışı da

durmadığı için penis şişer. Süngerimsi dokudaki basınç yaklaşık yüz milimetre cıvaya (bu basınç, kasılma anında kalpten çıkan kanla neredeyse aynı seviyededir) ulaşır ve penis sertleşir. Ardından penis bacağını saran iskiyokavernöz kasları kasılarak basıncı daha da yükseltir, bu da penisi dikleştirir.

Sertleşmenin atardamarlardaki kan basıncına bağlı olması nedeniyle atardamarlardaki sorunlar sertleşme sorununa yol açabilir. Eğer penisi besleyen atardamarlar yeterince genişlemezse sertleşmeyi gerçekleştirebilmek için organa yeterince kan gitmeyecektir. Bu atardamarları besleyen sinirler bir kimyasal reaksiyon zinciri başlatır; bu da cGMP denilen (merak ediyorsanız açılımı "siklik guanozin monofosfat"tır), düz kası gevşeten bir bileşik üretir. Penisteki cGMP belirli bir enzimle yıkılır, Viagra da bu enzimin çalışmasını engeller. Böylelikle sadece penisteki kan basıncını yükseltir ve vücudun öteki kısımlarına dokunmaz. En azından çoğu kısmına dokunmaz diyelim; benzer bir enzim retinada da bulunduğu için Viagra kullanımı renkli görmeyi etkileyebilir. Bazı durumlarda beyni ve kalbi de etkileyebilir, dolayısıyla her ilaçta olması gerektiği gibi dikkatli tüketilmelidir.

Embriyoda klitorisin homolog dokulardan geliştiğini ve penisi besleyen sinirlerin aynılarıyla beslendiğini düşününce, klitoris sertleşmesinin tamamen aynı nöral ve kimyasal mekanizmalara bağlı olması hiç de şaşırtıcı değildir. Yine de bunun kabul edilmesi çok uzun zaman almıştır. Penis sertleşmesiyle aynı mekanizmanın (cGMP ve benzer enzimlerin kullanılmasının) klitoris için de geçerli olduğu on yıl önce keşfedilmiştir. Aslında bunun, dişi ve erkek embriyolarındaki ortak gelişim sürecinden ve sinirsel bağlantılarından anlaşılması gerekirdi. Elbette genelgeçer bilgi; seksin kadınlar için "beyinde gerçekleşen" ve gizemli bir şey olduğunu, erkekler içinse daha mekanik olduğunu söylüyordu. İşte size o makaleden bir alıntı (ve lütfen unutmayın ki bu makale sadece on yıl önce yayımlandı):

> Cinsel işlev, kadınlarda henüz yeterince kapsamlı bir biçimde araştırılmamıştır; kadınlardaki cinsel bozuklukların, bir sertleşme sorunundan değil, bir cinsel arzu bozukluğundan kaynaklandığı için genellikle erkeklerinkinden farklı olduğu düşünülür.

Klitoris sertleşmesinin altında yatan mekanizmaları aydınlatmak, kadınlarda görülen tüm cinsel bozuklukların sertleşme sorunu yüzünden olduğunu göstermez. Yine de bazı bozuklukların sertleşme sorunu olabileceğini ve tıpkı erkeklerde olduğu gibi atardamar genişlemesini sağlayan kimyasal mekanizmaları yönelik ilaçlarla tedavi edilebileceğini ileri sürer. Zaten dişi cinsel organında kanla dolup şişen kısım sadece klitoris gövdesi değildir; vajinanın iç dudaklarının altındaki süngerimsi doku da büyür.

Elbette ne penis ne de klitoris sertleşmesi, normal cinsel işlevin asıl amacıdır. Çiftleşme, penisteki ve klitoristeki kan akışı artışından çok daha fazlasıdır. Erkeklerde sperm testislerden çıkıp idrar yolundaki prostat ve seminal veziküller gibi aksesuar salgı bezlerinin salgılarıyla karışmalıdır. Bu sürece emisyon adı verilir; tıpkı penisi yumuşak bir halden sert bir hale dönüştüren kan akışı değişimi gibi sinir sisteminin viseral ya da otonomik bölümü tarafından yönetilir. Ejakülasyon denilen son fazda da aynı sinir sistemi bölümü etkendir. Bu fazda sperm dolu meni idrar yolundan geçerek penis ucundan vücudun dışına ritmik bir biçimde pompalanır. Kadınlarda klitorisi oluşturan sertleşen doku kabarır ve şişer. Kan damarlarıyla beslenen vajina duvarı da kanla dolar; bu duvarın altındaki kılcal damarlardan çıkan sıvılar kayganlık yaratır. Rahim serviksinde ya da boynunda bulunanlar da dahil birçok bez, kendi salgıları da bu kayganlaştırıcı sıvıya ekler. Orgazm sırasında pelvik taban kasları ve vajina ritmik bir biçimde kasılır.

O halde orgazm, her iki cinsiyette de kas kasılmalarıyla ilgilidir. Öyleyse orgazm, hem sinirlerden gelen uyarılara hem de kanda dolaşan belirli bir kimyasal sinyale verilen bir yanıttır. Bu kimyasal sinyalin adı oksitosindir, yani "aşk hormonu".

Oksitosin olağanüstü bir hormondur. Vücudumuzdaki öteki kimyasal habercilerle kıyaslandığında ufacıktır; sadece dokuz aminoasit dizisinden oluşur. Dolayısıyla bu sinyal, uzun bir mektup olmasa da çok güçlü bir mesajdır. Tam olarak nasıl çalıştığı hâlâ büyük bir oranda bilinmese de çeşitli üreme işlevleriyle bağlantılı olduğu görülmektedir. Oksitosin, iki hayvan arasında yakın bir ilişki kurulmasını (görünüşe göre bu çoğu araştırmaya konu olan çayır köpeklerinde olduğu kadar insanlarda da söz konusudur), anne ya da babayla çocuk arasındaki ilişkiyi ve annelik

davranışının gelişimini destekler. Doğum sırasında rahim kasılmalarını ve emzirme sırasında memeden süt gelmesini sağlayan da bu hormondur. Aslında beyindeki tek bir kimyasal maddeyle belirli bir duyguyu ya da zihin durumunu ilişkilendirmek hem zor hem de mantıksızdır; yine de oksitosinin sevgi, mutluluk ve güven duygularında rol oynadığı düşünülmektedir.

Bu hormon, fiziksel ve psikolojik açılardan orgazm deneyimiyle de bağlantılıdır. Cinsel uyarılar doruk noktasına ulaştıkça beynin altındaki hipofiz bezi tarafından salıverilen ve muhtemelen pelvis tabanındaki kas kasılmalarına yardımcı olan bir oksitosin dalgası açığa çıkar. Oksitosin, yine beynin altında bulunan hipotalamusdan da salıverilir; orgazmla bağlantılı olduğu düşünülen güçlü bir mutluluk ve iyi hissetme duygusu muhtemelen bu kaynaktan çıkan hormonla ilgilidir.

Cinsel uyarılma ve orgazm, özellikle daha gizemli görülen ve kesinlikle üzerinde daha az çalışılmış kadın vücudu söz konusu olduğunda hâlâ çok tartışılan konulardır. Kadınlarda orgazm, hem politik hem de biyolojik açıdan konuşulması zor bir şeydir.

Kadınlarda orgazmın klitoris uyarılmasından mı, yoksa vajina uyarılmasından mı olduğu hakkındaki iki yüz yıldır süren tartışmalar bir sonuca varamamıştır. On dokuzuncu yüzyılda bazı erkek biyologlar, klitorisin ve kadın orgazmının herhangi bir işlevi olmadığını düşünmüştür, çünkü görünüşe göre her ikisi de hamilelik için önemli değildir. Freud'a göre klitoris kaynaklı orgazmlar olgunlaşmamışlığı gösterir: Kadınlar, vajinal orgazmı deneyimlemeye başladıkları anda cinsel olarak olgunlaşırlar. Önde gelen cinsellik araştırmacıları William Masters ve Virginia Johnson 1960'lı yıllarda sadece tek tip kadın orgazmının mümkün olduğu sonucuna varmıştır ve bunun klitoriste başlayıp vajinaya yayıldığını söylemişlerdir. Öte yandan Alman bir anatomist, 1950'li yıllarda vajinanın iç duvarında yoğun bir biçimde sinirlerle beslenen bir alanı (G noktasını) tanımlamıştır ve buranın vajinal orgazm için tetikleyici olabileceğini önermiştir. Yakın zamanlarda yapılan çoğu anatomik çalışma, vajinadaki bu bölgeye ilişkin özel bir şey bulamamıştır. Zaten G noktası hakkındaki kaynaklar genellikle küçük araştırmalardan ve hikâyelere dayanan kanıtlardan oluşmaktadır. Yine de vajinal uyarım, klitoris uyarımına yol açtığı için işe yarıyor olabilir: Vajinal uyarım, klitorise

bağlı klitoris bacakları ve bulbusu gibi erektil dokuların itilip çekilmesini sağlayabilir. O halde bugünkü anlayış, klitoris ve vajina orgazmının iki ayrı şey olduğu düşüncesine karşın bunların bir bütünün parçası olduğunu öne sürer. Vajinanın ön kısmıyla (idrar kanalının da bulunduğu yerle) klitorisin kendisi ve uzantıları, tek bir erektil doku olarak bir arada çalışır ve uyarım bir noktadan ötekine aktarılır. Elbette üremenin temelindeki orgazm, öteki hayvanlarda da görülür; onlarda orgazm hakkında daha az araştırma yapılmış olabilir ama insan deneyiminin eşsiz olduğunu düşünmek için hiçbir nedenimiz yok.

İŞİ PİŞİRMEK

Söz konusu anlatılan anatomi bölgelerini kullanmaksa, biz insanlar bazen öteki primatlara kıyasla oldukça çekingenken bazı açılardan çok daha yırtığızdır. Lemurlar gibi *Strepsirrhini* primatlarında, üreme etkinlikleri için genellikle belirli dönemler vardır; oysa bazı maymunlar ve tüm kuyruksuz maymunlar (biz dahil), yılın her günü üreyebilir. Maymunlar ve kuyruksuz maymunlarda yumurtlama ve regl dönemlerini kapsayan üreme döngüleri yaklaşık bir ay sürer. Çoğu maymunda ve şempanzelerde yumurtlama dönemi, bacakların arasındaki bölgenin şişip kızarmasıyla belli olur; bunu takiben dişi davranışları da değişir. İnsanlarda, bu dönemin dışarıdan belli olmasının pek bir yolu yoktur. Bariz bir şişkinlik yoktur, zaten olsa bile en yakın kuyruksuz maymun kuzenlerimiz gibi dört ayak üstünde yürümediğimiz için bacaklarımızın arasında kalıp dışarıdan gözükemez. Öte yandan bizler de hiç çaktırmıyor sayılmayız; yapılan araştırmalar, yumurtlama dönemindeki kadınların daha çekici giyindiğini gösteriyor. Kucak dansçılarını inceleyen başka bir araştırmada, kazançların aylık döngülerinin tam ortasında zirveye ulaştığı gösterilmiştir (elbette bunun başka bir nedeni olabilir; ne de olsa bu dansçılar regl döneminde daha az para kazanıyor.)

Sadece *doggy* stili çiftleşen köpekler de dahil olmak üzere öteki memelilere kıyasla insanlar, çeşitli pozisyonlarda cinsel

ilişkiye girebilirler; bu maymun soyumuzdan gelen bir şeydir. Ağaç dalları arasında gezinen kuyruksuz maymunların kol ve bacak eklemleri geniş bir yelpazede hareket edebilir, böylelikle çeşitli pozisyonları denemekte özgür kalmışlardır. Öte yandan insan olmayan kuyruksuz maymunlarda erkekler hâlâ dişilere arkadan yaklaşarak çiftleşirler. Oysa zaman zaman orangutanlar, goriller, özellikle de bonobolar eşleriyle yüz yüze baktıkları "misyoner" pozisyonunda ilişkiye girer. Bonobo dişilerinde klitorisin ve de tüm dış cinsel organın önde konumlanması bu pozisyona ilişkin bir uyarlanım olabilir; hatta muhtemelen insan dişilerinde de benzer bir uyarlanım söz konusudur.

Bazı dinlere göre bu fikir çok ters gelse de ne bizde ne de öteki hayvanlarda, cinsel ilişkinin üremeyle bir ilgisi vardır. Eşcinsel davranış, tüm hayvanlar aleminde görülen bir tür özelliğidir, özellikle de sosyal türlerde karşımıza çıkar. Bonobolarda cinsel ilişki, arkadaşça selamlaşmayla aynıdır. Bonobolarda heyecanlı bir şeyler olması için beklemenize gerek yoktur, onlar her an cinsel ilişkiye girebilir. Görünüşe göre gerginliği azaltmak ve kavgaları önlemek için de cinsel ilişkiyi kullanırlar. Bonobolarda görülen cinsel ilişkinin büyük bir kısmı birleşmeyi içermez; genellikle (hem karşı hem de eşcinsel çiftlerde) cinsel organları birbirine sürtmeden, ara sıra oral seksten ve öpüşürken dilleri kullanmadan meydana gelir.

Bir kara hayvanında spermin yumurtayı döllemesini sağlayacak biçimde evrim geçiren bu ayrıntılı mekanizma, sosyal bağları güçlendirmek, bazen de sadece zevk almak gibi pek çok şey için faydalı bir hale gelmiştir. Cinsel organlar tüm bu şahane işleri yapıyor olsa da bahsetmemiz gereken bir üreme işlevi daha var. Plasentalı erkek memeli anatomisi, döllenmeyi sağlamak için tasarlanmış olsa da bunun ötesinde bir işlevi yoktur. (Erkekler, hamile eşlerini desteklemede ve çocuk bakımında çok önemli roller oynasalar da anatomilerinin bunlar için değişmesi gerekmez.) Bunun yanı sıra dişilerdeki üreme sisteminin gelişmekte olan fetüse ev sahipliği yapmak zorunda olduğunu daha önce bahsetmiştik ama dahası da var. Fetüs bir noktada annenin vücudundan çıkması gerekecektir, dolayısıyla onu çıkarmanın bir yolu da olmalıdır.

DAPDAR BİR GEÇİT

Eskiden, insanlarda doğum zamanının büyük bir beyin ve iki ayak üstünde yürümenin anatomik gerekliliklerileyle belirlendiği düşünülüyordu. Oysa yakın zamanda yapılan çalışmalara baktığımızda, insanların öteki hayvanlardan farklı olduğunu düşünmekte yine acele ettiğimizi görüyoruz.

Erkekler ve dişiler arasındaki farklılıkların en belirgin olduğu vücut bölgesi pelvis bölgesidir ve bu farklılıklar, özellikle de insanlarda kemiklerden bile gözlemlenebilir. Dişi insanın kalça kemiği, erkeklerinkine kıyasla çok daha geniştir. Omurga ve bacaklar arasında yer alan pelvis bölgesi; kalça kaslarının, pelvik taban kaslarının ve tüm dış cinsel organlarının bir araya geldiği bir noktadır. Bunun yanı sıra dişilerdeki pelvis bölgesinin eşsiz bir rolü daha vardır: Doğum kanalını oluşturur.

İlk çocuğumun doğumuyla önceden bildiğim bir şeyi yeniden öğrendim: "Yenidoğanın kafatasıyla annenin pelvis çıkımı arasındaki mesafe çok azdır." İkinci çocuğumun doğumu da ilk bulgularımı doğrulamış oldu. İlk çocuğumdan önce doğum öncesi derslerine katılmıştım. Bu derslerdeki ebeler, anne adaylarına biraz patronluk (ya da patroniçelik) taslarlar; salata servisinde kullanılan kaşıklarla lavabo pompasının yardımıyla doğum anında forsepslerin kullanımını ve vakumla doğumu anlatırlar. Eminim bazı insanlar sırf bu yüzden çocuklarının bir tesisatçı tarafından dünyaya getirileceğini ya da kaşıklarla doğurulacağını düşünerek dersleri bırakmıştır. Hatırladığım kadarıyla dersleri veren ebe, yenidoğanın doğum kanalından geçerken 270 derece döndüğünü de göstermeye çalışmıştı. Oyuncak bebeğin başını plastik bir kalça kemiğinden ittirirken, "Hem annenin pelvik çıkımı hem de bebeğin kafatası yaklaşık on santim genişliğindedir. Ne mükemmel bir uyum! Doğa sizce de harika değil mi?" demişti. Eşim, "Bebeğin kafatası sekiz santimetre olsa doğa daha da harika olurdu," diye yanıt vermişti (bu yanıtından dolayı inanılmaz gururlanmıştım). Kesinlikle haklıydı, çok iyi bir noktaya değinmişti. Ebe de yanıt vermeden eğitime devam etmişti.

Kendim doğum yapmadan önce insanlarda doğumun ne kadar zor olabileceğini biliyordum. Dersine katıldığım ebe söylemişti;

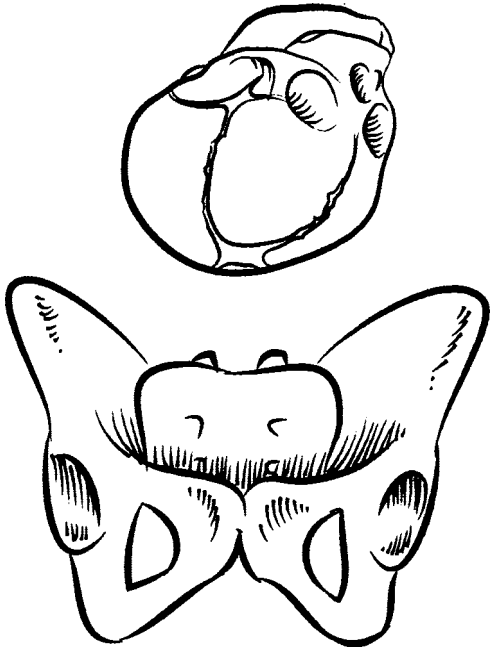
bizlerdeki doğum kanalı bebeğin kafasıyla aynı genişlikteydi. Hamilelikte annenin vücudundaki eklemler, progesteron ve cuk oturan adıyla relaksin[6] hormonları sayesinde gevşer. Kalça kemiklerinin önünde kıkırdak yapıdaki simfizis pubis eklemi esner ve doğumda biraz daha açılabilir. Bu sırada bebeğin kafatası da biraz ezilebilir. Bebeğin kafatasını oluşturan ince kemik tabakalar lifli zarlarla ayrılır; dolayısıyla bebek dünyaya gelirken kafatası kemikleri hafifçe üst üste binebilir. Sonuç olarak çoğu yenidoğanın kafatası ilk başta biraz tuhaf ve bazen orantısız gözükebilir. Bu orantısızlık, genellikle doğumdan birkaç gün sonra düzelir.

Çok zor doğmalarının yanı sıra değinilmesi gereken bir başka konu insan yavrularının inanılmaz çaresiz oluşudur. Çoğu primat yavrusu doğuma kadar epey gelişir ve büyük bir oranda kendilerine bakabilecek duruma gelir. Onlara kıyasla insan yavruları tamamen işlevsizdir; bunun nedeni, muhtemelen beyinlerinin doğumdan sonra uzun bir süre daha büyümeye devam etmeleridir. Şempanze yavruları, erişkinlikte ulaşacakları beyin boyutunun yüzde kırkıyla dünyaya gelirken bu oran insan yavrularında yüzde otuzdur. Bebekler kendi başlarına hareket edemezler ve annelerine tutunamazlar; kucakta taşınmaları gerekir ve genellikle bakıma ihtiyaç duyarlar. Çoğu zaman ayakta durmaları ve iki ayak üstünde yürümeleri bir yıl sürer. Bebeklerin bu kadar çaresiz olması, toplum için önemli sonuçlar doğurur; hatta insanlarda iki cinsiyet arasında yakın ilişkinin ortaya çıkışı ve toplumların çoğunda anne ve baba dışındaki büyükanne ve büyükbaba gibi bireylerin de çocuk bakımını üstlenmesinin nedeni bu olabilir. Bakıma muhtaç olmak bir dezavantaj gibi gözükse de insan olmanın önemli bir yanı haline gelmiş olabilir; ayrıca anne ve babayla (ve de öteki bakıcılarla) bebek arasında çok yoğun bir bağa işaret eder. Bebek beyinleri, anne karnından çıktıktan sonra bir süre daha büyümeye ve gelişmeye devam eder; üstelik bunu etrafında bir sürü insan varken, toplum ve kültürle çevrelenmişken yapar. Evrimsel psikolog Michael Tomasello'nun dediği gibi; balık yavruları için su neyse, insan yavruları için kültür odur. Bazı araştırmacıların öne sürdüğüne göre, yenidoğan beyninin göreceli ola-

6 Relaksin hormonunun İngilizce adı *relaxin*, "rahatlamak, gevşemek" anlamına gelen *relax* kelimesinden türetilmiştir. Yazar bu nedenle hormonun adıyla işlevinin uyumlu olduğuna değinmiştir -çn.

rak daha az gelişmiş olması evrim tarafından seçilmiş bir şeydir. Biz insanlar yaşamkalım uğruna birbirimizden edindiğimiz bilgilerden, davranışlardan ve becerilerden sıklıkla faydalanırız. Bizler bu yönde evrim geçirmişizdir: Sosyal öğrenme kapasitesine sahip olmanın atalarımıza avantaj sağladığı ortadadır, hatta tür olarak başarımızın altında bu yatar. Öte yandan beyinlerimiz, gelişimin en başlarında öğrenmeye maruz kalır; bir süredir yapılan tartışmalara göre sosyal öğrenmenin bu kadar küçük yaşta gerçekleşmesi, insan yavrularını erken doğmaya itmiş olabilir. Bunların yanı sıra bebeklerimizin bakıma muhtaç oluşunun arkasında daha mantıklı, fiziksel nedenler vardır.

Doğum çelişkisi (DÇ), hem doğumun neden bu kadar zor olduğunu hem de bakıma muhtaç insan yavrularının neden erken doğduğunu açıklamaya çalışan güzel bir kuramdır. Bu kurama göre dişilerdeki pelvis bölgesi, evrimsel bir çekişmenin tam ortasında kalmıştır. Bir yandan iki ayak üstünde yürümenin, bir yandan da kocaman kafatasları olan bebekler doğurmanın gerekliliklerıyle iki kolundan çekilmektedir. Aslında buradaki ana düşünce, kalça kemiğinin iki ayak üstünde yürümenin işlevsel sınırlarıyla kısıtlanmış olmasıdır; kadınlar daha geniş kalça kemiklerine sahip olsaydı düzgün bir biçimde yürüyemezlerdi. Öte yandan büyük beyinlere sahip olmak ve büyük beyinli bebekler doğurmak da türümüze özgü özellikler arasında yer alır. Öyleyse kalça kemiği genişliğinin belirli bir sınırın üstüne çıkamaması, doğum söz konusu olduğunda ters bir etki yaratır: Bir insan yavrusu, kafatası doğum kanalından geçemeyecek bir hale gelmeden doğmak zorundadır. DÇ kuramı dişi kalça kemiğinin bu tip zıt gerekliliklerle sınırlandırıldığını; bunun sonucu olarak da bir anlaşmaya varıldığını öne sürer. Kalça kemiği genişliği, bebeklerin "erken" doğması gerektiğini gösterir; kafatasları doğum kanalından geçebiliyorken doğmak zorundalardır. Bu kuramın sonuçlarından biri de dişi kalça kemiğinin iki ayak üstünde yürümek için pek de mükemmel olmadığını belirtir; aslında erkeklerdeki kalça kemikleri yürümek için daha iyidir. Sonuçta erkeklerin (ortalama olarak) kadınlardan daha hızlı yürüdüğünü ve koştuğunu biliyoruz; ayrıca daha dar kalçalara sahip oldukları için bunları yaparken muhtemelen enerjilerini de daha idareli bir biçimde harcıyorlar.



İnsanlarda doğumun zorluğu: Bebeğin kafatasının annenin pelvik çıkımından geçirmek.

Ulusal Bilim Akademisi Bildirileri [Proceedings of the National Academy of Sciences; PNAS] adlı dergide 2012 yılında yayımlanan bir makale, DÇ kuramıyla ortaya atılan sonuçların doğruluğunu sorgulayarak doğum zamanlamasıyla ilgili başka bir düşünce ileri sürmüştü. Bunun gibi makalelerin yayımlanması her zaman heyecan vericidir. Bu tip makaleyi elinize aldığınızda, okumayı bitirdiğinizde dünya görüşünüzün biraz da olsa değişeceğini bilirsiniz. Zaman zaman yeni bir şeyin ortaya çıkmasıyla var olan düzeni sorguladığı, her şeyi tepetaklak edip düşünce sistemimizi sarstığı için bilimi seviyorum.

Bahsettiğim PNAS makalesinin ilk yazarı Holly Dunsworth'le tanışmak ve hepimizin sandığının aksine insanların eşsiz olmadığına ilişkin düşüncelerini anlamak adına New York'a gittim.

Holly, işe ilk olarak DÇ kuramını oluşturan varsayımlardan şüphe ederek başladığını söyledi. Öteki primatlarda hamilelik süreleri hakkında araştırma yaparken insanlardaki hamileliğin pek de kısa olmadığını fark etmişti. İnsanlardaki hamilelik dönemi otuz sekiz hafta sürer; bu süre, (hamileliği otuz iki hafta süren şempanzelerden tutun da otuz altı haftada doğum yapan gorillere kadar) tüm primatlarda görülenden daha uzundur. Çeşitli vücut boyutlarına sahip primatların farklı hamilelik süreleri vardır. Vücut boyutuna göre hamilelik süresi hesaplandığında, insanlar hâlâ en uzun hamilelik süresine sahip primatlardır; hatta bizim boyutumuzdaki bir primatın en az bir ay daha erken doğum yapması beklenir. O halde insan evrimi boyunca hamilelik süresi uzamıştır; yani öteki primatlarla kıyaslandığında insan yavruları erken değil, geç doğar. Doğum süresinin bu kadar uzun olmasına karşılık bebeklerimizin beyinleri hâlâ gelişmeye devam etmek zorundadır, çünkü yetişkin beyinlerimizin boyutu fazlasıyla büyüktür. Elbette bu noktada kafanızda soru işareti oluşabilir; doğumdan önce beyinlerinin tam anlamıyla gelişebilmesi için bebeklerin rahimde kalma süresinin neden biraz daha uzatılmadığını merak ediyor olabilirsiniz. Aslında bu noktada DÇ kuramı haklı olabilir; bebeklerin ana rahminde daha uzun süre kalması, daha büyük kafataslarına, dolayısıyla daha geniş bir kalça kemiğine işaret edeceği için dişilerin hareketini imkânsız bir hale getirebilir.

Peki erkeklerdeki kalça kemikleriyle kıyaslandığında dişilerde daha geniş olan kalça kemikleri, hareketin verimliliğini ne kadar etkiler? Holly beni bu soruyla ilgilenen meslektaşları Herman Pontzer ve Anna Warrener'la tanıştırdı. New York'un panoramik manzarasına sahip Hunter College adındaki bir devlet üniversitesinin laboratuvarında buluştuk. Herman ve Anna birkaç öğrenciyi koşu bandında koşturuyordu, öğrencilerin yüzlerinde oksijen tüketimlerini ölçmeye yarayan maskeler vardı. Laboratuvarda geçirdiğimiz günün ardından gelen sonuçlar, yürümenin ve koşmanın verimini araştıran öteki çalışmaların bulgularını güzelce özetliyordu: Göreceli olarak daha geniş kalçalara sahip olsalar da kadınlar, erkeklerle aynı miktarda enerji harcıyordu.

Bu bana oldukça şaşırtıcı gelmişti çünkü daha geniş bir kalçayı saran kasların daha fazla enerji tüketmesini bekliyordum. Yürüdüğünüzde ya da koştuğunuzda bir kısmı kalçanızın dış

kısmında (ve ağırlığınızı taşıyan bacağınızın üzerinde) yer alan abdüktör kaslar[7] kasılarak pelvis bölgesinin dengede durmasını sağlar. Pelvis bölgesini yatay düzlemde tutmak çok önemlidir, çünkü bu sayede bir sonraki adımı atmanız için öteki bacağınızı kolaylıkla hareket ettirebilirsiniz. Ağırlığınızı verdiğiniz bacağın kalça kısmındaki abdüktör kaslar çalışmadığı zaman, hareket eden bacağınız yerde sürünür. Örneğin çocuk felcinde görülen bu önemli kas zayıflığı, bir bacağın öne hareket ettirilmesiyle kalça kemiğinin aşağı düştüğü ilginç bir yürüyüş biçimine yol açar. Trendelenburg yürüşü denilen bu durum, adını onu ilk tanımlayan Alman cerrahtan alır.

Öte yandan cinsiyetler arasında yürümenin ve koşmanın enerji bakımından verimliliğini araştıran çalışmalar, her şeyin bu kadar kolay olmadığını söylüyor. Erkeklerle karşılaştırıldığında daha geniş kalçalara sahip kadınların abdüktör kasları daha fazla çalışmak zorunda olsa bile, yürümenin ve koşmanın kadınlarda daha fazla enerji kaybına yol açmadığını gösteren birtakım şeyler de var. Örneğin yürürken bacakların duruş pozisyonunda hafif bir değişiklik yapmak, kaybedilen enerjiyi telafi edebilir. Ayrıca hareketin (yürümenin ve koşmanın) gereklilikleri, dişilerdeki pelvis bölgesiyle sınırlandırılmıyor olabilir. Bundan şüphe edilmesinin nedeni, günümüzde bu bölgeler arasında biçim ve boyutlar bakımından korkunç bir çeşitlilik olmasıdır. Doğal seçilimin her şeyi kontrol altında tutmak adına yoğun bir biçimde çalıştığı durumlarda, bu kadar fazla çeşitlilik görmeniz mümkün değildir.

Kadınların yürümede ve koşmada erkeklerle aynı enerjiyi harcadığını gösteren bu keşif, pelvis bölgesinin biçimsel kısıtlamalarıyla ilgili bir şeyi de ortadan kaldırır: Görünüşe göre dar kalçalara sahip olmanın bir faydası yoktur. Buna ek olarak fosil kanıtlar, pelvis bölgesinin insan evrimi boyunca büyük değişikliklere uğradığını gösterir. Daha eski dönemlerden küçük beyinli atalarımızla karşılaştırıldığında kendi cinsimiz *Homo*'nun ilk üyelerindeki pelvis bölgeleri mutlak bir genişlik artışını gözler önüne serer. O halde atalarımızın kalçaları genişlerken beyinleri de büyüyordu. Durum buysa dişilerin kalça kalçaları, hem doğumu kolaylaştırmak hem de bebeğin daha fazla içeride kalmasını sağlamak adına neden daha fazla genişlemedi ki?

7 Uzaklaştırıcı kaslar olarak da bilinir -çn.

Holly ve meslektaşlarıyla tanışmak için New York'a gitmeden önceki iki hafta boyunca izotropik olarak işaretlenmiş su içip kendimden üre örnekleri topladım ve bunları dondurdum; yolculuğumdan önce örnekleri onlara gönderdim. Herman, üremdeki farklı oksijen ve hidrojen izotop seviyelerinden yararlanarak metabolizma hızımı hesapladı ve New York'a vardığımda bu veriyi bir grafikle bana anlattı. Metabolizma hızım, hamile olmayan bir kadının metabolizmasının yaklaşık iki katı kadardı. Ben o zamanlar beş aylık hamileydim, gelişmekte olan bebeğime de enerji sağlıyordum. Herman'ın söylediğine göre metabolizma hızım, normalin iki katını aştığı zaman doğum başlayacaktı; yani vücudum, artık gelişmekte olan bebeğimin ihtiyacı olan enerjiyi karşılayamaz hale gelecekti.

Bu tahmin doğru verilere dayanıyordu. İnsanlardaki (ya da öteki herhangi bir memelideki) doğum zamanlamasının kesin olarak nasıl çalıştığı hâlâ anlaşılamamıştır, hatta bu "üreme biyolojisinde henüz yanıtı olmayan en önemli soru" olarak bilinir. Bu süreçte tam olarak hangi kimyasal habercilerin görev aldığı ya da bunu nasıl yaptıkları gibi mekanizmanın ayrıntılarına ilişkin hiçbir şey bilmiyor olsak da görünüşe göre doğum anı, bir çeşit enerji dengesiyle belirlenir. Doğum, annenin besleme kapasitesinin fetüsün enerji ihtiyaçlarıyla karşılayamadığı anda gerçekleşir. Bir annenin metabolizma hızı tıpkı bendeki gibi değişir: Hamileliğin ortalarına doğru normal, bazal metabolizma hızının (BMH) iki katına çıkar ve dokuzuncu aya gelindiğinde iki katını da aşar. Enerji tüketiminin bu dönüşü olmayan yola girmesi, hamileliğin son haftalarıyla aynı zamana rastlar.

Görünen o ki hamileliğin süresini belirleyen şey kalça kemiği genişliği değil, bahsedilen "enerji krizi" olabilir. Yine de bu kuramla ilgili birkaç sorunla karşı karşıya geliriz. Bebek doğduktan sonra da büyümeye ve enerji harcamaya devam eder; bu enerji, bizler de dahil tüm memelilerde anne sütüyle sağlanır. Öte yandan fetüse kıyasla doğduktan sonra gelişmeye devam eden bir bebeğin enerji ihtiyaçları daha fazladır, çünkü metabolizma hızı durmadan artar. Anne, bebeğin doğumundan sonra da ona enerji sağlamaya devam eder; ne var ki metabolizma hızının artma *oranı* giderek azalır. Dolayısıyla "enerji krizini" yaratan asıl şey, rahimdeki fetüsün durmadan artan enerji ihtiyacıdır; annenin vücudu bu

ihtiyaca yeterince hızlı bir biçimde yanıt veremez. Doğumdan sonra bebeğin enerji ihtiyacı artmaya devam etse bile bu artış, artık annenin ayak uydurabileceği bir seviyeye gelir.

Bu "enerji krizi" kuramı, insanlardaki doğum zamanlamasının eşsiz olmadığına ve aynı mekanizmaların öteki plasentalı memelilerde de görülebileceğine ilişkin bir açıklama sunduğu için çekicidir. Hamilelik süresi ve yenidoğanların boyutu, tüm memelilerde annenin vücut boyutuyla ilişkilidir.

Görünüşe göre bu yeni kuram insanlarda doğum zamanlamasını eski doğum ikilemi ya da DÇ kuramından daha iyi açıklar. Bu kurama göre doğum, fetüsün enerji ihtiyaçlarının hızlıca artmasıyla gerçekleşir. Fosillerden de anlaşılacağı üzere, hominin kalça kemikleri daha büyük beyinli bebekleri taşıyabilmek için zamanla genişlemiştir ama bu genişleme bir yere kadar sürmüştür. Kalça kemikleri genişlemeye devam etse bile, doğum zamanını belirleyen şey enerji kıtlığı olacağı için bebeklerin daha fazla içeride kalması mümkün olmayabilir. Yine de bu kuramın da açıklayamadığı bir şey var, o da insanlarda doğumun neden bu kadar zor olduğu.

İlk olarak doğumun öteki türlere kıyasla insanlarda daha zor olduğunu düşünmemiz ne kadar doğrudur? Elbette çoğu memeliyle karşılaştırıldığında insanlar daha zor doğum yapıyor olabilir ama primatlara dönüp baktığımızda onlar için de doğumun pek kolay olmadığını görürüz. Bu tip karşılaştırmalar yapmak, yeterli sayıda kuyruksuz maymun doğumuna tanık olunmadığı için pek doğru da olmayabilir. Oysa yapılan gözlemler, insanlara kıyasla daha geniş kalça kemiklere sahip olan şempanzelerin, gorillerin ve orangutanların daha kolay doğum yaptığını gösterir. Aslında daha kötü durumda olanlar maymunlardır. Dört ayaklılarda genellikle yanlardan basık, derin göğüs kafesleri vardır; kalça kemikleri de benzer bir biçimde gelişmeye devam eder. O halde dört ayaklı maymunların kalça kemikleri dardır, bu da doğumu zorlaştırır. Özellikle marmosetler ve sincap maymunlarında annelerin kalça kemikleri, neredeyse fetüslerin kafatasları kadardır.

Bu durumda tüm memelilerin kolayca doğum yaptığı ama insanların hiç görülmemiş zorluklar yaşadığı doğru değildir. Aksine, bir çeşit zorluk derecesi olduğu söylenebilir. İnsanlarda doğum, bu zorluk derecesinin kesinlikle en başlarındadır; öteki primatlara kıyasla doğum daha uzun sürer ve görünüşe göre daha

çok acı verir. Maymunlarda fetüsün kafasıyla kalça kemiği açıklığı boyut olarak birbirine çok yakın olsa da dar omuzları doğumu kolaylaştırabilir. Hem büyük kafatasları hem de maymunlara kıyasla daha geniş omuzları olan insan yavruları, doğum kanalı boyunca 270 derece dönerek üç farklı dönüş pozisyonundan geçer. İnsan yavruları, bu dönüşler nedeniyle genellikle yüzleri aşağı dönük bir biçimde doğar; oysa maymunlarda yeni doğan yavruların yüzleri yukarı dönüktür. Bir anne maymun, yavrunun yeni görünmeye başlayan başından tutup çekerek dünyaya gelmesine yardımcı olabilir. Öte yandan doğum anında insan yavrusunu başından tutup yukarı çekmek ve boynunun geriye düşmesini neden olmak çok tehlikeli olabilir. Doğumda yalnız olabilecekleri bir yer arayan primatlara kıyasla insan annelerinin yardıma ihtiyacı vardır. Bu nedenle ebelik, muhtemelen çok ama çok eski bir meslektir.

Doğum, acı vermenin yanı sıra riskli olabilir. Annenin kalça kemiği açıklığı ve fetüsün kafatası arasındaki uyuşmazlık doğumu zorlayabilir; yani bebek doğal yollarla dünyaya *gelemeyebilir*. Bu durumda hem annenin hem de bebeğin yaşamı tehlikeye girer. Günümüzde çoğu toplumda doğum sırasında annelere yardım ediliyor olsa da zor doğum eylemi, hâlâ pek çok insan popülasyonu için önemli bir meseledir.

Dünya genelinde her yüz doğumdan yaklaşık üç ila altısında zor doğum eylemi ya da distosi görüldüğü düşünülmektedir. Kısa bir süre önce Batı Afrika'da yapılan bir araştırma, bu durumun görülme sıklığının her beş doğumdan birinde olduğunu belirten çok daha yüksek bir oran ortaya atmıştır. Distosinin hem annenin hem de bebeğin yaşamkalımını nasıl bir tehlikeye attığı düşünüldüğünde, evrim süresince dişi kalça kemiğinin daha da genişlememiş olması tuhaftır.

İnsanlarda doğum zamanlamasının ve bakıma muhtaç yavruların nedeni olarak DÇ kuramını reddetmiş olsak da bu kuram hâlâ doğumun zorluğuyla ilgili mantıklı açıklamalar sunar. Kadınların ve erkeklerin hareketi, harcanılan enerji bakımından aynı olabilir. Öte yandan dişilerdeki kalça kemiğinin genişlediği durumda hareketten *ödün vermek* söz konusu olacaktır. Ne var ki bu da kulağa pek doğru gelmiyor. Terazinin iki ucuna neler koyduğumuza bir bakalım; bir yanda daha geniş kalça kemiklerine sahip olmanın yürüme ve koşma üzerindeki enerji talebini artır-

ması var, öbür yanda da daha az enerji tüketimi gerektiren dar bir kalça kemiği annelerin ve bebeklerin yaşamlarını tehlikeye atıyor. Bu, çok da mantıklı bir pazarlığa benzemiyor. Çok dar bir kalça kemiğinin doğumda yaratacağı sonuçlar, hareket bakımından biraz daha dezavantajlı olmaktan çok daha ağır geliyor. Dolayısıyla doğal seçilim, yaşamkalımı bu denli riske atabilecek kalça kemiği genişliği üzerinde bu denli bir sınırlama getirmiş olamaz.

