İÇİMİZDEKİ
BALIK

İÇİMİZDEKİ BALIK

İnsan vücudunun 3,5 milyar yıllık tarihine seyahat

Neil Shubin

İNGİLİZCEDEN ÇEVİREN
Aysun Yavuz

NTV

YOUR INNER FISH
A Journey into the 3.5-Billion-Year History of the Human Body
Neil Shubin

© Neil Shubin, 2008. Tüm hakları saklıdır.

1. Baskı: Eylül 2010

YAYINA HAZIRLAYAN
Onur Kaya

ÇEVİREN
Aysun Yavuz

DANIŞMAN
Prof. Dr. Ali Demirsoy

DÜZELTİ
Dr. Zeynep Tozar

GRAFİK
Mahir Duman

KATKIDA BULUNANLAR
Turan Sönmez - Pınar İlkiz - Eftalin Tekeli

BASKI
Mas Matbaacılık A.Ş.
Hamidiye Mah. Soğuksu Cad. No: 3 Kağıthane 34408 İstanbul
Tel: (212) 294 10 00

ISBN: 978-605-5813-75-8

NTV yayınları
Doğuş Grubu İletişim Yayıncılık ve Ticaret A.Ş.
Maslak Mah. G45 Ahi Evran Polaris Cad. Doğuş Power Center No: 4 Maslak 34398 İstanbul
Tel: (212) 335 00 00 - Faks: (212) 335 03 48
info@ntvyayinlari.com

www.ntvyayinlari.com

Sertifika No: 12444

MICHELE'e

İÇİNDEKİLER

Önsöz 9

Birinci Bölüm
İÇİMİZDEKİ BALIĞI BULMAK **11**

İkinci Bölüm
KAVRAMAYA BAŞLAMAK **39**

Üçüncü Bölüm
HÜNERLİ GENLER **57**

Dördüncü Bölüm
DİŞLER HER YERDE **75**

Beşinci Bölüm
BAŞA GEÇMEK **99**

Altıncı Bölüm
KUSURSUZ VÜCUT PLANLARI **116**

Yedinci Bölüm
VÜCUT GELİŞTİRME SERÜVENİ **137**

Sekizinci Bölüm
KOKU ALMA **162**

Dokuzuncu Bölüm
GÖRME **172**

Onuncu Bölüm
KULAKLAR **182**

On Birinci Bölüm
BÜTÜN BUNLARIN ANLAMI **199**

Sonsöz 229

Notlar, Referanslar ve Ek Okumalar 232

Teşekkür 248

Dizin 252

ÖNSÖZ

Bu kitap, hayatımdaki beklenmedik bir değişiklikten doğdu. Fakültedeki profesör açığı yüzünden, Chicago Üniversitesi Tıp Fakültesi'nde anatomi dersi vermeye başlamıştım. Anatomi, heyecanlı ve gergin durumdaki birinci sınıf öğrencilerinin, vücuttaki organları, boşlukları, sinirleri, damarları adları ve yerleriyle öğrenmek için kadavraları kesip incelediği bir derstir. Tıp dünyasına görkemli bir giriş, ayrıca hekim olma yolunda edindikleri geliştirici bir deneyimdir bu. İlk bakışta, geleceğin hekimlerine ders verecek, benden daha kötü bir aday hayal edemezdiniz: Ben, sonuçta meslek hayatını balıkları incelemekle geçirmiş bir paleontoloğum.

Ama sonradan anlaşıldı ki paleontolog olmak, insan anatomisi öğretmede büyük bir avantajmış. Neden mi? Çünkü insan vücudunu açıklayan en iyi yol haritaları, başka hayvanların vücutlarında saklıdır. Öğrencilere, insan kafasındaki sinirleri öğretmenin en kolay yolu, onlara köpekbalıklarında ne olup bittiğini göstermektir. Kol ve bacakları anlatmanın en kestirme yolu da balıklardan geçer. Sürüngenler ise, beynin yapısını çözmeye çalışırken imdada yetişir. Çünkü *bu canlıların vücutları, bizim vücudumuzun daha basit birer versiyonudur.*

Anatomi dersi vermeye başladıktan iki yıl sonra, meslektaşlarımla yazın Kuzey Kutbu bölgesinde çalışırken keşfettiğimiz balık fosilleri, bize balıkların 375 milyon yıl önce karaya çıkışı hakkında yepyeni ve güçlü bir anlayış kazandırdı. Hem keşfettiğimiz bu fosiller, hem de anatomi hocalığına atılmam, beni çok derin bir bağlantıyı araştırmaya sevk etti. Bu araştırma, sonunda bu kitaba dönüştü.

BİRİNCİ BÖLÜM

İÇİMİZDEKİ BALIĞI BULMAK

Yetişkinliğe geçtiğimden bu yana, yazlarımı hep Kuzey Kutbu dairesinin kuzeyinde, kar ve sulusepken yağışı altında, sarp kayalıklardaki taşları eşeleyerek geçiririm. Çoğu zaman soğuktan donarım, her yanım su toplar, oramda buramda nasırlar çıkar ve elim boş dönerim. Ama eğer şansım yaver giderse, tarihöncesinden kalmış balık kemikleri bulurum. Çoğu kişiye öyle gelmese de, bu kemikler benim için altından kat kat değerli hazinelerdir.

Tarihöncesi balık kemiklerinin izini sürerek kim olduğumuzu ve nasıl böyle olduğumuzu anlayabiliriz. Vücudumuz hakkındaki bilgileri, dünyanın dört bir yanındaki kayalardan çıkarılan solucan ve balık fosillerinden, bugün yeryüzünde yaşayan hemen her canlının DNA'sına kadar, tuhaf görünebilecek pek çok yoldan ediniyoruz. İnsan vücudunun temel yapısıyla ilgili ipuçlarına ulaşmada geçmişten kalan bu iskelet (ve daha önemlisi balık) kalıntılarını neden bu kadar önemsediğimi anlatmaya bu da yetmez.

Bundan milyonlarca, hatta çoğu kez milyarlarca yıl öncesinde olan bitenleri gözümüzde nasıl canlandırabiliriz? Ne yazık ki, hiç görgü tanığı yok; hiçbirimiz oralarda değildik. Aslında milyarlarca yıl önce, ortalıkta ne konuşan, ne ağzı, ne de kafası olan bir şey vardı. Daha da kötüsü, o zamanlar var olan hayvanlar çoktan ölüp gitmiş ve o kadar uzun süre gömülü kalmıştır ki, iskeletleri de ancak nadiren korunabilmiştir. Gelmiş geçmiş tüm canlı türlerinin yüzde 99'dan fazlasının bugün soyunun

tükendiği, bunların ancak çok az bir kısmının fosilleşip kaldığı ve bunların da bugüne kadar henüz çok azının bulunabildiği dikkate alınacak olursa, geçmişimizi anlamaya yönelik tüm girişimler, daha başından yenilgiye mahkûm görünüyor.

FOSİLLER ÇIKIYOR, KENDİMİZİ GÖRÜYORUZ

İçimizdeki balıkla ilk kez karlı bir temmuz günü öğleden sonra, yaklaşık 80 derece kuzey enlemindeki Ellesmere Adası'nda, 375 milyon yıllık kayaları incelerken karşılaştım. Dünyanın bu ıssız bölgesine, balıktan karada yaşayan hayvana geçişteki en önemli aşamalardan birini keşfetmek uğruna meslektaşlarımla birlikte yolculuk etmiştik. Taşların arasından bir balığın burnunun ucu görünüyordu. Üstelik bu herhangi bir balık da değil, yassı kafalı bir balıktı. Yassı kafasını gördüğümüz an önemli bir şey bulduğumuzu anlamıştık. Kayalığın içinde iskeletin geri kalan kısmı da varsa, bu bizim kafatasımızın, boynumuzun, hatta kol ve bacaklarımızın geçmişindeki ilk evrelere ışık tutabilirdi.

Yassı kafa, denizden karaya geçişle ilgili olarak benim için ne anlama geliyordu? Neden Hawaii'de değildim de, kendi güvenliğimi, rahatımı bırakıp Kuzey Kutbu'na gelmiştim? Bu soruların yanıtları, fosilleri buluşumuzun ve kendi geçmişimizi aydınlatmak için bunlardan nasıl yararlandığımızın öyküsünde saklı.

Fosiller, kendimizi öğrenmek için başvurduğumuz en önemli kanıtlardandır (diğerleri ise, ileride ele alacağım genler ve embriyolardır). Pek çok kişi, fosil bulmanın, genellikle hayrete düşürücü bir kesinlik ve tahmin gücüyle gerçekleştirdiğimiz bir şey olduğunu bilmez. Sahadaki başarı şansımızı en yüksek düzeye çıkarabilmek için evde ödevimizi iyi çalışırız. Sonra da işi şansa bırakırız.

Planlama ve şansa bırakma arasındaki bu paradoksal ilişkiyi en güzel anlatan, Dwight D. Eisenhower'ın savaş hakkındaki ünlü sözleridir: "Anladım ki, bir çarpışmaya hazırlanırken plan-

lama yapmak şarttır, ama planlar hiçbir zaman işe yaramaz." Bu söz, saha paleontolojisini de gayet güzel özetliyor. Bizi, fosil bulabileceğimiz alanlara götürecek her türlü planı yaparız; sahaya varınca da, saha planını olduğu gibi çöpe de atabiliriz. Sahada karşılaştığımız durumlar, en iyi hazırlanan planları bile değiştirebilir.