O halde bugün bazı popülasyonlarda görülen yüksek distosi oranlarını nasıl açıklayabiliriz? Bu durumun ortalama yüz doğumdan üç ila altısında görülme olasılığı bile fazladır. Belki de doğal seçilim, henüz bu konuda bir şeyler yapmak için yeterince zaman bulamamıştır: Doğumda zorluk çekmek muhtemelen çok yeni bir fenomendir ve hiçbir atamız, bugün olduğu gibi bunu yaşamamıştır. Görünen o ki bu düşünce, hem arkeolojiden hem de yeni elde ettiğimiz verilerden destek alır.

Elimizde pek dayanıklı veriler olmasa da çağdaş avcı toplayıcı toplulukların hikâyelerine dayanan kanıtlar, distosinin çok nadir görüldüğünü ortaya koyar. Bu duruma arkeolojik kayıtlarda da az rastlanır: Farklı çağlardan, farklı bölgelerden çıkarılan kadın iskeleti örneklerinde fetüsün kalça kemiğinde sıkıştığı örneklerin sayısı bir elin parmaklarını geçmez. Ne var ki bu tablo, özellikle de çocukluk çağında yetersiz beslenmenin kız çocuklarının gelişimini etkilediği çağdaş tarım toplumlarında oldukça farklıdır. Bu toplumlardaki kadınlar, genellikle daha kısa boyludur ve daha dar kalça kemiklerine sahiptir; ayrıca doğum hizmetlerine erişimleri kısıtlıdır.

Distosi, günümüz zengin toplumlarında doğum yapan kadınlar arasında da aşağı yukarı aynı oranda görülür. Bu sorun, annelerin glisemik indeksi yüksek bir beslenme düzeni (başka bir deyişle, kan şekerini yüksek seviyelere çıkaran bir beslenme düzeni) takip etmesinden kaynaklanabilir. Bu tipte bir beslenme, bebeklerde doğum kilosunun artmasına neden olur. Dolayısıyla bu noktada asıl sorun kalça kemiklerinin darlığından çok bebeklerin çok büyük olmasıdır.

Yetersiz beslenmenin distosi oranını artırdığı ve kadın doğum hizmetlerine kısıtlı erişimin olduğu fakir ülkelerde, doğal seçilim daha geniş kalça kemiklerine sahip kadınları ya da daha az kilolu bebekleri seçerek şimdi harekete geçiyor olabilir. Doğal seçilim, doğumun zorlaştığı anda yardımcı olmak için hazırda bekleyen kadın doğum uzmanlarının bulunduğu zengin ülkelerde tökezle-

yebilir. Annenin kalça kemiğiyle bebeğin kafatası genişliği arasındaki uyuşmazlık, vajinal doğumu tehlikeli, hatta imkânsız bir hale getirse bile hem annenin hem de bebeğin yaşamkalım olasılığı çok yüksektir. Şüphesiz ebelerin yardımıyla kadın doğum uzmanının neşteri, doğal seçilim tırpanından çok daha keskindir.

Bugün insan toplumlarında görülen zorlu doğumlar için atalarımızı suçlayabiliriz. Doğum esnasında yardım almak, büyük kafatasları olan bebeklerin ya da annelerdeki dar kalça kemiklerinin aleyhine ortaya çıkan seçici baskıyı azaltmış olabilir. Öyleyse doğumun bu kadar zor olmasının nedeni yardımseverliğimizdir: Atalarımız doğum yaparken yardım aldığı için bizler de aynı yardıma muhtacız. Ebeliğin dünya üzerindeki en eski meslek olduğu söylenir; görünüşe göre bir ebeye ihtiyaç duyulan ilk andan itibaren artık onlarsız yapamayacağımız kesinleşmişti.

Balık ve amfibi atalarımıza kadar uzanan evrimsel ipuçlarını bulup kara hayvanlarının hamilelik sorunlarının üstesinden nasıl geldiğinden, insan dişilerinde kalça kemiği boyutunun fetüsün ana rahminde kalacağı süreyi etkilemediğinin keşfine doğru uzun bir yolculuk yaptık. Muhtemelen artık klitoris ve penis hakkında daha çok şey biliyorsunuz. Öte yandan pelvis bölgesi, cinsel organlara ev sahipliği yapmanın ve doğum kanalını oluşturmanın yanı sıra önemli bir görevi daha üstlenir: Gövdeniz ve bacaklarınız arasındaki bağlantıyı sağlar.

KOLLAR VE BACAKLAR

YÜZGEÇLER, UZUVLAR VE ATALARIMIZ

"Bir zamanlar denizler damlacıklarla doluydu; ardından balıklar, kertenkeleler, fareler, maymunlar ve daha yüzlerce canlı doğdu. Bir zamanlar bu el bir solungaçtı, bir zamanlar bu elin pençesi vardı!"

TERRY PRATCHETT

UZUV TOMURCUKLARI VE BÜYÜME PLAKLARI

Kol ve bacaklarınızın nasıl oluştuğunu anlayabilmek için embriyo gelişiminizin en başlarına gitmemiz gerekir. Döllenmeden yaklaşık dört hafta sonra, dümdüz ve üç katmandan oluşan embriyonuz iç içe geçmiş silindirlere dönüşür. Bu aşamada başınızın iki yanında göz lenslerinizi ve iç kulaklarınızdaki sıvı dolu labirentleri oluşturacak kalınlaşmış diskleri görebilirsiniz. Boynunuz yanları, solungaçlara benzeyen bir dizi brankiyal ya da faringeal kemerlerle donatılmıştır. Sırtınızda iki sıra halinde dizilmiş somitler göze çarpar; burada bir de kollarınızı ve bacaklarınızı oluşturacak iki çift "tomurcuk" bulunur. Kol ve bacak tomurcukları, üç katmanlı embriyo diskin ortasından, ektodermin dış katmanıyla çevrili mezoderm katmanından (embriyonik sandviçin reçel kısmından) meydana gelen gevşek bağ doku çekirdekleridir. Altıncı haftaya gelindiğinde kol ve bacak tomurcuklarınız uzar; uçları, el ve ayak plaklarını oluşturmak adına düzleşir.

Yedinci hafta boyunca el ve ayak plaklarındaki hücreler ölmeye başlar. Bu normal bir gelişim evresidir; insan vücudunun biçimlenmesi, hücre gelişimi ve çoğalmasıyla olduğu kadar hücre ölümüyle de olur. Hücre ölümü, bir vücut inşa etmek için gereken genetik bilgi akışının seyrelmesi açısından önemlidir. Hatta bu süreç, karmaşık vücutlara sahip her hayvanın embriyo gelişimine ilişkin temel adımlardan biridir. Çoğu kez fazla doku üretip gereksiz kısımları sonra budamak, en baştan dikkatli bir biçimde bir planı uygulamaktan daha kolaydır. Bunun güzel bir örneği gelişmekte olan sinir sisteminde görülebilir. Yeni doğan bir bebeğin beyninde yaklaşık doksan milyar nöron bulunur. Daha sonra nöronların kendileri ve dalları, yetişkin beyninde ilk baştakinin neredeyse yarısı kadar nöron kalana dek budanır. Bu budama işlemi sadece yararlı olan nöronları ve sinapsları bırakır; bu da öğrenmenin fiziksel bir göstergesidir. Ayrıca nöronlar arası tüm bağlantıları teker teker programlamaktansa çok fazla nöronla baş-

layıp bağlantılar kurulduktan sonra ihtiyaç duyulmayanları ortadan kaldırmak daha kolaydır. Üç yaşındaki kızım da bu kuralı başka bir durumda uyguluyor. Yapıştırıcı ve sim kullanarak resim yaparken ilk olarak yapıştırıcıyla bir şeyler çiziyor. Sonra yapıştırıcıyı sürdüğü yerlere dikkatlice simleri yapıştırmayıp tüm simi kâğıdın üzerine boşaltıyor ve kâğıdı sallayıp simin fazlasını temizliyor. Aynı mantıkla gözün gelişimi sırasında gerçekleşen hücre ölümü, gelişmekte olan lens keselerinin etrafını saran ektoderm yüzeyinden ayrılmasını sağlar. Programlı hücre ölümü ya da hücrelerin intihar etmesi sayesinde silindir yapıdaki sert dokuların içleri oyulur ve embriyonun kan damarları ilk olarak böyle oluşur. Kalp odacıkları hem hücre gelişimi hem de hücre ölümüyle biçimlenir. Öyleyse insanlarda, farelerde ve kuşlarda gelişmekte olan kolların ve bacakların uçlarında görülen hücre ölümü, parmak ya da benzeri yapıların birbirinden ayrılmasını sağlar. Programlı hücre ölümü gerçekleşmediği durumlarda el ve ayak parmakları birbirine yapışık kalır.

Kollar ve bacakların dış görünüşü, sırayla bir tomurcuktan minyatür bir kola ya da bacağa dönüşürken, içerde de aynı derece hareketli ve ilginç olaylar olur. Mezoderm çekirdek içindeki embriyo hücreleri kümelenir ve kıkırdak hücrelerine dönüşür. Altıncı haftada uzuvların içlerinde ufacık kıkırdak modelleri oluşur; bunlar, uzuvlarda zamanla gelişecek kemiklerin taslaklarıdır. Bu kez de eklemleri oluşturmak için kıkırdaklar arasında hücre ölümü gerçekleşir. Yeni oluşan kıkırdak boşluklarını çevreleyen hücreler, zamanla eklemlerdeki kemik yüzeyleri kaplayan kıkırdaklara dönüşür. Bu hücreler, eklemleri yağlayan kaygan eklem sıvısının bulunduğu zarı da meydana getirir.



İnsan embriyosunda gelişmekte olan kol ve el

Sekizinci hafta boyunca, her bir kemik "taslağının" ortasındaki kıkırdakların bir kısmı gerçek kemik dokusuna dönüşmeye başlar. Bu kemikleşme doğuma kadar, sadece "kemik" uçlarında kıkırdak kalana dek yayılmaya devam eder. Doğumdan sonra uçlarda da kemikleşme adacıkları görülmeye başlar ama bunlar uzun yıllar boyunca kemiğin gövdesine dahil olmaz. Kemiklerinizin hızlıca büyümesinin sırrı, içlerindeki az miktardaki kıkırdak yapıdır. Bu kıkırdaklar kol ve bacaklarınızdaki uzun kemiklerin uçlarıyla kemik gövdeleri arasında sıkışarak disk biçimini alır. Bu disk "büyüme plağı" olarak bilinir ve sadece kemiğin ucu gövdeyle kaynadığı zaman ortadan kalkar, bu da gençlik yıllarınızın sonlarında doğru kemiklerinizin tamamen geliştiği zaman gerçekleşir. Kıkırdak yapı kaybolduktan sonra kemikleriniz artık uzayamaz. Bazı kemiklerde bu kaynama gerçekten de çok geç olur; örneğin klavikulanızın (ya da köprücük kemiklerinizin) iç kısmındaki büyüme plağı yetişkinliğe kadar kalır ve siz otuzlu yaşlara gelene kadar tamamen kaynamaz.

Büyüme plakları farklı zamanlarda, (biyolojideki her şey değişime bağlı olsa da) oldukça kontrollü bir biçimde kaynar. Bu da bir çocuğun normal seyirde büyüyüp büyümediğini anlamak için büyüme plaklarının gelişimine bakılabileceği anlamına gelir. Büyüme plaklarına bakmak, genç arkeolojik iskeletlerinin yaşını belirleme konusunda da inanılmaz faydalıdır. Size Galler'in kuzeyindeki Anglesey adasında bulunan ve Vikinglere ait arkeolojik sit alanından bir örnek vereyim.

Bahsettiğim arkeolojik sit alanı, Anglesey adasının kuzeydoğu kıyı şeridine yakın bir çiftliğin içinde bulunur; burası anakaradaki Snowdia bölgesinin muhteşem manzarasıyla çevrilidir. Bölgede Viking parası bulan bir metal arayıcı tarafından keşfedildikten sonra Dr. Mark Redknap'ın öncülüğünde Ulusal Galler Müzesi [National Museum of Wales] arkeologları tarafından incelenmeye başlanmıştır. Vikinglerin anavatanları İskandinav ülkeleriyle İngiltere'nin kuzeybatısındaki Batı İskoçya ve İrlanda yerleşimleri arasındaki ticaret yolları üzerinde bir mola noktası olan bu yer, Galler'deki Viking yerleşiminin ilk kanıtıdır. Burada on yıl boyunca her yaz kazı çalışmaları yapılmıştır; ben de kemikler üzerine uzmanlaşmış yerli bir arkeolog olarak bu kazıların çoğunda elime bir kürek aldım. Çalışmalar boyunca, yerleşimin kena-

rındaki bir hendekten çıkarılan beş iskelet dahil birkaç mezar keşfedildi. Hendekteki vücut kalıntılarının nasıl bir halde bulunduğunu düşününce bunlara mezar demek oldukça resmi kaçıyordu: Doğruyu söylemek gerekirse özensiz bir biçimde buraya atılmışlardı. Bir erkek iskeletinin elleri birbirine o kadar yakın bir biçimde önünde duruyordu ki, muhtemelen gömülürken elleri bağlıydı. Bu insanlar her kimse, muhtemelen zamansız bir ölümle karşılaşmışlardı. İskeletlerden ikisi çocuklara aitti.

Kazı çalışmalarında iskeletlerin çıkarılmasına yardım etmiş olsam da asıl işim, kazdığımız yerleri doldurduktan uzun bir süre sonra devam etti. İskeletler, Cardiff'deki Ulusal Galler Müzesi'nde büyük bir dikkatle temizlendi ve kemik parçaları yerlerine yerleştirildi. Ardından kemikleri inceleme ve bu insanlar hakkında onlardan geriye kalanlardan elimden geldiğinde bilgi almaya çalışma sırası artık bendeydi.

"Mezar 2" adlı iskelet kemikleri arasındaki uzun kemiklerin büyük bir kısmı kaynamamıştı. Kemik gövdelerin kör uçları ve kemiklerinin kapağımsı uçları, henüz kaynamamış ve kıkırdak yapıdaki bir büyüme plağının yakınlarında bulunan kemiklerin tipik özelliği olan pürüzlü görünüşe sahipti. Kıkırdak yumuşak bir yapıda olduğu için gömüldükten sonra kaybolur; geriye sadece iskeletin kemik kısımları kalır. Önümdeki iskeletteki büyüme plağının kaynama izlerine dikkatlice baktım. Humerus kemiğinin (üst kol kemiğinin) alt kısmı henüz kaynamamıştı; bu kemik, aşağı yukarı on yedi yaşlarında kaynıyordu. Parmak kemiklerinin tabanları da henüz kaynamamıştı, bunlar da on altı yaşına doğru gelişimini tamamlıyordu. Sadece kalça eklemini oluşturan üç kemik kaynamıştı ve bunlar da en erken on bir yaşında kaynıyordu. Tüm bunlar bana iskeletin on bir ile on altı yaşları arasında biri olduğunu gösteriyordu. İskeletin dişleri de oldukça iyi korunmuştu, dişleri dikkatlice incelediğimde daha doğru bir yaş tahmini yapabildim. İkinci büyük azı dişleri çoktan çıkmıştı, üçüncü büyük azı dişleriyse (yirmilik dişleri) henüz ortada yoktu. Bu yirmilik dişlerinin taç bölgesi tamamlanmış olsa da kökleri henüz oluşmamıştı. Öyleyse bu çocuk öldüğünde on iki ya da on üç yaşındaydı.

Kendimi her ne kadar tarafsız bir bilim insanı olarak görsem de hâlâ bir insanım. Özellikle de şiddet görerek öldürüldüğü açık-

ça belli olan bu kalıntılara bakıp üzülmemek imkânsızdır. Bu çocuğun (ve aynı hendeğe atılan öteki insanların) ölüm nedeni hâlâ çözülememişse de arkeologlar, Galler'in o bölgesinde çok uzun zaman önce neler olduğunu anlamak için hâlâ bu vakalar üzerine çalışıyor. Acaba bunlar bir Viking saldırısında ölen yerliler miydi? Yoksa Galler yerlileri tarafından öldürülen Vikingler miydi? Belki de çapraz ateşin ortasında kalmışlardı? Diş minelerinin kimyasal analizini yapmak bu sorulara yanıt verebilir; öyle de olmuştur ve bu insanların Vikingler olabileceği öne sürülmüştür. Yine de ölümlerinin neden kaynaklandığını bu eski kalıntılarla açıklamak zordur. Şimdi Vikinglerle ilgili hikâyeyi burada sonlandırmam gerekiyor. Zaten kemik uzmanı bir arkeolog olarak işim, kemikleri ölçüp notlar aldığım ve iskeletin fotoğraflarını çektiğim anda bitmişti. Sonrasında tek yaptığım, kemikleri asitsiz karton kutulara koyup işime devam etmekti.

MİYOTOM DANSI

Embriyonuzdaki kollarınızı ve bacaklarınızı kemiklerle doldurduk ama bu kemikleri hareket ettirmek için kasları eklemediğimiz sürece pek bir işe yaramayacaklar. Ne de olsa kemiklere sahip olmanızın temel nedenlerinden biri, bu yapıların kaslarınız için tutunacak bir altyapı sağlamasıdır. Kollarınızdaki ve bacaklarınızdaki kaslar, siz daha küçücük bir embriyoyken gelişmekte olan omurganızdan yanındaki doku kümelerinden buralara göç etmiştir. Bu kaslar, ilk olarak ayrı kas dokusu bölümleri olarak ortaya çıkmış, ardından oluşan kas kümeleri iç içe geçmeye ve ayrılmaya başlamıştır; böylelikle kol ve bacak uzuvlarındaki belirli kasları oluşturmuşlardır. Bu kasların büyük bir kısmı, en baştaki iki ya da üç (ya da daha fazla) kas bölümlerinden ya da somitten kalan dokuları barındırır. Yetişkin kolunuzun ön kısmındaki biseps braki kasınız (ya da kısaca bisepsiniz) boyun bölgesindeki beşinci ve altıncı somitten meydana gelmiştir. Yetişkin kaslarınıza bağlı olan sinirlerin kontrol alanı, embriyodaki köken-

lerini yansıtır; biseps kasına bağlı olan müskülokutanöz sinirde motor sinir lifleri bulunur. Bu sinir lifleri, boyun bölgesindeki beşinci ve altıncı omurilik sinirlerinden çıkıp müskülokutanöz sinirle birleşir. Daha aşağıya inip ellerinize bakarsanız burada, sekizinci servikal sinirin (C8) ve ilk torakal sinirin (T1) beslediği kasları görürsünüz. Parmaklarınızı kenetleyip avuç içleriniz dışarıya doğru bakacak biçimde esnettiğinizde, kaslara sinir iletimini yapan asıl sinir C8'den çıkandır. Parmaklarınızı yanlara doğru açarsanız bu kez de T1 siniri işbaşında demektir. "Miyotom" teriminin iki anlamı vardır: Biri iskelet kasına dönüşecek somit kısımları, ötekiyse yetişkin vücudunda embriyodan kalma ortak bir çıkış noktası bulunan ve tek bir omurilik siniri tarafından beslenen kas grupları anlamına gelir.

Tıp öğrencileri, hem kasların embriyodaki çıkış noktalarını bilmek için hem de herhangi bir omurilik sinirinde hasar meydana geldiğinde bu hasardan hangi kasların etkileneceğini anlamak için kollar ve bacaklardaki miyotomları öğrenirler. Omurilik sinirleriyle belirli kaslar arasındaki bağlantıları ve bu bağlantıların sonuçlarını ezberlemenin kolay yollarından biri de "miyotom dansı"dır. Dansın koreografisi kolaydır; sıra halindeki omurilik sinir köklerini ve bunlara bağlı üst ekstremitelerle (kollar ve eller) alt ekstremitelerin (biz anatomistlerin bacaklara ısrarla vermek istediği ad budur) hareketlerinden oluşur. Bu dansın pek çok örneğini dilerseniz Youtube'da bulabilirsiniz.

Yetişkin kollarınız ve bacaklarınızdaki bu kas-sinir örüntüsünün kökenleri, embriyodaki bölümlere kadar uzanır ve sadece insanlarda görülmez. Bu genel örüntü öteki memelilerle, hatta tüm tetrapodlarla paylaştığınız bir şeydir. Omurgalı kara hayvanları grubunun bir üyesi olarak kollarınız ve bacaklarınız omurganız üzerinde belirli bir biçimde konmuştur. Üst ekstremiteleriniz (dört ayaklı hayvanlardaki ön bacakların eşdeğerleri) omurganızın boyun bölgesinden göğüs bölgesine geçiş yaptığı seviyeden çıkar. Alt ekstremiteleriniz de (arka bacakların eşdeğerleri) omurganızın bel bölgesinden kuyruk sokumuna geçiş yapılan noktadan gelişir. Bu vücut örüntüsü amfibi, sürüngen, kuş ya da memeli olsanız dahi değişmez. Bir tetrapodun "tasarımı" böyle kısıtlanmıştır; kollarının ve bacaklarının göğsünden ya da kuyruğunun ucundan çıkan bir tetrapod yoktur. Aslında bu faydalı bir kısıtlama olabilir; kolları ve

bacakları farklı farklı yerlerden çıkan hayvanlar, iyi hareket edemeyecekleri için doğal seçilim tarafından ayıklanabilir. Bu kısıtlama daha temel bir şey olarak genomunuza kazınmış da olabilir. Denis Duboule'nin araştırma ekibi, *Hox* ana denetim genlerinin vücudun bölümlerini belirlemenin yanı sıra kolları ve bacakları denetlediğini keşfetmiştir. Muhtemelen *Hox* genleriyle oynayarak vücudun farklı bölgelerinden kolların ve bacakların çıkmasını sağlayabilirsiniz ama bu tüm vücut düzenini öyle bir altüst eder ki, bu organizmanın yaşayabilmesine imkân yoktur.

Daha önce de pek çok yapıda gördüğümüz üzere anatomik parçalar birden var olmaz. Evrim geri dönüştürmeyi, kullanılan parçaları farklı biçimlerde kullanmayı ve sağı solu kurcalamayı sever. Tetrapod kolları ve bacakları, balık ataların karaya geçişi esnasında bir anda vücutlarından fırlamamıştır, hem bu ataların zaten yüzgeç biçiminde uzuvları vardır.

YÜZGEÇLER, KOLLAR VE BACAKLAR

Yüzgeçlerle kol ve bacak uzuvları arasındaki bağlantı, yeni bir keşif değildir. İngiliz biyolog ve karşılaştırmalı anatomist Richard Owen, 1849 yılında yayımlanan *Kol ve Bacakların Doğası Üzerine* [On the Nature of Limbs] adlı kitabında bu konuyu ele almış; memeliler ve kuşların uzuvlarıyla balıkların yüzgeçleri arasında bir karşılaştırma yapmıştır.

Richard Owen biyoloji alanına önemli katkılar yapmıştı ve on dokuzuncu yüzyılın önde gelen biyologlarından biriydi. Ne var ki zaman içinde neredeyse evrensel olarak sevilmeyen, hakkında çok tartışılan bir kişi haline geldi. Çok ılımlı bir Victoria dönemi beyefendisi olan Darwin bile Owen'dan nefret ettiğini yazdı. Richard Owen önce Edinburgh, sonra da Londra'da tıp okudu, aslında doktor olacaktı ama sınavlarını verdikten sonra kliniğe sırtını döndü. Anatomi alanında araştırmalara yönelip *Kraliyet Cerrahlar Koleji* [Royal College of Surgeons] adlı kurumda profesör ve müze müdürü oldu. Ardından, 1856 yılında British Museum'un doğa tarihi bölümü yöne-

ticisi olarak atandı ve bu bölümün Güney Kensington'daki yeni evine taşınmasında rol oynadı. Bugün burası British Museum ve Doğa Tarihi Müzesi olarak bilinir.

Owen'ın araştırmaları çok çeşitliydi. Hem süngerler, at nalı yengeçleri ve sedefli deniz helezonları gibi omurgasızlarla hem de her türlü omurgalılarla ilgili araştırmalar yapıp makaleler yazdı. Eski dönemlerden bazı sürüngenlerin memelilere benzer özellikleri olduğunu fark etti ve "korkunç kertenkele" anlamına gelen "dinozor" kelimesini türetti. Londra'daki Kristal Saray'ın parkına uğrarsanız, Owen'ın dinozorların nasıl görünebileceğine ilişkin vizyonunu görebilirsiniz; bu parkta *Büyük Sergi* [Great Exhibition] için tasarımında yardımcı olduğu birkaç heykel, hâlâ etraftadır ya da parkın içindeki gölde yüzmektedir.

Kariyeri boyunca düşman edinmekte Owen'ın üstüne yoktu. Öteki bilim insanlarının araştırmalarını kendininmiş gibi gösterdiği için *Royal Society*'nin zooloji konseyi tarafından işine son verildi ve itibarı yerle bir oldu. Görünüşe göre alanda henüz yeni olarak gördüğü birinin evrim hakkında bu denli etkileyici bir kitap yazmasına da sinirlenmişti; 1860 yılında *Edinburgh Review* dergisinde Darwin'in *Türlerin Kökeni* adlı eseri üzerine yazdığı eleştiriyi anonim olarak yayımladı. Bu eleştiri hâlâ çok rahatsız edicidir. Owen, Darwin'in "türlerin değişimini" tartışan ilk bilim insanı olmadığını söyleyip duruyordu ve "genç doğa bilimcilerin akıllarının 'doğal seçilimle' çelindiğini" dile getiriyordu.

Belki de Darwin hakkında fazla hassas olabilirim ama şu cümlede hafif bir küçümsemeden daha fazlası olduğunu hissediyorum: "Bay Darwin hariç hiçbir doğa bilimci, kaya midyelerinin yapılarına bu denli özen göstermemiştir." Owen, Darwin'in kitabından kaya midyelerinin anatomisi, karıncaların ve arıların davranışları, yağmur kuşlarının ayaklarına bulaşan çamurla tohumları etrafa taşıma olasılıkları ve evcil güvercinlerin özellikleriyle ilgili bölümleri tek tek sıralayıp doğa tarihine gerçekten katkısı olabilecek düşüncelerin bunlardan ibaret olduğunu söyledi. Hatta şöyle diyordu: "Bu saydıklarım, en önemli ve en özgün gözlemlerdir… İncelememize göre bunlar kitabın gerçek cevherleridir; her ne kadar bir elin parmaklarını geçmeseler ve alakasız olsalar da…" Of, çok fena!

Aslında eleştirisinden de anlaşıldığı üzere Owen evrimi reddetmiyordu. Öte yandan Darwin'in öne sürdüğü doğal seçilim mekanizma-

sını açıkça sorguluyordu. Owen'a göre türlerin üreme süreci, "sürekli işleyen yaratıcı bir güç" tarafından önceden belirlenmişti ve aynı güçle yönetiliyordu. Dolayısıyla bu düşünce, Darwin'in doğal seçilim yoluyla evrim kuramıyla doğrudan ters düşüyordu; Darwin'e göre değişimler, temel olarak organizmaların etraflarındaki çevreyle etkileşimleri sonucunda ortaya çıkıyordu. Owen, özellikle hayvanlarda büyük değişiklikler olabileceği, bir türün bambaşka bir türe dönüşebileceğini belirten düşünceden çok rahatsız olmuştu.

Tüm bu olanlardan on bir yıl sonra *Uzuvların Doğası* [On the Nature of Limbs] adlı bir kitap yazan Owen, görünüşe göre organizmaların zaman içinde büyük bir ölçüde değişebileceği düşüncesine alışmıştı, hatta kitabını şu cümlelerle sonlandırdı: "Doğa yavaş ve görkemli adımlarla, yol gösteren bir ışığın öncülüğünde ilerlemiştir… Ta eskiden balık cübbesinin altında saklı ilk Omurgalı'dan, İnsan'ın şanlı giysiyle giydirilip kuşatılana kadar."

Owen'ın insanların kuyruksuz maymunlar soyundan geldiği düşüncesiyle ciddi bir sorunu vardı. Biz insanları, memelilere dahil ayrı bir alt sınıf olarak görüyordu ama insanların balıklarla aynı soydan geldiğini (yani çok daha uzak bir akrabalık görüşünü) savunuyordu. Owen'ın cümlelerine bakıldığında *scala naturae*'ye ve insanların yaşam zincirinin son halkası olduğuna inandığı belliydi. Ona göre farklı hayvanların uzuvları arasındaki benzerlikler, aynı şeyin farklı biçimleriydi. Tüm bu biçimler, çok önceden yapılmış bir planın parçasıydı. Owen, evrimin tanrısal bir varlık tarafından yönetildiğini düşünmediği için bir yaratılışçı olmayabilir ama "Doğa" olarak tanımlanan bir güç tarafından yönlendirildiğine inanıyordu.

Bugün Owen'ın yaptığı çıkarımlar tuhaf gelse de gözlemlerini özenle yapmış, kara hayvanlarının uzuvlarıyla balıkların yüzgeçleri arasında derin bir benzerlik olduğunu fark etmişti. Bu benzerliği ilk fark eden kişi olmadığını da biliyordu. Kitapta şöyle diyordu:

> Bu kitabın konu aldığı "uzuvlar", omurgalı hayvanlarda görülenlerle sınırlandırılmıştır; bu uzuvlara insanlarda, "kollar" ve "bacaklar", hayvanlarda "ön ayaklar" ve "arka ayaklar", yarasalarda ve kuşlarda "kanatlar" ve "ayaklar", balıklardaysa "göğüs yüzgeçleri" ve "karın yüzgeçleri" denir. Bahsedilen özel homoloji, uzun zaman önce anlaşılmış ve kabul edilmiştir.

Sonra, ilk bakışta çok farklı görünen benzer uzuvları; denizineğinin küreğe benzer "yüzgeçlerini", köstebeğin ön ayaklarını, yarasaların kanatlarını, atın bacaklarını ve insanların kollarıyla bacaklarını açıklamaya başlıyordu. Bahsedilen çeşitli uzuvların dış görünüşlerinin ve işlevlerinin birbirinden farklı olduğuna dikkat çekerek, "Burada şaşılacak bir şey yok, başka türlü bir durum söz konusu değildir; enstrüman, kılıfına uymalıdır," diyordu. Ne var ki bunların hemen ardından insanlar tarafından üretilen deniz, hava ve kara araçlarını sayıyordu: "Tekneler ve balonlar, Stephenson'ın tasarladığı lokomotif motoru, Brunel'in tünel açma makinası..." Tüm bu araçların farklı tasarımları olduğuna dikkat çekiyordu. Owen'a göre farklı uzuvların dış görünüşlerini belirleyen, *kullanım amaçları*ndan fazlasıdır, çünkü böyle olmasaydı benzerlikler olmaz, aksine daha fazla çeşitlilik görülürdü.

Owen, bir organizmanın *kendi* uzuvları arasındaki benzerliklere de dikkat çekiyordu: "Uyluğun kolun üst kısmına, baldırın ön kola, ayak bileğinin el bileğine ve beş parmaklı ayağın beş parmaklı ele benzediğini görebilir..." Saydığı tüm uzuvlardaki kol ve bacak kemikleri, şaşırtıcı bir biçimde benzerlik gösteriyordu.

Türler arasında karşılaştırma yapan Owen, insan kolundaki parçaların atın ön bacaklarındaki parçalarla aynı olduğunu; sadece bizlerdeki beş parmağın atta bir parmağa indirgendiğini dile getiriyordu. Aynı parçalar, yarasaların kanatlarında da vardı. Farklı hayvanların uzuvları arasındaki homolojinin genetik kodlamalarla sağlandığını artık biliyoruz: *Hox* genleriyle tanıştık. Owen, balıkların yüzgeçlerinde de benzer parçalar görmüştü, hatta el parmaklarıyla yüzgeç kemiklerinin homolog yapılar olduğunu düşünüyordu. Ne var ki bu düşüncenin doğru olmadığı sonradan ispatlanmıştı; dört ayaklılar için eller ve ayaklar yeni yapılardı, tamamen farklı bir dizi *Hox* geninin aktif olmasıyla meydana geliyorlardı. Dolayısıyla balık ataların yüzgeçlerinde bulunan yapılardaki uyarlanımlardan kaynaklanmıyorlardı. Dört ayaklı atalarımızın ön ve arka ayaklarındaki parmakların aynı anda çıkmış olması neredeyse imkânsız gelebilir. Oysa bütün parmakları üretebilmek için *Hox* genleriyle çalışan tek bir genetik "tuşa" basmak yeterlidir.

Peki bu inanılmaz değişim ne zaman gerçekleşti? Bu soruyu yanıtlayabilmek için kayalıkların dönüp keşfedilmemiş topraklara adım atan hayvanların fosillerini aramamız gerekir.

GRÖNLAND DESTANI

Ünlü paleontolog Jenny Clack, 1987 yılında Grönland'daki fosilleri araştırıyordu. Ne aradığını çok iyi biliyordu, 365 milyon yıl öncesinden kalma fosilleri bulmalıydı. İsveçli paleontologlar, 1930'lu yıllarda Grönland'ın doğusunda birkaç ilginç kafatası parçası bulmuştu; bu yeni tür, *Acanthostega* olarak adlandırılmıştı (kafatasından çıkan kemiksi çıkıntılar nedeniyle "dikenli zırh" anlamına gelen bu adı almıştı). Ardından 1971 yılında bir jeoloji öğrencisi, Doğu Grönland'da bulduğu fosilleri getirmişti ve bu fosillerin de *Acanthostega*'ya ait olduğu ortaya çıkmıştı. Jenny Clack, Danimarkalı ve İngiliz bilim insanlarından oluşan bir grupla sahaya geri döndüğünde bu hayvanın geri kalanını bulmayı umuyordu. Öyle de oldu, yıllar sonra umduklarını, hatta daha fazlasını buldular. Bu kez kafatası bulmakla kalmayıp inanılmaz bir biçimde neredeyse tüm kemikleri yerli yerinde duran birkaç iskelet fosili keşfettiler.

Bu canlının bizler için çok önemli olmasının nedeni, balıktan ilk kara omurgalısına doğru geçiş hakkında muhteşem bilgiler vermesidir. *Acanthostega* hem dört ayaklıları tanımlayan kırk bir özellikten yaklaşık üçte ikisine sahiptir, hem de oldukça balıksıdır.

Acanthostega biraz tuhaf görünen bir canlıdır, bana kalırsa dev bir semenderi andırır. Başıyla boyun bölgesi arasındaki bağlantı da ilginçtir, kafatası sanki notokordun bir uzantısı gibidir. Bu tip bir bağlantı, bugün sadece bazı balıklarda ve öteki omurgalıların embriyolarında görülebilen bir şeydir. Siz dahil yaşayan tüm dört ayaklıların kafatası omurgayla eklem yapar. Gırtlak bölgesi iskeletle sarılır, bu balıksı özellik de *Acanthostega*'nın yüzgeçleri olduğunu gösterir. Bu canlının omurga gövdesi ve nöral kemerleri, öteki dört ayaklılardan farklı olsa da balıklardaki gibi tüm omurga boyunca aynıdır. Tüm balıksı özelliklerine rağmen *Acanthostega*'nın kolları ve bacakları vardır. Üstelik bu kollar ve bacaklar, parmaklarla dolu ellerle ve ayaklarla donatılmıştır. Evet, parmakları vardır. Hem de bir sürü.

Yaşayan dört ayaklıların el ve ayaklarında beş ya da daha az parmak bulunur. O halde hepimizin beş parmaklı ya da "pentadaktil" bir atadan geldiğini düşünmek oldukça mantıklıdır.

(Burada da çok ilginç bir durum söz konusu… Beş parmaklı atalarımızı düşünerek bu özelliği "ilkel" olarak adlandırabiliriz. Yani daha az parmaklara sahip olanlar aslında bu ilkel halden "gelişmiş" olanlardır. Konuyu nereye çektiğimi anlamışsınızdır. Bizler "en gelişmiş" canlılarsak buna ne demeli? Söz konusu el ve ayak parmakları olduğunda oldukça ilkeliz. Her bir bacağında tek bir parmağı olan atlar bizlerden daha gelişmiştir (atlarda kalan tek parmak, ortadaki *digitus impudicus* parmağıdır; yani atlar bize devamlı el hareketi çeker). Bundan kaçış yok, siz ve ben parmaklar açısından daha ilkeliz. Umarım sizi gücendirmemişimdir ama umarım şunu da anlayabilmişsinizdir: "İlkel" ve "gelişmiş" gibi kelimeler yaşam ağacını oluştururken faydalı olabilir ama aslında belli bir değer taşımazlar. Dolayısıyla "gelişmiş" bir özellik, ilkel halinden "daha iyi" değildir.)

Acanthostega'nın sekiz parmağını da birden bulmak, paleontologlar için büyük bir sürpriz olmuştur. Eksiksiz, eklemleri yerli yerinde duran ve iyi korunmuş bir ön ayak fosilinin ucunda bu sekiz parmaklık utanç tablosu vardır. Canlının arka ayaklarına ilişkin fosiller daha az olsa da bu ilk dört ayaklıların sekizer ayak parmağı olduğu düşünülüyor.

Acanthostega'nın ön kollarının dikkat çekici olmasının başka nedenleri de vardır; bunlardan biri, bilek eklemleri olmadığı için ön kolların vücut ağırlığını taşıyamayacağını gösterir. Bu durum tüm beklentileri altüst etmiştir. Sudan karaya geçen bir hayvan için kollara ve bacaklara sahip olmak yürümeyi kolaylaştırmayacaksa ne işe yararlar ki? *Acanthostega*, bizleri kolların ve bacakların işlevi üzerine yeniden düşünmeye itmiştir. Görünen o ki ilk kollar ve bacaklar, karada yürümek için değil, sürünmek ve suda hareket etmek adına evrim geçirmiştir. O halde bir kez daha evrimin vücut parçalarını geri dönüştürüp yeniden kullanma arzusuyla karşı karşıyız.

Acanthostega'nın keşfinden bu yana pek çok eski ve yeni dönem dört ayaklıları keşfedilmiştir. Suda yaşayan hayvanların karaya çıkmaya başladığı o dönüm noktasına ilişkin pek çok türün yaşam ağacındaki yeri epey dallanıp budaklanmıştır.

Erken dönem dört ayaklılarından birkaçının ellerinde ve ayaklarında beşten az parmak vardır. Parmak sayısındaki çeşitlilik zamanla değişmiş, ağırlık taşıyabilen uzuvların gelişmesiyle alışık oldu-

ğumuz beş parmakta sabitlenmiştir. Görünüşe göre *Acanthostega* gibi ilk dört ayaklılar, karaya çıkmadan önce tatlı su göllerinden tuzlu suyla dolu lagünlere ve nehir ağızlarına kadar çeşitli ortamlarda yaşamıştır. Bildiğimiz kadarıyla *Acanthostega*'nın anatomisini ve yaşadığı çevreyi bir araya getirerek bu canlının nasıl yaşadığını anlayabiliyoruz. Şimdi semenderi andıran bu kadim canlıyı gözünüzün önüne getirin: Yassı bir kafatasıyla her bir elinde ve ayağında sekizer parmağı var. Ilık, sığ ve tropik bataklıklarda yaşıyor ve suda hareket etmek için kollarıyla bacaklarını kullanıyor, böylelikle bataklıktaki bitkilerin arasından kendine yol açıyor. Tıpkı benzer bir biçimde suyun içindeki bitkilerin arasında ilerleyen dev bir semender gibi. Yüzeyin yakınlarında yüzen daha küçük canlıları takip ediyor, son anda su yüzüne çıkıp bunları havada kapıyor ve yutmadan önce çift sıralı sivri dişleriyle yemeğini iyice çiğniyor. *Acanthostega*, yaşadığı sığ bataklıklara uyarlanım gösteriyor ama karaya çıkmak istediğinde onu taşıyabilecek kollara ve bacaklara sahip değil. Bu canlılardan bazıları öldüğünde yaşadıkları tropik bataklığın çamur katmanına gömülüyor. İşte, bu olaydan yaklaşık 365 milyon yıl sonra Grönland'ın doğusunda taşlaşmış haldeki çamur katmanı keşfediliyor ve paleontologlar, ilk dört ayaklılarını bu taşlaşmış mezarlarından çıkarmak için kollarını sıvıyor.