Yine de bu durum, bazı bilimsel soruları yanıtlayabilecek keşif seferleri planlamamıza engel değildir. Aşağıda anlatacağım birkaç basit fikirden yararlanarak önemli fosillerin nerelerde bulunabileceğini tahmin edebiliriz. Kuşkusuz her zaman yüzde 100 isabetli olmayabiliriz, ama şansımız, genelde işleri ilginç kılabilecek sıklıkta yaver gider. Ben de, kariyerimi tümüyle bunun üzerine kurmuş durumdayım: memelilerin kökenlerine ilişkin soruları yanıtlayabilecek ilk memelileri, kurbağaların kökenlerine ilişkin soruları yanıtlayabilecek ilk kurbağaları ve karada yaşayan hayvanların kökenlerinin anlaşılabilmesine yarayacak üyeli ilk hayvanlardan bazılarını bulup çıkarmaya.

Saha paleontologları, yeni kazı yerleri bulmamn, artık pek çok bakımdan eskisinden çok daha kolay olduğu bir çağda yaşıyor. Belediyelerin, petrol ve gaz şirketlerinin yaptığı jeolojik keşifler sayesinde yörelerin jeolojik yapısı hakkında bugün çok daha fazla şey biliyoruz. İnternet sayesinde haritalara, saha etüt bilgilerine ve havadan çekilen fotoğraflara hemen erişebiliyoruz. Hatta dizüstü bilgisayarımla, evinizin arka bahçesinin olası fosil alanlarından biri olup olmadığına bile bakabilirim. Üstelik görüntüleme ve radyografi cihazlarıyla bazı kaya türlerinin içini görebiliyor ve barındırdıkları kemikleri görüntüleyebiliyoruz.

Tüm bu ilerlemelere rağmen, önemli fosilleri ararken hala neredeyse yüz yıl öncekiyle aynı yollara başvuruyoruz. Paleontologlar, bugün de, kayaları aynı şekilde incelemek (aslında kayaların üzerinde sürünmek) ve kaya içlerindeki fosilleri, çoğu zaman elleriyle kazıp çıkarmak zorundalar. Kemik fosilleri arar-

ken ve çıkarırken o kadar çok karar alınması gerekir ki, devreye giren süreçleri bilgisayarda işlenecek bir dile dökmek, çoğu zaman mümkün olmaz. Üstelik fosil bulmak için bir monitöre bakmak, asla kazarak çıkarmanın keyfiyle boy ölçüşemez.

Bu işi zorlaştıran, fosil alanlarının ender oluşudur. Başarı ihtimalimizi en yüksek düzeye çıkarmak için üç durumun birbirine yakınlaştığı yerleri bulmaya çalışırız. Arama yaptığımız yerler doğru yaşta, fosilleri koruyacak türde ve yüzeye çıkan kayaların bulunduğu bölgelerdir. Bir diğer etken daha var; o da tesadüf. Örnek olarak anlatacağım öykü de bununla ilgili.

Örneğimiz bize, canlılık tarihindeki büyük geçişlerden birini, yani karanın balıklarca istila edilişini gösterecek. Milyarlarca yıl boyunca canlıların hepsi sadece suda yaşarken, günümüzden 365 milyon yıl kadar önce, karada da yaşar hale geldiler. Bu iki ortamdaki hayat birbirinden tamamen farklıdır. Suyun içinde soluyabilmek için, havada solunum için kullanılanlardan çok farklı organlar gerekir. Aynı şekilde boşaltım, beslenme ve hareket için gelişen organlar da farklıdır. Sonuçta, bu geçişin gerçekleşmesi için tamamen yeni bir vücut tipinin ortaya çıkması gerekiyordu. İlk bakışta, bu iki ortamı birbirinden ayıran çizginin aşılması imkânsız gibi görünür. Ancak, kanıtları inceleyecek olursak her şey farklı bir görünüme bürünecektir; imkânsız görünen şey, aslında gerçekleşmiştir.