Çok uzaktan akrabamız olmasına ve suda yaşamasına rağmen *Acanthostega*, yüzgeçlerin kol ve bacak uzuvlarına dönüşümünden daha ilginç bir değişime işaret eder. Yüzgeçlerden kol ve bacaklara evrimi, bu uzuvların iskeletin geri kalanıyla yaptığı bağlantıların yeniden düzenlenmesiyle gerçekleşmiştir. Göğüsten çıkan yüzgeçler ön bacaklara dönüşürken kafatasıyla olan bağlantıları da kopmaya başlar (balıklarda kafatasına bağlılardır). Oysa arka bacaklara doğru evrim geçiren karın yüzgeçleri, omurgaya sımsıkı bağlı bir hal almışlardır. Eskiden, dört ayaklıların ataları balıklarda göğüs yüzgeçlerinin karın yüzgeçlerinden çok daha güçlü olduğu düşünülüyordu. Dolayısıyla amfibilere gelindiğinde bir değişim oluyor ve arka bacaklar güç kazanıyordu. Ne var ki *Tiktaalik* adındaki balık fosilinin karından çıkan uzuvlarına ilişkin kemiklerinin keşfi, bu "önden çekişli" kuramına gölge düşürmüş ya da en azından söz konusu değişimi dört ayaklılardan önceye taşımıştır. *Tiktaalik*'in kalça kemiği omuz kemeriyle (kürek ve

köprücük kemiğinizle) aynı boydadır; öyleyse karın yüzgeçleri, uzuvların evriminden çok önce güçlenmeye başlamıştır.

Günümüzde dört ayaklılardan olan çoğu canlı, "arkadan itişli" olmaktan faydalanır. Kol ve bacaklarınızın iskeletinize bağlanma biçimi, kabaca bir dört ayaklının tasarımıdır. Dört ayaklıların ön bacaklarına eşdeğer olan üst ekstremiteleriniz, göğsünüze omuz kemerleriyle (kürek ve köprücük kemiğinizle) gevşekçe tutturulmuştur. Oysa dört ayaklılarda arka bacaklara karşılık gelen alt ekstremiteleriniz ya da bacaklarınız, kalça kemerlerinizle omurganıza sımsıkı bağlıdır.

Omuzlarınızın ve kalçanızın omurganıza nasıl tutturulduğunu bir düşünün. Kürek kemikleriniz, göğüs kafesinizin arka kısmında resmen "süzülürler"; göğüs kafesinize sadece kaslarla ve göğüs kemiğinize (sternumunuza) uzanan ince köprücük kemiklerle (klavikulalarınızla) bağlıdırlar. Sağ elinizi sol omzunuzun arkasına götürüp kürek kemiğinize dokunun. Sol kolunuzu yukarıya, aşağıya, öne ve arkaya hareket ettirdikçe kürek kemiğinizin nasıl oynadığını hissedebilirsiniz. Öte yandan kalça kemiğiniz, omurganızın altındaki kuyruk sokumu kemiğiyle (sakrumla) sıkıştırılmıştır. Omurganızı hareket ettirmeden kalça kemiğinizi sağdan sola hareket ettirmeniz mümkün değildir. İsterseniz küçük bir deney yapalım: Kalçalarınızı sağa sola sallarken elinizi omurganızın üstüne koyun. Ne demek istediğimi anlayacaksınız. Sakroiliak eklemler (kuyruk sokumu kemiğinin yanlardan kalça kemiğindeki ilye kemiğine bağlanmasıyla oluşurlar), yoğun bağ dokularla sabitlenmiş büyük eklemlerdir. Ayakta dururken ya da yürürken ağırlığın tümünü taşıyan, koştuğunuzda ya da zıpladığınızda üzerlerindeki baskı daha da artan bu eklemler büyük ve sağlam olmak zorundadır. Alt ekstremiteleriniz ve omurganızın bağlandığı yer burasıdır. Sakroiliak eklemleriniz büyük kuvvetlere direnir. Müzik grubu R.E.M.'in "Stand" adlı şarkısında pek doğru söylemiyor olsalar da (sanırım anatomiyle araları pek yok) "bacaklarınız, siz hareket edin diye vardır".[1]

1 Şarkı sözünün orijinalinde "baş" kelimesi kullanılıyor: *"Your head is there to move you around."* Yazar buradaki baş" kelimesini "bacak" kelimesiyle değiştirmiştir -çn.

KALÇALARDAN AYAK PARMAKLARINA

KOŞMADAN ÖNCE YÜRÜMEYİ ÖĞRENMEK

"İnsan ayağı bir mühendislik harikası ve sanat eseridir."

LEONARDO DA VINCI

GÜZELİM BACAKLAR

Sürüngen, amfibi ya da memeli kuzenlerimizin büyük bir kısmı karada da dört ayak üstünde hareket etme kuralına sadık kalmıştır. Öte yandan tüm dört bacaklılar dört ayakları üzerinde durmuyor olabilir; bazıları bambaşka yöntemler geliştirmiştir. Bazıları da kara yaşamından tamamen vazgeçip suya dönmeyi tercih etmiştir. Geçirdikleri evrimsel süreç sayesinde balinalar, yunuslar ve musurlar dört bacaklılardandır ama artık dört ayaklı kara hayvanları arasında yer almazlar. Dört uzvu olan öteki canlılar da karadaki yaşamı terk edip balıkların suda hareket ettiği kolaylıkla havada hareket etmeye doğru evrim geçirmişlerdir. Göklerde süzülen bu canlılar sürüngenlerle aynı soyu paylaşırlar, hatta bizzat dinozorların soyundan gelirler. Aslında bu canlıları dinozor olarak sınıflandırmamız gerekir. Öyleyse bütün dinozorlar bundan 66 milyon yıl önce ölmemiştir; bazıları yaşamkalım başarısı elde etmiş ve günümüze kadar gelmiştir. Bugün bu tüylü ve kanatlı dinozorlara kuş adını veriyoruz. (Bir dahaki sefere bahçenizde bir kızılgerdan, sahilde bir martı ya da çiftlikte bir tavuk görürseniz ona yaklaşıp esrarengiz gözlerine bakın. Gerçek bir dinozorla göz göze geleceksiniz!) Dört bacaklıların bir kısmı karadaki yaşamlarına devam etse de uzuvlarını tamamen kaybetmiştir. Örneğin yılanların da bir zamanlar sizin ve benim gibi dört bacaklı ataları vardı. Karada sadece iki ayakları üzerinde yürüyen canlılar da vardır; elbette kuşlar da bu gruba dahildir, çünkü yürümeye tenezzül ettiklerinde tüylü ön kollarını saklarlar. Son olarak bazı memeliler iki ayakları üstünde yürüyebilir; kangurular, valabi kanguruları, kanguru fareleri, araptavşanları ve insanlar bu gruba aittir.

Özetle biz insanlar ve kuyruksuz maymunlar arasındaki temel farklar şunlardır: Beyin boyutu ve iki ayak üstünde yürüme becerisi. Beyin boyutunun artması insan evrimi boyunca çok önemli bir yer kaplasa da atalarımız, beyinlerinin büyümesinden çok daha önce *sürekli* iki ayakları üstünde yürümeye başlamıştır; bu

da bizleri yaşayan herhangi bir kuyruksuz maymundan ayıran en temel farktır. Bu noktada *sürekli* iki ayak üstünde yürümekle iki ayak üstüne yürümek arasındaki farklı anlamamız çok önemlidir: Tüm kuyruksuz maymunlar iki ayakları üstünde yürüyebilir ama bunu bizler gibi sürekli yapan yoktur.

İki dik bacak üstünde ayakta durmak, yürümek ya da koşmak bacak biçimimizin ve boyutunun (bir de bacaklarımızı omurgamıza bağlayan kalça kemiğimizin) öteki kuyruksuz maymunlardan çok farklı olduğuna işaret eder. Bugün insanların leğene benzeyen kalça kemikleri, kalçalarında ve dizlerinde daha büyük eklemleri, biraz içe dönük dizleri, (hepimiz biraz da olsa çarpık bacaklıyız), değişik bir ayak bileği eklemi, esneyebilen ayakları, kısa ayak parmakları ve öteki ayak parmakların sırayla yanında dizildiği ayak başparmakları vardır. Şüphesiz bu özelliklerin hiçbiri birdenbire ortaya çıkmamıştır. Öyle olsaydı ne tuhaf olurdu!

Şimdi anatomimizi biçimlendiren kuvvetler hakkında düşünmemiz gerek. Vücudunuz nasıl bugünkü biçimi almıştır? Başrolde elbette DNA'nız var ama bütün genleriniz ve DNA'nızın genlerinizi etkileyen parçaları bile vücudunuz eksiksiz bir şablonunu çıkaramaz. Genler vücudun hangi yönde ilerlediğini denetleyip anatominizde oluşabilecek çeşitliliklerin sınırlarını çizer. Vücuttaki farklı yapıların biçimleri ve boyutları, bu sınırlara bağlı kalarak çevresel etkiler tarafından belirlenir. Bu duruma verilebilecek en iyi örneklerden biri beslenmedir. Birinin iyi, birinin kötü beslendiği tek yumurta ikizlerini düşünelim. İkizlerden birinin ötekinden daha iri yapılı ve uzun boylu olmasını beklersiniz. O halde gelişimi denetleyen genetik ve çevresel etkilerle vücut yapısı ve işlevi arasında kesin bir ayrım yapmak olanaksızdır. Kısa zaman önce yapılan araştırmalar, bazı çevresel etkilerin genler aracılığıyla çalıştığını, böylelikle genlerin kimyasal değişimlere uğrayıp farklı işlevlere sahip olduklarını da göstermiştir. Yine yakın zamanda genlerdeki değişimlerin, genlerle beraber aktarılabildiği keşfedilmiştir. Bu değişimleri çalışan alana epigenetik denir (embriyonun gelişim süreci boyunca basit dokuların karmaşık dokulara dönüştüğünü söyleyen "epigenez" kavramıyla karıştırmayalım). Anatomideki "normal" etkilere bakmadan önce etkin olan bir başka noktaya, yani patolojiye de değinmek gerekir. Patoloji çeşitli sorunları kapsayan bir alandır: DNA'da kopyalama

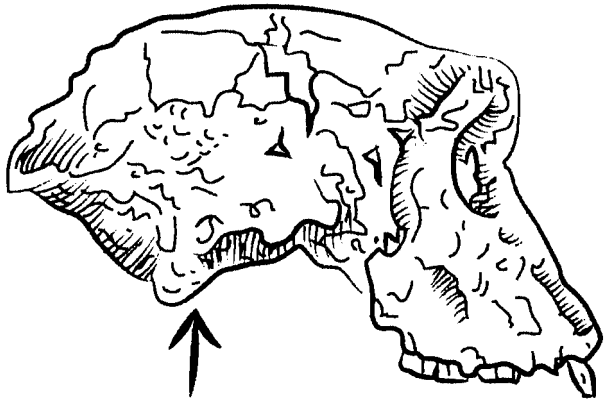
hatalarından oluşabilen ve sonra doğuştan sakatlıklara dönüşebilen sorunlar, metabolizma sorunları ya da kanser, bakteri ve virüs enfeksiyonları, beslenme ya da vitamin gibi bileşenlerin eksikliğinden kaynaklanan yetersiz beslenme ve fiziksel travmalar.

"Normal anatomi" için çeşitlilik denebilecek şeylere baktığımızda (patolojiyi şimdilik bir kenara bırakalım), bugün kuyruksuz maymunlar arasında sadece insana özgü olduğunu varsaydığımız özelliklerden hiçbiri bir anda ortaya çıkmamıştır. Bu özellikler parça parça ya da mozaik biçiminde meydana gelmiştir. Yaşam ağacının bizleri ve *soyundan geldiğimiz* kadim türleri kapsayan (ama yaşayan hiçbir kuyruksuz maymunun bulunmadığı) incecik dalı, bildiğimiz kadarıyla altı ya da yedi milyon yıl önce ortaya çıkmıştır. Bu incecik dalın temsil ettiği yaklaşık yirmi türün hepsi hominindir. Biyolojik sınıflandırma açısından bunun ne demek olduğu çok açıktır. Bizler, *Hominidae* (yani hominidler ya da büyük kuyruksuz maymunlar ailesi) olarak bilinen daha büyük bir ailenin üyeleriyiz. Bu aile bizleri, şempanzeleri, gorilleri, orangutanları ve tüm atalarımızı kapsar. Büyük Kuyruksuz Maymunlar ailesinin *Homininae* adında bir alt ailesi bulunur (gorilleri, şempanzeleri ve insanlar buradadır). *Homininae* alt ailesinin de sadece bizi ve atalarımızın kapsayan bir özel bir grubu, *Hominini* adında bir oymağı vardır. İlk hominin atalarımızın neredeyse sürekli iki ayak üstünde yürüyebilmelerini sağlayan uyarlanımlar göstermesi, kendi atalarımızın bugün yaşayan en yakın akrabalarımız şempanzeler değil, homininler olduğunu düşünmemizin asıl nedenidir.

Fransız paleontolog Michel Brunet'nin önderliğindeki araştırma ekibi, 2001 yılında Çad'da altı ila yedi milyon yıl önceden kalma eciş bücüş bir kafatası parçası keşfetti. Kafatasının ait olduğu yeni tür *Sahelanthropus tchadensis* olarak adlandırılsa da yerel Goran dilinde "yaşam umudu" anlamına gelen *Toumai* lakabıyla daha çok tanındı. Bulunan kafatası küçücüktü ama bu fosilin hominin atalarımızdan birine ait olduğunu gösteren birkaç çarpıcı özelliği vardı. Çeneleri çıkıntılı olan günümüz şempanzeleriyle kıyaslandığında Toumai'nin yüzü basıktı. Aslında kafatasının altında beyin sapının çıktığı ve omuriliğin başladığı büyük deliğin (*foramen magnum*un) yeri daha büyük bir ipucu veriyordu. Bu delik, şempanze iskeletlerinde kafatasının tam arkasında bulunur. Toumai'nin kafatası yamuk olsa da *foramen magnum*un daha altta

ve önde olduğu, kafatasının dik duran bir omurga üzerinde dengelendiği düşünülüyordu. Bu size çok küçük bir farkmış gibi gelebilir ama kafatası tabanındaki delikle dik duran omurgalar arasındaki bağ öteki hayvanlarda da görülür. İki ayak üstünde yürüyen kanguru farelerinin kafatası delikleri, dört ayakları farelerinkinden daha altta ve öndedir. Dört ayaklı ağaç kangurularıyla iki ayağı üstünde duran valabi kangurularının kıyaslandığında da aynı durum söz konusudur. Ne yazık ki insanlardaki ve şempanzelerdeki kafatası tabanı delikleri, konum bakımından çok çeşitlilik gösterir. Bu yüzden Toumai'nin gerçekten de dik duran, iki ayağı üstünde yürüyen bir kuyruksuz maymun (yani bir hominin) olduğundan emin olmak imkânsızdır.

Paleoantropoloji alanı tartışmadan geçilmez, zaten bu kadar ilginç bir alan olmasının nedenlerinden biri de budur. Toumai'yle ilgili öteki büyük sorun da *sadece* kafatasının bulunmuş olmasıdır. Kafatasıyla aynı anda keşfedilen bir uyluk kemiğine ilişkin söylentiler dolansa da hiçbir makalede bu kemikten bahsedilmemiştir. Belki Toumai'nin kafatası tabanındaki deliğin konumu dik yürüdüğünü gösteriyordur ama iskeletin geri kalanına ilişkin hiçbir kanıt olmadığı için buna emin olmak zordur. Elbette Brunet'nin Toumai'nin kafatası hakkındaki yorumlarına katılmayanlar da vardır. Bazı araştırmacılar Toumai'nin bir hominine hiç benzemediğini, bunun yerine şempanzelerle insanların ortak atası olabileceğini söylemiştir. Hatta belki de gorillerin atasıdır.



Toumai'nin kafatası (okla gösterilen yer, bahsedilen kafatası deliğidir).

LUCY'NİN KALÇALARI VE JOHANSON'IN DİZİ

İleriki dönemlerden kalma fosillerde inceleyebileceğimiz daha çok iskelet vardır. Bugüne kadar en iyi korunan, en ünlü hominin iskeletlerinden biri "Lucy"dir ve 1974 yılında Don Johanson tarafından keşfedilmiştir. Johanson, Etiyopya'nın kuzeyindeki Afar bölgesinde çalışan Amerikalı, İngiliz ve Fransız antropologların oluşturduğu bir ekibin üyesiydi. Bu ekip, yaklaşık üç milyon yıl öncesinden kalma çökeltilere ev sahipliği yapan Hazar arkeolojik sit alanını araştırıyordu.

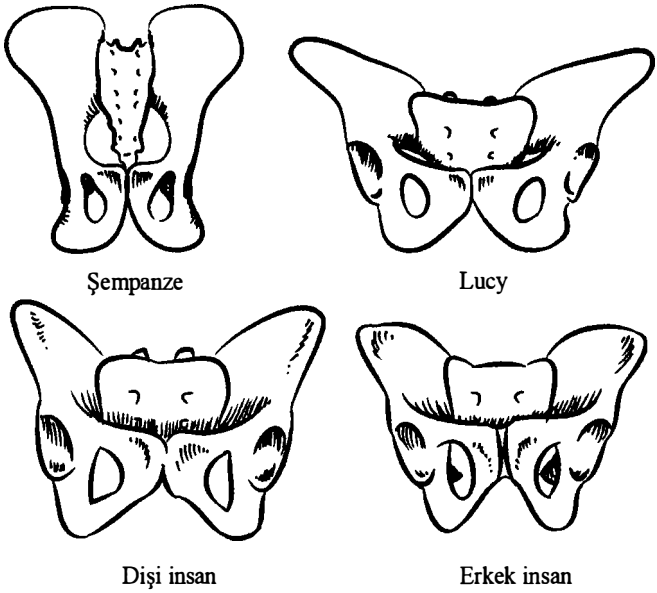
BBC 2'deki *Tarih Öncesi İnsanların Otopsisi* [Prehistoric Autopsy] adlı programı çekerken Lucy'le bizzat tanışma şansına eriştim. Bir bölüm tamamen ona ve *Australopithecus afarensis* ("Afarlı güney kuyruksuz maymunu") adındaki türüne adanmıştı. Stüdyoda Lucy'nin iskelet kemiklerinin birebir kopyaları ve programın sonunda göstereceğimiz üç boyutlu bir modeli bulunuyordu.

Lucy küçücüktür, boyu sadece bir metredir. Söz konusu *Australopithecus afarensis* türü olduğu için bir hominin (sürekli iki ayak üstünde yürüyen bir kuyruksuz maymuna) olduğuna hiçbir şüphe yoktur. Özellikle de kalça kemiklerinin biçimi şempanzelerinkinden tamamen farklıdır ve insan kalçalarına çok benzer. Kalça kemiğini parçalarından ilye kemiği homininlerde kısa ve genişken şempanzelerde uzun ve dar olur.

Homininlerdeki geniş ilye kemiği, kalça eklemi etrafındaki bazı kilit kasların yerleşimi açısından çok büyük bir önem taşır. Üç farklı kalça kası, ilye kemiğinin dış yüzeyinden uyluk kemiğinin boyun kısmına uzanır; bunlar sırayla büyük ilye kası [gluteus maximus], orta ilye kası [gluteus medius] ve küçük ilye kasıdır [gluteus minimus]. Adından da anlaşılabileceği gibi çok büyük bir kas olan büyük ilye kası, öteki iki kasın üzerinden geçer. Bu kas kalça ekleminin önemli ekstansör kaslarından[1] biridir, uylukları kalça kemiğine doğru çeker. Büyük ilye kasını oturduğunuz yerden ayağa kalktığınızda ya da merdivenleri çıkarken bacaklarınızı düzleştirmek için kullanırsınız. Öteki iki

1 Ekstansör kaslar, bir uzvun bölümleri arasındaki açıyı artırmaya yarayan kaslardır. Örneğin dizlerinizi gerdiğinizde (baldırınızla uyluğunuz arasındaki açıyı artırdığınızda) ekstansör kaslarınızı devreye sokmuş olursunuz -çn.

kalça kası, kalça kemiğinizin yanlarından başlayıp büyük trokantere (uyluk kemiğinin boynundaki dört köşeli iri çıkıntıya) tutunur. Orta ilye kası ve küçük ilye kası, kalça eklemini uzatmaz; uyluğu yana ve dışarıya doğru hareket ettirirler ya da onu "uzaklaştırırlar". Bu iki kasın bizim gibi sürekli iki ayağı üstünde yürüyen homininler için asıl önemi, kalça eklemini yerli yerinde tutabilmek için onu hareket ettirmeden kasılmalarıdır. Bu her adım attığınızda olur. Bir ayağınızı kaldırıp adım adım atmaya hazırlandığınız anda aslında tek ayak üstünde durursunuz. Kalça kemiğiniz, ayağınızın yere basmadığı taraftan destek alamadığı için o yöne doğru düşme eğilimi gösterir. Bahsedilen kaslar olmasaydı, adım attığınız anda kalça kemiğiniz boşta kalan tarafa eğilirdi ve ayağınız yerde sürüklenirdi. Neyse ki yere basan bacağınızın kalça bölgesindeki abdüktör kaslar (orta ilye ve küçük ilye kasları) kasılır ve kalça kemiğini aşağı çeker; böylelikle kalça kemiğinin duruşu değişmez.

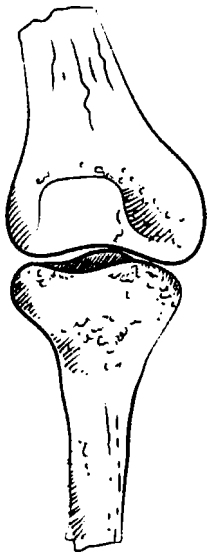


Lucy'ye, bir şempanzeye ve insanlara ait kalça kemikleri.

Büyük ilye kası işlevini *kaybettiğinde* (kasa giden sinirde oluşabilecek herhangi bir hasar buna yol açabilir) kalça eklemini saran bu kasların sahip olduğu düzenin neden önemli olduğu daha iyi görülür. Bu sorunu yaşayan hasta öne adım attığı zaman yerden kalkan bacağıyla aynı taraftaki kalça kemiği düşer; yere basan bacağı tarafındaki kaslar kemiği düz tutamaz. Hasta, kalça kemiğinin bu düşüşünü telafi edebilmek için tüm vücut ağırlığını yere basan bacağına verir. Bunun sonucunda "ördekvari yürüyüş" ya da "Trendelenburg yürüşü" adı verilen tuhaf, yalpalamaya benzeyen bir yürüme biçimi ortaya çıkar. Friedrich Trendelenburg, 1844 ile 1924 yılları arasında yaşamış öncü bir Alman cerrahtır. Trendelenburg adı; yürüyüş bozukluğu ve varisli damar cerrahisiyle testi gibi çeşitli cerrahi sorunlarla, testlerle ve tedavilerle ölümsüzleşmiştir.

Geniş kalça kemiğinden anlaşılacağı üzere Lucy, ne Trendelenburg yürüyüşü gibi yalpalayarak ne de şempanzelerdeki gibi dizlerini kırarak yürüyordu. Lucy'nin omurgası, kalça kemiği üstündeki gövde ağırlığını taşıyabilmesi için tıpkı sizdeki gibi bel bölgesinde bir çukura sahip olabilir.

Lucy'nin dizlerini kırmadan yürüdüğünü gösteren başka bulgular da vardır. *Australopithecus afarensis* olarak adlandırılan iskelet fosilinin ilk bulunan parçaları alt uyluk kemiği ve üst kaval kemiğidir. Lucy keşfedilmeden bir yıl önce, aynı paleoantropolog tarafından bulunan bu parçalar "Johanson dizi" olarak bilinir. Bu kemikler, uyluk kemiğiyle kaval kemiğinin belirli bir açıda birleştiğini gösterir; bu açı da sürekli iki ayak üstünde yürümenin açık bir göstergesidir. Johanson, sadece bu eski diz fosillerini inceleyerek iki ayağı üstünde yürüyen bir kuyruksuz maymuna baktığını biliyordu: Bunlar bir hominine aitti. Dört ayakları üstünde yürüyen canlıların uyluk kemikleri genellikle düzdür ve diz eklemlerinde açısallık söz konusu değildir. Öte yandan insanların ve iki ayakları üstünde yürüyen atalarının uyluk kemiklerinin içe doğru bir eğimi vardır ve dizle belirli bir açıda eklemlenir. Çarpık bacaklı olmadığınızı düşünüyor olabilirsiniz ama özellikle de şempanze kuzenlerinize kıyasla öylesiniz. Yürürken vücut ağırlığınızı bir ayağınızdan öbürüne alırsınız; bunu yapabilmek için, ayağınızı tam olarak kütle merkezinizin geçtiği çizgiye getirmeniz gerekir. Eğimli uyluk kemikleriniz ve diz eklemlerinizdeki açı, size bu noktada yardımcı olur.



Johnson dizi.

Uyluk kemiğinin alt kısmındaki iki çıkıntının sağladığı bikondiler açı, sadece bacaklarınızı düz tutarak yürüdüğünüzde işlevlidir. Dolayısıyla bu açının bir iskeletteki varlığı bize şunu gösterir: *Australopithecus afarensis* türüne ait canlılar, dizlerini kırarak değil, bizler gibi düz tutarak yürüyordu. Bu tip bir yürüyüş biçimi enerji açısından da daha verimlidir. Dilerseniz bir süreliğine kalçanızı ve dizlerinizi kırarak yürümeyi deneyin, kaslarınızın (özellikle de uyluk bölgesindekilerin) ne kadar çok çalışacağını fark edeceksiniz.

Bikondiler açı, iki ayak üstünde etkili bir biçimde yürümede çok faydalı olsa da çarpık bacaklılar için çarpık bir sorun yaratır. Uyluğun ön kısmındaki kas yığınını meydana getiren dört başlı kas grubu *quadriceps*, diz ekleminizin üstünden geçerek tendonlarıyla buradaki diz kapağına ya da patellaya tutunur; ardından kaval kemiğinin üst tümseğinde sonlanır. Kaval kemiğiniz eğimli olduğu için *quadriceps* kasınız da eğimlidir; bu nedenle kasın hareket hattı diz ekleminin tam ortasından değil, hafif yanından geçer. Bu da dizlerinizi gerdiğinizde hem ön uyluk kaslarının kasıldığını hem de diz kapağınızın yana (dizinizin lateral ya da dış tarafına) doğru çekildiğini gösterir. Anatominiz bu durumu farklı bir yoldan telafi

eder (bunu yapmak zorundadır, aksi halde diz kapağınız ikide bir çıkar). Uyluk kemiğinizin alt kısmındaki iki çıkıntı arasında bir oyukta derin bir cep vardır ve diz kapağı burada bulunur. *Quadriceps* kaslarının orta başına ait lif bağlar, yan başından daha ileriye uzanır; dolayısıyla bu kasın orta kısmı diz kapağını ortaya doğru çekerek yerinden oynamasına engel olur. Aynı zamanda diz kapağını yerinde tutan güçlü lifli dokular vardır.

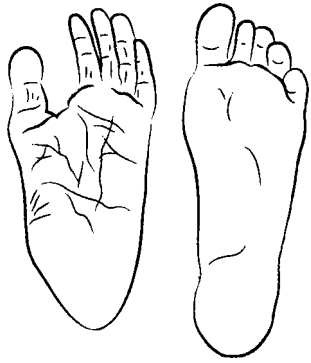
Ayak bileğine ve ayağa geldiğimizde *Australopithecus afarensis* türünün sürekli iki ayak üstünde yürüdüğünü gösteren daha fazla bulgu görülür. Ayak bileği eklemleri menteşe tipi eklemleridir; kaval kemiği, ona alt bacakta eşlik eden baldır kemiği ve ayağın en üstündeki talus kemiğinden meydana gelirler. Eklem üzerindeki yükün büyük bir kısmı talus ve kaval kemiğinden gelir; baldır kemiği eklemi destekler. Kaval ve baldır kemiğinin alt kısmı birbirine sıkıca bağlıdır ve ayak bileği eklemini sabitlemede yardımcı olurlar. Her iki kemiğin de talus kemiğinin kenarlarına uzanan, onu kavrayan ve yerinde tutan çıkıntıları vardır. Eğer şimdi ayağınıza bakıp parmaklarınızı kendinize doğru kaldırırsanız dorsifleksiyon, ayak parmaklarınızı aşağı bükerseniz plantar fleksiyon yapmış olursunuz. Bu iki hareket de menteşe tipi ayak bileği eklemi sayesinde olur. Ayrıca ayak tabanınızı içe doğru döndürebilir (buna inversiyon denir) ya da dışa doğru çevirebilirsiniz (bu da eversiyondur) ama asıl önemli olan bu iki hareketin ayak ekleminde değil, ayağın ta kendisinde gerçekleşmesidir.

Ayak bileklerimizin ve ayaklarımızın anatomisi, ayak tabanlarımızın tamamen yere bastığını gösterir. Öte yandan şempanzelerin ayak bilekleri daha "içe dönük" olduğu için bizimkilerden farklıdır; başka bir deyişle ayak bilekleri, ayak tabanları hafifçe birbirine dönük bir biçimde durur. İnsanlarda kaval kemiğinin talus kemiğine eklemlendiği yer, kaval kemiğinin kendi eksenine diktir. Şempanzelerdeyse açılı bir eklemlenme vardır; bu da doğal olarak ayağın içe dönmesine neden olur. Aynı zamanda şempanzelerdeki ayak bilekleri, ayağın bacağa doğru, kaval kemiğiyle yaklaşık kırk beş derecelik bir açı oluşturacak biçimde kalkmasına izin verir; bu sayede kolaylıkla ağaç gövdelerine tırmanabilirler. Goriller, orangutanlar ve gibonlar bu açıdan benzerdir. Buna karşılık sizler, yerde duran ve kaval kemiğinizle dik açı yapan ayağınızı muhtemelen sadece on beş derece kaldırabilirsiniz (bu hareketin teknik adı dorsifleksiyondur), böylelikle kaval kemiği ve ayağınız arasında

yaklaşık yetmiş beş derecelik bir açı oluşur. Bunu öteki kuyruksuz maymunlar için son derece alışıldık olan kırk beş derecelik açıya getirmeye çalışırsanız muhtemelen ayak bileğinizi incitirsiniz.

Öteki kuyruksuz maymunlarınkilere kıyasla insanların ayakları çok farklı gözükür. Bir şempanze ayağına bakın; bu organın tutunmaya yaradığı çok açıktır. Ayakları esnektir, ayak parmakları uzundur ve ayak başparmakları tıpkı el başparmakları gibi yandadır. Oysa sizin ayağınız çok farklıdır: Ayağınızdaki kemiklerin doğal biçimi, onları destekleyen bağlar ve tendonların oluşturduğu "kemer" (bir anatomist buna "medial longitudinal ark" diyorum) nedeniyle daha zor bükülür. Ayağınızın dış kenarlarında (lateralinde) daha az belli olan uzunlamasına kemerlere ek olarak ayak genişliğiniz boyunca enine bir kemer daha vardır.

Tüm bu kemerler, ayağı yaylı bir yapıya dönüştürür. Yürüdüğünüzde ya da koştuğunuzda, kemerleri destekleyen bağlarınızın ve tendonlarınızın esnemesiyle her adımda biraz daha enerji kazanırsınız. Tendonlarınız, ayağınız yere değdiği anda gerilir ve yerden kalktığı anda tıpkı bir yay gibi toplanır. Şempanze kuzenlerinize kıyasla ayak parmaklarınız daha kısadır ve ayak başparmağınız öteki parmaklarınızla düzgün bir sıra halindedir. İşte bu ayak bir şeylere tutunmak için değil, yürümek ve koşmak içindir. (Gerçek şu ki şempanze ayağında bulunan tüm kaslar sizin ayağınızda bulunur, dolayısıyla hâlâ bir noktaya kadar ayakla kavrama yeteneğinizi geliştirebilirsiniz. Ellerini kullanamayan ya da elleri olmadan doğan insanlar, ayaklarımızın bu kavrayabilme yeteneğini yeniden nasıl kullanabileceğimize en iyi örneklerdir.



Bir şempanze ayağıyla insan ayağı.

Olağanüstü biçimde iyi korunmuş bir ayak kemiği, 2000 yılında Etiyopya'nın Hadar kazı bölgesinde keşfedildi. Ayak kemiğinin bulunduğu bu bölgede yaklaşık yirmi beş yıldır süren kazılar boyunca iki yüz elliden fazla fosil çıkarılmıştı. Görünüşe göre her biri yaklaşık 3,2 milyon yıl öncesinden kalma olan fosiller, Lucy'nin türü *Australopithecus afarensis*'e aitti. Dolayısıyla bulunan ayak fosilinin de aynı türe ait olduğunu düşünmemek için bir nedenimiz yoktur. Ayrıntı vermek gerekirse bu kemik sol ayağın dördüncü metatarsal kemiğidir ama önemli olmasının nedeni eğimli oluşudur. Yani bu kemik, düz ayaklı bir şempanze ayağına ait değil, sizinki gibi enine kemerli bir ayağın parçasıdır.

İLK AYAK İZLERİ

Australopithecus afarensis türünün sürekli iki ayak üstünde yürüdüğüne inanmamızın tek nedeni kemik fosilleri değildir. Fosiller her ne kadar ikna edici olsa da Tanzanya'dan gelen başka kanıtların aksine bir şeyler söylemek çok daha zordur.

Bundan yaklaşık 3,7 milyon yıl önce, bugün Tanzanya olarak bilinen ülkede Sadiman adında bir yanardağ patlayarak gökyüzüne dev küller saçtı. Yağışlı bir mevsim olduğu için küller toprağı kapladıktan sonra yağan yağmurlar kül katmanını ince, yapışkan bir çamura dönüştürdü. Hayvanlar bu katmanın üzerinde yürüyüp arkalarında ayak izlerini bıraktı: Buradan filler, zürafalar, antiloplar, beç tavukları ve kendi atalarımızdan birkaçı geçmişti. Milyonlarca yıl öncesinden üç insan, bu kül katmanının üzerinde yürüyüp her şeye rağmen korunan ayak izlerini bıraktı. Tanzanya'ya 2011 yılında gittim ve şimdilerde turistlerle set ekipleri için safari turları düzenleyen bir adamla tanıştım. Beslenmenin insan evrimi üzerindeki rolü hakkında bir program hazırlıyorduk ve gözlerden ırak yaşayan Hadza kabilesinden bir grup avcı toplayıcıyla çekim yapmayı umuyorduk. Safariyi düzenleyen kişinin adı Peter Jones'tu ve ben bu adı daha önce nerede duyduğumu çok iyi biliyordum.

Peter, safari düzenlemeye başlamadan yıllar önce (1977 yılında) Tanzanya'nın Laetoli şehrinde Mary Leakey'in ekibiyle birlikte çalışıyordu ve burada hominin fosilleri arıyorlardı. Peter, milyonlarca yıllık kül tabakasının üzerinde insan ayak izlerine benzeyen bir şeyler bulmuştu. Bu muhteşem bir keşifti, Mary Leakey'nin ABD'deki basın toplantısından itibaren bütün yıl manşetlerden düşmemişti. Laetoli'de bulunan ayak izleri, yaklaşık dört milyon yıl önce homininlerin dik bir biçimde yürüdüğünü su götürmez bir biçimde gösteriyordu.

Liverpool Üniversitesi'nden Robin Crompton, derinliği ölçmek ve yapışkan kül tabakası üzerine basan her bir ayağın basınç noktalarını hesaplamak adına bir lazer taramasını kullanarak ince bir analiz yaptı. Bu analizin sonucu, Laetoli homininlerinin *nasıl* yürüdüğünü açıklıyordu. Ayak izleri muhtemelen Lucy'nin türü olan *Australopithecus afarensis*'e aittir, çünkü çok yakınlarda bu homininlerin fosilleri de keşfedilmiştir. Bu izler, bizlere bağımsız kanıtlar sunmuş ve milyonlarca yıl önce yaşayan insanların iskelet fosillerinden elde edilen sonuçları desteklemiştir. Keşfedilen ayak izleri, *Australopithecus afarensis*'in şempanzeler gibi dizlerini ve kalçalarını kırarak değil, bizler gibi dimdik bir biçimde yürüdüğü bir kez daha göstermiştir.

İNSAN AYAĞININ SINIRLARI

Durum buysa atalarımızın ayak bilekleri ve ayakları ne zaman ortaya çıktı? Bu soruya yanıt vermek için daha geniş bir ağ atmamız, daha uzaktan akrabalarımıza ve en eski hominin atalarımıza bakmamız gerekiyor. Ayrıca yaşayan kuyruksuz maymunların (bizler de dahil) hem anatomik hem de işlevsel farklılıklarından emin olmalıyız. İnsanın hareketi, kendi yaşam biçimimizin sınırlı bakış açısının dışında hayal edebileceklerimizden çok daha çeşitli olabilir.

İlk olarak ayak bileklerinden başlayalım. İnsan ayağının şempanze ayağı kadar geriye gidemediğini gördük. Yaptığımız basit deney, bu durumun kendi ayağım için geçerli olduğunu kanıtlı-

yor; muhtemelen sizin ayağınız için de öyledir. Ne var ki siz de benim gibi şehirde büyüdünüz ve şehirde sürekli ağaçların tepesinde gezmiyoruz. Anatomimizin sadece genlerle değil, çevreyle biçimlendiğini de konuşmuştuk, o halde bu soruyu sormalıyız: Acaba küçük yaştan beri ağaçlara tırmanıyor olsaydık ayak bileği eklemlerimiz farklı olur muydu?

Modern insanlardan bazıları, eminim ki sizin yaşamınız boyunca tırmandığınız ağaçların sayısından çok daha fazla ağaca tırmanmıştır. Günümüzde bazı meyvelere, av hayvanlarına, özellikle de bala ulaşmak için düzenli bir biçimde ağaca tırmanan avcı toplayıcı topluluklar var. Kongo Demokratik Cumhuriyeti'ndeki Ituri ormanında yaşayan Mbuti ve Efe kabileleriyle Malezya'nın Batek kabilesindeki insanların bal toplamak için elli metre gibi baş döndürücü yükseklikteki ağaçlara tırmandığı belgelenmiştir. Bu kadar yüksek ağaçlara tırmanmak tehlikeli bir etkinlik olsa da toplanan bala ve beraberinde getirdiği saygınlığa değer. Bu topluluklarda, özellikle de ağaç gövdesinin çok geniş olduğu bazı durumlarda tırmanma ekipmanları da kullanılır ama daha ince gövdeli ağaçlara tırmanan bal toplayıcılar hiçbir ekipman kullanmaz.

Böylesine dik bir tırmanışta ayak bileği tam olarak ne kadar dorsifleksiyon yapabilir? Antropologlar bu soruya yanıt vermek için Uganda'daki Twa avcı toplayıcılarını kameraya çekmiştir. Bal toplamak için ağaçlara tırmanan Twa erkeklerinin ayak bilekleri, benimkilerden ciddi anlamda daha esnektir. Tırmanırken ayak bileklerinin dorsifleksiyonu kırk beş dereceyi bile geçebilir. Görünüşe göre ayak bileğindeki bu fazladan esneklik, ayak ekleminin kemiksi yapısından değil de yumuşak doku anatomisinden (özellikle de baldır kaslarının sağlamlığından) kaynaklanır. Eğer günümüz insanları dik ağaç gövdelerine böyle tırmanabiliyorsa, Lucy gibi erken dönem hominiinleri de muhtemelen bunu yapabiliyordu. Anatomimiz bazen hayal edebildiğimizden daha esnek olabilir, özellikle de bir şeyi çocukluktan itibaren ve sürekli olarak yaptığımızda.

Peki ya ayaklara ne demeli? Görünen o ki insanların ve öteki kuyruksuz maymunların ayakları arasında çok açık bir fark var. Şempanze ayaklarının atalarındaki gibi bir esnekliği geri kazandığı ve bizlerdeki ayakların daha az esnek olduğu da açıkça ortada. Bizlerin ayaklarında ve ayak tabanlarında öteki kuyruksuz maymunlarda bulunmayan kemerler ve güçlü bağlar bulunuyor.

Kuyruksuz maymunları bir kenara koyup maymunların ayaklarına baktığımızda çok ilginç bir şey fark ederiz. Maymun ayakları hiç esnek değildir, hatta tam anlamıyla sertleşmişlerdir; bu da zıplamak için büyük önem taşır, zaten daha esnek ayaklardan destek alarak zıplamak hem daha zor olurdu hem de enerji bakımından verimli olmazdı. Oysa Afrika kuyruksuz maymunlarına baktığımızda, küçük gövdeli maymunlar gibi bir ağaçtan ötekine güvenli bir biçimde atlayabilmek için çok büyük olduklarını görürüz, dolayısıyla onlara daha esnek ayaklar gerekir. Önceden bahsettiğimiz gibi ayakları gerçekten de esnektir; çok iyi kavrarlar ve neredeyse ellere benzerler. İlk hominin ayaklarının şempanze ayaklarına benzediğine ilişkin üstü kapalı bir varsayım, uzun yıllar boyunca etrafta dolanmıştır. Ne var ki maymun ayaklarının sertliği, başka ihtimallerin de olduğunu göstermiştir. O halde ilk kuyruksuz maymun ayaklarının da esnek olmadığını varsaymak gayet mantıklıdır.

Yaklaşık 4,4 milyon yıl öncesinden kalma *Ardipithecus ramidus* adlı bir türe ait çeşitli fosillerin keşfedilmesi, paleoantropologları hominin ayaklarına başka bir gözle bakmaya zorladı. "Ardi" adıyla tanınan fosilin ayakları, Afrika kuyruksuz maymunlarından çok maymun ayaklarına benziyordu. Öteki hominin lerin aksine Ardi'nin büyük başparmağı ayağının kenarından çıkıyordu; yani bu ayaklar dalları kavramaya yarasa da yürürken yere kuvvet uygulama konusunda elverişli değillerdi. Ne var ki Ardi'nin ayakları esnek değillerdi, dolayısıyla bu bakımdan maymunların ve modern insanların ayaklarına benziyordu.

İnsan ayağını öteki kuyruksuz maymunlarla kıyaslarsak esneklik bakımından tam olarak ne kadar farklıdır? Fosilleşmiş ayak izlerinin yorumlanabilmesi için günümüz insanlarındaki (ve öteki primatlardaki) ayak yapısını ve işlevini çok iyi anlamak gerekiyor. Yetmiş yıldan uzun bir süredir insan ayaklarının hiç esnek olmadığı ve öteki kuyruksuz maymunların ayakları gibi ortadan bükülemediği düşünülüyordu. Buna karşılık aralarında ayaklara ve ayak izlerine hayranlık duyan Robin Crompton'ın da bulunduğu bir grup bilim insanı, insan ayağını bir sınava soktu. Basınç kaydı yapan bir yürüme bandı kullanarak yürüyen insanların ayak tabanlarındaki basınç değişikliklerini kaydettiler ve şaşırtıcı miktarda çeşitlilik olduğunu buldular. Tıpkı ayak eklemlerinin sanı-

landan daha fazla işlevi olduğunun ortaya çıkması gibi, ayakların esnekliği konusunda da daha önce çok sabit fikirli bir tutum izlemiş olabiliriz, çünkü bazı insanların gerçekten de "kuyruksuz maymunlardaki gibi" ortadan bükülebilen ayakları vardır.

Antropologlardan oluşan başka bir ekip, basınca duyarlı bir yüzey üzerinde yürüttükleri üç yüz doksan sekiz insandan veri topladı ve bu insanların yüzde sekizinde ayakların tarak kısmından bükülebildiği bulundu. Bunun "ya vardır ya yoktur" gibi bir özellik olmadığı da açığa çıkmış oldu: Çalışmaya katılarının ayakları büyük bir çeşitlilik olduğunu gösteriyordu. Genellikle ayakları daha esnek olan insanlar düztabandı.

Robin Crompton'ın ekibi insanların kendi içinde de çeşitlilikler gösterebileceğini keşfetti: Ayağın esnekliği zamanla değişebiliyordu. Hatta araştırdıkları insanların üçte ikisinde, bantta yürümeye başladıkları ilk beş dakika içinde her iki ayakta da ayak tarağından bükülme hareketi görülüyordu. O halde tüm bunlar ayağın esnekliğini denetleyen temel etmenlerin kemikler değil de bağlar, tendonlar ve kaslar gibi yumuşak dokular olduğunu gösteriyor. Fosil kemiklerden yola çıkarak organların işlevleri hakkında sonuçlara varırken ne kadar dikkatli olmamız gerektiğini bir kere daha görüyoruz. İlk olarak yaşayan insanların ayak anatomisindeki ve işlevlerindeki çeşitliliği anlamamız gerekiyor. Her bir ayağın kendi içinde esneklik bakımından farklılık göstermesi, ayağın kendi yapısına ilişkin önemli bir noktaya da işaret ediyor: Bu özellik, farklı yüzeylerde yürümemizi sağlayan şey olabilir.



Yürürken ayak tabanındaki değişken basınç noktaları (Bates vd. 2013 makalesinden alınmıştır).

Ek olarak bonobolardan ve bir orangutandan da veri toplayan araştırmacılar, tedirgin edici sonuçlarla karşılaştı. Bu yeni sonuçlar, insanlardan topladıkları verilerle örtüşüyordu. İnsan olmayan kuyruksuz maymunların ayaklarındaki basıncın büyük bir kısmı genellikle ayaklarının en dış kenarlarında olsa da aynı durum bazı insanlar için de geçerliydi.

Modern insan ayakları arasındaki çeşitlilik (ki buna büyürken hiç ayakkabı giymemiş insanları da eklediğimizde epey artar), ayak fosillerinin işlevlerini yorumlamayı ve bir homininin ağaçlarda gezinmek yerine yürüyerek ne kadar zaman anlamayı zorlaştırır. Dış görünüşü tamamen farklı olan ayakların çok benzer işlevlere sahip olabileceği, öte yandan işlevinin çok açık bir biçimde belli olduğunu düşündüğümüz bazı yapıları (örneğin dalları kavramaya yaradığını düşündüğümüz karşıt ayak başparmağı[2]) yorumlamanın da hiç kolay olmadığı açıktır; örneğin Batı Ova Gorilleri, ağaçlarda yaşayan Afrikalı kuyruksuz maymunlardır ama insanlara en çok benzeyen ayaklar onlardadır.

Görünen o ki ayağın işlevleri, geçmişte düşündüğümüzden daha çeşitlidir. Yine de bu konudaki araştırmalardan tamamen vazgeçmemiz gerekmiyor, belli ki yapılması gereken çok iş var. Eğer fosilleşmiş bir türün etrafta nasıl dolaştığını ve çevresiyle nasıl etkileşime girdiğini gerçekten anlamak istiyorsak yaşayan türlere ait anatomi parçalarıyla işlevleri arasında nasıl bağlantıları olduğunu, bu parçaların anatomik ve işlevsel yanların ekolojiyle ilgisini anladığımıza *gerçekten* emin olmalıyız.

Ayrıca yaşayan herhangi bir türün atalarına çok da benzemeyeceğini hatırlamamız gerekiyor. Hominin anatomisi, şempanzelerle son ortak atamızın görüldüğü beş ila yedi milyon yıl önceden bu yana ciddi anlamda değişikliğe uğramıştır. Şempanze soyunda anatomik değişiklikler olduğuna da şüphe yoktur. Tüm bunlar bizi şu soruyla baş başa bırakır: Bahsettiğimiz bu ortak ata, şempanzeye ne kadar benzer? Bunun beraberinde gelen daha büyük bir soru da şudur: İki ayak üstünde yürüyebilme becerisi insanlara nereden geldi?

2 Öteki dört parmağın tam karşısına gelebilen başparmaklara "karşıt başparmaklar" ya da "karşı duran başparmaklar" [*İng. opposable thumbs*] denir. Başparmakların bu konumu sayesinde kavrama becerilerimizin ortaya çıktığı düşünülmektedir -çn.

İKİ AYAK ÜSTÜNDE YÜRÜMENİN KÖKENLERİ

İnsan evrimi hakkında en ünlü çizim şu "maymundan insana yürüme" resmi olmalıdır. Kesin görmüşünüzdür; en solda şempanzeye benzer bir atayla başlar, her adımda daha da dik duran canlılarla ilerler, sonunda da en sağdaki modern insanla zirve yapar. Bu çizim çeşitli biçimlerde çoğaltılmıştır; Google'a "march of progress" yazarak hepsini görebilirsiniz. Birisi çok iyidir; şempanzeden sonra hafifçe diklenen insanın yeniden kamburu çıkmaya başlar, sırayla elinde bir tırmık ve sondaj makinesi taşır, en sonunda iki büklüm halde bilgisayarın başında oturur. Birisi elektrikli süpürgeden Dalek'e[3] evrimi anlatır, birisi de Homer Simpson'ın evrimi *Homersapien* ile sonlanır. Aynı çizimi bu kez legolarla yapıp fotoğrafını çekenler bile vardır.

Bu iz bırakan çizim, kültürümüzün, hatta bence beynimizin de bir parçası haline gelmiştir. Aslında insan evrimiyle ilgili en işe yaramaz iki düşüncenin vurgulanıp kalıcı hale gelmesine yol açmıştır. İlk olarak muhtemelen bu çizimden de önce var olan bir düşünceyi desteklemiştir; bu düşünce, insan evriminin hiçbir sapma olmaksızın dümdüz bir çizgide ilerleyen bir süreç olduğudur. Kendi ufak dalımız da dahil olmak üzere hiçbir evrim süreci dümdüz ilerleyen gelişim basamaklarından oluşmaz. Aksine, Stephan Jay Gould'un da dediği gibi "her yöne dallanıp budaklanan bir ağaçtır." Orijinal adı *Homo Sapiens'e Doğru* [The Road To Homo Sapiens] olan bu çizim, 1965 yılında ABD'li antropolog F. Clark Howell'in *İlk İnsan [Early Man*] adındaki popüler bilim kitabı için Rudolph Zallinger tarafından çizilmiştir. Aslında Howell, hominin evrimini çizgisel bir gelişim olarak anlatmamıştır; kitapta o dönemde bilinen türler kronolojik bir sırada verilmiştir. Bu çizimin, sıralı bir biçimde bir türün ötekine evrim geçirdiğini gösterme amacıyla çizilmediği açıktır. Ne yazık ki çizime üstünkörü baktığınızda durum budur.

Bu resim hiçbir işe yaramayan başka bir izlenim daha yaratır: İki ayak üstünde yürüyen homininlerin şempanzeye benzeyen ve dört ayak üstünde yürüyen bir canlıdan evrim geçirdiğini gösterir. Gerçi bu çizimin orijinal haline haksızlık etmek olur; çizimde on

3 Dalekler, *Doctor Who* adlı bilimkurgu dizisindeki bir karakterdir -çn.

beş türe yer verilmiştir ve bunlardan ilk ikisi (*Pliopithecus* ve *Proconsul*) dik bir biçimde yürürken resmedilmiştir. Katlanan birkaç sayfaya yayılan bu çizimde ilk iki türden sonra dört ayaklı *Dryopithecus* (Avrupa ve Asya'da yaşamış, Miyosen döneme ait bir kuyruksuz maymun) gelir. Çizimin çoğu kopyası, beş ya da altı türe indirgenmiştir. Günümüz şempanzeleri gibi çizildiği için de dört ayak üstünde yürüyen *Dryopithecus*'un çizimiyle başlar. Bence bu çizim, başka bir sorun daha yaratıyor: Bizler gibi iki ayak üstünde yürüyen insanların, şempanze benzeri bir dört ayaklı atadan evrim geçirdiği düşüncesini beyinlerimize kazıyor. Son yıllarda genetik anlamda şempanzelere çok benzediğimizin ortaya çıkmasıyla (bu nasıl ölçtüğünüze göre değişse de bazen bu benzerliğin yüzde 99 olduğu söylenir), insanların şempanzeye benzeyen ataların soyundan geldiği düşüncesi de yaygınlaştı. Oysa bu, koskocaman bir varsayımdan ibarettir.

İki ayak üstünde yürümek, insan olmanın temel özellikleri arasındadır. Aslında burada dikkatli davranıp bize özgü bir özellik olanın *sürekli* iki ayak üstünde yürümek olduğunu ayırt etmemiz gerekiyor. Yaşayan tüm kuyruksuz maymunlar iki ayakları üstünde dolaşabilir ama bunu bizim kadar uzun süreli yapmazlar. Sizin ve benim için iki ayak üstünde yürümek (ya da koşmak), tercih ettiğimiz bir "hareket etme biçimi" haline gelmiştir. Dört ayak üstünde hareket etmek bebeklere, kollarımızla tırmanıp asılmak da çocuklara ve maceraperest yetişkinlere özgüdür. (Tabii bu bizlerin iyi tırmanıcılar olmadığı anlamına gelmiyor. Öyleyiz. Birkaç sayfa sonra bu konuya döneceğim.)

İnsanlarda (sürekli) iki ayak üstünde yürümenin kökeni, ciddi tartışmalara konu olmuştur. Darwin'in *Türlerin Kökeni*'ni yayımlamasından dört yıl sonra (1863 yılında) "Darwin'in Bulldog'u" lakaplı Thomas Henry Huxley, evrimle ilgili kendi düşüncelerini *İnsanın Doğadaki Yerine İlişkin Kanıtlar* [Evidence as to Man's Place in Nature] başlığındaki bir kitapla yayımlamıştır. Kitabın kapağında her biri dik duran gibon, orangutan, şempanze, goril ve insan iskeletleri çizimleri vardır. Görünüşe göre o dönemlerde insanların, kollarıyla ağaçlardan (ya da dallardan) asıldıkları için dik gövdelere sahip olan kuyruksuz maymunlardan evrim geçirdiği açıkça benimseniyordu. Ağaçlarda yaşayan atalarımızın bir noktada ağaçlardan inip dik

bir omurga üzerinde yürümeye devam ettiği ama bu kez iki ayağı üstünde yürüdüğü düşüncesi, yirminci yüzyılın başlarına kadar baskın görüş olarak kalmaya devam etmiştir. Londra'daki *Kraliyet Cerrahlar Koleji* [Royal College of Surgeons], Hunterian Müzesi müdürü İskoçyalı anatomist Sir Arthur Keith, 1923 yılında bu "dallardan asılma kuramını" kısaca anlatmıştır. *Hylobatidae* familyası gibonları kapsar; bu kuyruksuz maymunlar kollardan asılma sanatında ustadır (bir gün fırsatınız olursa onları izlemenin ne kadar keyifli olduğunu görürsünüz) ama ağaçtan indiklerinde iki ayak üstünde yürürler.

İnsanın iki ayak üstünde yürümesinin kökenleri hakkındaki tüm bu düşünceler, yirminci yüzyılın sonlarına doğru değişime uğramıştır. Yeni genetik biliminin insanların Afrika kuyruksuz maymunlarıyla (şempanzeler ve gorillerle) yakından akraba olduğunu ortaya çıkarmasıyla gibonlar unutulmuştur. Şempanzeler ve goriller genellikle dört ayakları üstünde, ayak tabanlarına basarak ve el parmakları eklemlerinden destek alarak yürür. Bu nedenle bu yürüme biçimine "el parmak eklemleri desteğiyle yürüme" anlamına gelen *knuckle-walking* denir. Bu durumda insanların, şempanzelerin ve gorillerin aynı yöntemle hareket eden bir ortak atadan evrim geçirdiğini düşünmek oldukça mantıklıdır (ne de olsa bu, evrimin izleyebileceği en kolay ve en tutumlu yoldur). Araştırmacılar gerçekten de kuyruksuz maymunların ve modern insanların el ve bileklerinde bu yürüme biçimine uyarlanım gösterdiği düşünülen kemik özelliklerini keşfetmiştir. (Buradaki ana düşünce, bizdeki bu özelliklerin şu an kullanılmıyor olsalar da atalarımızdan miras kaldığıdır.)

Kemikler ilgili belirli özelliklerle özel işlevleri ilişkilendirirken elimizde bunları destekleyecek sağlam kanıtlar yoksa dikkatli olmak gerekir. Hatta bilimin her alanında dikkatli olmak şarttır. Varsayımları şu anda bildiklerimiz üzerine kursak da sadece dirençli bir varsayım iyi bir varsayımdır. Veri topladıkça bazılarının zamana yenik düşeceğini biliriz ve gördüklerimiz hakkında yeni açıklamalar üretebilmemiz gerekir. Tüm bunlar bilimsel kuramlara (ki bunlar bilimsel gerçeklerle aynı şeylerdir) güvenemeyeceğimiz anlamına gelmez, sadece açık görüşlü olup bazı açıklamaların değişebileceğini kabul etmemiz gerektiğini gösterir. Bunlar belki de bilim kurumunu güçsüz gösterebi-

lir ama öyle olmamalı. Bazı kuramların ya da bilimsel gerçeklerin çürütülme ihtimali o kadar düşüktür ki sırtımızı onlara rahatlıkla yaslayabiliriz; örneğin Dünya düz değil küreseldir ve evrim kesinlikle yaşanmıştır. Öte yandan atalarımızın sürekli iki ayak üstünde yürümeye başlamadan önce etrafta nasıl dolandığı konusu tartışmaya daha açıktır. Bugün tüm bu "el parmak eklemleri desteğiyle yürüyen ata" kavramına ciddi bir meydan okuma söz konusudur.

Öncelikle şempanzelerin, gorillerin ve bizlerin bu yürüme biçimiyle hareket eden bir ortak atası olduğu düşüncesi; sadece şempanzelerin ve gorillerin aynı biçimde yürüdüğü, dolayısıyla homolog bir yürüme biçimine sahip oldukları durumda geçerli olabilir. Son on beş yıl içinde yapılan birkaç çalışma, şempanzeler ve goriller arasında hafif farklar olduğunu ve bu hayvanların el bileklerinin farklı yollardan geliştiğini göstererek söz konusu sanının üzerine gitmiştir. El parmak eklemlerinden destek alarak yürümeyle ilişkili olduğu düşünülen bazı kemik özellikleri de sorgulanmıştır. Bazı araştırmacılar, bu özellikleri el bileği ekleminin sabitlenmesiyle ilişkilendirse de kemik özellikleri ilk olarak ağaçlara tırmanmak adına evrim geçirip ardından yürümeye faydalı olmuş da olabilir.

Ardi'nin (ilk kez 1990'lı yılların başında keşfedilen *Ardipithecus ramidus*) anatomisine bakıldığında, insanların herhangi bir noktada el parmak eklemlerinden destek alarak yürüyen bir ataya sahip olma olasılığı çok düşüktür. Ardi çok yaşlı bir hominindir; genetik karşılaştırmalara göre bundan beş ila yedi milyon yıl önce şempanzelerle yolları ayırdığımızı düşünürsek, 4,4 milyon yıl öncesi şempanzelerle son ortak atamıza en çok yaklaşabildiğimiz zamandır. Ardi'nin bir sürü fosil kemiği vardır ve bunlar, onun şempanzeye pek de benzemediğini açığa çıkarır. İlla birilerine benzeyecekse, *Proconsul* türü gibi ilk kuyruksuz maymun fosillerine değil de çok büyük maymunlara benzer. Daha önce Ardi'nin ayaklarının esnek olmadığına ama karşıt ayak başparmaklarına sahip olduğuna değinmiştik. Ayağındaki bu özelliklerin bir arada bulunması, iskeletin tamamı hakkında daha genel bir yargıya varmamıza yol açar: Ardi'de, hem ağaçta yaşamanın getirdiği uyarlanımların hem de sürekli iki ayak üstünde yürüdüğünü gösteren özelliklerin birleşimi görülmektedir.

Öte yandan el parmak eklemlerinden destek alarak yürüdüğüne ya da ağaçlardan asıldığına ilişkin özelliklerin hiçbiri Ardi'de görülmez. Günümüzde insan olmayan kuyruksuz maymunlarla kıyaslandığında Ardi'nin geriye yatabilen oldukça esnek el bileklere sahip olduğu gözükür. Ardi'nin kolları ve bacakları uzunluk bakımından modern makaklarda aynı oranda olsa da aslında bu hayvanlardan daha büyük bir vücudu vardır. Dolayısıyla tıpkı makaklar gibi ayak tabanlarını ve avuç içlerini kullanarak dört bacağı üstünde ağaçlarda dolaştığı öne sürülmüştür. Oysa Robin Crompton ve meslektaşları, yaklaşık elli kilogram olduğu tahmin edilen Ardi'nin makaklardan çok daha ağır olduğuna (neredeyse beş katı kadar) dikkat çekmiştir; bu canlının vücut ağırlığı ve esnek olmayan ayakları (ve bir de kuyruksuz bir maymun olarak kuyruğunun olmaması), dalların tepesinde dört ayak üstünde dengede durmakta çok zorlanacağına işaret etmektedir. Dolayısıyla Crompton ve öteki araştırmacılar, Ardi'nin tüm kuyruksuzların yaptığı bir şeyi (yerde yürümenin durup dururken var olmadığını gösteren bir hareketi) yaptığını ileri sürdü: O ağaç dallarının üzerinde yürüyordu.

Bu oldukça mantıklı bir varsayımdır: Ardi, iki ayağı üstünde dururken destek almak için yukarıdaki ve yanlardaki dallara tutunmuş ya da avuç içlerini ve parmaklarını kullanarak dalları omuz seviyesine çekmiş olabilir. O halde bu yapılı hayvan, ağaçların tepelerinde oldukça güvenli bir biçimde gezinmiştir. Büyük kuyruksuz maymunların hepsi hâlâ bu yöntemi kullanır: Yatay duran dallar üzerinde ellerinden kuvvet alarak dengelerini sağlayıp iki ayakları üstünde yürürler. Tüm büyük kuyruksuz maymunlar içinde ağaçlarda en uzun zaman geçirenler orangutanlardır; aynı zamanda bu canlılar, en uzun süre iki ayak üstünde yürüyenlerdir. Şempanzeler ve goriller, kalçalarını ve dizlerini kırarak iki ayak üstünde yürürken orangutanların iki ayak üstünde yürüme biçimi, bu canlılara kıyasla daha dik duran kalçalardan ve dizlerden geçer.

Orangutanları "ağaç dalların üzerinde yürürken" görmek oldukça ilginçtir. Aslında ağaçlarda geçirdikleri zamanın sadece yüzde onu kadarında iki ayak üstünde yürüseler de belli ki bu davranış onlar için önemlidir. İki ayak üstünde dalların üstünde durmak, dalların uçlarına (meyvelerin olduğu yere) uzanabilecek-

lerini gösterir. Aynı zamanda öteki ağacın dallarına da erişebilecekleri anlamına gelir; bu da bir ağaçtan aşağıya inip yanındaki ağaca tırmanmaktan çok daha kolay ve etkili bir yöntemdir. Orangutanlar, yatay duran dallarda hareket edebildikleri gibi dalların üzerinde durarak yukarıya da tırmanabilir. Bana kalırsa bizim alışık olduğumuz tırmanış tipi budur. Öte yandan şempanzeler ve goriller, kolaylıkla dik ağaç gövdelerine tırmanabilir (gerçi aynı tırmanış biçiminin bal toplayıcılar tarafında kolaylıkla yapılabildiğini de gördük).

Bence mümkünse yatay dalların kullanıldığı bu yürüme ve tırmanma biçimi, insanlardaki iki ayak üstünde yürümeyi daha sıradan bir hale getirir. Ne de olsa yepyeni değil çoktan var olan bir hareket etme biçimidir ve muhtemelen kuyruksuz maymunların evrimine kadar uzanan bir kökeni vardır. İki ayak üstünde yürümenin *ne zaman* ve *nerede* olduğuna ilişkin hararetli tartışmaların yanı sıra yaklaşık yüz yıldır bu yürüme biçiminin *neden* var olduğu üzerine kafa yoruyoruz. Darwin, bu yürüme yöntemini kullanan canlıların ellerini kullanarak kendilerini savunabileceğini ileri sürmüştü. Öteki araştırmacılar, ellerin ve kolların bakıma muhtaç bebekleri ve yemekleri taşımak için boşta kalması nedeniyle bu yöntemin ortaya çıktığını söylemişti. Belki bu sayede homininler çayırların tepesinden bakıp avcı hayvanları seçebiliyordu. Belki iki ayak üstünde durmak, vücudun ısınan çayırlara daha az maruz kalmasına yarıyordu. Belki bir saldırganlık göstergesi olarak ortaya çıkmıştı ya da atalarımızın suda takıldığı sulu zamanlardan kalmaydı. Belki iki ayak üstünde yürümek, dört ayak üstünde uyumaktan daha verimliydi. Belki bu sayede erkekler gösterişli cinsel organlarını sergileyerek dişileri etkileyebiliyordu. Belki de öylesine ortaya çıkan bir şeydi. Belki de iki ayak üstünde yürümenin nedeni, yukarıdakilerin hepsiydi.

Bu önerilerin çoğu çatlaklarla doludur. Sürekli iki ayak üstünde yürümenin hominin evriminde ortaya çıkışı, beyin boyutunun artmasından çok daha sonra gerçekleşmiştir; dolayısıyla erken dönem hominin yavrularının bakıma muhtaç olması söz konusu olmayabilir. İki ayakları üstünde yürüyüp tek elinden destek alan şempanzeler de yemek taşımak konusunda oldukça başarılıdır. Bugün eski çevrelerin bilgisayar ortamında yeniden yaratılmasıy-

la çayırlarda üç milyon yıl önce gerçekleşen büyümeden haberdarız; dolayısıyla bu değişim, homininlerin eninde sonunda iki ayak üstünde yürümeye başlamasından çok sonra olmuştur. Sudan gelme kuyruksuz maymunlardan bahseden tuhaf kuramla ilgili sorunlar saymakla bitmez ama kısaca hominin evriminde buna ilişkin hiçbir kanıtın olmadığını söyleyebiliriz. Neyse, demek istediğim şu: Bir kuyruksuz maymun için yerde iki ayak üstünde yürümenin çok da sıradışı bir şey olmadığı (hatta bayağı sıradan olduğu) durumda, bu davranış için sıradışı bir açıklama bulmamıza da gerek kalmaz. Öte yandan bu davranış el parmak eklemlerinden destek alarak yürüyen kuyruksuz maymunlardan evrilmiş olsaydı bir hareket biçiminden ötekine bu ani "değişimin" nedenini açıklamanız gerekirdi. Oysa iki ayak üstünde yürümeyi atalarımızda *zaten* var olan bir hareket biçiminin devamı olarak görürseniz bu değişim çok daha kolaydır. Sık ağaçların bulunduğu bir ormandan ziyade daha açık alanlarda gezinen kuyruksuz maymunlar için bu gayet doğal bir değişimdir; özellikle de bir süredir yerde, iki ayak üstünde yürüyen kuyruksuz maymun atalarımız sayesinde daha da kolay olmuştur.

Görünüşe göre Miyosen dönemde (5,3 ile 23 milyon yıl arasında) yaşayan birkaç kuyruksuz maymun için (bunların arasında *Pierolapithecus*, *Hispanopithecus* ve *Morotopithecus* da yer alır) ağaç dallarının üzerinde yürümek oldukça önemlidir. Miyosen dönem kuyruksuz maymunlarından en azından biri, anatomisini değiştirecek kadar uzun süre yerde yürümüştür. *Oreopithecus bambolii* yedi ila dokuz milyon yıl önce, bugün Toskana ve Sardinya olarak bilinen bölgeler arasında yaşamış eski bir kuyruksuz maymundur. *Oreopithecus*'ta bize tanıdık gelen bazı özellikler bulunur: Diz ekleminde bikondiler açı vardır, kalçalarının ve dizlerinin gerilerek kullanıldığını gösteren uyarlanımlar göze çarpar. O halde bu canlı, gerçekten de yerde yürümüş olan bir kuyruksuz maymuna benzer. Ondan beş milyon yıl sonra yaşamış olan Ardi de benzer biçimde hareket etmiş, biraz ağaçlarda biraz da yerde yürümüş olabilir.

El parmak eklemlerinden destek alarak yürüyen bir atanın yer aldığı Zallinger'in çiziminin kısaltılmış hali çok başarılı bir biçimde pazarlanmıştır. Umarım çizimle ilgili yönelttiğim bu eleştiriler sayesinde el parmak eklemlerinden destek alıp yürüyen

atadan dik durup yürüyen insana geçişi gösteren çizimi zihninizden silmeyi başarabilmişimdir. Artık hominin atalarımızın hiçbir zaman böyle yürümediğini, buna karşılık ağaç dalları üzerinde yürümekten yerde yürümeye geçtiklerini gösteren sağlam kanıtlar vardır. İki ayaklı üstünde yürümenin (hatta bunu yerde yapmanın) kökenlerine ilişkin düşünce, bu davranışı ilk homininlerin ortaya çıkışından da önceye itmiştir. Öyleyse iki ayak üstünde yürümenin kökenleri; orangutanların, şempanzelerin, gorillerin ve bizlerin ataları olan Miyosen dönem kuyruksuz maymunlarına uzanmaktadır.

Tüm bunlar kendimizi özel olarak hissetmemizi engeller. Öte yandan işler bu sırayla olduysa gerçek mucitler şempanzeler ve gorillerdir; hareket etmeye yeni bir soluk getirip el parmak eklemlerinden destek alarak yürüyenler onlardır. Muhtemelen tek icatları bununla dasınırlı kalmamıştır. Yaşayan ve fosil kuyruksuz maymunların ön kollarına (ve de arka bacaklarına) bakarsanız, tırmanmaya ve ağaç dallarından asılmaya ilişkin çoğu uyarlanımın (örneğin el bileği eklemindeki sabitleyici özelliklerin) paralel bir biçimde birkaç kez evrim geçirdiğini görürsünüz. Elbette bu da tırmanma ve kollarından asılma davranışlarının da birkaç kez evrim geçirdiği anlamına gelir. Aynı olayın birkaç kez yaşanması gereksiz derecede çetrefilli gözükebilir (tüm bu davranışların ve özelliklerin bir kere ortaya çıkması daha kolay ve ekonomik olmaz mıydı?) ama fosil kayıtlar istikrarlı bir gelişime işaret etmez. Aksine, bölük pörçük bir gelişim söz konusudur. Elbette tırmanmanın ve kollardan asılmanın belirli bir vücut boyutuna ulaştığında mümkün olduğunu göz önünde bulundurursanız bu istikrarsızlık daha mantıklı gelebilir. (Ardi'nin ağaçlarda gezinen bir dört ayaklı olduğu iddiasını hatırlıyor musunuz? Büyük bir vücudu dört ayak üstünde dengede tutmak oldukça zordur. Vücut ağırlığını iki ayak üstüne vererek durmak ya da tırmanmak ve bu sırada ellerinizden destek almak, (bazı kuyruksuz maymunların yaptığı gibi) dallardan asılmaktan daha kolaydır.)

Görünüşe göre bu yenilikçi ve yaratıcı kuyruksuz maymunlar arasında muhafazakâr olan biziz. Kuyruksuz maymunların en başından beri yaptığı gibi iki ayağımızın üstünde dolaşıp duruyoruz.

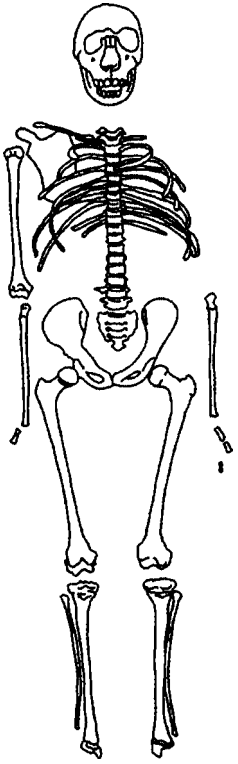
KOŞMAK İÇİN YARATILMIŞIZ

Atalarımız, sandığımızdan çok daha uzun bir süre iki ayak üstünde yürümüştür (tabii ağaç dalları üzerinde yürümeyi de iki ayak üstünde yürümeye dahil edersek). Peki vücudun tamamı düşünüldüğünde, kol ve bacakların oranı ne zaman bizdekilere benzemeye başlamıştır? Ardi ve öteki Australopitlerin tamamı, uzun kolları ve kısa bacaklarıyla herhangi bir kuyruksuz maymuna benzer. (2005 yılına kadar kolları ve bacakları da yerinde duran tek *Australopithecus afarensis* iskeleti, Lucy'ye aitti. Daha sonra Etiyopyalı bir araştırma ekibi, Afar bölgesinde 3,6 milyon yıl öncesinden kalma bir iskelete ait parçalar buldu. Lucy'den çok daha büyük, muhtemelen de bir erkeğe ait olan bu iskelete *Kadanuumuu* (Dev Adam) adını verdiler. *Kadanuumuu* uzun boylu olsa da modern insanlara kıyasla hâlâ kısa bacaklıdır.) Günümüz insanlarının belirgin özelliklerinden biri olan uzun bacaklar, insan evriminde daha kısa süre ortaya çıkmıştır.

Uzun bacaklarıyla gerçekten de bir *insan* vücudu olduğu düşünülen ilk kanıt, 1984 yılında su yüzüne çıkmıştır. Richard Leakey'in fosil arama ekibine yardımcı olan Kamoya Kimeu, Nariokotome Nehri'nin kumla kaplı nehir yatağında birkaç iskelet fosili parçası keşfetmiştir. Bu nehir, Kenya'daki Turkana Gölü'nün yaklaşık beş kilometre yakınlarındadır. İskelet, kemikleri henüz tam anlamıyla gelişmemiş ve şimdilerde "Nariokotome Çocuğu" adıyla tanınan bir erkek çocuğuna aittir. Bundan 1,5 milyon yıl önce Doğu Afrika'da yaşamıştır ve *Homo erectus* olarak bilinen türün bir üyesidir. Bazı araştırmacılar Afrika'daki erken dönem *Homo erectus* türünü (bizim çocuk da bunlardan biridir) ayırıp onları *Homo ergaster* adlı başka bir tür altında sınıflandırmaktadır. Ne var ki bu fazladan türün varlığına ilişkin kanıtlar, özellikle de Gürcistan'daki Dmanisi kazı alanından çıkarılan *Homo erectus* fosillerinin bu tür içinde çok fazla çeşitlilik bulunabileceğini göstermesiyle giderek azalmıştır.

Nariokotome Çocuğu iskeletinde ölüm nedenini açıkça gösteren bir belirti yoktur ama bazı araştırmacılara göre diş apsesi yüzünden ölmüş olabilir. Enfeksiyonu tedavi etmek için antibiyotik olmadığını düşünürsek bu bir ölüm nedeni olabilir ama kesin

olarak bilmek imkânsızdır. Nasıl ölmüş olursa olsun, vücudunun leşçillerin pençelerinden kurtulup bu denli iyi korunmuş olabilmesi için tortu katmanıyla çabucak kaplandığı kesindir.



Nariokotome Çocuğu.

Nariokotome Çocuğu'nun ölüm yaşı, yıllar boyunca süregelen bir tartışmaya konu olmuştur. Kaynamamış plakların izlerini taşıyan kemiklerine bakıldığında bir genç olduğu düşünülebilir; modern bir insan olsaydı on ila on beş yaşlarında olduğunu söyleyebilirdim. Oysa bu çocuğun dişleri bambaşka bir öykü anlatır: Kemikleriyle dişlerinin farklı yaşlarda olduğunu göstermesi, Nariokotome Çocuğu'nun sizle ya da benle aynı gelişim sürecinden geçmediğini gösterir. Öte yandan şempanzelerle de benzemez. Nariokotome Çocuğu hakkında yapılan en son ve en doğru

yaş tahmini, onun yaklaşık sekiz yaşında küçük bir çocuk olduğunu ileri sürer. Ayakta durduğunda boyu muhtemelen bir metre elli dört santim civarındadır; bir yetişkin olsaydı bundan ancak üç santimetre daha uzun olurdu. Eski tahminler, Nariokotome Çocuğu'nun yetişkinliğe eriştiği durumda yaklaşık bir metre seksen santim olabileceğini öne sürmüş olsa da bahsedilen tahmin daha mantıklıdır. Ayrıca erken dönem *Homo habilis*'leriyle (ki bu tür Australopitlerden birazcık daha uzundur) *Homo erectus* arasında boy olarak daha akla yatkın bir geçiş olduğunu gösterir.

Bunlara rağmen Nariokotome Çocuğu erken dönem hominin-lerinden daha uzun boyludur ve daha uzun *bacaklara* sahiptir. Aslında uzun boy ve uzun bacaklar birbiriyle bağlantılıdır. Bu yorumuma "Ee, yani?" diyor olabilirsiniz ama şunu söylememe izin verin; modern insanlar ve erken dönem homininlerinde boy uzunluğu ve uzun bacaklar ilişkilidir. Dolayısıyla daha uzun bacakları olanların boyları da göreceli olarak her zaman daha uzundur. Kendi cinsimiz *Homo*'nun kökenlerini düşündüğümüzde doğal seçilim sadece vücut kütlesine bakarak bir tercih yapmış olabilir; büyük vücutlar da doğal olarak uzun bacakları beraberinde getirirler. Bence Nariokotome Çocuğu'nu uzaktan görseydiniz hiçbir şüphe duymazdınız; bizlerden daha küçük olan başını ve farklı yüz hatlarını fark edemeyeceğiniz için bu vücut tipi size tanıdık gelirdi.

Nariokotome Çocuğu'nun uzun bacakları, etkin bir biçimde yürüyebildiğini anlamına gelebilir. Öte yandan antropolog Dan Lieberman, bu iskelette sadece yürüme uyarlanımı olarak açıklanamayacak pek çok özelliğin olduğunu dile getirir. Örneğin boynunun arkasından aşağıya doğru kalın bir bağ doku uzanır; uzun, dar bir beli ve düşük omuzları vardır; kalçalarında geniş büyük ilye kasları, sırtında da omurga dikleştirici kaslar bulunur, ki bunlar gövdesini sabit tutmaya yardımcı olmuştur. Ayrıca bacağında ve ayağında enerji depolamaya ve salıvermeye yarayan, tıpkı gevşeyen bir yay gibi toplanan sahip dokular vardır (bunlardan biri Aşil tendonudur); parmakları da kısadır. Dan, tüm bu özelliklerin tek bir hareket biçimiyle ilgili olabileceğini söyler; bunun için bir yay gibi geri toplanan tendonlara ve bağlara ihtiyacınız vardır. Ayrıca bu hareket biçimi sırasında dengenizi koruyabilmek için kalça kemiğinizin üzerinde rahatça dönebilen omuzlarınızın

ve gövdenizin de olması gerekir. Bir de kalça ekleminizi rahatça açabilmek ve gövdenizin öne doğru eğilmesini engellemek için arka tarafınızda güçlü kaslarınız olmalıdır. Bahsedilen bu hareket biçimi, koşmaktır. Uzun mesafe koşusunda adımlar arasındaki uzunluğun artması hızın artmasıyla aynı anlama geldiği için belki de uzun bacaklar "koşmak" için de işe yaramıştır.

Dan Lieberman'la Harvard Üniversitesi'ndeki laboratuvarında buluştuk. Koşarken büyük ilye kasının ne kadar önemli olduğunu göstermek için beni koşu bandına bile çıkarttı. Büyük ilye kası, hafif eğimli bir yüzeyde yürürken bile pek çalışmaz. Oysa koşarken çok aktiftir; ayağınızın yere bastığı taraftaki gövdenizin esnemesine karşılık öteki tarafın kasılmasını sağlar (yüzünüzün üstüne çakılmanızı engeller) ve havadaki bacağınızın yere basmadan önceki hızını yavaşlatır. Büyük ilye kasının tam olarak ne zaman bu kadar büyüdüğünü söylemek zordur. Dan'e göre bu kas, homininlerin koşma becerilerinin evriminde büyük bir rol oynamıştır.

Dan'in kuramı (2004 yılında *Nature* dergisinin kapağında yer almıştır), uzun mesafe koşusunun atalarımız için en önemli şeylerden biri olduğunu ileri sürer. İnsanın temel hareket biçimi olarak sadece iki ayak üstünde yürümeye odaklandık; oysa en azından *Homo erectus*'un ortaya çıkışıyla koşmak da eşit derecede önem kazanmış olabilir. Muhtemelen yürümenin ve koşmanın ardında daha derin meseleler vardır. Örneğin Dan'in uzun mesafe koşusuyla ilişkilendirdiği anatomik yapılarından birkaçı sayesinde yokuş çıkmak ve engebeli arazilerde yürümek de mümkündür. Öte yandan koşmak, atalarımızın sürekli değişen arazilerle başa çıkmasını sağlamış; dolayısıyla vücutlarımızı da değiştirerek bugün insanla ilişkilendirilen temel vücut planına sahip olmamıza yol açmış olabilir.

Bugün çoğumuz epey durağan yaşamlara alışkın olduğumuz için doğuştan koşucular olduğumuz düşüncesi size şaşırtıcı gelebilir; öte yandan daha önce uzun mesafe koşan kişileri pek etkilemeyecektir. Aslında bizler çok iyi koşarız; vücutlarımız, koşuyu daha kolay ve verimli bir biçimde yapabilmek üzere tasarlanmıştır. Bazı hayvanlardan daha hızlı koşamayabiliriz ama bizler, köpekler ve atlar dahil çoğu hayvandan daha uzun mesafelere ulaşabiliriz.

Nariokotome Çocuğu'nun türdeşleri; bugün Afrika'nın engin çayırlarıyla özdeşleşen savanaların yayıldığı, otlanan hayvanların çoğalıp çeşitlendiği sırada evrim geçirmiştir. Bir yandan ormanlar küçülürken bir yandan da genişleyen çayırların oluşturduğu bu yeni çevre, homininlere uyarlanım fırsatı sunmuştur. Böylesine bir çevreden tam anlamıyla faydalanmak için uzun mesafeler katetmek gerekir. Öte yandan atalarımızın koşması, çok önemli bir enerji ve protein kaynağı olan ete ulaşmak için yarışabileceklerine de işaret eder. Eti avlanarak mı, yoksa başka canlılardan kalanların artıklarından mı elde ettiklerine kesin bir yanıt vermek zor olsa da (muhtemelen ikisi de doğrudur) *Homo erectus* tarafından neredeyse iki milyon yıl önce yapılan taş aletler, eti ve tendonları kesmek için şahane araçlardır. Afrika'daki birkaç arkeolojik sit alanında bulunan hayvan kemikleri üzerindeki kesikler, taş aletlerinin çatal bıçak olarak kullanıldığının kanıtıdır. Kenya'daki Victoria Gölü kıyısında kısa süre önce keşfedilen bir sit alanı bir sürü ceylan kemiğine ev sahipliği yapmaktadır; araştırmacılara göre bu kemiklerin varlığı, sadece başkalarından artakalan besinlerin toplanmadığına ve avlanmaya ilişkin güzel kanıtlardır.

YEPYENİ BİR YENİLİK

İnsanın koşma uyarlanımının evrimde oldukça iddialı bir düşünceye örnek olduğu ileri sürülmüştür. Bu düşünce, insan vücudundaki ciddi değişikliklerin genetik değişikliklerden önce gerçekleştiğidir.

Vücutlarımız, yaşamımız boyunca uyarlanım gösterebilir. Bunu kişisel deneyimlerimizden anlayabiliriz: Spor yapmaya başladığınızda vücudunuz değişir. Spor yaptığınız sürede belirli kasların geliştiğini fark etseniz de kemiklerinizin de geliştiğini muhtemelen bilmiyorsunuzdur. Vücut iskeletimizi genellikle değişmeyen, cansız bir yapı iskelesi olarak görürüz; oysa kemikler de canlı dokulardır. Minerallerle dolu olabilir ama sert kemik matriksinin oyuklarında yaşayan canlı hücreler vardır. Bu hücre-

ler, hem birbirleriyle hem de kemik yüzeyindeki hücrelerle iletişim halindedir. Kemikteki değişimlere yanıt vererek güçlendirilmesi gereken yerlerde yeni kemik dokusu üretip, kemik üzerindeki yük kalkınca bu dokuyu kaldırırlar. (Yer çekimsiz ortamda zaman geçiren astronotların karşılaştığı sorunlardan biri de kemik kütlelerini kaybetmeleridir.)

Bir embriyonun, gelişmekte olan bir çocuğun, hatta bir yetişkinin vücudunun biçim ve işlevi, sadece DNA tarafından belirlenmez. Öyleyse iskeletinizin biçimi ve tüm vücudunuz sadece genlerle değil, vücudunuzu *nasıl* kullandığınızla da ilgilidir. Vücudunuz, davranışlarınızın bir ürünüdür. Genleriniz, vücut biçiminizin gidebileceği sınırları belirlemekle görevlidir.

"Normal" anatomiye sahip olduğu düşünülen bir vücut bölümü, anatomi ve fizyolojinin başka bir bölümde çalışmadığı durumda büyük değişikliklere ev sahipliği yapabilir. E. J. Slijper adında Hollandalı bir veteriner, 1942 yılında iki ayaklı bir keçi vakasından bahsetmiştir: Ön ayakları doğuştan felçli olan bu hayvan, dört ayağı üstünde yürüyemediği için arka ayaklarının üstünde zıplayarak yürüyordu. Keçinin ölümünün ardından onu inceleyen Slijper, hayvanın gerçekten de çok ilginç bir anatomisinin olduğunu gördü: Göğüs kafesi ve göğüs kemiği tuhaf biçimler almıştı, arka bacaklarının üst kısmındaki kaslar değişmişti ve burada yeni tendonlar meydana gelmişti. Bu örneğin de gösterdiği gibi anatomi çok çabuk değişebilir.

Slijper'in zıplayan keçi örneği önemli bir noktaya değinir: Keçinin ön ayaklarındaki işlev kaybına yol açan her ne ise, arka bacaklarındaki değişimi doğrudan etkilememiştir. Bahsi geçen anatomik değişiklikler, keçinin arka bacaklarını kullanma biçimiyle ortaya çıkmıştır. Anatomik değişiklikler erişkinliğe ulaştıktan sonra bu denli büyük olmayabilir; örneğin düzenli spora giderek bu kadar köklü değişiklikler gözlemleyemezsiniz. Öte yandan davranışsal ayarlamalar gelişimin daha erken evrelerinde görülmesiyle köklü değişikliklerin ortaya çıkma olasılığı artar.

ABD'li biyolog Mary Jane West-Eberhard, insan evriminde koşmayla ilişkilendirilen anatomik değişikliklerin buna benzer bir biçimde olduğunu öne sürer: Vücut, yaşam boyunca değişen davranışlar aracılığıyla bulunduğu çevreye uyarlanım sağlar. West-Eberhard, bu uyarlanımların tek bir nesildeki bütün popülasyonda

"ölçüt" haline gelebileceğini de dile getirir. Bu aslında önemli bir iddiadır ve bazı açılardan genelgeçer inanışa tamamen ters düşer. Özellikle de katı Neo-Darwincilik bakış açısına açık bir biçimde kafa tutar: Bu bakış açısına göre evrim, genetik mutasyonların yarattığı çeşitlilikler üzerinden doğal seçilimin faydalı olanları seçmesinden ibarettir. Oysa yeni bir davranışa yanıt olarak ortaya çıkan anatomik değişiklikler ya da fenotipik uyum da çeşitlilik yaratabilir.

Davranış, anatomi ve evrim arasındaki bağlantıları kapsayan bu cesur iddia, evrimsel değişikliklerin nasıl ortaya çıktığını konu alan eski bir varsayımın yankılarını barındırır. On dokuzuncu yüzyılın başlarında Darwin'den önceki döneminde Fransız doğa bilimci Jean-Baptiste Lamarck da buna benzer bir düşünce öne sürmüştür. Lamarck, hayvanların yaşamları boyunca edindiği özellikleri aktarabildiğine inanıyordu. Onun için bunu gösteren en iyi örnek zürafaların boynuydu: Zürafalar, ağacın üst yapraklarına yetişebilmek için boyunlarını yukarı doğru esnetiyordu ve bu sayede boyunları biraz daha uzuyordu; ardından bu avantajlı özellik yavrulara aktarılıyordu. Darwin de bu "zayıf kalıtım" [soft inheritance] düşüncesine karşı gelmiyordu ama tam adıyla *Doğal Seçilim veya Ayrıcalıklı Irkların Korunması Yoluyla Türlerin Kökeni*'nde ileri sürdüğü doğal seçilim mekanizmasının yanında gözden kayboluyordu. Bahsedilen bu mekanizma (yani doğal seçilim) popülasyonlarda *çoktan var olan* çeşitlilikler üzerinden ilerliyordu. Bu çeşitlilikler de kalıtsal etmenlerden (ilerleyen zamanlarda genetik mutasyon adını aldılar) kaynaklanıyordu; dolayısıyla bir canlı anatomisinin yaşam boyu geçirdiği değişiklikler, kalıtımla aktarılamıyordu.

Artık bu sınırların çok keskin olduğu düşünülüyor; genleri etkileyen çevresel etmenlerin aktarılabildiğini biliyoruz. Bir canlıya ait genlerin yaşam boyu çevresel uyaranlara yanıt olarak kimyasal değişimler geçirmesi, bu genlerin işlevlerini de etkilemektedir. Kimyasal değişimlerin genlerin değişmeden kaldığı durumlarda bile aktarılması muhtemelen daha şaşırtıcıdır. Buna epigenetik (yeniden uyarayım, epigenezle karışmasın) denir ve "zayıf kalıtım" düşüncesinin haklı yanları olduğunu gösterir.

Bir davranış anatomide değişikliğe yol açtığında, anatomik değişikliklerden bazıları en azından birkaç nesle aktarılabilir; bunun nedeni, epigenetik değişikliklerin de en az birkaç nesil aktarılabilme-

sidir. Öte yandan fenotipik uyum da tam anlamıyla evrimsel ve genetik bir değişime neden olabilir. Rastgele çeşitlilik yaratan (çoğunlukla pek de yardımcı olmayan) genetik mutasyonlara kıyasla fenotipik uyum, gelişigüzel bir çeşitliliğe yol açmaz: Bahsedilen çeşitlilikler ortaya çıkmalarından itibaren bir organizmanın çevrelerine uyarlanım sağlamalarına yardımcı olur. Dolayısıyla doğal seçilim, hem böyle gelişigüzel olmayan hem de mutasyonların meydana getirdiği daha rastgele olan çeşitlilikler üzerinden işler.

Davranışlarına yanıt olarak ortaya çıkan yeni anatomik özelliklere sahip canlıların üreme ve yaşamkalım avantajları muhtemelen daha fazladır; dolayısıyla bu özellikleri üretme ihtimalleri de artar. Bu düşünce, ilk olarak on dokuzuncu yüzyılın sonlarında ABD'li psikolog James Mark Baldwin tarafından öğrenme yetisinin evrimiyle bağdaştırılarak ileri sürülmüştür ve günümüzde "Baldwin etkisi" olarak bilinir.

Koşucu atalarımıza geri dönecek olursak, bu durumun nasıl ortaya çıkmış olabileceğini görebiliriz. Ataları koşmayı pek becerememeyen ama koşmanın faydalı olduğunu fark eden bir grup eski insanı gözünüzün önüne getirin. Bu insanlar yaklaşık iki milyon yıl önce Afrika'nın çayırlarında yaşıyorlar. Atalarından daha çeşitli yiyecekler tüketiyorlar. Bitkilerin yumru köklerini topraktan çıkartıp onları daha rahat yenilebilir bir hale getirmek için pişiriyorlar. Buldukları zaman et de yiyorlar, işte tam da bu noktada koşmanın önemi ortaya çıkıyor. Et için bazen avlanıyorlar ama çoğunlukla öteki yırtıcılar tarafından avlanan leşlerden besleniyorlar. Havada daire biçiminde dönen akbabaları fark edip öbür leşçil hayvanlar gelmeden koşup leşi kapıyorlar. Dev yırtıcılarla yüz yüze gelmekten kaçınıyorlar ama kendilerini böyle bir durumda bulunca onları leşten uzaklaştırmak için taşlarla saldırıyorlar.

Böyle bir senaryoda koşma eylemi, bir nesildeki insan grubu için çok önemli bir hal alabilir. Birkaç insan koşmaya başlayınca ötekilerin de onlara katılma olasılığı yüksektir. Çocuklar, yetişkinleri taklit edecektir. Belki de bu insanların vücutları, hiçbir genetik değişiklik olmadan, kemiklere ve kaslara yöneltilen yeni talepler doğrultusunda ciddi bir farklılık göstermeye başlar. Özellikle de çocukluk döneminde koşmaya başlayanların vücutları, zamanla atalarından oldukça farklı görünecektir. Bazılarının vücutları ötekilere kıyasla daha az "esnek" olduğu için koşmak

onlara tuhaf gelebilir. Öte yandan bazılarının genleri, vücutlarındaki önemli değişikliklere alan tanıyacak, bu sayede daha rahat ve etkili bir biçimde koşabileceklerdir. Öyleyse gözümüzün önüne getirdiğimiz bu insanlar, koşmaya başladıktan sonra kendi evrimsel geleceklerini biçimlendirecektir. Koşmayı destekleyen genler korunacaktır. Baldwin etkisi, doğal seçilimin artık nesiller boyunca koşma performansına katkıda bulunan gen değişimlerini tercih edeceği anlamına gelir. Tüm bunların nasıl başladığına bakarsak doğal seçilimin tercih ettiği bir genetik değişimi değil, *davranış* değişimini görürüz.

Gen mutasyonlarını etkileyen daha bilindik doğal seçilim mekanizmalarına göre fenotipik uyumun bir soyda köklü değişiklikler üretme ya da en azından bunlara önayak olma ihtimali daha yüksektir. Fenotipik uyum, evrim sürecinde gerçek bir yenilik üretme merkezi olabilir. Yenilikler, doğal seçilimin belirli değişkenleri tutup ötekileri ortadan kaldırmasıyla oluşan ufak çaplı uyarlanım değişimlerinden çok farklıdır. Bir hayvanın çevresel değişime verdiği yanıt, yenilik üreten bir etkiye sahip olduğu için çok güçlüdür ve birden fazla kişiyi aynı anda etkileyebilir.

Tüm bunlar elbette Darwin'in hatalı olduğunu ve doğal seçilimin önemli olmadığını göstermez. Ne Darwin hata yapmıştır ne de doğal seçilim önemsiz bir şeydir; sadece evrim süreci bunlarla sınırlı değildir. Lamarck da doğru soruların izinde gitmiştir.

Atalarımız, onlara fayda sağlayacak herhangi bir genetik değişimi beklemeden koşmaya başlamış olabilir; dolayısıyla genetik değişiklikler yeni davranıştaki üretenler değil, onu takip edenlerdir. Yine de atalarımız uzun mesafe koşusuna ne kadar iyi uyarlanım göstermiş olursa olsun hâlâ öteki koşucular kadar (örneğin kocaman vücutlarıyla Afrikalı avcılar kadar) hızlı koşmayı başaramamışlardır. Belki de bu nedenle daha "ilkel" özellikleri de elden bırakmamışlardır; bacaklar koşmaya yarayabilir ama çok özelleşmemiş oldukları için gerektiğinde bir ağaca tırmanırken de kullanılabilirler (bir ceylanın ağaca tırmandığını düşünsenize!). Hem bizlerin ağaçlarda uzun zaman geçirmiş atalarımızdan kalma uzun, hareketli kolları da var. Bu kolların bir şeyler fırlatmakta da acayip işe yaradığı ortaya çıkmıştır. Fırlatma becerisi, Afrika düzlüklerinde yaşayan atalarımız için oldukça faydalı bir şey haline gelmiştir ve bizlere de aktarılmıştır.

OMUZLAR VE BAŞPARMAKLAR

TIRMANICI ATALARIMIZ VE EŞSİZ İNSAN ELLERİ

"Muhtemelen dünyadaki en eski alet olan insan eli kadar önemli hiçbir şey yoktur. İnsanı yabanilikten kurtaran ve bilinmezliğe uzanan bu ellerdir."

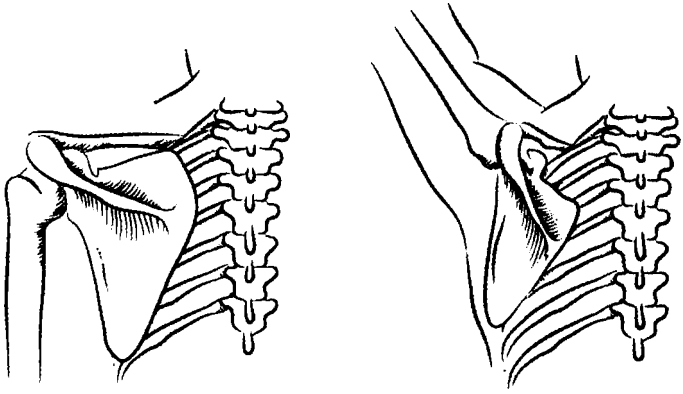
JANE ADDAMS

HAREKETLİ KOLLAR

İnsanların kolları, öteki memelilerin ön ayaklarına göre şaşırtıcı biçimde hareketlidir. Bu, ağaçlarda yaşayan atalarımıza borçlu olduğumuz bir özelliğimizdir. Kuyruksuz maymunların kolları maymunlara göre de daha çok hareket edebilir; bunun nedeni, kuyruksuz maymunların ağaçların tepesinde farklı bir yöntemle gezinmelerinden kaynaklanır. Maymunlar çoğunlukla dört ayaklıdır; dalların üzerinde gövdeleri yatay bir biçimde tutup dört ayakları üstünde yürürler. Çoğu dört ayaklıda olduğu gibi göğüs kafesleri yanlardan basıktır; kürek kemikleri ya da skapula, kaslar sayesinde göğüs kafesinin yanlarına bağlanır. Kuyruksuz maymunların hareket biçimi daha farklıdır: Kollarıyla tırmanır, asılır ve bazen de sallanırlar. Bu nedenle gövdeleri çoğunlukla dikey bir biçimde durur ve göğüs kafesleri önden arkaya doğru yassıdır. Skapula ya da kürek kemikleri, önden arkaya yassılanmış bir göğüs kafesinde arkada bulunur; böylelikle omuzlar, artık göğüs bölgesinin iki yanında konumlanır. Bu da kolları öne ve arkaya, başın yukarısına ve yanlara doğru uzanabilir bir duruma getirir. Zaten omuz tek bir konumda duramaz. Skapula sürekli göğüs kafesinin üzerinde "süzüldüğü" için ona kaslarla bağlıdır; sadece önden, ince köprücük kemiklerinden ya da klavikuladan destek alırlar. Böylelikle omuz eklemi etrafında hareket edebilirler. Daha önce kürek kemiklerinizin nasıl hareket ettiğini küçük bir deney yapıp görmüştük. Şimdi de ne kadar hareket edebileceklerini bir deneyelim: Kürek kemiklerinizi birbirine yaklaştırın ve omuzlarınızı arkada birleştirmeye çalışın. Ardından omuzlarınızı öne götürün. Kolunuzu havaya kaldırın; bu hareket sayesinde dönen kürek kemiğiniz, omzunuzu hem yukarıya hem yana doğru çevirecektir.

Omuz eklemi gerçekten de vücuttaki en hareketli eklemdir; bu da ağaçlara tırmanan kuyruksuz bir maymun için idealdir, çünkü bu sayede kollar, dallara tutunmak için her yöne uzana-

bilir. Vücuttaki her bir eklemde, hareketlilik ve dayanıklılık arasında bir değiş tokuş yapmak zorunda kalır. Dolayısıyla en dayanıklı eklem, kemiklerin kaynadığı noktadakiler olacaktır; yani bu eklemin hareket etmesi imkânsızdır. Eklemin daha çok hareket etmesi, daha az dayanıklı olacağı anlamına gelir, çünkü hareketli bir eklemin kemik yapısı sert değildir; o halde eklemin yerli yerinde durması için yumuşak dokulara sığınmanız gerekir. Kürek kemiğinizle humerus başının (üst kol kemiğinin en yukarıdaki kısmının) birleştiği bölgeye baktığınızda bu iki kemik arasında çok az temas olduğunu görürsünüz. Kürek kemiğinin dış kısmında kalan omuz kemiği "yuvası" çok küçüktür ve derin bir oyuk değildir; hatta eklemlendiği humerus başının eklemindeki yüzey alanının dörtte biri kadarlık bir alandır. Eklemler bağ dokuyla desteklenir ama omuz ekleminin dayanıklı olmasındaki en büyük etken kaslardır. Kürek kemiğine bağlanan bir dizi kas, humerus kemiğinin boyun kısmına uzanıp burada toplanır. Rotator manşet kasları adıyla bilinen bu kaslar, omuz eklemini daha dayanıklı bir hale getirmenin yanı sıra humerus kemiğinin çeşitli yönlerde hareket etmesini sağlar. Kasların tüm çabalarına rağmen omuz eklemi hâlâ çok hareketlidir ve doğaları gereği pek dayanıklı değillerdir. Omuzlar, sık sık yerinden çıkabilir.



Humerus kemiği havaya kaldırıldığında göğüs kafesinin üstündeki kürek kemiği döner.

Omuz ekleminden sonra gelen dirsek eklemi̇niz de büyük bir menteşe tipi eklemdir. Bunun yanı sıra dirseğinizle el bileğinizi arasında kalan ön kolunuzun da hareket becerisi vardır: Ön kolunuzda başparmağınız ve dirseğiniz hizasında kalan *radius* kemiği, kendi ekseninde dönebilir. Dolayısıyla yukarı bakan avuç içinizi aşağıya döndürdüğünüzde radius kemiğinin alt ucu küçük parmağınızla dirseğiniz hizasındaki ulna kemiğinin üstüne gelir. Bu hareketin adı pronasyondur. Pronasyon, çoğu memelinin yapamayacağı bir harekettir. Memelilerin büyük bir kısmı dört ayaklıdır ve ön ayakları genellikle hep pronasyon halindedir; yani ön ayaklarının avuç içleri her zaman yere (ya da ağaç dallarına) değer. Bir atı, ineği ya da koyunu düşünün; bu hayvanların ön ayakların iç kısmı *her zaman* yerle doğrudan temas içindedir. Bazı hayvanlar (örneğin köpekler ve bu konuda biraz daha yetenekli olan kediler) patileriyle nesneleri tutabilmek adına ön bacaklarını hafif döndürebilir ama bir kedinin patisini tamamen çevirdiğini göremezsiniz. Oysa bizler bu hareketi kolaylıkla yapabiliyoruz. Görünen o ki pronasyon hareketi, ağaçlarda yaşayan atalarımızdan kalmadır. Ön kolunuzu döndürerek avuç içinizi ve elinizi yüz seksen derece çevirebilmeniz, atalarımızın yön fark etmeksizin tüm dallara tutunabildiğini gösterir.

Üst uzuvlarınızın bitiş noktası olan elleriniz olağanüstü bir biçimde hareket edebilir, kavramak için tasarlanmıştır. Bizler bu sayede muhtemelen hafife aldığımız pek çok hareket yapabiliriz: Kendi sırtınızı kaşımak, kurbağalama ya da serbest stil yüzmek (öteki türlü sadece köpekler gibi yüzebilirdik), tornavida kullanmak, bir top ya da bir kâse çorba tutmak. Bunları yapmak memeliler için mümkün değildir. Üst uzvunuzun (omzunuzun, kolunuzun, dirseğinizi, ön kolunuzun, el bileğinizin ve elinizin) bu kadar rahat hareket etmesini kuyruksuz maymunlardan gelen soyumuza borçluyuz, doğru. Oysa onlarla da aramızda büyük farklar var.

HOMİNİN OMUZLARI

Herhangi bir kuyruksuz maymuna baktığınızda omuzlarının neredeyse kulaklarına değecek biçimde, sürekli “kalkık” konumda olduğunu görürsünüz. Omuz eklemleri “kraniyal yöne” dönük-

tür; başka bir deyişle yukarıya bakar. Dolayısıyla omuz eklemi, kolları yukarıya kaldırmak için mükemmel bir konumdadır. Kuyruksuz maymun kuzenlerimiz bizlere kıyasla ağaçlarda daha çok zaman geçirir; tırmanmak ve asılmak için kullarını kullanırlar. Ayrıca bahsettiğimiz kuzenlerden gibonlar, sürekli kollarıyla dallardan sallanırlar.

Kuyruksuz maymun omuzlarına karşılık bizimkiler daha aşağıdadır. Hareket etmediğiniz durumda klavikulanız (köprücük kemikleriniz), yukarıya ve dışarıya dönük değil, neredeyse tamamen yatay bir pozisyonda durur. Benzer bir biçimde omuz eklemleriniz de yukarıya değil, yanlara bakar. Acaba atalarımızın üstlerindeki dallara uzanmayı bırakması, bizdeki omuzların otomatik olarak "düşmesine" yol açmış olabilir mi? Bu kulağa mantıklı gelebilir, aslında oldukça tembel bir düşünce biçimidir. Omuzlar nasıl "düşmüş" olabilir ki? Bizlerdeki omuzları daha iyi anlayabilmek için bu yer değiştirmeye neyin yol açmış olabileceğine bakmamız gerekir. Omuzların daha geniş olması ve aşağıda durması atalarımıza nasıl bir üstünlük sağlamıştır? Bu değişim ne zaman olmuştur?

Aslında öteki kuyruksuz maymunlardan insanlara doğru omuz seviyesinin zamanla aşağı indiği bir durum söz konusu değildir. Görünüşe göre hominin omuzlarının konumu epey çeşitlilik gösterir. Elbette bu noktada iskelet fosillerinin bölük pörçük parçalardan oluştuğunu unutmamamız gerekiyor. Yine de modern insandakilere benzeyen omuzlar, epey bir zaman ortaya çıkıyor.

İki ila dört milyon yıl öncesi erken hominin türlerinden *Australopithecus afarensis*'e (Lucy ve türdeşlerinin türüne) ait az sayıda kürek kemiği ya da skapula fosili vardır. Elimizdeki fosillere göre bu türün omuz yuvaları sizdekine ya da benimkine benzemez; öteki kuyruksuz maymunlarda olduğu gibi yukarıya bakar. Bununla beraber birkaç özellik daha bir araya geldiğinde, bu tarih öncesi kürek kemiklerinin göğüs kafesinin tepesinde bulunduğu görülür. Bir buçuk milyon yıl önce uzun bacaklarıyla sahneye adım atan Nariokotome Çocuğu'nun omuz eklemleri ne yukarıya ne de tamamen yanlara dönüktür. Ayrıca öteki kuyruksuz maymunlar gibi kısa köprücük kemikleri vardır. Şüphesiz Nariokotome Çocuğu henüz küçüktü ama tahminlere göre yetişkinliğe ulaşmış olsa bile bizdekilerden daha kısa köprücük kemiklerine sahip olacaktı. Yani Nariokotome Çocuğu'nun omuz-

ları bizlerdeki gibi göğüs kafesinin yanlarında duruyordu ama biraz daha anteriyör ya da "öne doğru" konumlanmıştı.

Daha aşağıda duran geniş omuzların koşarken avantaj sağladığı iddia edilmiştir: Ayakların sırayla yere basması, denge bozucu bir dönüş gücü yaratır ve omuzlar üst vücudu ters yöne döndürerek dengeyi korur. Daha önce Nariokotome Çocuğu'nun iskeletine baktığımızda koşmaktan kaynaklanması mümkün olan uyarlanımlar görmüştük; belki omuzlar da bu uyarlanımlardan biridir. Gerçi omuzların bahsedilen görevi Nariokotome Çocuğu için söz konusu olamaz; kısa köprücük kemiklerinden anlaşıldığı kadarıyla omuzlar böyle bir şey için hâlâ çok dardır. Bu darlığa rağmen omuzlarının dönmesi, koşarken başını sabit tutamayacağı anlamına gelir.

Homo antecessor (yaklaşık 800 bin yıl önceden kalma, fosilleri İspanya'nın Sierra de Atapuerca dağlarında bulunan bir tür) ve Neandertaller gibi homininlerde köprücük kemikleri uzundur, hatta modern insanlardakinden çok daha uzundur. Böylesine uzun köprücük kemikleri, omuz eklemlerini geriye iterek omuzları göğüs kafesinin yanlarında konumlandırır.

Belki de omuzlarımızı özel bir biçimde kullanmamız, bu yeni yere taşınmalarını sağlamıştır. Bahsedilen hareket fırlatmaktır. Görünen o ki insanlar bu konuda gerçekten çok başarılı.

Elbette öteki kuyruksuz maymunlar da ara sıra bir şeyler fırlatır ve bazen oldukça isabetli atışlar yaparlar. *Horizon* programı için Leipzig Hayvanat Bahçesi'nin Primat Araştırma Merkezi içinde bulunan *Pongoland* adındaki kuyruksuz maymun barınağında çekim yaptığımız günü hatırlıyorum. Orangutanlardan biri yönetmenimizden hiç hoşlanmamıştı. Pongoland'de ziyaretçileri ve kuyruksuz maymunları ayıran bölme yoktur; barınağın içinde iki yanı alçak çitlerle çevrili yükseltilmiş bir yoldan geçerek gezinirsiniz. Yönetmen ve ses kayıtçımız, çekim sırasında hedefini tam on ikiden vuran avuç dolusu dışkılara maruz kalmıştı.

Vücudunuzdaki bazı anatomik özellikler, öteki kuyruksuz maymunlarda olmayan bir biçimde bir araya gelmiştir. Yine bu bir araya gelen özellikler, kolunuzu kaldırıp bir şey fırlatmanın atalarımız için önemli olduğunu ve bunun kendi anatomimizi de değiştirdiğini öne sürer. Bahsedilen özelliklerden biri yana bakan omuzlarımızdır. Bu konumdaki omuzların bir şey fırlatırken nasıl bir avantaj sağlayacağını tahmin edebilirsiniz: Tüm kol arkaya

doğru çekilip fırlatmaya hazırlanabilir. Ne var ki öteki özelliklerle (gövdenin dönmesini sağlayan uzun ve esnek bir bel ile üst kol humerus kemiğinin kendi ekseni etrafında dönüşüyle dirseğin hafif dışarıya doğru açılanması) birlikte ele alındığında, omuz ekleminin yana doğru bakması bir avantaj daha sağlar. Bu özelliklerin tendonları, bağ dokuyu ve kasları esnetmeye yaradığı deneylerle kanıtlanmıştır. Fırlatma eylemi birçok kasın kullanılması demektir. Zincirleme ilerleyen bu hareket, önce kalça ve gövdeden başlayıp omuz, dirsek ve el bileğine kadar uzanır. Bir şey fırlatırken yaptığınız hareketleri düşününce ne kadar çok eklemin kullanıldığını anlayabilirsiniz. Şimdi bu fırlatma hareketini ayrıntılarına bakalım. Bir şey fırlatmadan önce bir ayağınız önde durur ve hazır bir halde arkada bekler. Fırlatmaya başladığınız anda ilk hareket kalçalarınızda gerçekleşir. Ardından omurganızla kalça kemiğinizin sıkıca bağlandığı sakroiliak eklem sayesinde kalçanızla birlikte omurganız da döner. Bir omurdan ötekine aktarılan hareket, omuzlarınızın olduğu seviyeye vardığında vücudunuzu da döndürür. Dolayısıyla omuzlarınız en az doksan derecelik bir açıyla hareket eder. Sonrasında kolunuz, omuz ekleminizin olağanüstü becerisiyle omzunuzun önüne gelir; omurganız dönmeye devam ettiği için omzunuz daha da öne gider. Bunları takiben menteşe tipi eklemlerden olan dirseğiniz hareket eder ve kıvrılmış parmaklarınız, elinizdeki hayali nesneyi (bu bir top ya da mızrak olsun) bırakmak için açılır. Gerçek bir topu ya da mızrağı (yeterince cesursanız deneyin ama evin içinde yapmayın) hızlıca fırlattığınızda eklemlerinizi saran tendonlarınızın ve bağ dokunuzun esneme enerjisi, kolunuz arkadan öne doğru gelirken ortaya çıkarak fırlatma gücünüzü artırır.

Homo antecessor, *Homo heidelbergensis*, Neandertaller ve sizlerde görülen geniş omuzlar, bu fırlatma hareketinden kaynaklanıyor olabilir. (Aynı zamanda köprücük kemikleri kısa olan insanların ve Nariokotome Çocuğu'nun fırlatma konusunda pek başarılı olmadığını gösterir.)

Öyleyse *Homo antecessor* gibi erken dönem homininlerinin bir şeyler fırlatabildiğini artık kabul edebiliriz. Zaten göğüs kafesinin iki yanındaki geniş omuzlarını düşününce buna ikna oluyorum; fırlatmayı elediğinizde omuzların biçiminde ve konumundaki bu ani değişimin altında yatan başka nedenler bulmak zordur. Ne var ki bazı

insanlar bununla ikna olmayıp somut kanıt görmek ister ama bunu bir eylem için yapmak hiç de kolay değildir. Ayak izleri, iki ayak üstünde yürümeye iyi bir kanıttır ama *bir şey fırlatabiliyor olmanın* böyle bir kanıtı yoktur. Atalarımız, topladıkları taşları ve sopaları avlanmak için fırlatmış olabilir; leşlerden uzaklaştırmak için öteki yırtıcılara atmış da olabilirler. Yine de bir şey fırlatabilmenin arkeolojik bir kaydı olamaz. Fırlatılan taşlar ve sopalarla durduğu yerde çürüyen taşlar ve sopalar arasında bir fark yoktur. Ta ki insanlar fırlatmak için *tasarlanmış* nesneler (örneğin mızrak uçları) üretmeye başladığında vücudunun iki yanında duran omuzlarıyla bir şeyler fırlattıkları sonucuna varabiliriz.

Fırlatma aletlerinin icat edilmesi, muhtemelen o zamanlara damga vuran bir gelişmedir. Bunun avcı toplayıcı atalarımız için nasıl bir fark yarattığını düşünün. Mızraklar, saldırı aleti olarak uzun zamandır kullanılıyor olabilir ama bunları fırlatmak, avcıları da zarar görmekten uzak tuttuğu için daha etkili olacaktır.

Tamam ama bir mızrağın gerçekten de fırlatılarak kullanıldığını kanıtlamak öyle zor ki! Erken dönemden kalma potansiyel kanıtlardan biri, Almanya'nın Schöningen şehrinde bulunan yaklaşık 400 bin yıllık bir ahşap mızrak koleksiyonudur. Görünüşe göre bu mızraklar fırlatılabilir bir ağırlıktadır; bu fırlatıldıklarını doğrudan göstermese bile ikna edici bir yanı vardır. Yine de bazı araştırmacılar, Schöningen mızraklarının gerçekten fırlatılarak kullanıldığından hâlâ şüphe duyar. Neyse ki yakın zamanda başka kanıtlar da su yüzüne çıkmıştır. Yeni kanıtlar erken döneme işaret etmese de çok daha inandırıcıdır.

Arkeologlar, eski taş uçlarını inceleyerek hem mızrak ucu olarak kullanılıp kullanılmadıklarını hem de fırlatılan mızraklara ait olup olmadıklarını öğrenmeye çalışmıştır. Bu yorumlamalar büyük ölçüde etnografik karşılaştırmalara, modern avcı toplayıcılar tarafından üretilen benzer aletlere; taş uçlarının boyutları, biçimleri ve ağırlıkları gibi fiziksel özelliklerine dayanarak yapılmıştır. Son zamanlarda balistik biliminden faydalanarak bu soruna yaklaşan arkeologlar, taş uçlarının hedefi vurduğu anda ne kadar hıza sahip olduğunu anlamak için üzerlerindeki belirli çatlaklara bakmaya başlamışlardır. Bu bağlamda yeni kanıtlar, Etiyopya'nın Büyük Çöküntü Vadisi'nden gelmektedir. Arkeologlar buradaki Gademotta adı verilen arkeolojik sit alanında binlerce taş parçası ve taştan uçlar bulmuştur. Bunların

hepsi doğal, obsidiyen adı verilen volkanik camdan yapılmadır. Obsidiyen uçlardaki çatlaklar, çarpma anına kadar muhtemelen saniyede yaklaşık bin metre yol aldıklarını gösterir; dolayısıyla ciritlerin uçlarına takılarak kullanılıyor olma olasılıkları yüksektir.

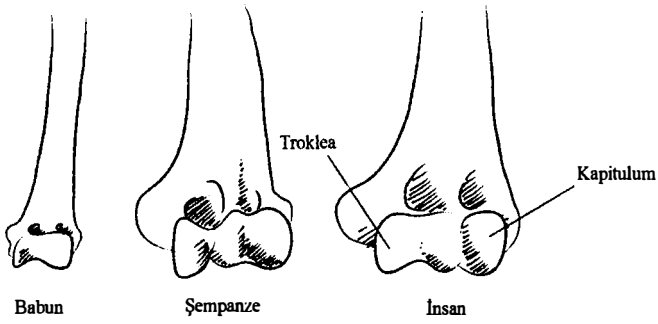
Obsidiyen uçlar yaklaşık 300 bin yıllıktır; öyleyse fırlatma aletleri en erken bu tarihlerde kullanılmıştır. Taştan uçları mızraklara ve ciritlere takıp fırlatarak kullanmanın insanlara özgü bir davranış olduğu uzun yıllar düşünülmüştür. Doğrusunu söylemek gerekirse insanlar (herhangi bir *Homo* değil, kendi türümüz olan *Homo sapiens*) yaklaşık 200 bin yıl önce ortaya çıkmıştır ama Gademotta'da bulunan taştan uçlar, bahsedilen "modern" davranışın "modern" anatominin gelişiminden çok daha önce ortaya çıktığına işaret eder. Bu atlamamamız gereken bir noktadır; modern davranışların ve anatominin bir gecede, paket halinde ortaya çıkmasını beklememeliyiz. Bugün türümüzü tanımlayan tüm özellikler, mozaik gibi parça parça oluşmuştur.

DİRSEKLER, ELLER VE BİLEKLER

Sizin dirseğinizle yaşayan herhangi bir kuyruksuz maymunun dirseği arasında büyük farklar yoktur. Öte yandan kuyruksuz maymunların dirsekleri maymunlarınkilere benzemez. Her iki türde humerus kemiğinin ucundaki eklem yüzeyi iki kısma ayrılır: top biçimindeki kapitulum (Latince adı "küçük baş" anlamına gelir) ve makaraya benzeyen bir troklea (Yunancada "makara" demektir). Kapitulum ve troklea, sırayla radius ve ulna kemikleriyle eklemlenir. Kapitulumun top biçimindeki ucu, radius kemiğinin çanağa benzeyen baş kısmıyla eklem yapar; böylelikle radius kemiği uzatma ve bükülme hareketlerinde ulna kemiğiyle birlikte hareket eder. Aynı zamanda radius kemiğinin süpinasyon ve pronasyon sırasında kendi ekseni etrafında dönmesini sağlar.

Bana kalırsa ön kol süpinasyonu ve pronasyonu, vücudumuzun yapabildiği muhteşem hareketlerdir. Memelilerin çoğu bu hareketleri *yapamazken* bizler hafife alırız. Süpinasyonu ve pronasyonu ağaçlar-

da yaşayan primat akrabalarımıza borçlu olsak da bugün onlardan daha çeşitli durumlarda kullanıyoruz. Ön kollarımızı döndürerek ellerimizin konumunu değiştirebiliyor, avuç içlerimizi farklı yönlere çevirebiliyoruz. İsterseniz deneyip görün: Oturduğunuz yerde dirseklerinizi gövdenize doğru bastırın. Ön kollarınızı bacaklarınıza paralel, avuç içleriniz aşağıya bakacak biçimde tutun. Şimdi avuç içlerinizi başparmaklarınız dışarıya ve yana bakacak biçimde çevirin. Ön kollarınız şu anda süpinasyon konumunda duruyor. Şimdi de ellerinizi avuç içleriniz bacaklarına bakacak biçimde içeriye döndürün. İşte, pronasyon yaptınız. Bu hareketleri birkaç kere yaparken ön kollarınıza ve bileklerinize bakın. El bileğinizdeki eklem değil, ön kolunuz dönüyor. Başparmağınızla dirseğiniz hizasında bulunan kemiğe radius kemiğiniz denir; avuç içleriniz pronasyonda aşağı bakarken bu kemiğin bilekteki ucu ulna kemiğinin etrafından dönmüş haldedir, dolayısıyla radius kemiğinin ucu iç tarafta kalır. Bir başka deyişle ön kolunuzdaki iki kemik süpinasyonda yan yana ve paralel bir biçimde dururken pronasyonda çaprazlanır. Pronasyon, ağaçlarda yaşayan atalarınızın farklı yönlerdeki dalları kavramalarını sağlamıştır. Artık bu hareket olmadan tornavida bile kullanamazsınız.

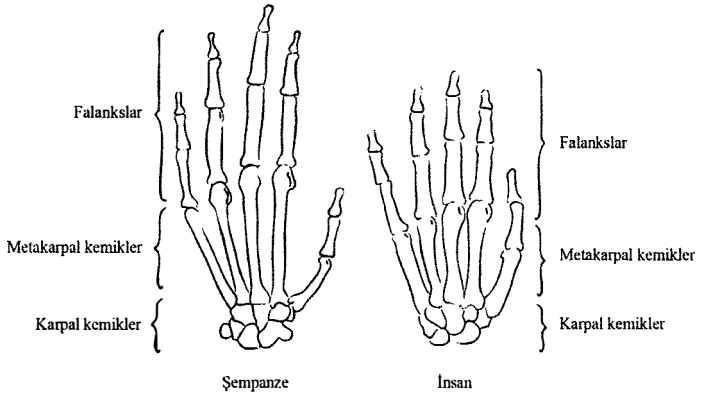


Bir babuna, şempanzeye ve insana ait humerus kemiğinin alt kısmı.

Kuyruksuz maymunlar kollarını maymun atalarından daha farklı biçimlerde kullanır; bunun için de sağlam dirseklere ihtiyaçları vardır. Kuyruksuz maymunlarda (bizler de dahil) humerus kemiğinin ucunda bulunan trokleanın biçimi, maymunlardakinden oldukça farklıdır. Trokleanın makaraya benzer görüntüsü daha belirgin-

dir, uzun kenarları çeşitli hareketlerde ulna kemiğini sabitlemeye yarar. Dolayısıyla tırmanmak ve dallardan asılmak için kollarını kullanan bir kuyruksuz maymun için çok kullanışlıdır. Ayrıca kuyruksuz maymunlarda humerus kemiğinin arkasında derin bir oyuk bulunur. Kolunuzu tamamen açtığınızda ulna kemiğindeki olekranon (dirseğinizin arkasındaki çıkıntı) buraya oturur.

Üst uzuvlarınız bittiği yere yaklaşırken (el bileklerine ve ellere geldiğimizde) çok büyük farklılıklar göze çarpar. Bir şempanze elindeki ve sizin elinizdeki kemikler şöyle gözükür:



El kemikleri.

Şempanze ayakları (bize göre) ellere benzer ama gerçek elleri... O küçücük başparmak ne öyle? Ya o upuzun parmaklar?

Uganda'daki Victoria Gölü kıyılarında bulunan Entebbe şempanze barınağında şempanze ellerine çok yakından bakma fırsatı yakaladım. İlk olarak çekim ekibiyle birlikte şempanzelere dayanıklı, büyük bir kapıdan içeriye girdik, sonra da şempanzeleri saldılar. Onlarla tanışmak için çömeldim. Ceplerim yer fıstığıyla doluydu ve bunu anında fark etmişlerdi; artık en iyi arkadaşları bendim. İnsanlara ve insanlarla temasa çok alışkın oldukları için hemen kollarıma atladılar. En ufakları üç buçuk yaşındaki Nipper (tam ona layık bir isim![1]) üstüme çıktı ve ben ayağı kalkarken

1 *Nipper* adı, İngilizce *nip* kelimesinden türetilmiştir. Kelimenin kökeni hayvan yavrularının (örneğin köpeklerin) oyun oynarken ısırması anlamında da yaygın olarak kullanılır. Yazar burada yavru şempanzenin oyunculuğuna da dikkat çekiyor olabilir -çn.

bacaklarımdan sırtıma doğru tırmanıp uzun kollarını omuzlarıma doladı. Barınaktaki görevlilerin inşa ettiği yapay bir "akkarınca yuvasına" doğru indik; bu bir metre yüksekliğinde ve içerisinde bal bulunan plastik tüplerin olduğu çamurdan bir tümsekti. Şempanzeler bu oyunu çok iyi biliyordu. Yapay yuvada delikler açıp lezzetli ödüllerine ulaşmak için bambu dalları toplamaya başladılar.

Ellerini nasıl kullandıklarını izlemek büyüleyiciydi. Sopayı bizim gibi başparmakları ve öteki dört parmak arasında tutmaktansa tüm parmaklarıyla kavrıyorlardı. Elinize bir kalem alırsanız ne demek istediğimi anlayacaksınız.

Yapay yuvanın kenarında kameraya doğru konuşmaya çalışırken Nipper sırtıma atladı ve kollarımı ısırdı (hem de oldukça sert bir biçimde ama bu ısırıklar tehlikeli değil oyuncuydu). Daha önce çekim yaptığımız Kibale ormanındaki şempanzeler insanları resmen görmezden gelirken bu şempanzeler (ya hayvan ticaretinden ve geleneksel doktorların elinden kurtarılmışlardı ya da ormanda çok kötü bir biçimde yaralanmış halde bulunmuşlardı), insanları kendilerine çok yakın görüyordu. En azından ufak olanlar, tıpkı öteki şempanzeler gibi bizleri de birlikte oyun oynayabilecekleri canlılar olarak görüyordu. Görevlilerden biri, bu oyunların epey sert bir hal alabileceğini de söylemişti. Kameraya aldığımız en yaşlı şempanzelerden biri (altı yaşında bir erkek) oldukça güçlüydü; birkaç kere gelip beni sertçe sarstı. Neyse ki bu sarsılmalar sırasında telsiz mikrofonumu düşürmedim; bu cep telefonu boyutundaki telsiz yeleğimin ve gömleğimin altında, belime bağlıydı. Yine de şempanzeler orada bir şey olduğunu biliyor, telsizi almak için gömleğime uzanıp duruyorlardı.

Şempanzelerle oturup onlara meyve verdim. Avokadoları bir kenara attılar; portakalları havada kaptılar, soydular ve yalayıp yuttular. Bir süredir şempanze elleri hakkında Mary Marzke ve Matthew Tocheri'nin makalelerini okuyordum. Şempanzelere meyve vermek, araştırmacıların bu hayvanların nesneleri nasıl kullandığını izleyebilmesini sağlıyordu; ardından şempanzelerin çeşitli kavrama hareketleriyle taştan alet üreten insanların ellerini kıyaslıyorlardı. Kavrama çeşitleri aynıydı ama görünüşe göre şempanzelerin başparmakları daha zayıftı. Öte yandan insanlar, hem daha hassas hem de daha güçlü bir biçimde nesneleri kavrayabiliyordu. Marzke, "*pad-to-side*" ya da "anahtar

tipi" kavramanın (başparmağın kıvrılmış öbür parmaklara doğru bastırılmasının) insanların alet yapması ve kullanmasında önemli olduğunu öne sürüyordu. Şempanzelerde de bu tip bir kavrama vardır ama nesneyi tek elle sıkıca tutmak yerine genellikle ellerindeki yiyeceği öteki elleriyle ya da ayaklarıyla desteklerler. Benzer bir biçimde küresel nesneleri tutmak için kullanılan geniş kavrama hareketi, insanlarla kıyaslandığında şempanzelerde dirence karşı daha dayanıksızdır. Bizler elmayı tek elimizde tutup keyifle yiyebiliriz; oysa şempanzelerin bir ısırıktan sonra meyveyi ağızlarından çekebilmeleri için öteki ellerini de kullanmaları gerekir.

Bu araştırmayı okuduktan sonra daha yaşlı dişi bir şempanze olan Sarah'yı izlemek mükemmeldi. Sarah, başparmağı ve parmakları arasında portakalı tutmak ve meyveden bir ısırık almak için iki elini de kullanıyordu. Başparmakları çok kısaydı, ancak öteki parmaklarının başladığı boğumlara (metakarpofalangeal eklemlere) kadar geliyordu. Ayrıca uzun, kuvvetli dört parmağına kıyasla başparmakları inceydi. İkimizin elinin de anatomisi temelde (aynı kemiklere ve kaslara) aynı olsa da aralarında belirgin farklılıklar vardı. Bu farklılıkların Sarah'nın parmak eklemlerinden destek alarak yürümesiyle bir ilgisi olduğunu düşünmek insana çok cazip gelebilir. Sarah'nın yürürken ağırlığını taşıyabilecek güçlü parmaklara ihtiyacı olabilir; benim ellerimdeki daha güçlü başparmakları (bir de serçe parmaklarım) belki de alet yapımına ve kullanımına uyarlanımlar olarak ortaya çıkmıştır. Bu iddialar mantıklı olsa da uyarlanımları belirlemek istiyorsak, bahsedilen anatomik özelliklerle ilgili işlevlerin ne olduğunu da anlamamız gerekir. Elbette kendimize özgü ellerin son ortak atadan bu yana nasıl değiştiğini de anlamalıyız.

ATALARIMIZIN ELLERİ

Ardi'nin 4,4 milyon yıllık fosil kemikleri, bir kez daha şempanzelerin ve insanların son ortak atasındaki ellerin neye benzediklerini anlamamıza yardımcı oluyor. Bir kez daha atalarımızda-

ki ellerin modern şempanze ellerine benzediği düşüncesini reddediyoruz. En son ortak atanın var olduğu milyonlarca yıl önceden bu yana şempanzelerin elleri de pek çok kez değişmiştir.

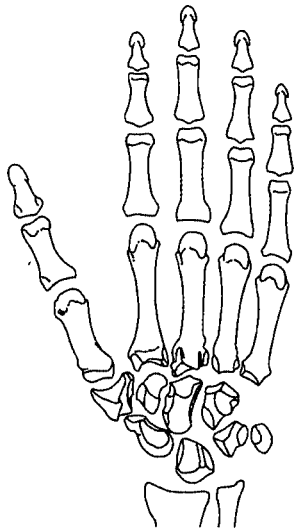
Ardi'nin parmakları uzun ve kıvrımlı olsa da şempanze parmakları kadar uzun değildir. Uzun, kıvrımlı parmaklar gorillere ve şempanzelere özgü bir özelliktir; görünüşe göre dalları kavrayıp ağaçlardan asılmakla ilişkililerdir. Genç şempanzelerin ve gorillerin kıvrımlı falaksları (parmak kemikleri) vardır ama bu parmaklar erişkinliğe yaklaştıkça düzleşir. Parmakların bu değişimi, gençlerin ve erişkinlerin hareketliliği arasında farkların olduğuna işaret eder. Daha büyük ve ağır erişkin gorillere kıyasla gençler ağaçlarda daha uzun zaman geçirir. Bu durum, kıvrımlı parmakların el kemiklerinin *kullanılma biçimine* bağlı olarak gelişebileceğini de öne sürer. Görünen o ki parmak kemiklerindeki kıvrımlar, kemiklerin üzerindeki baskının azalmasını sağladıkları için ağaçlarda zaman geçiren kuyruksuz maymunlara fayda sağlayan uyarlanımlardır.

Gorillerde ve şempanzelerde elin avuç kısmından parmaklara uzanan beş kemik (metakarpal kemikler) uzundur. Oysa 4,4 milyon yıl yaşındaki Ardi adlı homininde kısa metakarpal kemikler bulunur. Bu fark, uzun metakarpal kemiklerin gorillerde ve şempanzelerde bağımsız bir biçimde, muhtemelen ağaç gövdelerine tırmanmak ve dallardan asılmaya karşı uyarlanımlar olarak evrim geçirdiğini gösterir. Aynı anatomik özelliğin, genellikle benzer çevrelerde yaşayan ve benzer yaşam biçimlerine sahip farklı soylarda ortaya çıkması yakınsak evrime bir örnektir. Ardi'ninkiler gibi kısa metakarpal kemikler, elin dalın etrafına sarılmasını ve güvenle tırmanmayı sağlar. Ardi, modern Afrika kuyruksuz maymunlarına kıyasla oldukça güçlü başparmaklara sahiptir. İnsanların ve şempanzelerin son ortak atasına ilişkin imgeyi bir kere daha görüyoruz. Bu ortak ata şempanzeye kesinlikle benzemiyor; ellerinden destek alarak dört ayağı üstünde yürümüyor ve ağaç gövdelerine tırmanıp dallardan asılmaya alışkın değil. Belki de bazı açılardan bir şempanzeden çok orangutana benzetilebilir, aslında yaşayan hiçbir kuyruksuz maymunla benzerliği yok.

Ardi'den daha sonra var olan Lucy ve türdeşlerinde de kıvrımlı parmak kemikleri bulunur. *Australopithecus afarensis*

türünün tamamen iki ayak üstünde yürüdüğüne şüphe yoktur; öte yandan kıvrımlı parmak kemikleri zamanlarının bir kısmını hâlâ ağaçlarda geçirdiklerini gösterir. Lucy'nin bazı meyveleri toplamak için ağaçlara tırmanması ve tıpkı şempanzeler gibi her gece ağaçların tepesinde uyuması muhtemeldir. Lucy'yi keşfeden Don Johanson, bu düşünceleri öne sürerken bu canlının kıvrımlı parmaklarının evrimsel bir yük olabileceği konusunda da uyarıda bulunmuştu. Lucy'nin anatomisine ilişkin öteki ögeler de Johanson'ın haklı olabileceğini gösterir. Omurga anatomisi, ağaçlarda uzun zaman geçirmesinin pek de mümkün olmadığını ortaya koyar. Şempanzelerin ve gorillerin kısa ve sağlam omurgaları kaza riskini azaltarak ağaçlarda gezinmelerine yardımcı olur. Öte yandan Lucy'nin uzun ve esnek bel omurgası, aslında ağaçlardaki yaşamını terk ettiğine işaret eder.

Yeniden ellerine dönelim. Lucy'nin parmakları, Afrikalı kuyruksuz maymunlardan daha kısadır (bizimkilere daha çok benzer). Başparmaklarının uçları, bizimkilere kıyasla hâlâ sıska olsa da biraz daha genişlemiştir. Öte yandan Australopit türlerinden birinde daha "insansı" eller görülür. El kemiklerine ilişkin fosil kayıtlar genellikle çok az bulunur ama Güney Afrika'daki bir arkeolojik sit alanında bütün halde bir el bileği ve iskeleti keşfedilmiştir. Bu iskelet yaklaşık iki milyon yıl önceden kalmadır ve *Australopithecus sediba* türüne atfedilmiştir. El fosilinin kısa parmakları ve uzun, güçlü bir başparmağı vardır; dolayısıyla çarpıcı bir biçimde "modern" gözükür. Australopitlerin ellerine bakıp özel olmadıklarını düşünmemek çok güçtür. Taştan alet yapımı çok uzun süredir kendi cinsimiz *Homo*'ya ait bir özellik olarak görülmüşse de (bu o kadar baskın bir düşüncedir ki cinse ait en eski üyelere *Homo habilis*, yani "yetenekli insan" adı verilmiştir), daha eski zamanlarda üretilen taş aletler Australopitlerin de alet yaptığını kabul etmemiz gerektiğini gösteriyor. Daha sonraki hominlere geldiğimizde (İspanya'da bulunan *Homo antecessor* ya da Neandertaller gibi), onlar tarafından üretilmiş bir sürü kanıt olduğunu görüyoruz. Bu homininlerin elleri; kısa, düz parmakları ve güçlü başparmaklarıyla bizim ellerimize daha da benzer (ve hatta bizimkilerden daha güçlülerdir).



İnsan eli.

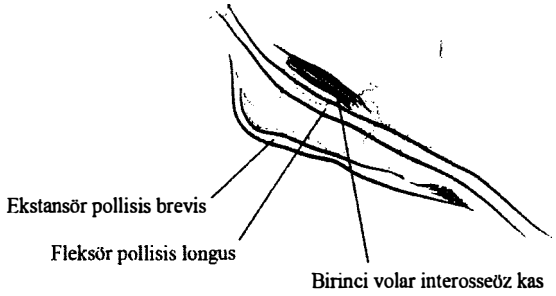
EŞSİZ BAŞPARMAKLAR

Öteki yaşayan kuyruksuz maymunlarınkiyle kıyaslandığında insan başparmaklarının farkı kemik anatomisinden de ötedir. Başparmaklarımızdaki belirli kaslar öteki primatlarda, hatta yaşayan en yakın akrabalarımız şempanzelerde bile ya hiç yoktur ya da bizdekinden farklıdır. Birinci ve ikinci metakarpal kemiklerinizin arasında saklanan bir kasınız vardır; bu kas, başparmağı öteki el parmaklarına doğru güçlü bir biçimde çeker. Elinizde tuttuğunuz bir aletle güç uygulama alışıksanız bu "addüktör pollisis" kasınız epey gelişmiştir. Örneğin sahada malalarla büyük miktarda toprak kazıyan arkeologların başparmak ve işaret parmakları arasındaki birinci interosseöz kasının güçlendiğini fark etmiştim. Parmaklarınızın aralarını kapatıp elinizi yüzeye bastırdığınızda bu kas anında belirginleşir: İnterosseöz kası, başparmağınızla işaret parmağınızın arasında boşluğun etrafında hafif bir şişkinlik yapar. Bir barda otururken arkeologların interosseöz kaslarının büyüklüklerini yarıştırdıklarına kendi gözlerimle şahit

olmuştum. Oysa addüktör pollisis kası insanlara özgü bir kas değildir; asıl özel olan, onun hemen yanındaki küçük bir yardımcı kastır. Bu kasa, birinci volar interrosseöz kas diye şık bir ad verilmiştir.

Sadece insan ellerinde görülen iki kas daha vardır. Biri başparmağı dışa doğru çeken (fazladan) bir ekstansör kas, öteki de ön koldan başlayıp uzun tendonlarıyla bilekten ele doğru uzanan ve burada başparmak kemiğine bağlanan güçlü bir fleksör kastır. Bahsedilen ikinci kas öteki primatlarda bulunur ama onlarda tendonlarıyla tüm parmaklara uzanan başka bir derin fleksör kasın parçasıdır. İnsanlarda fleksör pollisis longus kası kendi başına bir kastır. Çok da güzeldir; ön koldan başlayan tendonları ve bilek seviyesinde eklenen kas lifleriyle bir tüy kalemi andırır.

İnsanlarda fleksör pollisis longus kası neden özel muamele görür? Ne işe yarar? Bu sorulara verilecek en temel yanıt, başparmağı bükmeye yaradığıdır. Buna ek olarak, pek çok araştırmacı bu fleksör kasın, insanlar davranışlarından özellikle de biri için çok önemli olduğunu ileri sürmüştür. Bahsedilen davranış, alet yapımıdır.



Sadece insanlarda bulunan başparmak kasları.

Teknoloji üzerindeki mükemmel hâkimiyetimizin eşi benzeri yoktur. Öteki hayvanlar da maddi kültür üretir; dolayısıyla bizler ve öteki türler arasında mutlak bir fark söz konusu değildir. Bizi asıl ayıran şey aramızdaki farklılık seviyesidir. İlk teknolojik kanıtlar olarak taş aletlerini düşününce, bugün sahip olduğumuz teknoloji başka bir dünyadan gelmişe benzer. Oysa insanların en önemli özelliklerinden biri bilgi ve becerilerini sonraki nesillere aktarmaktır. Bizler, aktarılan kültürün üzerine yeni şeyler inşa ederiz. En eski taş aletler Etiyopya'dan çıkmıştır ve 2,6 milyon yıl öncesine dayanır. O halde insan eli anatomisine ilişkin belirli özellikler, tarih öncesi alet yapımı geleneğini açıkça yansıtıyor olabilir. Pek çok araştırmacı, alet yapımı ve benzersiz fleksör pollisis longus kası arasında bağlantı kurmuştur. Taş yontarken bir taşı ötekine çarpmak, yüksek kuvvetler oluşturur; bunlara dayanabilen güçlü başparmaklara sahip olmak da alet yapanlara avantaj sağlamıştır.

İnsan elinin yapısını ve işlevini inceleyen ilgi çekici, yeni bir araştırmadan haberim olmuştu; bu nedenle Brian Richmond ve Erin Williams'la konuşmak için ABD'deki George Washington Üniversitesi'ni ziyaret ettim. Taş alet kullanımı ve yapımı sırasında el üzerindeki baskıyı araştırıyorlardı. Özellikle de insan başparmağını oluşturan eşsiz parçaların alet yapımıyla ilgili olduğunu öne süren varsayımı test etmek istiyorlardı.

Laboratuvarlarına vardığımda beni de denek olarak kullanma şansını kaçırmadılar. Erin ince, banda benzeyen basınç aktarıcıları parmaklarıma ve başparmağıma yapıştırdı. Hazırlıklar bittikten sonra, Erin elimin üzerindeki baskıyı ölçerken ilkel bir taş aleti yapmayı denedim ve yaptığım taş aletleri et kesmekte kullandım. Taş aletler yapan birinin ellerine uygulanan baskıyı incelemek için benim pek de iyi bir örnek olduğum söylenemezdi; daha önce denediğim bir şey değildi. Ayrıca bir taşı ötekine vurarak yonga üretmek, tahmin edebileceğinizden zor bir iştir. Neyse ki günümüzde Paleolitik dönemdeki atalarımızdan (aletlerinden) kalma yontma becerilerini geliştirmek için uğraşan insanlar var. Brian ve Erin, yetenekli taşçıların elleri üzerindeki baskıyı ölçme fırsatını çoktan yakalamıştı ve ortaya hiç beklenmedik sonuçlar çıkmıştı: El üzerindeki basınç, özellikle işaret parmağında ve orta parmakta artmıştı. Öte yandan başparmakta çok da fazla değildi.

Aksine başparmağım üzerindeki baskı, yongayı kullanmaya başladığım zaman aniden artıyordu (benden alınan sonuçlar, bu araştırmanın genel bulgularıyla uyuşuyordu). Yongayı elimden kaçmaması için kıvrılmış işaret parmağım ve üzerine bastıran başparmağımla tutuyordum. Yapılan ölçümler, sivri kenarını kullanarak et keserken yongayı yerinde tutmak için ciddi anlamda bir baskı yapmam gerektiğini gösteriyordu. Alet yaparken değil, sadece bu durumda başparmağım üzerindeki baskı öteki parmaklarımdan daha fazlaydı.

Aslında bunlar çok ilginç bulgulardır. Şempanzelerin (ve muhtemelen son ortak atamızın) ellerine kıyasla başparmaklarımız çimdik tutuşları için çok dirençli ve güçlüdür. Çimdikleme gücünün bir kısmı, bizlere özgü fleksör pollisis longus kasımızdan gelir. Görünüşe göre güçlü başparmaklarımız, taş aletler yapmak yerine onu *kullanmakla* ortaya çıkan seçilim baskısıyla evrim geçirmiştir.

Elinize bir bakın. Atalarınızın derinlerden gelen yankılarını, öteki primatlarla paylaştığınız özellikleri ve ayırıcı niteliklerimizi fark edebilirsiniz. Semenderi andıran erken dönem dört bacaklılarından *Acanthostega* gibi canlıların el ve ayak parmakları üzerinde yaptıkları onca deneyden sonra eski bir atadan miras kalan (ilkel sayıda) beş parmağınız var. El bileklerinizi ve parmaklarınızı hareket ettirmenizi sağlayan kas sisteminizin temelini de yaşayan amfibilerle paylaşıyorsunuz. Amfibilerin aksine sizlerde karşıt başparmaklar olsa da bunlar da insana özgü değildir, çoğu primatta da görülebilir. Bununla birlikte pençeler yerine tırnaklara sahip olmanız da primatlarla ortak özelliklerinizden biridir. Öte yandan evrimsel süreçte daha yakın zamanda ortaya çıkmış olan özellikleriniz de vardır: Güçlü başparmaklarınız ve bu başparmakları yöneten benzersiz kasınız bunlara örnektir. Eşi benzeri görülmemiş bu kas sayesinde elleriniz aletlere biçim verebilen, alet üretebilen ve kullanabilen organlara dönüşmüştür. Ellerinize bakıp onu her hareket ettirdiğinizde, yaşadığı evrimsel yolculuğu gözlerinizin önüne serecektir.

İNSANIN ÖYKÜSÜ

YAŞAM AĞACINDA
KENDİ KÜÇÜK DALIMIZI BULMAK

"Parçalardan oluşan fevkalade bir bütün
Kendini bilmenin görkemli zirvesi
Ve işte budur, yüce İnsan!"

COLERIDGE

Kendi anatominize yaptığınız yolculuğunun sonunda ellerinize baktığınızda gelişmekte olan embriyonuzun üst uzuv tomurcuklarından gelişen bir organın, bir balık yüzgecinden başlayıp milyonlarca nesil ve milyonlarca yıl boyunca evrim geçirdiğini de gördünüz. Bizler kendimizi öteki hayvanlardan ayrı tutsak da her birimiz bu gezegendeki yaşamı etkileyen güçler tarafından biçimlendik. Sizler, tek bir döllenmiş yumurtadan bütün bir insan vücudunu oluşturan gelişimsel yöntemlerin birer ürünüsünüz. Daha geniş bir zaman ölçeğinde sizler; renkleri algılayan gözlerinizden ses üreten gırtlağınıza ve gülümseyen yüzünüze, kalplerinizden ve akciğerlerinizden sıralı halde duran kısa ayak parmaklarınıza ve de güçlü başparmaklarınızdan becerikli el parmaklarınıza kadar evrimin birer ürünüsünüz. Anatominizde derin bir tarih saklıdır, hatta Terry Pratchett'ın mükemmel bir biçimde kelimelere döktüğü gibi, "Bizler tarihin ta kendisiyiz."

Çocuklarımın doğumu, içimdeki merak duygusunu körüklemişti: Yeni bir canlı yaratmak için vücudumun tüm kaynaklarını kullanıyordum; gelişimsel süreç, tıpkı origami gibi katlanarak işliyor ve dokuz ay sonra bir bebek dünyaya getirene kadar devam ediyordu. Bu olağanüstü yaratılışa ev sahipliği yapabilmiş olmak ne muhteşem şey! Üstelik hâlâ bütün bu süreçlerin nasıl gerçekleştiğini anlamaya çalışıyoruz. Elbette bu, çok temel bir sorudur; zaten tüm çocuklar, er ya da geç "Ben dünyaya nasıl geldim?" sorusunu yöneltir. Böylesine temel bir soru sorulduğunda yanıt vermek zorunda kalırsınız; bir yandan dürüst olmaya çalışırken bir yandan da yanıtın anlaşılabilir ve sindirilebilir olması için uğraşırsınız.

Kendi tarihimize, embriyomuzun gelişim öyküsüne ilişkin birçok sırrı artık açığa çıkardık. Bir embriyonun, yumurta ve spermin birleşmesiyle nasıl var olduğunu zaten biliyoruz: Bir hücre kümesi halindeki döllenmiş yumurta diske dönüşür ve bu disk kıvrılarak silindir biçimini alır, üst ve alt uzuv tomurcukları meydana gelir. Aynı zamanda bu küçük vücudu oluşturan hücreler, insan vücudunun dokularını ve organlarını yaratmak için çoğalır, göç eder ve

ölür. Öte yandan embriyologlar, yakın zamanda bu gelişim sürecinin *nasıl* gerçekleştiğini; hücreleri bölünmeye, göç etmeye ya da intihara sürükleyen şeyin ne olduğunu çözdü. Artık DNA'nın gelişimi nasıl yönlendirdiğine ilişkin bir bakış açısı geliştirmeye başladık. Genetikçiler, bir kişinin bütün genom dizilimini daha yeni çıkarabildi; dolayısıyla bir yumurtanın bebeğe (ve en sonunda bir yetişkine) dönüşümünde tüm genlerin nasıl bir arada çalıştığını ve çevreyle nasıl bir etkileşim içinde olduğunu anlamak için hâlâ gitmemiz gereken çok yol var. Bir yandan yeni keşifler yapıldıkça her şey daha karmaşık bir hal alıyor: Artık sadece genler değil, DNA'da genleri düzenlemeye yarayan parçalar da önem taşıyor. Bu da yetmezmiş gibi DNA'mız, yaşamımız boyunca kimyasal değişikliklere uğrayabiliyor. Böylelikle epigenetik adındaki ayrı bir alan altında çalışmayı zorunlu kılan yeni bir genetik düzenleme planı ve karmaşıklık seviyesi ortaya çıkıyor.

Aristoteles'ten bu yana çok yol katetmişiz gibi gözükse de insan adındaki biyolojik mucizeyi anlamamıza daha çok var. Epigenez ve preformasyon gibi eski düşünceler, bugün embriyolojik gelişim hakkında bildiklerimizin ışığında geçerliliğini yitirmiş olabilir ama görünüşe göre her iki düşüncede de bir miktar doğruluk payı bulunuyor.

Biyologlar mikroskop sayesinde sperm ve yumurtaları görmeye başladığında, yaşamın başlangıcının Aristoteles'in epigenez varsayımıyla ileri sürdüğü gibi basit sıvıların karışımından çok daha karmaşık olduğu açığa çıkmıştı. Ayrıca ne spermin ne de yumurtanın içinde minyatür bir insan olarak yorumlanacak herhangi bir şey varmış gibi gözüküyordu; gametlerde ya da döllenmiş yumurtaların içinde de hiçbir şey yoktu. Yeni oluşan bir embriyo, bırakın minyatür bir insana benzemeyi bir bebeğe bile benzemiyordu. On sekizinci yüzyılda Caspar Wolff, bir hücre kümesinin zaman içinde farklı dokulara dönüştüğünü görünce karmaşık yapıların basit başlangıçlardan meydana geldiğini öne sürdü. Embriyonun içinde ayrıntılı yapılar, tıpkı cam üzerinde donmaya başlayan suyun zamanla tüm yüzeyi buzla kaplaması gibi yavaş yavaş ortaya çıkıyordu.

Wolff haklıydı. Embriyogenez tamamen hücre farklılaşmasından ibaretti. Kök hücrelerden başlayıp farklılaşmış dokularla sonlanıyor; cildin, kasın, kemiğin, kıkırdağın, sinirlerin ve geri

kalan her şeyin oluşumunu sağlıyordu. Ne var ki ilk hücre (döllenmiş bir yumurta), ışık mikroskobu altında gözüktüğü kadar basit bir yapıda değildi. Bugün bu hücrenin bir şifreye, bütün vücudu inşa etmek için gereken DNA'ya sahip olduğunu biliyoruz. Sanki dönüp dolaşıp yine preformasyon fikrine geldik, değil mi? Elbette yumurtanın içinde bekleyen minyatür bir insan yok ama basitlikten çok daha öte bir şey, bir insan yaratmanın tarifi burada bulunuyor. İnsan vücudunun "düşüncesi" en başından beri, DNA şifresinin dört harfiyle yazılmış halde burada durur. Bahsedilen bu "düşünce" vücudun ayrıntılı bir kopyası ya da tasarımı değil sadece, vücut biçimini oluşturmaya yarayan bir dizi yönergedir de. Aslında bu açıdan gerçekten de origami gibidir: Oldukça basit bir dizi yönergeyle çok karmaşık bir biçim meydana getirilebilir.

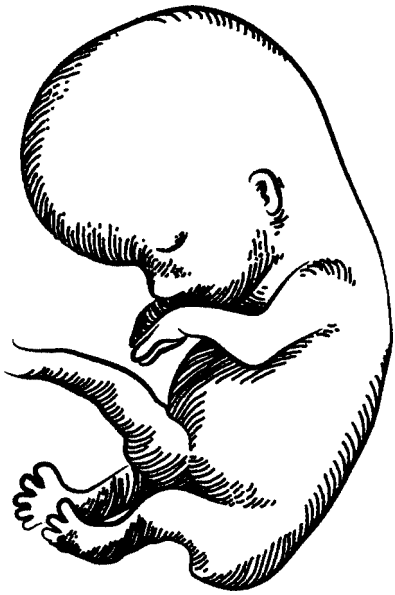
O halde dönüp dolaşıp vardığımız nokta burasıdır. Epigenez, basit yapıların daha karmaşık olanlara dönüşmesiyle gerçekleşir ama bu suyun donması gibi değil, çok daha kontrollü bir biçimde olur. Döllenmiş yumurtadaki DNA kontrolü eline alıp embriyonun daha karmaşık bir yapıya dönüşmesi için gerekli olan tüm bilgileri sağlar. Şüphesiz bu açıklama da çok basit ve düzenlidir; gelişim söz konusu olduğunda her şeyin genetikten ibaret olduğunu ileri sürer. Bunun doğru olmadığını biliyoruz. Tamamen aynı genetik yapıya sahip tek yumurta ikizleri bile aynı gelişimi göstermeyebilir; aralarındaki farklılıklar, DNA ve çevre arasındaki etkileşimden ortaya çıkar. Çevre, rahimdeki gelişimde de rol oynasa da asıl bebek doğduktan sonra daha da önemli bir hale gelir. DNA'nız vücudunuza (ve beyninize) ne yöne gelişeceğini her saniye söylemez, sadece gelişim için esnetilebilen yönergeler sunar: Yani sınırları belirler. Bu çok önemlidir; bu sayede bazen vücutta oldukça büyük değişikliklere yol açan yenilikler, herhangi bir genetik değişiklik olmadan meydana gelebilir. Örnek olarak atalarımızın koşmaya başlamasıyla insan vücudunun değiştiğini öne süren varsayımı aklınıza getirebilirsiniz.

Embriyonuzun gelişimi, tarihin çok eski sayfalarıyla ayrılmaz bir biçimde iç içe geçmiştir. Gelişiminiz sırasında evrimsel tarihinin bütün adımlarını yaşamamış olsanız da atalarınızın yankılarını görmezden gelmek mümkün değildir. Tek bir yumur-

tadan karmaşık bir insan vücuduna doğru inanılmaz bir dönüşüm yaşarken kısa süreli benzerlikler (örneğin larvalara benzeyen vücut kısımları, solungaçlar, balık kalpleri ve batrak beyni) geçirmişsinizdir. Evrimsel gelişimsel biyoloji (ya da *Evo-Devo*) evrimi ve embriyo gelişimini (soy oluşu ve birey oluşu) aynı çatı altında toplamaktan ibarettir. Türlerin zamanla değişimiyle tek bir embriyonun gelişimi sırasındaki değişimleri kapsayan bu iki gelişimsel tarih arasındaki paralellik çok uzun yıllar önce fark edilmiştir. Ne var ki moleküler biyoloji alanındaki yenilikler, şu anda biyologların hem evrim sürecinde hem de embriyo gelişiminde ortaya çıkan değişikliklerin genetik temelini açığa çıkarmasını sağlamıştır.

Ernst Haeckel embriyoların evrimsel geçmişlerini yeniden yaşadığını ileri sürerken Karl Ernst von Baer, başka bir ayrılma ve farklılaşma düşüncesini savunuyordu. Von Baer'e göre embriyolar, yetişkin atalarının değil, onların embriyolarının yankılarını taşıyordu. Evrimsel değişimi, yeni özelliklerin eklendiği ve gelişim boyunca zamanlamanın değiştiği bir süreç olarak ele aldığımızda Von Baer'in bu düşüncesi akla oldukça mantıklı geliyor.

Arkeologlar bir sit alanından bahsederken genellikle ona farklı dönemlerin üst üste bindiği bir palimpsest derler. Aslında bu çok hoş bir benzetmedir: Palimpsest, üstündeki yazı silinip yeniden yazılmış eski zamanlardan kalma bir parşömendir. Palimpsest, Yunancada "yeniden kazınmış" anlamına gelir. Bir sit alanını anlatmak için temizlenip tekrar kullanılan, her neslin kendi kültüründen iz bıraktığı antik bir parşömen benzetmesi çok yerindedir. Öte yandan embriyonun gelişimi de daha modern bir palimpseste benzer, hatta bilgisayarda yazılmış bir belge gibidir. Belge zamanla değişir; yeni kelimeler yazının her yerine eklenip çıkartılabilir ve bu küçük değişiklikler anlamı tamamen değiştirebilir. Belgenin son halini okurken, bazı kısımların ilk taslaktakilere benzediğini fark edebilirsiniz. Henüz yolun başında olan bir embriyo da (gelişimin ilk haftasında oluşan o hücre kümesi de) öteki omurgalı embriyolarına çok benzer. İnsan embriyosunda yeni oluşan kalp, bir köpekbalığı embriyosundaki (ya da erişkin haldeki) kalbin neredeyse aynısıdır. Buna karşılık döllenmeden sekiz hafta sonra sizler, artık birer insana benziyordunuz.



Sekiz haftalık bir insan embriyosu.

ŞANS ESERİ VAR OLUŞ

Evrim, organizmaların embriyo gelişimini kurcalayarak ilerler. Bu kulağa çok tehlikeli gelebilir ve genellikle de öyledir; çoğu genetik değişim, yaşaması tamamen olanaksız yavrular meydana getirir. Bahsedilen durum, tahmin ettiğinizden daha sık yaşanıyor olabilir. Tam olarak kaç hamileliğin başarısız olduğunu bilmemizin hiçbir imkânı yok, çünkü normal olmayan embriyolar çok erkenden (döllenmenin ikinci ya da üçüncü haftasında), regl döngüsünü etkilemeden ve regli geciktirmeden düşer. Muhtemelen hamileliklerin *yarısı* düşükle sonlanır, bazıları da daha fark edilemeden biter. Bu tip hamileliklerin yarısının kromozoma bağlı önemli sorunlar yüzünden sonlandığı tahmin edilmektedir. Düşükler, doğal bir ön eleme yöntemi olarak da çalışır. Yapılan hesaplamalar, düşüklerin olmadığı durumda yaklaşık yüzde on ikisinin doğuştan sorunlu doğacağını belirtir (bu oran düşüklerle yüzde ikiye düşer). Ne var ki düşükler sadece hamileliğin ilk

günlerinde ya da haftalarında olmaz. Herhangi bir hamilelik testiyle onaylanan hamileliklerin beşte biri, on iki haftadan önce düşük yapmakla sonuçlanır.

Döllenme, anne ve babaların sıklıkla açtığı bir konu olmasa da şu anda var olmamızın ne kadar imkânsız olduğunu bize bir kere daha gösterir: *O* yumurtayla *o* sperm dölledikten sonra annenizin rahminde kendinize bir yer buldunuz, buraya güvenli bir biçimde yerleştiniz ve doğana kadar gelişmeye ve büyümeye devam ettiniz.

Embriyo gelişiminin ne kadar karmaşık olduğunu düşününce genetik değişimlerin daha sık raydan çıkmaması oldukça etkileyicidir; ne de olsa bu gelişim, genlerin hem çevreyle hem de hücrelerin birbirine yakınlığına ya da uzaklığına bağlı olarak ortaya çıkan dokularla arasındaki iletişime dayanır. Dolayısıyla bahsedilen kurcalamanın bazı sınırları olduğunu da fark etmek gerekir. Ta en baştan karmaşık olan bir organizmanın değişim olanakları oldukça sınırlıdır. Gelişim yöntemlerinin getirdiği kısıtlamalar (bir genin bakış açısına göre neyin işe yarayıp yaramadığının yanı sıra biyolojik gereçlerin doğası gereği dayatılan kısıtlamalar), her bir türün geleceğinin uçsuz bucaksız olasılıklarla dolu olmadığını gösterir. Görünüşe göre doğal seçilim, sandığımız gibi evrimin hangi yöne gittiğinden "sorumlu" değildir. Zaten seçebileceği şeyler oldukça kısıtlıdır.

Embriyo gelişimin sınırlandırılmış doğası, tek özelliklerin birbirinden bağımsız olarak değişkenlik gösteremeyeceği anlamına da gelir. Bir vücudun anatomisini çıkarıp her bir özelliğini evrimsel açıdan incelerken dikkatli olmamız gerek: Tek özellikler kendi kendilerine ortaya çıkmaz, zaten tek başlarına çalışmak için tasarlanmamışlardır. Bir özelliğin anatomik önemi, sırf öteki hayvanlarda farklı olduğu için olduğundan daha fazla gözükebilir; oysa gerçekte sadece gelişimin rastlantılarından biri olabilir.

Stephen Jay Gould, bu durumu açıklamak için Venedik'teki San Marco Bazilikası'nın kemerlerinin birleştiği yerler ve kubbe arasındaki üçgenimsi alanları örnek verdiği mimari bir benzetme yapar. Bu mimari yapılara *spandrel* adı verilir. Aslında bu yapılar, mimarın tasarıma dahil etmeyi planladığı ayrıntılar değildir. Var olmalarının tek nedeni, iki kemerin birleştiği yerle kubbenin kenarları arasında kaçınılmaz bir alan oluşmasıdır. Zaten doğal

olarak oluştukları için işe yarar bir hale getirilmişlerdir. San Marco Bazilikası örneğinde bu üçgenimsi alanlar, İncil'i yazan dört havarinin betimlemelerine ev sahipliği yapar.

Gould'un değindiği nokta, bir organizmaya ait tüm özelliklerin doğrudan doğal seçilimle ortaya çıkmadığıdır. Çoğu özellik "öylesine" vardır, tıpkı *spandrel*'ler gibi asıl yapıların yan etkileridir (burada asıl yapılardan kastım, San Marco Bazilikası'nın kemerleri ve kubbesinin biyolojik eşdeğerleridir). Elbette uyarlanımı da aşırıya kaçarak desteklememek gerekir, çünkü anatomiye ve davranışlara ilişkin bazı özellikler seçilimle belirlenmemiştir. Vücut "tasarımınızda" *spandrel* biçiminde ögeler olacaktır. Bunlar belki San Marco'nun *spandrel*'lerinin aksine yapısal nedenlerden ortaya çıkacak, belki de vücudunuzu yaratmak için kullanılan biyolojik maddenin ya da genetik bilginin kısıtlı olmasından kaynaklanacaktır. Bu kısıtlamalar, vücudunuzun ve vücut bölgelerinizin biçimini belirlemekte çok önemli roller oynar. Doğal seçilim sadece olası değişkenler arasından bir seçim yapabilir. Farklılık, şans doğal seçilimin eline geçmeden önce belirli kısıtlamalarla sınırlandırılmıştır. Vücudumuzdaki bazı özelliklerin uyarlanım yerine *spandrel* olabileceği düşüncesine önyargılı olmamalıyız. Dan Lieberman'ın koşmaya özgü uyarlanımlar olarak bahsettiği bazı özellikler de sadece *spandrel* olabilir. Belki de uzun bacaklar, daha büyük kalçalar ve sırt kasları, *Homo erectus*'un vücut büyüklüğündeki artışın yan etkileridir. Gelişimin genetiği hakkında öğrenmeye devam ettikçe, bir özelliğin *spandrel* olmaktan ziyade bir uyarlanım olup olmadığını çözebilmeliyiz.

Hem bir organizmanın evrimsel geçmişi hem de gelişmekte olan embriyonun mekaniği, gelişime belirli kısıtlamalar getirir; dolayısıyla evrimin izleyebileceği yollar da sınırlıdır. Yakın akrabalığımız olan hayvanların benzer yerlerde yaşama olasılığını da düşündüğümüzde birkaç farklı soyda birbirinden tamamen bağımsız bir biçimde ortaya çıkan evrimsel bir özellik bulduğumuz yakınsak evrime ilişkin örneklere pek şaşırmamamız gerekir.

Görünüşe göre memelilerin orta kulağı (üç kemikçiği de dahil) en az dört kez, yakın akraba olan dört farklı soyda evrim geçirmiştir; bu da bahsettiğim duruma şahane bir örnektir. Kuyruksuz maymun kuzenlerimize dönecek olursak benzer

hareket etme biçimlerinin yakın akraba olan farklı soylarda, birbirinden bağımsız olarak ortaya çıkması belki de gayet sıradandır. Daha büyük gövdeli primatların yerde hareket ederken el parmak eklemlerinden destek alarak yürümeleri çok kolay bir çözümdür. Ağaçlarda yaşarken kollardan asılmak ve vücut ağırlığını iki bacağa bölüştürmek de mantıklıdır. Bu davranışlara yönelik uyarlanımlar, muhtemelen ortak bir atadan miras kalmak yerine paralel olarak ortaya çıkmıştır. Görünen o ki yerde gezinen *Oreopithecus* gibi kuyruksuz maymunlar da tıpkı biz homininler gibi iki ayakları üstünde yürümüştür. İki ayak üstünde yürümek, muhtemelen önceden düşündüğümüz kadar özel bir şey değildir. Hatta memelilerin orta kulaklarında olduğu gibi farklı soylarda birkaç kez ortaya çıkmış olması çok olasıdır. Gelişimsel kısıtlamalar işlemiştir ve benzer çevrelerde yaşayan, yakın akraba olan türler arasında *zeitgeist*[1] geçerlidir. Dolayısıyla benzer bir çözümün birden fazla ortaya çıkmasında şaşılacak bir şey yoktur.

Eğer belli bir dizi özellik ortaya çıkışıyla öteki özelliklerin de görülme olasılığı artıyorsa, bu bahsedilen kısıtlamalar evrimi oldukça öngörülebilir kılıyor demektir. Oysa doğal seçilimin hassas eleğinden geçmeden türlerin evrimine büyük etkileri olan tesadüfi olaylar da vardır. Doğal afetlerden kaynaklanan kitlesel yok oluşlar, o noktaya kadar oldukça başarılı bir biçimde yaşamkalım mücadelesi veren bir türün tamamını ya da bir tür grubunu ortadan kaldırabilir ve öteki türlerin gelecek beklentilerini tepetaklak edebilir. Dinozorların sonunu getiren felaket, böyle öngörülemez bir olay örneğidir. Başınıza bir göktaşı düştüğünde evrimsel olarak ne kadar dayanıklı olduğunuzun bir önemi kalmaz: Chicxulub asteroidi, 66 milyon yıl önce Meksika'nın Yucatan yarımadasına çarptığında dinozorların yok oluşu başlamıştı. Bu tür yok oluşların sonucunu tahmin etmek imkânsız olabilir ama Chicxulub'un Dünya'ya çarpmasından sonra sağ kalan bir grup hayvan (kendi memeli atalarımız) farklılaşabilmiş ve çarpmanın etkisiyle boşalan ekolojik nişlere yerleşebilmiştir. Chicxulub'un Dünya'ya çarpmadığı senaryoda insanların evrim geçirmiş olma ihtimali neredeyse sıfırdır.

1 *Alm.* zamanın ruhu.

KENDİ KADERİNİN EFENDİSİ

Öteki hayvanlara baktığımızda, değişen çevrelere uyarlanım gösterip kendilerini akışına bıraktıkları evrimsel bir akıntıyla çaresizce sürüklenen canlılar görürüz. Ardından kendimize bakarız ve bu kez, görünüşe göre akıntıya karşı gelebilmiş bir türle karşılaşırız: Bizler, çevremizin bizi biçimlendirmesine izin vermek yerine onu kendimize uygun bir hale getiririz. Yine de bunu tek yapabilen biz değiliz ve aslında çevremizde değiştirdiğimiz her şey bizi de değiştirebilir.

Elleriniz, şempanze ellerinden oldukça farklıdır. Parmaklarınız daha kısadır, başparmaklarınızsa daha uzun ve güçlüdür. Elinizin bu özel tasarımı, atalarınızın taştan aletler kullanmasıyla ortaya çıkan değişimlerin genetik mutasyonlarla geliştirilmesinden kaynaklanabilir. İnsan ellerinin yaşam boyunca taş aletler üreterek ve kullanarak nasıl biçimlenebileceğini düşünmek kolaydır; alet kullanımının hem yaşamkalım hem de üreme şansını nasıl artırdığını anlamak da öyle. O halde doğal seçilim, genetik, dolayısıyla evrimsel değişiklikleri tetikleyebilir.

Kaslardaki ve kemiklerdeki ilk uyumlu değişikliklerden tutun bu değişiklikleri genomunuza kazıyan genetik değişimlere kadar her şey, organizmayla çevre arasındaki doğrudan ilişkiden çok daha fazlasına işaret eder. İkisinin ortasında başka bir şey vardır; bu kültür ya da teknolojidir. Ellerimiz, atalarımızın ürettiği ve kullandığı aletler tarafından biçimlenmiştir. Oysa vücutlarımızın çevreye uyarlanım gösterdiğini düşünmeye çok alışkınız. Doğal seçilimin sadece çevresine en iyi uyum sağlayanların sahip olduğu bir yaşamkalım avantajıyla, "en uyumlunun sağ kalması" prensibiyle çalıştığını düşünüyoruz. Bana kalırsa "çevre" kelimesini evrim konusunda her kullandığımızda doğal çevreyi düşünmeden edemiyoruz. Bir hayvanın belirli arazi türlerini, bitkileri, hatta avları ve avcıları da içeren bir çevreye uyumluluğunu düşünüyoruz. Oysa bunlar, hayvanın içinde bulunduğu bağlamın tamamını kapsamıyor. Bulunduğu çevre aynı zamanda, kendi türünden hayvanları kapsıyor; bunlardan her biri rakip, müttefik, düşman ya da eş olabilir. Hatta bu hayvanlar farklı zamanlarda bu rollerin hepsine bürünebilir. Öyleyse bu hayvan, yaşamkalım ve gelişim için sosyal bağlamda da "uyumlu" olmak zorundadır.

Richard Dawkins, hayvanların vücutları haricinde kendi çevrelerini de yaşamkalım ve evrimde önemli olacak biçimde etkiledikleri düşüncesine "genişletişmiş fenotip" adını vermiştir. Elbette birçok hayvan, yaşamkalımlarına yardımcı olacak belirli yollarla çevrelerini değiştirir. Örneğin tilkiler ve tavşanlar; yaşamak, avcılardan ve yırtıcı hayvanlardan saklanmak, soğuk geceler ve kış ayları boyunca ısı kaybetmemek, daha saf ve çaresiz yavrularını yetiştirirken güvenli bir yer sağlamak için çukur kazarlar. Bir tilkinin ya da tavşanın iş gören bir çukur kazabilmesi (ve bunu yapabilmek için hem yatkınlığı hem de anatomik gereçleri olması) sayesinde hem kendi hem de yavruları için bir yaşamkalım üstünlüğü kurduğunu düşünebiliriz. Kuşlar, yaşamkalım için benzer ayrıcalıklar ve avantajlar sağlayan şahane yuvalar yapar. Bazı şempanzeler kabuklu yemişleri açmak için taşları, akkarıncaları yuvalarından çıkarmak için de dalları kullanır; böylelikle başka türlü erişemeyecekleri besin kaynaklarına erişirler. Çukur kazma, yuva yapma, besine ulaşmak için alet kullanma gibi tüm bu eylemler, hayvanlara yaşamkalım avantajı sağlar. Bu hayvanların anatomilerinin ve fizyolojilerinin bahsedilen eylemleri desteklemek için evrim geçirdiği düşüncesine ayak direyemeyiz. Doğal seçilimin, bu hayvanların daha iyi kazmalarına, yuva yapmalarına ve besin çıkarmalarına yardımcı olan özellikleri seçip bunlara engel olan öteki eylemleri söküp attığı düşüncesine de karşı gelemeyiz.

Öyleyse merceği kendi türümüze tutunca atalarımızın ürettiği ve kullandığı, onlara yaşamkalım avantajı sağlayan şeylerin kendi yapımızı ve işlevimizi de etkilediğini görünce şaşırmamamız gerekir. Hatta bu durum, öteki herhangi bir hayvana kıyasla insan evriminde daha belirgindir, çünkü içinde bulunduğumuz çevre üzerinde çok derin bir etkimiz vardır. Çevremiz bizi biçimlendirebilir ama biz de bizi biçimlendiren çevreyi biçimlendirebiliriz.

Ellerimiz yarattığımız teknolojiyle biçimlenmiştir. Tür olarak yaşamkalım başarımızda teknolojinin payı vardır. Benzer bir biçimde beyinlerimiz de atalarımıza avantaj sağlayan düşünce ve eylemle yontulmuştur.

Teknolojimiz ve kültürümüz, yaşadığımız çevrenin parçaları haline gelir. Şu anda düşünceleri her zamankinden daha hızlı ve geniş çaplı bir biçimde paylaşabildiğimiz internet çağındayız. Kendi teknolojimizin gelecekteki insan beyinlerini nasıl biçimlen-

direceğini bir düşünün. Yeni doğan bir bebeğin beyninin izlemesi gereken büyük bir gelişim süreci vardır; bu gelişimin çoğu, bazı bağlantıları budayıp bazılarını güçlendirmekten oluşur. Tüm bunlar, sosyal ve kültürel bağlam içinde gerçekleşir. Zihinlerimizin kültür ve teknolojiden biçimlenmemesi imkânsızdır, böyle gelişmeye tasarlanmışlardır. Michael Tomasello'nun özdeyişini hatırlayın: Balık yavruları için su neyse, insan yavruları için kültür odur. Elbette mantıken "ekran başında" fazla zaman geçirmenin bizi öteki etkinliklerden (sanal ortamda sosyal ilişkiler kurup gerçek ilişkilerden, fiziksel aktiviteden, dışarıda zaman geçirmekten) uzaklaştırmasından kaygı duyuyoruz. Özellikle de ekran başında zaman geçirmenin çocuklarımız üzerindeki etkileri konusunda kaygılanıyoruz. Bu konuda dikkatli olmanın kesinlikle doğru olduğunu düşünsem de teknolojinin kendisinden korkmamalıyız. Teknoloji çevremizin bir parçasıdır, çocuklarımızın anne ve babalarından çok daha farklı bir ortamda büyüdüğü ortada. Basım ve yayıncılığın başladığı zamanlarda insanların kitaplar hakkında benzer kaygılar duyduğunu hatırlamak insanı kendisine getiriyor. İnsan beyninin uyarlanım yeteneği sayesinde çocuklarımızın değişen kültürel çevreye ayak uydurmasını sağlayacak yeni bilgi, beceri ve anlayışları (yeni düşünme biçimlerini) öğreneceklerini biliyoruz. Öte yandan yetişkin beyinlerinin "kaskatı" olduğunu da düşünmemeliyiz: Yeni bağlantılar yaratma becerisini de kapsayan nöral plastisite, beynimizin yaşam boyunca sahip olduğu bir özelliktir.

İNSANIN EŞSİZLİĞİ

Beyinlerden bahsetmek, dikkatimizi gerçekten de eşsiz olduğunu hissettiğimiz bir parçamıza toplar. Kendimizi özel hissetmeyi sevdiğimize hiç şüphe yok ama bu tam olarak ne anlama gelir? Genel anlamda *Homo sapiens* eşsiz bir türdür. Sürekli iki ayak üstünde yürümek, becerikli ellere ve büyük beyinlere sahip olmak gibi özelliklerin eşsiz bir birleşimine ev sahipliği yapar. Yine de

her bir tür eşsiz değil midir? Zaten bunca türün var olma nedeni de bu değil mi?

Dikkatlice baktığımızda bazı özelliklerin insana özgü olduğunu ileri süren pek çok varsayımın yanlış olduğu ya da en azından tam olarak doğru olmadığı kanıtlanmıştır. Doğum Çelişkisi Varsayımı, dişi insan kalça kemiğinin iki ayak üstünde yürüme gereklilikleriyle büyük beyinli bir bebek doğurma arasındaki çekişmede harap olduğunu ileri sürmüştü. Pahalı Doku Varsayımı, insanların bir kuyruksuz maymun olarak benzersiz derecede küçük bir sindirim kanalı olduğunu dile getirmişti ama bunun doğruluğu tartışılır. Sürekli yerde yürümek bile kuyruksuz maymun soyağacımızın hominin dalına özgü değildir: Henüz ortada hiçbir hominin yokken *Oreopithecus* zaten bunu yapabiliyordu.

Bizlere özgü olduğu düşünülen özelliklerimizin çoğu aslında aşama farkından kaynaklanır; bunlar nitel değil, nicel farklardır. Yaşayan öteki kuyruksuz maymunlar da ara sıra iki ayakları üstünde yürüyebilir ama biz bunu sürekli yaparız. Memelilere kıyasla tüm primatların beyinleri büyüktür ama bizler bunu daha da ileriye götürürüz. İnsan vücudunun evrim geçirdiğini düşündüğümüzde bu aşama farkları elbette mantıklıdır. Ne insan ne de onu oluşturan anatomik bileşenler sıfırdan yaratılmış, yokluktan var olmuştur. Zihinlerimizin, yaşayan en yakın akrabalarımızdan niteliksel olarak farklı görünmesi şu soruyu doğurur: Bu değişiklik ne zaman olmuştur? Bildiğimiz biçimde "insan zihni", muhtemelen zaman içinde meydana gelmiştir. Nasıl tüm "insan paketi" (iki ayak üstünde yürüme, sağa sola dönebilen beller, yanlarda duran omuzlar, büyük beyinler vb.) bir gecede ortaya çıkmamış, mozaik gibi bölük pörçük parçaların bir araya gelmesiyle oluşmuşsa atalarımızın zihinleri de bir anda insan bilinci seviyesinde ulaşmamıştır.

Daha "düşük" hayvanlardan daha "yüksek" hayvanlara doğru doğrusal ilerleme düşüncesi, modern biyolojide dallanıp budaklanan yaşam ağacı kavramıyla yer değiştirmiştir. Öte yandan varış noktası insan olan doğrusal *scala naturae* düşüncesi oldukça ısrarcıdır. Özellikle de çevre üzerinde böylesine bir etkimiz olduğu için, ne yapıp edip evrimin zirvesine tırmandığımıza inanmak gerçekten de cezbedicidir. Yirminci yüzyılın başlarında evrimsel biyologlar hâlâ aynı bakış açısıyla yazıyordu: İnsan evrimini pri-

mat evrimindeki eğilimlerin doğal bir uzantısı, neredeyse kaçınılmaz ve ilerici bir gelişme olarak betimliyorlardı. Ne var ki 1950'li yıllarda fosil kanıtlar bambaşka bir öyküyü gözler önüne serdi. Bu öyküde çevreyi etkileyen öngörülemez değişimler, türlerin evrimini de etkiliyordu. Artık insan evrimi de rastlantı ve şanstan ibaret görünüyordu.

Yirminci yüzyılın ikinci yarısında daha fazla hominin fosilinin keşfedilmesi ve kendi soyağacımızın günden güne yeni türlerle kalabalıklaşmasıyla birlikte, bizleri eşsiz yapan özelliklerin bir "paket" halinde ortaya çıkmadığı iyice belli oldu. İki ayak üstünde yürümek, beynin büyümesinden milyonlarca yıl önce gerçekleşmişti. Öte yandan insan evrimini inceleyen bilim insanları hâlâ insanlığın gerçek kökeninin belirlendiği anı, atalarımızı yepyeni bir yere yönlendiren o "uyarlanım değişimini" arıyordu. Bu değişimin avlanma ve et yemek olduğu 1960'lı yıllarda öne sürüldü ve "Avcı İnsan" cesurca bütün dikkatleri üzerine çekti: İnsanlığı tanımlayan bu değişim, bu yeni davranış, yırtıcılıktı. Günümüzde bu tür düşünceler tuhaf görünür; tıpkı kutsal kâseyi aramaya benzer. Cehenneme giden yol iyi niyet taşlarıyla döşendiyse insanlığa giden yol da davranışta, fizyolojide, anatomide ve bilinçte gerçekleşen çeşitli ince ayarlarla döşenmiştir. Bir grup hayvanı yeni bir evrimsel yöne çeken tek bir şeyi aramak aptallıktır. Her şeyin yanı sıra bu "yön" sadece geriye bakıldığında belirgindir. Temel değişiklikleri belirlemek mümkündür; yine de tek bir değişimin bizlerle yaşayan akrabalarımız arasındaki farkların pek çoğunu açıklaması olası değildir.

Öteki türler gibi *Homo sapiens* de bir hayvan, bir omurgalı, bir memeli ve bir kuyruksuz maymun olarak belli bir tema içindeki çeşitliliği temsil eder. Oysa birçok türde onları ötekilerden ayıran, eşsiz ve sıradışı özellikler vardır; bunlar o denli gelişir ki hayvanları sürüden farklı kılar. Bu özellik tavuskuşu erkeklerinde olağanüstü, uzun ve parlak kuyruklardır. Şüphesiz biz insanları ayıran büyük beyinlerimiz ve bu beyinleri kullanma biçimimizdir. Beyinlerimizi destekleyen çoğu vücut işlevimiz ve anatomimiz (sindirim kanallarımızda gerçekleşen sindirim süreçlerinden kalbimizin vücuda kan pompalama biçimine ve gözlerimizin farklı dalga boylarındaki ışığı algılayabilmesine kadar) öteki kuyruksuz maymunlara, hatta öteki memelilere inanılmaz benzer. Öte yan-

dan beyinlerimiz o kadar büyük; o kadar bilgi, düşünce ve duyguyla doludur ki öbür hayvanların ulaşamayacağı kadar ileride olduğumuzdan şüphe yoktur. Zihinlerimiz elbette eşsizdir… Öyledir, değil mi?

Bildiğimiz kadarıyla bizlerin sahip olduğu türden bir biliş, yaşayan hayvanların hiçbirinde yoktur. Yine de tüm paketin insana özgü gözüktüğünden emin olsak bile, psikolojimizin çeşitli yönlerini çözümlemeye başladığımızda bizlerin ve öteki hayvanların zihinleri arasındaki farklılıkların, öteki hayvanların zihinsel durumlarından tamamen kopmadan (ya da mutlak bir farktan) çok aşama farkı olduğunu görürüz. Görünüşe göre şempanzelerde bile "zihin teorisi" vardır: İçlerinden bazıları; öteki hayvanların düşüncelerle, arzularla ve niyetlerle dolu zihinlere sahip olduğunu kavrayabilir.

İnsanlara kıyasla şempanzelerde zihin teorisinin ne denli işlediği konusunda muhtemelen fark vardır. Yine de bu, bir kez daha mutlak bir fark yerine bir aşama farkına baktığımız anlamına gelir. Belki de düşündüğümüz kadar farklı, "eşsiz" değiliz ve bu düşünce bizi hâlâ rahatsız edebilir. Zamanında (ve eğitimsizliğin var olduğu yerlerde hâlâ) pek çok insanın Darwin'in evrim tanımına ve açıklamasına inanmamasının temel nedenlerinden biri budur. Bizler, doğanın geri kalanından ayrılan eşsiz yaratımlar değiliz. Öyle olmasını ne kadar çok istesek bile.

"Darwin'in Bulldog'u" Thomas Henry Huxley, 1860 yılında kendini rakibi başpiskopos Samuel Wilberforce'la doğaçlama bir evrim münazarası içinde tartışırken bulmuştu. Oxford Üniversitesi Doğa Tarihi Müzesi'nde gerçekleşen tartışmada Wilberforce evrimi aşağılayarak Huxley'e soyunun hangi taraftan maymunlara dayandığını sormuştu; büyükannesinin soyu mu, yoksa büyükbabasının soyu mu maymunlardan gelmekteydi? Bu sorudan sonra neler olduğuna ilişkin pek çok öykü olsa da birisine göre Huxley, "Tanrı şimdi onu elime düşürdü," diye mırıldanıp ayağa kalkmış ve son sözünü söylemişti: "Gerçeklerle yüzleşmekten korkan bir adamla aynı soydan gelmektense iki kuyruksuz maymunun soyundan gelmeyi tercih ederim."

Kendimizi birer kuyruksuz maymun, memeli ve omurgalı olarak görmekten hâlâ rahatsız mı oluyoruz? Olmamalıyız çünkü öyleyiz. Biyolojik antropolog Matt Cartmill, Huxley'in

Wilberforce'la Oxford'daki söz dalaşından yüz otuz dört yıl sonra şöyle yazar: "…öteki hayvanların yaşamlarında ve uyarlanımlarında insana ilişkin her şeyin önceden var olduğunu ya da benzerliğini göstermeye çalışmak, aslında insanları hayvanlardan ayıran ahlaki sınırın gerçekliğinden şüphe etmektir. Asıl mesele şudur: Bu sınır ortadan kalkarken ondan korkup kaçacak mıyız? Yoksa onu kabullenecek miyiz?"

YERİMİZİ BULMAK

Bizler çok başarılı kuyruksuz maymunlarız, bunu inkâr edecek değilim. Kuyruksuz maymunlardan bir türün bu denli bir başarı göstermesi olağanüstüdür. Sanat, müzik ve edebiyat gibi muhteşem şeyler yapıyoruz; ayrıca yaşamkalım, üreme ve uzun yıllar yaşama şansımızı artıran teknolojimiz var.

Öte yandan tıpkı birey olarak bizlerin sonsuza dek yaşamayacağı gibi (kabullenmesi zordur), türümüz de sonsuza kadar burada olmayacak. Azrail adıyla bilinen doğal seçilimin tırpanı, en azından gelişmiş ülkelerde körelmiş olabilir, belki de bu sayede evrimi biraz da olsa yavaşlatmışızdır. Oysa bebeklerin yetişkinliğe kadar yaşama olasılığının çok yüksek olduğu bu ayrıcalıklı ülkelerde bile her çiftin sahip olduğu çocuk sayısı farklı olacaktır; bu da popülasyondaki gen frekansını değiştirecektir. Evet, belki yavaşlamıştır ama evrim devam etmektedir.

İçinde bulunduğumuz çevrenin dengesini koruyup onu kontrol edip koruyabildiğimiz yüce bir durumda olan bizlerde muhtemelen anatomik açıdan önemli değişiklikler olmayacak. Öteki türler etrafımızda yükselip alçalırken bizler at nalı yengeçleri ya da sölekantlar gibi yaşayan fosiller haline gelebiliriz. Dünyanın dört bir yanına, çok kalabalık bir halde yayılarak yerel doğal afetlerden sağ çıkmak adına kendimize gerçek bir mücadele şansı kazandırdık. Ne var ki eninde sonunda çevremizde (ve belki de bizim yüzümden) gerçekleşecek ani bir değişim, oyunun kurallarını allak bullak edebilir. (Dinozorları ve o Chicxulub asteroidini

düşünün.) Bu olduğunda türümüz yok olabilir ya da son kalan yaşanılabilir yerlerde sağ kalmaya çalışan ufak bir popülasyona indirgenebilir. Doğal seçilim tırpanını bileyip ortaya çıkacak refijyumda işe koyulacaktır ve genetik sürüklenmenin etkisi oldukça derinden hissedilecektir. Bu gibi durumları göz önünde bulundurduğumuzda insanlığın geleceği, günümüzdeki halinden çok farklı gözüküyor.

Kristal küremi ovup türümüzün geleceğini tahmin etmeye çalışmayacağım, evrimde ve galakside çok fazla öngörülemezlik var. Yine de insanların yakın gelecekte değişmeyeceğine yönelik nasıl tahminlerde bulunabilirim. Örneğin fazladan işlevli el ya da ayak parmakları üretmeyeceğiz; beş parmaklılık genomlarımızın o kadar derinlerine işlenmiş bir haldedir ki bunun olasılığı neredeyse yok. Herhangi bir nedenden dolayı kanatlarımız ya da fazladan bacaklarımız da çıkmayacak. Bizi soğuk havalardan koruyan teknolojinin (barınakların, giysilerin ve ateşin) bir kısmını koruyabildiğimiz sürece tekrar tüylenmeyeceğiz; tabii tüylü olmak birden çekici olmaya başlarsa orasını bilemem.

Evrimsel kaderimizin ne olduğunu tahmin etmek, bundan 66 milyon yıl önce dinozorlardan saklanan bazı memelilerin maymunlara, bu maymunlardan bazılarının kuyruksuz maymunlara ve bazı kuyruksuz maymunların da becerikli elleri ve zekâlarıyla sürekli iki ayak üstünde yürüyen canlılara evrimleştiğini tahmin etmek kadar zordur. Evrimin rastgele ve beklenmedik olmasının (ki bu, kısıtlamalara bağlı olsa da hâlâ geçerlidir) bizleri mantıksız ya da önemsiz kıldığını düşünmüyorum. Ben burada olduğum için kendimi olağanüstü şanslı hissediyorum. Bir an için şu an burada *olmamanın* ne kadar kolay olabileceğini bir düşünün.

Türümüzün evrimsel geçmişi boyunca koşulların farklı bir yöne gidebileceği ya da yaşam ağacı boyunca izini sürebileceğimiz soyun şu andaki dallanıp budaklanan hali yerine kısa bir dal olarak kalmış olabileceği sayısız nokta vardır. Bir birey olarak, ana rahmine düşme şansınız yok denecek kadar azdır. Var olmanız, milyonlarca sperm arasından birinin o ay annenizin yumurtalıklarından salıverilen bir yumurtaya ulaşmasından ibarettir. Yani her şey, çok kolay bir biçimde bambaşka olabilirdi.

Her birimiz yaşadığımız için şanslı hissetsek de omuzlarımızda taşımak zorunda olduğumuz bir yük, ağır bir sorumluluğun

farkındalığı da var. Başkalarının niyetlerini ve amaçlarını tartmamızı sağlayan köklü bir zihin teorisine sahibiz. Soyut düşünceleri kavrayabiliyoruz ve bunlar hakkında iletişim kurabiliyoruz. Kendi eylemlerimizin sadece bireysel ve doğrudan değil, bilim adını verdiğimiz araştırma dürtüsüyle canlanan toplu ve küresel bir biçimde yarattığı etkilerini de biliyoruz.

Evrimi ve embriyolojiyi öğrenerek dünyadaki yerimizi buluruz. Geçmişteki ve gelecekteki öteki türlerle oldukça gerçek bağlantıları olan bir yaşam öyküsünün parçasıyız. Ana rahmine düştüğünüz o rastlantısal anın ardından kendi epigeneziniz başladı: Daha önce var olmayan biçim, antik bir dilde yazılmış şifrenin buyruğunda var oldu; bu tiyatro devam ederken geçmiş yaşamların ve uzak akrabaların uçup giden yankılarını etrafa yaydı. Sizler, sadece büyük varoluş zincirinin ya da *scala naturae*'nin parçası değilsiniz. Aynı zamanda her yöne dallanıp budaklanan devasa bir yaşam ağacının, *arbor naturae*nin birer parçasısınız.

Böylesine sıradışı hayvanlar olmamız ve başka türler üzerindeki etkilerimizin farkındalığı, bizleri hem birbirimizden hem de yaşam ağacının dallarındaki canlılardan sorumlu yapıyor. Doğanın dışındaki değil, *doğadaki* yerimizi kabul ettiğimizde bununla birlikte gelecek sorumlulukları sırtlanıp kendimiz ve bu gezegendeki tüm türler için sürdürülebilir bir gelecek uğruna çalışmak zorundayız.

OKUMA ÖNERİLERİ

Genel

Embriyoloji, evrim ve konuyla ilgili bilim tarihi kitaplarının ve internet sitelerinin yer aldığı bir liste.

Kitaplar:

Cobb, M. (2007). *The egg and sperm race: the seventeenth-century scientists who unravelled the secrets of sex, life and growth.* London; New York: Pocket Books.

Correia, C. P. (1998). *The Ovary of Eve: egg and sperm and preformation.* Chicago: University of Chicago Press.

Gould, S. J. (1977). *Ontogeny and Phylogeny.* Cambridge, Massachusetts: Belknap Press of Harvard University Press.

Kent, G. C. & Carr, R. K. (2001). *Comparative anatomy of the vertebrates.* Boston: McGraw Hill.

Lieberman, D. (2011). *The evolution of the human head*. Cambridge, Massachusetts: Belknap Press of Harvard University Press.

Sadler, T. W. (2012). *Langman's Medical Embryology.* Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins.

Shubin, N. (2008). *Your inner fish: a journey into the 3.5-billion-year history of the human body.* New York, Pantheon Books.

Wolpert, L. (2008) *The Triumph of the Embryo.* Mineolla, NY: Dover Publications.

İnternet siteleri ve mobil uygulamalar:

İsviçre'deki Fribourg Üniversitesi, Lozan Üniversitesi ve Bern Üniversitesi'nin hazırladığı, internetten takip edebileceğiniz embriyoloji dersleri (Fransızca, Almanca, İngilizce ve Felemenkçe dillerinde): www.embryology.ch

Arizona Eyalet Üniversitesi tarafından hazırlanan ve alandaki bulguları, embriyoloji ve embriyoloji tarihi konularında açıklayıcı makaleleri ve yazıları barındıran internet sitesi Embriyo Projesi Ansiklopedisi [*The Embryo Project Encyclopaedia*]: www.embryo.asu.edu

Embriyolojik gelişim ve hamilelik esnasındaki değişimleri anlamak için güzel bir rehber: lifeinthewombapp.com

Başlangıçlar

Düşüncelerin Kısa Tarihi

Cobb, M. (2012). An amazing 10 years: the discovery of egg and sperm in the 17th century. *Reproduction in Domestic Animals*, 47: 2–6.

Gould, S. J. (1977). *Ontogeny and Phylogeny.* Cambridge, Massachusetts: Belknap Press of Harvard University Press.

Başlangıç Noktanız

Hamilelik sürecini anlatan şahane bir görsel rehber için bu uygulamaya göz atın: lifeinthewombapp.com

Başlar ve Beyinler

İlk Baş

Deniz fıskiyelerinin basit doğası üzerine:
Holland, N. D. & Chen, J. (2001). Origin and early evolution of the vertebrates: new insights from advances in molecular biology, anatomy and palaeontology. *BioEssays*, 23: 142–151.

Haikouella'nın keşfi:
Chen, J.–.Y., Huang, D.–Y., Li, C.–W. (1999). An early Cambrian craniate-like chordate. *Nature*, 402: 518–522.

Richard Dawkins, 2004 yılında yayımladığı *The Ancestor's Tale* [Ataların Hikayesi] isimli kitabında denizyıldızlarıyla olan akrabalığımızı ve büyük yaşam ağacındaki yerimizi ele almaktadır.

Meşe palamudu solucanları ve omurgalıların kökeni hakkında daha fazla bilgi için:
Brown, F. D., Prendergast, A., Swalla, B. J. (2008). Man is but a worm: chordate origins. *Genesis*, 46: 605–613.

Gerhart, J., Lowe, C., Kirschner, M. (2005). Hemichordates and the origin of chordates. *Current Opinion in Genetics & Development*, 15: 461–467.

Lacalli, T. C. (2010). The emergence of the chordate body plan: some puzzles and problems. *Acta Zoologica* (Stockholm), 91: 4–10.

BBC'nin *Hayat [Life]* adlı belgeselindeki denizyıldızı bölümünü Youtube'dan izleyebilirsiniz:
www.youtube.com/watch?v=kGMCaTwkKrc

Eski Embriyoların Beyinleri

Nöral tüp oluşumu ve "Kirpi Sonic" hakkında daha fazla bilgi almak için Embriyo Projesi Ansiklopedisi [*The Embryo Project Encyclopaedia*] sitesini ziyaret edin: www.embryo.asu.edu

Farklı hayvanların beyinleri hakkında daha fazla bilgi almak için:
Kent, G. C. & Carr, R. K. (2001). *Comparative anatomy of the vertebrates.* Boston: McGraw Hill.

İnsan Beyninin Haritasını Çıkarmak

Beynin işlevleri, baş ve boyun anatomisi hakkında daha genel bilgiler için:
Lieberman, D. (2011). *The evolution of the human head.* Cambridge, Massachussetts: Belknap Press of Harvard University Press.

Phineas Gage'in olağanüstü öyküsü ve geçirdiği kaza hakkında daha fazlası:
Ratiu, P. *et al.* (2004). The tale of Phineas Gage, digitally remastered. *Journal of Neurotrauma*, 21: 637–643.

İnsan beynindeki bağlantılar hakkında:
Drachman, D. A. (2005). Do we have brain to spare? *Neurology*, 64: 2004–2005.

Beyinkuşağı [*Brainbow*] hakkında daha fazla bilgi için:
Livet, J. *et al.* (2007). Transgenic strategies for combinatorial expression of fluorescent proteins in the nervous system. *Nature*, 450: 56–63.

Beyin görüntüleme hakkında daha fazla bilgi için:
Raichle, M. E. (2008). A brief history of human brain mapping. *Trends in Neurosciences*, 32(2): 118-126.

Ayna Nöronlar

Catmur, C. *et al.* (2008). Through the looking glass: counter-mirror activation following incompatible sensorimotor learning. *European Journal of Neuroscience*, 28: 1208–1215.

Heyes, C. (2010). Where do mirror neurons come from? *Neuroscience and Biobehavioural Reviews*, 34: 575–583.

Ramachandran, V. S. (2000). Mirror neurons and imitation learning as the driving force behind 'the great leap forward' in human evolution. www.edge.org

Ramachandran, V. S. (2011). *The Tell-Tale Brain: Unlocking the Mystery of Human Nature*. London: Windmill Books. Chapter 4: The neurons that shaped civilization.

Kocaman İnsan Beyinleri

EK ve insan evrimi hakkında şahane bir tartışma için:
Lieberman, D. (2011). *The evolution of the human head*. Cambridge, Massachussetts: Belknap Press of Harvard University Press.

Şempanzelerin görsel korteksi hakkında makaleler:
Holloway, R. L., Broadfield, D. C., Yuan, M. S. (2003). Morphology and histology of chimpanzee primary visual striate cortex indicate that brain reorganization predated brain expansion in early hominid evolution. *The Anatomical Record*, 273A: 594–602.

Wood, J. N. & Grafman, J. (2003). Human prefrontal cortex: processing and representational perspectives. *Nature Review Neuroscience*, 4: 139–147.

Şempanzelerde psikoloji araştırmalarının tarihi üzerine:
Call, J. & Tomasello, M. (2008). Does the chimpanzee have a theory of mind? 30 years later. *Trends in Cognitive Science*, 12: 187–192.

İnsan beyninin kafatası biçimine göre genişlemesinin yarattığı etki üzerine:
Lieberman, D. E., Pearson, O. M., Mowbray, K. M. (2003). Basicranial influence on overall cranial shape. *Journal of Human Evolution*, 38: 291–315.

Modern insan kafatasının evrimi hakkında daha fazlası için:
Lieberman, D. E., McBrateney, B. M., Krovitz, G. (2002). The evolution and development of cranial form in *Homo sapiens*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99: 1134–1139.

Kafatasları ve Duyular

Nöral Krest Hücreleri ve Kafatasının Kökeni

Yeni yapıların evrimsel kökenleri araştıran, "Yapılar… dünyanın tozu toprağından aniden ortaya çıkamaz," yorumunun bulunduğu makale:
Braun, C. B. & Northcutt, R. G. (1997). The lateral line system of hagfishes. *Acta Zoologica* (Stockholm), 78: 247–268.

Gen kopyalanması ve evrim sürecinde genlerin edindiği yeni görevler için:
Holland, L. Z., Laudet, V., Schubert, M. (2004). The chordate amphioxus: an emerging model organism for developmental biology. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 61: 2290–2308.

Taşemenlerin "pek de nöral krest hücresi olmayan" hücreleri için:
Shimeld, S. M., Holland, N. D. (2005). Amphioxus molecular biology: insights into vertebrate evolution and developmental mechanisms. *Canadian Journal of Zoology*, 83: 90–100.

Julia Platt ve gelişmekte olan kafatasının oluşumunda rol oynayan nöral krest hücreleri keşfi üzerine makaleler:
Landacre, F. L. (1921). The fate of the neural crest in the head of the urodeles. *The Journal of Comparative Neurology*, 33: 1–43.

Zottoli, S. J. & Seyfarth, E.-A. (1994). Julia B. Platt (1857–1935): Pioneer comparative embryologist and neuroscientist. *Brain, behaviour and evolution*, 43: 92–106.

Bir Kafatası Yapmak

Charles Darwin, "embriyo benzerliği yasası" hakkındaki görüşlerini 1859 yılında yayımladığı *Türlerin Kökeni*'nde belirtmiştir. Kesinlikle okumaya değer bir kitaptır. Ayrıca kitabın muhteşem bir internet kaynağı da bulunuyor: darwin-online.org.uk

Kafatası Biçimleri

Kafatası deformasyonları hakkında makaleler:
Ayer, A. *et al*. (2010). The sociopolitical history and physiological underpinnings of skull deformation. *Neurosurgical Focus*, 29: 1–6.

Tubbs, R. S., Salter, E. G., Oakes, W. J. (2006). Artificial Deformation of the Human Skull. *Clinical Anatomy*, 19: 372–377.

"Yıldız Çocuğunun Kafatası" olarak bilinen deforme olmuş çocuk kafatası:
Novella, S. (2006). The Starchild Project, *The New England Sceptical Society*: www.theness.com/index.php/the-starchild-project

Koklama

Beyin hasarını takiben koklama yetisi kaybına dair farkındalığın yitirilmesi üzerine yapılan araştırma:
Callahan, C. D. & Hinkebein, J. H. (2002). Assessment of anosmia after traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17: 251–256.

Taşemenlerin koku genleri üzerine:
Libants, S. *et al.* (2002). The sea lamprey *Petromyzon marinus* genome reveals the early origin of several chemosensory receptor families in the vertebrate lineage. *BMC Evolutionary Biology*, 9:180.

Primatlardaki koku genlerindeki azalmasıyla renkli görmenin gelişimi arasında bir bağlantı olduğunu ileri süren makaleler:
Gilad, Y. *et al*. (2004). Loss of olfactory receptor genes coincides with the acquisition of full trichromatic vision in primates. *PLoS Biology*, 2: 120–125.

Matsui, A., Go, Y., Niimura, Y. (2010). Degeneration of olfactory receptor gene repertoires in primates: no direct link to full trichromatic vision. *Molecular Biology & Evolution*, 27: 1192–1200.

Görme

Gözün evrimi hakkında daha fazla bilgi için:
Lamb, T. D., Collin, S. P., Pugh, E. N. (2007). Evolution of the vertebrate eye: opsins, photoreceptors, retina and eye cup. *Nature Reviews: Neuroscience*, 8: 960–975.

Gelişmekte olan taşemen gözlerindeki aktif genleri konu alan çalışma:
Vopalensky, P. *et al.* (2012). Molecular analysis of the amphioxus frontal eye unravels the evolutionary origin of the retina and pigment cells of the vertebrate eye. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109: 15383– 15388.

Omurgalılarda renkli görme ve ışık reseptörleri üzerine:
Bowmaker, J. K. (1998). Evolution of colour vision in vertebrates. *Eye*, 12: 541–547.

Primatlardaki renkli görme ve kırmızı popolar üzerine:
Surridge, A. K., Osorio, D., Mundy, N. I. (2003). Evolution and selection of trichromatic vision in primates. *Trends in Ecology and Evolution*, 18: 198–205.

Primatların beslenme biçimleri (ve insan evrimi hakkında taze bir bakış açısı) için:
Cartmill, M. (2012). Primate origins, human origins, and the end of higher taxa. *Evolutionary Anthropology*, 21: 208–220.

Gorillerin bakış yönüne dikkat etmeleri üzerine:
Mayhew, J. A. (2013). Attention cues in apes and their role in social play behaviour of Western Lowland Gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*). PhD thesis, University of St Andrews.

Çocukların bakış yönüne dikkat etmesini ve kandırıldıklarını anlayıp anlamadıklarını test eden plastik bardak deneyini konu alan makale:

Freire, A., Eskritt, M., Lee, K. (2004). Are eyes windows to a deceiver's soul? Children's use of another's eye gaze cues in a deceptive situation. *Developmental Psychology*, 6: 1093–1104.

İnsan yavruları ve öteki primatların bakış yönüne dikkatini karşılaştıran makale:
Tomasello, M. *et al.* (2007). Reliance of head versus eyes in the gaze following of great apes and human infants: the cooperative eye hypothesis. *Journal of Human Evolution*, 52: 314–320.

Konuşma ve Solungaçlar

U Biçiminde Bir Kemik ve Kelebek Biçiminde Bir Kıkırdak

Kebara Neandertal'inin keşfini konu alan makale:
Bar-Yosef, O. *et al.* (1992). The excavations in Kebara Cave, Mt Carmel. *Current Anthropology*, 33: 497–550.

İnsanlardaki dilin öteki kuyruksuz maymunlara kıyasla sahip olduğu sinirler açısından çok daha zengin olduğunu ve hipoglossal kanalın iyi bir ipucu olabileceğini ileri süren makaleler:
DeGusta, D., Gilbert, W. H., Turner, S. P. (1999). Hypoglossal canal size and hominid speech. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96: 1800– 1804.

Kay, R. F., Cartmill, M., Balow, M. (1998). The hypoglossal canal and the origin of human vocal behaviour. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95: 5417–5419.

Sima de los Huesos sit alanında bulunan dil kemikleri üzerine:
Martinez, I. *et al.* (2007). Human hyoid bones from the middle Pleistocene site of the Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution*, 54: 118–124.

Neandertallerin ne derece ses çıkarabildikleri üzerine:
Boe, L.-J. *et al.* (2002). The potential Neanderthal vowel space was as large as that of modern humans. *Journal of Phoentics*, 30: 465–484.

Gırtlak Mitleri

Gırtlağın boyunda daha aşağıda konumlanmasıyla boğulma riskinin azalması üzerine:
Aiello, L. (2002). Fossil and other evidence for the origin of language. *Evolution of Language 4th International Conference*, Harvard University.

Gırtlak konumunun alçalması üzerine makaleler:
Lieberman, D. (2011). The evolution of the human head. Cambridge, Massachusetts: Belknap Press of Harvard University Press.

Lieberman, D. E. *et al.* (2001). Ontogeny of postnatal hyoid and larynx descent in humans. *Archives of Oral Biology*, 46: 117–128.

Erkek ve kadınlarda farklı seslerin üretilmesi üzerine:
de Boer, B. (2010). Investigating the acoustic effect of the descended larynx with articulatory models. *Journal of Phonetics*, 38: 679–686.

Gırtlakları boynun aşağısında bulunan öteki hayvanlar üzerine:
Fitch, W. T. & Reby, D. (2001). The descended larynx is not uniquely human. *Proceedings of the Royal Society of London, B* 268: 1669–1675.

Kalın Sesli Erkekler

Kükreyen kızıl geyikler üzerine:
Clutton-Brock, T. H. & Albon, S. D. (1979). The roaring of red deer and the evolution of honest advertisement. *Behaviour*, 69: 145–170.

Erkeklerdeki kalın sesin kadınlar üzerindeki etkisini konu alan çalışma:
Smith, D. S. *et al.* (2012). A modulatory effect of male voice pitch on long-term memory in women: evidence of adaptation for mate choice? *Memory & Cognition*, 40: 135–144.

Pittsburgh Üniversitesi tarafından yürütülen flört oyunu çalışması: Puts, D. A., Gaulin, S. J. C., Verdolini, K. (2006). Dominance and the evolution of sexual dimorphism in human voice pitch. *Evolution and Human Behavior*, 27: 283–296.

Çene Eklemleri ve Kulak Kemikçikleri

Morganucodon'un ikinci çene eklemi üzerine:
Kermack, K. A., Mussett, F., Rigney, H. W. (1973). The lower jaw of *Morganucodon*. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 53: 87–175.

Yüzdeki ve kulaktaki kasların solungaç kaslarından gelen kökenleri üzerine makaleler:
Diogo, R. (2008). Comparative anatomy, homologies and evolution of the mandibular, hyoid and hypobranchial muscles of bony fish and tetrapods: a new insight. *Animal Biology*, 58: 123–172.

Takechi, M. & Kuratani, S. (2010). History of studies on mammalian middle ear evolution: a comparative morphological and developmental biology perspective. *Journal of Experimental Zoology B*, 314: 1–17.

Von Baer ve Genetik

Faringeal veya brankiyal kemerler hakkındaki alıntı, embriyoloji lisans bölümünde okutulan en bilindik kitaplardan birine aittir:
Sadler, T. W. (2012). *Langman's Medical Embryology*. Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins.

Omurgalar ve Bölümleri

Meyve Sinekleri ve Omurganın Kökeni

Thomas Hunt Morgan ve Nobel Ödülü alan çalışması için aşağıdaki sitede ismini aratabilirsiniz: https://www.nobelprize.org

Hox genlerini konu alan makaleler:
Myers, P. Z. (2008). *Hox* genes in development: the *Hox* code. Scitable, Nature Education.

Pearson, J. C., Lemons, D., McGinnis (2005). Modulating Hox gene functions during animal body patterning. *Nature Review Genetics*, 6: 893–904.

Meyve sinekleriyle insanların eski ortak atası üzerine:
Danchin, E. G., Pontarotti, P. (2004). Statistical evidence for a more than 800- million-year-old evolutionarily conserved genomic region in our genome. *Journal of Molecular Biology and Evolution*, 59: 587–597.

İnsanlardaki *Hox* genleri üzerine:
Holland, P. W. H., Booth, H. A. F., Bruford, E. A. (2007). Classification and nomenclature of all human homeobox genes. *BMC Biology*, 5: 47.

Denis Duboule hakkında daha fazla bilgi almak isterseniz:
Richardson, M. K. (2009). The Hox complex: an interview with Denis Duboule. *International Journal of Developmental Biology*, 53: 717–723.

Embriyo Omurlarının Gelişimi

Spina bifida hakkında daha fazla bilgi almak isterseniz NHS National Genetics and Genomics Education Center internet sayfasından "neural tube defects" bölümünü ziyaret edebilirsiniz: www.geneticseducation.nhs.uk?genetic-conditions-54/688-neural-tube- defects-new

Omurganın gelişiminde *Hox* genlerinin rolü üzerine:
Carapuco, M. *et al.* (2005). *Hox* genes specify vertebral types in the presomitic mesoderm. *Genes and Development*, 19: 2116–2121.

Disk Kaymaları ve Sorunlu Yüzeyler

Omurlar arası disklerde bulunan notokord hücrelerinin azalması üzerine:
Hunter, C. J., Matyas, J. R., Duncan, N. A. (2003). The notochordal cell in the nucleus pulposus: a review in the context of tissue engineering. *Tissue Engineering*, 9: 667–677.

Bel ağrısını konu alan makaleler:
Cohen, S. P. & Raja, S. N. (2007). Pathogenesis, diagnosis, and treatment of lumbar zygapophysial (facet) joint pain. *Anesthesiology*, 106: 591–614.

Manchikanti, L. *et al.* (2004). Prevalence of facet joint pain in chronic spinal pain of cervical, thoracic and lumbar regions. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 5: 15.

Uzun Bel Omurgası

Maymunların ve uzun, esnek omurgaların evrimi üzerine:
Harrison, T. (2013). Catarrhine Origins. In Begun, D. R. (ed.) *A Companion to Paleoanthropology*, pp. 376–396.

Kuyruksuz maymunlarda esrarengiz bir biçimde kaybolan kuyruk üzerine:
Larson, S. G. & Stern, J. T. (2006). Maintenance of above-branch balance during primate arboreal quadrupedalism: coordinated use of forearm rotators and tail motion. *American Journal of Physical Anthropology*, 129: 71–81.

Hominin fosillerinde görülen bel omurları üzerine:
Lovejoy, C. O. (2005). The natural history of human gait and posture, Part 1: spine and pelvis. *Gait and posture*, 21: 95–112.

Kıvrımları Olmayan Kuzenlerimiz

Binlerce yıllık omurgalardaki lordoz derecesini ölçme üzerine:
Been, E., Gomez-Olivencia, A., Kramer, P.A. (2012). Lumbar lordosis of extinct hominins. *American Journal of Physical Anthropology*, 147: 64-67.

Kaburgalar, Akciğerler ve Kalpler

Göğüs Kafesi Biçimleri

Kuyruksuz maymunlarda göğüs kafesi biçimleri üzerine:
Kagaya, M., Ogihara, N., Nakatsukasa, M. (2008).

Morphological study of the anthropoid thoracic cage: scaling of thoracic width and an analysis of rib curvature. *Primates*, 49: 89–99.

Kuyruksuz maymunların anatomisi ve hareketi üzerine:
Larson, S. G. (1998). Parallel evolution in the hominoid trunk and forelimb. *Evolutionary Anthropology*, 6: 87–99.

Kaburga Fosilleri

Hominin göğüs kafesi biçiminin evrim sürecindeki değişimini konu alan makaleler:

Haile-Selassie, Y. *et al.* (2010). An early *Australopithecus afarensis* postcranium from Woranso-Mille, Ethiopia. *Proceedings of the National Academy of Science*, 107: 12121–12126.

Schmid, P. *et al.* (2013). Mosaic morphology in the thorax of *Australopithecus sediba*. *Science*, 340: 1234598.

Wong, K. (2013). Is *Australopithecus sediba* the most important human ancestor discovery ever? *Scientific American*, April 23.

Homininlerin, gibonlarda ya da örümcek maymunlarında görülen dar göğüs kafesine rahip bir ortak atan evrimleşmiş olma olasılığını konu alan makaleler:

Lovejoy, C. O. *et al.* (2009). The pelvis and femur of *Ardipithecus ramidus*: the emergence of upright walking. *Science*, 326: p71e5.

Stern, J. T. *et al.* (1980). An electromyographic study of the pectoralis major in Atelines and Hylobates with special references to the evolution of a pars clavicularis. *American Journal of Physical Anthropology*, 20: 498–507.

Neandertal Göğüs Kafesi

Gomez-Olivencia *et al.* (2009). Kebara 2: new insights regarding the most complete Neanderthal thorax. *Journal of Human Evolution*, 57: 75–90. *Making lungs*

Suzuki *et al.* (2010). The mitochondrial phylogeny of an ancient lineage of ray- finned fishes (Polypteridae) with implications for the

evolution of body elongation, pelvic fin loss and craniofacial morphology in Osteichthyes. *BMC Evolutionary Biology*, 10: 21.

Sindirim Kanalları ve Yumurta Keseleri

Fantastik Bir Yolculuk

Selly Oak Hastanesi'nde hastaların bağırsaklarını görmek için kullanılan hap kameraları hakkında:

Hudson, J. (2002). Hope at end of fantastic voyage. *Birmingham Post*, May 24.

Hiç De Eşsiz Olmayan İnsan Sindirimi

Öteki hayvanlarda beyin ve bağırsak boyutu arasında bir bağ olmaması üzerine:

Hladik, C. M. & Pasquet, P. (2003). Reply to: Kaufman, J. A. (2003). On the expensive tissue hypothesis: independent support from highly encephalised fish. *Current Anthropology*, 44: 705–707.

İnsanlarda ve öteki hayvanlarda beyin boyutuyla yağ arasındaki ilişkiyi ele alan makale:

Navarrete, A., van Schaik, C. P., Isler, K. (2011). Energetics and the evolution of human brain size. *Nature*, 480: 91–93.

Yüksek enerjili beslenmeye geçmenin daha büyük beyinler ve vücutlar geliştirmek için gerekli olması üzerine:

Pontzer, H. (2012). Ecological energetics in early *Homo*. *Current Anthropology*, 53, S6: S346–S358.

Yetişkinlerde laktaz üretimi ve süt sindirimi üzerine:

Ingram, C. J. E. *et al.* (2009). Lactose digestion and the evolutionary genetics of lactase persistence. *Human Genetics*, 124: 579–591.

Eşey Bezleri, Cinsel Organlar ve Hamilelik

Tepeler, Tümsekler ve Tüpler

Dış cinsel organların anatomisi ve işlevi üzerine makaleler:

Berman, J. R. & Bassuk, J. (2002). Physiology and pathophysiology

of female sexual function and dysfunction. *World Journal of Urology*, 20: 111–118.

O'Connell, H. E. (2005). Anatomy of the clitoris. *Journal of Urology*, 174: 1189–1195.

Müller ve Wolff kanalları üzerine:

Brian, B. H. & Bloom, D. A. (2002). Wolff and Muller: fundamental eponyms of embryology, nephrology and urology. *The Journal of Urology*, 168: 425–428.

Toplara Dikkat: Göçebe Testisler (Ve Yumurtalıklar)

Ivell, R. (2007). Lifestyle impact and the biology of the human scrotum. *Reproductive Biology & Endocrinology*, 5: 15.

İnsan, şempanze ve goril testislerinin ağırlıkları üzerine:

Dixson, A. F. & Anderson, M. J. (2004). Sexual behaviour, reproductive physiology and sperm competition in male mammals. *Physiology & Behaviour*, 83: 361–371.

Penisler, Klitorisler ve Orgazm

Penise benzeyen klitorisler üzerine:

Place, N. J. & Glickman, S. E. (2004). Masculinization of female mammals: lessons from nature. *Advances in Experimental Medical Biology*, 545: 243– 253.

Penis ve klitoris sertleşmesi hakkında daha fazla bilgi için:

Dean, R. C. & Lue, T. F. (2005). Physiology of penile erection and pathophysiology of erectile dysfunction. *Urologic Clinics of North America*, 32: 379–395.

Gragasin, F. S. *et al.* (2004). The neurovascular mechanism of clitoral erection: nitric oxide and cGMP-stimulated activation of BKCa channels. *Federation of American Societies for Experimental Biology*, 18: 1382–1391.

Oksitosin üzerine:

Borrow, A. P. & Cameron, N. M. (2012). The role of oxytocin in mating and pregnancy. *Hormones and Behavior*, 61: 266–276.

Kadın orgazmının gizemleri üzerine:
Colson, M.-H. (2010). Female orgasm: myths, facts and controversies. *Sexologies*, 19: 8–14.

İşi Pişirmek

Kucak dansçılarının yumurtlama döneminde daha fazla para kazanması üzerine:
Miller, G., Tybur, J. M., Jordan, B. D. (2007). Ovulatory cycle effects on tip earnings by lap dancers: economic evidence for human estrus? *Evolution and Human Behavior*, 28: 375–381.

Cüce şempanzeler ya da bonobolarda seks üzerine:
de Waal, F. B. M. (1995). Bonobo sex and society. *Scientific American*, March.

Dapdar Bir Geçit

İnsanlarda sosyal öğrenmenin önemi:
Sterelny, K. (2011). From hominins to humans: how *sapiens* became behaviourally modern. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 366: 809–822.

Doğum çelişkisi (DÇ) kuramına giriş için:
Rosenberg, K. R. (1992). The evolution of modern human childbirth. *Yearbook of Physical Anthropology*, 35, 89–124.

Rosenberg, K. R. & Trevathan, W. (2002). Birth, obstetrics and human evolution. *British Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 109: 1199–1206.

Doğum çelişkisi kuramına yöneltilen güncel sorular:
Dunsworth, H. M. *et al.* (2012). Metabolic hypothesis for human altriciality. *Proceedings of the National Academy of Science*, 109: 15212–15216.

BBC2 Horizon: İnsanın Kökeni [*Horizon: What makes us human?*] serisinde Holly Dunsworth ile doğum çelişkisi kuramı üzerine konuşmamız (28. dakikadan itibaren): www.youtube.com/watch?v=AqK6eE51Ctk

Wells, J. C. K., DeSilva, J. M., Stock, J. T. (2012). The obstetric dilemma: an ancient game of Russian roulette, or a variable dilemma sensitive to ecology? *Yearbook of Physical Anthropology*, 55: 40–71.

İnsanlarda doğumu neyin tetiklediğini anlamanın zorluğu üzerine:
Plunkett, J. *et al*. (2011). An evolutionary genomic approach to identify genes involved in human birth timing. *PLoS Genetics*, 7: e1001365.

İnsan üremesine doğum bağlamında genel bir giriş:
Ellison, P.T. (2001). *On fertile ground*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Maymunlarda ve kuyruksuz maymunlarda fetüslerin kafatası boyutları üzerine:
Schultz, A. (1949). Sex differences in the pelves of primates. *American Journal of Physical Anthropology*, 7: 401–423.

Dünyanın çeşitli yerlerinde, tarih boyunca doğumun zorluğu üzerine makaleler:
Dolea, C. & AbouZahr, C. (2003). *Global burden of obstructed labour in the year 2000. Evidence and Information for Policy*. Geneva: World Health Organization.

Maharaj, D. (2010). Assessing cephalopelvic disproportion: back to the basics. *Obstetrical & Gynecological Survey*, 65: 387–395.

Ould El Joud, D., Bouvier-Colle, M.-H., MOMA Group (2001). Dystocia: a study of its frequency and risk factors in seven cities of west Africa. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 74: 171–178.

Roy, R. P. (2003). A Darwinian view of obstructed labor. *Obstetrics & Gynecology*, 101: 397–401.

Wittman, A. B. & Wall, L. L. (2007). The evolutionary origins of obstructed labor: bipedalism, encephalisation, and the human obstetric dilemma. *Obstetrical & Gynecological Survey*, 62: 739–748.

Kollar ve Bacaklar

Uzuv Tomurcukları ve Büyüme Plakları

Embriyolojide hücre ölümü üzerine:
Penazola, C. *et al.* (2006). Cell death in development: shaping the embryo. *Histochemistry and Cell Biology*, 126: 149–158.

Gelişmekte olan beyinde hücre ölümü üzerine makaleler:
Azevedo, F. A. C. *et al.* (2009). Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain. *The Journal of Comparative Neurology*, 513: 532–541.

Low, L. K. & Cheng, H.-W. (2006). Axon pruning: an essential step underlying the developmental plasticity of neuronal connections. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 361: 1531–1544.

Miyotom Dansı

Hox genleri ve uzuvların gelişimi üzerine makaleler:
Burke, A. C. & Nowicki, J. L. (2001). *Hox* genes and axial specification in vertebrates. *American Zoologist*, 41: 687–697.

Richardson, M. K. *et al.* (2009). Heterochrony in limb evolution: developmental mechanisms and natural selection. *Journal of Experimental Zoology*, 312B: 639–664.

Yüzgeçler, Kollar ve Bacaklar

Owen, R. (1849). On the Nature of Limbs. A discourse delivered on Friday, February 9, at an evening meeting of the Royal Institution of Great Britain. London: John van Voorst.

El ve ayak parmakları oluşumu için gereken genetik farklılık üzerine:
Gilbert, S. F. (2000). Generating the proximal-distal axis of the limb. In: *Developmental Biology* Sinderland, MA: Sinauer Associates.

Grönland Destanı

Acanthostega üzerine:

Clack, J. A. (2006). The emergence of early tetrapods. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 232: 167–189.

Tiktaalik'in kalça kemiği:
Shubin, N. H., Daeschler, E. B., Jenkins, F. A. (2014). Pelvic girdle and fin of *Tiktaalik roseae. Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111: 893– 899.

Kalçalardan Ayak Parmaklarına

Güzelim Bacaklar

Foramen magnum konumuyla iki ayak üstünde yürümenin bağlantısı üzerine:
Russo, G. A. & Kirk, E. C. (2013). Foramen magnum position in bipedal mammals. *Journal of Human Evolution*, 65: 656–670.

Lucy'nin Kalçaları ve Johanson'ın Dizi

Hominin kalçaları üzerine:
Lovejoy, C. O. (2005). The natural history of human gait and posture Part 1: spine and pelvis. *Gait and posture*, 21: 95–112.

Australopithecus'lardaki bikondiler açı üzerine:
Lovejoy, C. O. (2007). The natural history of human gait and posture Part 3: the knee. *Gait and posture*, 25: 325–341.

İnsan Ayağının Sınırları

Ağaca tırmanan insanların inanılmaz ayak bilekleri üzerine:
Venkataraman, V. V., Kraft, T. S., Dominy, N. J. (2013). Tree climbing and human evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110: 1237–1242.

Kuyruksuz maymunların esnek yapıdaki ayakları üzerine:
Lovejoy, C. O. *et al*. (2009). Combining prehension and propulsion: the foot of *Ardipithecus ramidus*. *Science*, 326: 72, 72e1–72e8.

İnsan ayağını test eden araştırmalar:
Bates, K. T. *et al*. (2013). The evolution of compliance in the human lateral mid-foot. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 280: 20131818.

DeSilva, J. M. & Gill, S. V. (2013). Brief communication: A midtarsal (midfoot) break in the human foot. *American Journal of Physical Anthropology*, 151: 495–499.

İki Ayak Üstüne Yürümenin Kökenleri

Stephen Jay Gould'un "march of progress" hakkındaki görüşleri:
Gould, S. J. (1989). *Wonderful Life*. New York: WW Norton & Co. pp. 30–36.

İki ayak üstünde yürümenin kökenlerini destekleyen araştırmalar:
Corruccini, R. S. & McHenry, H. M. (2001). Knuckle-walking hominid ancestors. *Journal of Human Evolution*, 40: 507–511.

Dainton, M. (2001). Did our ancestors knuckle-walk? *Nature*, 410: 324–325.

Kivell, T. L. & Schmidt, D. (2009). Independent evolution of knuckle-walking in African apes shows that humans did not evolve from a knuckle-walking ancestor. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 14241– 14246.

Richmond, B. G., Begun, D. R., Strait, D. S. (2001). Origin of human bipedalism: the knuckle-walking hypothesis revisited. *Yearbook of Physical Anthropology*, 44: 70–105.

Yirminci yüzyılın baskın görüşü "dik duran atalarımız" üzerine makaleler:
Avis, V. (1962). Brachiation: the crucial issue for Man's ancestry. *Southwestern Journal of Anthropology*, 18, 119–148.

Keith, A. (1923). Man's posture: its evolution and disorders. *British Medical Journal*, 1: 451–454.

Ardi'nin ağaçlarda nasıl gezinmiş olabileceğini ele alan makaleler:
Crompton, R. W., Sellers, W. I., Thorpe, S. K. S. (2010). Arboreality, terrestriality and bipedalism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 365: 3301–3314.

Lovejoy, C. O., McCollum, M. A. (2010). Spinopelvic pathways to bipedality: why no hominids ever relied on a bent-hip-bent-knee gait. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 365: 3289–3299.

Kuyruksuz maymunların ağaçların üzerinde nasıl hareket ettikleri ele alan makaleler:
Hunt, K. D. (1991). Positional behaviour in the Hominoidea. *International Journal of Primatology*, 12: 95–118.

Thorpe, S. K. S. & Crompton, R. H. (2006). Orangutan positional behaviour and the nature of arboreal locomotion in Hominoidea. *American Journal of Physical Anthropology*, 131: 384–401.

Afrika'daki savana yerleşiminin geciken gelişimi üzerine:
deMenocal, P. B. (2004). African climate change and faunal evolution during the Pliocene-Pleistocene. *Earth and Planetary Science Letters*, 220: 3–24.

Oreopithecus'un anatomisi ve davranışları:
Crompton, R. H., Vereecke, E. E., Thorpe, S. K. S. (2008). Locomotion and posture from the common hominoid ancestor to

fully modern hominins with special reference to the common panin/hominin ancestor. *Journal of Anatomy*, 212: 501–543.

Geniş vücutlu kuyruksuz maymunların tırmanmasının ve ağaç dallarından asılmasının olasılığı üzerine:
Larson, S. G. (1998). Parallel evolution in the hominoid trunk and forelimb. *Evolutionary Anthropology*, 6: 87–99.

Koşmak İçin Yaratılmışız

Gürcistan'daki Dmanisi kazı alanında bulunan çeşitli fosilleri ele alan makale:
Lordkipanidze, D. *et al.* (2013). A complete skull from Dmanisi, Georgia, and the evolutionary biology of early *Homo*. *Science*, 342: 326–331.

Uzun bacakların vücut boyutundaki genel artışın basit bir sonucu olabileceğini tartışan makale:
Pontzer, H. (2012). Ecological energetics in early *Homo*. *Current Anthropology*, 53, S6: S346–S358.

Nariokotome Çocuğu'nun yaşadığı çevreyi ve Afrika'da çayırların genişlemesini konu alan makale:
deMenocal, P. B. (2004). African climate change and faunal evolution during the Pliocene-Pleistocene. *Earth and Planetary Science Letters*, 220: 3–24.

Tarihöncesi atalarımızın avlandıklarına ilişkin kanıtları inceleyen makale:
Ferraro, J. V. *et al.* (2013). Earliest archaeological evidence of persistent hominin carnivory. *PLOS One* 8: e62174.

Yepyeni Bir Yenilik

Anatominin sağladığı uyum ve hayvanların herhangi bir genetik değişim olmadan önce çevreye nasıl ayak uydurduğunu konu alan makale:
West-Eberhard, M. J. (2005). Phoenotypic accommodation: adaptive innovation due to developmental plasticity. *Journal of*

Experimental Zoology, 304B: 610– 618.

Bir hayvanın hayatı boyunca gerçekleşen ve sonraki nesle aktarılan olası uyarlanımlar ve epigenetik üzerine:
Bateson, P. (2012). The impact of the organism on its descendants. *Genetics Research International*: 640612.

Omuzlar ve Başparmaklar

Hominin omuzları

İnsanlardakine benzer omuzların evrim sürecinde oldukça geç ortaya çıkması üzerine:
Larson, S. G. *et al.* (2007). *Homo floresiensis* and the evolution of the hominin shoulder. *Journal of Human Evolution*, 53: 718–731.

Fırlatma hareketiyle birlikte var olan esneme enerjisinin açığa çıkması üzerine:
Roach, N. T. *et al.* (2013). Elastic energy storage in the shoulder and the evolution of high-speed throwing in *Homo*. *Nature*, 498: 483–486.

Gademotta sit alanında bulunan obsidiyen taş uçları üzerine:
Sahle, Y. *et al.* (2013). Earliest stone-tipped projectiles from the Ethiopian Rift date to >279,000 years ago. *PLOS One* 8: e78092.

Dirsekler, Eller ve Bilekler

Şempanze dirseklerinin biçimi hakkında:
Larson, S. G. (1998). Parallel evolution in the hominoid trunk and forelimb. *Evolutionary Anthropology*, 6: 87–99.

İnsan ve şempanze elleri arasındaki farkları konu alan makaleler:
Marzke, M. W. (1997). Precision grips, hand morphology, and tools. *American Journal of Physical Anthropology*, 102: 91–110.

Marzke, M. W. & Marzke, R. F. (2000). Evolution of the human hand: approaches to acquiring, analysing and interpreting the anatomical evidence. *Journal of Anatomy*, 197: 121–140.

Atalarımızın Elleri

Ağaçlardan asılmak için el parmağı kemiklerinin kıvrımlı olması üzerine:
Richmond, B. G. (2007). Biomechanics of phalangeal curvature. *Journal of Human Evolution*, 53: 678–690.

Ardi'nin elleri ve şempanze ve gorillerindeki uzun metakarpal kemiklerin bağımsız evrim süreci hakkında:
Lovejoy, C. O. *et al.* (2009). Careful climbing in the Miocene: the forelimbs of *Ardipithecus ramidus* and humans are primitive. *Science*, 326: 70.

Lucy'nin kolları ve kıvrımlı parmakları hakkında Don Johanson'ın yorumları için:
Wong, K. (2012). Lucy's Baby. *Scientific American*, 22: 4–11.
bigthink.com/videos/what-lucy-looked-like

Esnek bir omurgaya sahip olmak ve ağaçlarda yaşamayı terk etmek üzerine:
Lovejoy, C. O. (2005). The natural history of human gait and posture Part 1: spine and pelvis. *Gait and posture*, 21: 95–112.

Australopithecus sediba'nın elleri hakkında daha fazla bilgi almak için:
Kivell, T. L. *et al.* (2011). *Australopithecus sediba* hand demonstrates mosaic evolution of locomotor and manipulative abilities. *Science*, 333: 1411.

Eşsiz Başparmaklar

Diogo, R., Richmond, B. G., Wood, B. (2012) Evolution and homologies of primate and modern human hand and forearm muscles, with notes on thumb movements and tool use. *Journal of Human Evolution*, 63: 64–78.

Williams, E. M., Gordon, A. D., Richmond, B. G. (2012). Hand pressure distribution during Oldowan stone tool production. *Journal of Human Evolution*, 62: 520–532.

İnsanın Öyküsü

Şans Eseri Var Oluş

Embriyoloji ve erken düşük yapma oranları hakkında daha genel bilgiler edinmek için:
Sadler, T. W. (2012). *Langman's Medical Embryology.* Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins.
Evrimin takip edebileceği olası yolların önündeki engelleri konu alan makale:
Muller, G. B. & Newman, S. A. (2005). The innovation triad: an EvoDevo agenda. *Journal of Experimental Zoology B*, 304B: 487–503.

Kendi Kaderinin Efendisi

Öteki hayvanların çevrelerini nasıl değiştirdiklerini konu alan muhteşem bir anlatım için:
Dawkins, R. (1982). *The Extended Phenotype.* Oxford University Press.

İnsanın Eşsizliği

İnsanın eşsizliğini anlamak için doğru soruları soran makaleler:
Cartmill, M. (1990) Human uniqueness and theoretical content in paleoanthropology. *International Journal of Primatology*, 11: 173–192.

Roberts, A. M. & Thorpe, S. K. S. (2014). Challenges to human uniqueness: bipedalism, birth and brains. *Journal of Zoology* (in press).

İnsan evrimindeki tüm değişimleri tek bir "uyarlanım değişimine" indirgememenin nedeni için:
Cartmill, M. (2012). Primate origins, human origins, and the end of higher taxa. *Evolutionary Anthropology*, 21: 208–220.

DİZİN

A

Acanthostega 34, 279, 281, 338, 378
Aiello, Leslie 138, 225, 227, 368
Akhenaten 96
Allen, Grant 116
Ardipithecus ramidus 298, 304, 372, 379, 383
Aristoteles 16, 17, 30
Ateles 195
Australopithecus afarensis 78, 199, 200, 289, 291, 293, 295, 309, 333, 372
Australopithecus sediba 198, 199, 201, 334, 372, 383

B

Barney, Anna 136
Bateson, William 48, 50, 164, 382
Berger, Matthew 198
Bird, Dr Geoff 72
Broca, Paul 67, 71

C

Caenorhabditis elegans 68
Cartmill, Matt 354, 366, 367, 384
Çiçero 84, 119
Clack, Jenny 279, 378
Cockel, Dr Roy 221
Crompton, Robin 296, 305, 380

D

Darwin, Charles 32, 34, 49, 110, 275, 276, 306, 315, 317, 364
Dawkins, Richard 46, 216, 350, 361, 384
De Graaf, Regnier 18
Dean, Christopher 225, 226, 374
DNA dizileme 34, 164
Dryopithecus 302
Duboule, Denis 370
Dunsworth, Holly 375, 376

E

evrimsel süreç 285

F

fosil kayıtlar 308, 334

G

Gage, Phineas 64, 65, 70, 362
Galileo 17

genetik mutasyon 315
Geotria australis 115
Glamorgan, Wales 153
Gould, Stephen Jay 149, 346, 359, 360, 379

H

Haeckel, Ernst 30, 32, 33, 43, 344
Haikouella 44, 57, 85, 86, 170
Harlow, John 64, 66
Hartsoeker, Nicholas 19
Harvey, William 12, 17
Hipokrat 17
Hispanopithecus 307
homeobox 164, 370
Homo antecessor 325, 326, 334
Homo erectus 186, 198, 309, 311, 313
Homo habilis 198, 334
Homo heidelbergensis 79, 82, 133, 326
Homo rudolfensis 198
Homo sapiens 82, 127, 301, 328, 351, 353, 363
Howell, F. Clark 301
Hox genleri 58, 89, 159, 164, 169, 370, 377
Huxley, Thomas Henry 302, 354

İ

iki ayak üstünde yürüme 285, 305, 352
insanın evrimi 78

J

Johanson, Don 289, 291, 334
Johnson, Virginia 252, 292

K

Kadanuumuu 199, 309
Kambriyen patlaması 43
Keith, Sör Arthur 303, 380
Kowalevsky, Alexander 41

L

Lamarck, Jean, Baptiste 315, 317
Leakey, Mary 296
Lichtman, Prof. Jeff 68
Lieberman, Dan 140, 311, 312, 347
Lieberman, Philip 135
Lucy 81, 199, 289, 291, 297, 324, 333

M

Malebranche, Nicolas 20, 21
Martelli, Sandra 136
Marzke, Mary 331, 382
Masters, William 252
Meckel, Johann Friedrich 31, 146, 152
Morgan, Thomas Hunt 163, 169, 369
Morganucodon 154, 369
Morotopithecus 307
Müller, Johannes Peter 238, 242, 244, 374

N

Naturphilosophie 31
Neandertaller 79, 82, 133, 134, 186, 187, 203, 325, 326, 334

O

Oreopithecus bambolii 307
Owen, Richard 275, 278, 378

P

Phocoenoides dalli 175
Pierolapithecus 307
Platt, Julia 91, 364
Pliopithecus 182, 302
Pontzer, Herman 259, 373, 381
primat 29, 76, 109, 116, 118,

132, 133, 155, 182, 226, 227, 256, 325, 329, 352
Proconsul 182, 302, 304

R

Ramachandran, Vilayanur S. 38, 74, 362, 363
Richmond, Brian 337, 379, 383

S

Sahelanthropus tchadensis 81, 287
Sanes, Prof. Joshua 68
Slijper, E.J. 314

T

tetrapod 168, 274, 275
Tiktaalik 34, 281, 378
Tomasello, Michael 81, 363, 367
Toumai 81, 287
Tutankhamun 96
Türlerin Kökeni 32, 276

U

uyarlanım 75, 137, 139, 143, 195, 197, 201, 202, 204, 254, 281, 303, 313, 314, 316, 317, 347, 349, 351, 353, 384

V

van Leeuwenhoek, Antonie 18
von Baer, Karl Ernst 19, 31, 33, 34, 158, 344, 369

W

Wernicke, Carl 67
West, Eberhard, Mary Jane 314, 381
Wilberforce, Samuel 354
Williams, Erin 359, 369, 383, 384
Wolff, Caspar Friedrich 238, 239, 241, 242, 342, 374

Y

Yaratılış Atlası 167

Z

Zallinger, Rudolph 301

Bizler yaşam zincirindeki parçalarız. Tıpkı annemizin bizi doğurduğu gibi annemizi de annesi doğurdu ve bu zincir zaman içinde uzayıp gitmekte. Döllenmiş bir yumurtanın, tek bir hücrenin, bütün bir insana dönüşmesi inanması güç bir olaydır. Hatta bir çeşit biyolojik mucize gibi gözükür ama bu mucize herhangi bir doğaüstü ya da ilahi müdahaleye inanmanızı gerektirmez. Bu doğal bir mucizedir ve geçtiğimiz birkaç yüzyıl boyunca bilim insanları bu inanılmaz dönüşümün çoğu sırrını çözmüştür. Bu kitap işte bu mucizenin, ilk hücreden başlayarak günümüzde bizleri oluşturan hücreler birliğine kadar olan milyarlarca yıllık öyküsünü anlatmakta. Çeşitli kaynaklardan gelen kanıtların bir araya gelmesiyle ortaya çıkan bu bilimsel öykü, hayal edebileceğimiz her yaratılış mitinden daha olağanüstü, daha tuhaf ve daha güzeldir.

"Alice Roberts'ın ilgi çekici kişisel stili, sizi atalarınıza, tek bir hücre olarak kendi kişisel başlangıçlarınıza götürüyor… Beyninizden parmak uçlarınıza kadar, kitabından eğlenerek ve kendinizi daha derinden anlayarak çıkıyorsunuz."

–Richard Dawkins

"Biyolojideki en büyük boşluk, DNA [...] ve canlı yaratıklar arasındaki boşluktur [...] Alice Roberts bunu bulmak için yola çıkıyor ve harika bir şekilde başarıyor."

–Steve Jones

"İnsan vücudundaki rehberli turu bizi büyüleyici bir kendini keşfetme yolculuğuna çıkarıyor."

–Desmond Morris

GİNKO

ISBN-978-625-83620-9-1