Doğru yaştaki kayaları ararken, lehimize işleyen olağanüstü bir durum söz konusudur: Kayaların içinde yer alan fosiller, öyle rastgele dizilmiş değil; bulundukları yer de, bu yerin barındırdıkları da, kesinlikle belli bir düzene tabidir. Keşif seferlerimizi tasarlarken de, işte bu düzenden yararlanabiliyoruz. Milyarlarca yıllık değişim sürecinde, yerkabuğundaki farklı türden kaya katmanları birbiri üzerine yığılmıştır. Buradaki geçici varsayım -ki bunu test etmek kolaydır- en üstteki kayaların dipteki kayalardan daha genç olduğu şeklindedir; bu da genellikle, kat-

manları yaş pasta gibi düzgün biçimde üst üste dizilmiş (Büyük Kanyon'u düşünün) arazilerde geçerlidir. Ancak yerkabuğundaki hareketlerin yarattığı fay çatlakları bu katmanların yer değiştirmesine neden olabilir ve yaşlı kayalar genç kayaların üzerine çıkabilir. Neyse ki, bu fayların konumlarını tespit ettikten sonra, parçaları biraraya getirip katmanların başlangıçtaki düzenini yeniden oluşturmak mümkün.

Bu kaya katmanlarının içindeki fosiller de, alt katmanlardaki canlı türlerinin üst katmanlardakilerden tamamen farklı olduğu bir düzen sergiler. Canlı tarihini tümüyle içeren tek bir kaya sütununu oyup çıkarabilecek olsak, inanılmaz bir fosil dizisiyle karşılaşırdık. Bu durumda, en alt katmanlarda pek hayat belirtisi olmaz, bunların üzerindeki katmanlarda, denizanası benzeri çok çeşitli canlıların izleri olurdu. Daha üst katmanlarda ise, iskeletleri, uzantıları ve göz gibi çeşitli organları olan canlılar, onların üstünde de omurgalı ilk hayvanların bulunduğu katmanlar yer alırdı. Ve bu böyle devam ederdi. İlk insanları içeren katmanlar çok daha üstte bulunurdu. Tabii ki, yeryüzü tarihinin tamamını içeren böyle bir sütun yok. Yeryüzünde bir bölgedeki kayalar ancak dar bir zaman kesitini yansıtır. Resmin tamamını görebilmek için, dev bir yapbozu tamamlamaya uğraşır gibi, kayaları ve içlerindeki fosilleri birbiriyle karşılaştırıp eşleştirerek parçaları biraraya getirmemiz gerekir.

Kuşkusuz, kayalardan çıkarılacak böyle bir sütunda, fosilleşen canlı türlerinin evrimini izleyebilirdik. Böyle bir kaya sütununun sağlayacağı kesinlikte olmasa da, günümüzde yaşayan hayvan türleriyle karşılaştırarak, her katmandaki canlı türlerinin aslında neye benzeyebilecekleri ile ilgili ayrıntılı tahminler yürütebiliriz; bu da, yaşlı kaya katmanlarında ne tür fosiller bulabileceğimizi tahmin etmede işimize yarayabilir. Aslına bakarsanız kendimizi, yöremizdeki bir hayvanat bahçesi ya da akvaryumdaki hayvanlarla karşılaştırarak, yeryüzündeki kaya-

larda fosillerin hangi sırayla dizildiğini tahmin edebiliriz.

Önemli fosilleri bulabilmek için kayaların neresine bakmamız gerektiğini tahmin etmede, hayvanat bahçesindeki bir gezintinin bize ne yararı olabilir? Hayvanat bahçelerinde, hepsi de pek çok yönden birbirinden tamamen farklı büyük bir canlı çeşitliliği vardır. Ama biz bu canlıları birbirinden ayıran özellikler üzerinde durmayalım; tahminimizin isabetli olabilmesi için farklı canlılardaki ortak özellikler üzerinde yoğunlaşalım. O zaman, tüm canlılarda ortak olan bu özelliklerden yararlanarak, benzer özelliklere sahip canlıları aynı grupta toplayabiliriz. Canlıların hepsini, iç içe geçen matruşkalar gibi, küçük hayvan kümeleri, büyük hayvan kümelerinin içerisinde yer alacak şekilde biraraya getirip sınıflandırabiliriz. Böyle yaptığımızda doğanın çok temel bir yanım keşfederiz.

Hayvanat bahçesindeki ya da akvaryumdaki her canlı türünün bir kafası ve iki gözü vardır. Bu türlere "Hepsi" diyelim. Bir kafası ve iki gözü olan canlıların bir alt kümesindeki canlıların üyeleri (kol, bacak, kanat, yüzgeç vb.) vardır. Üyeleri olan bu türlere "Üyelilerin hepsi" diyelim. Kafalı ve üyeli bu canlılar da, büyük bir beyni olan, ayakları üzerinde doğrulup yürüyen ve konuşan bir alt kümeye sahiptir. İşte bu alt küme biziz; yani insanoğlu. Kuşkusuz, canlıları bu yöntemle sınıflandırarak çok daha fazla alt küme oluşturabiliriz, ama bu üç katlı sınıflama bile bize bir tahmin yürütme gücü verir.

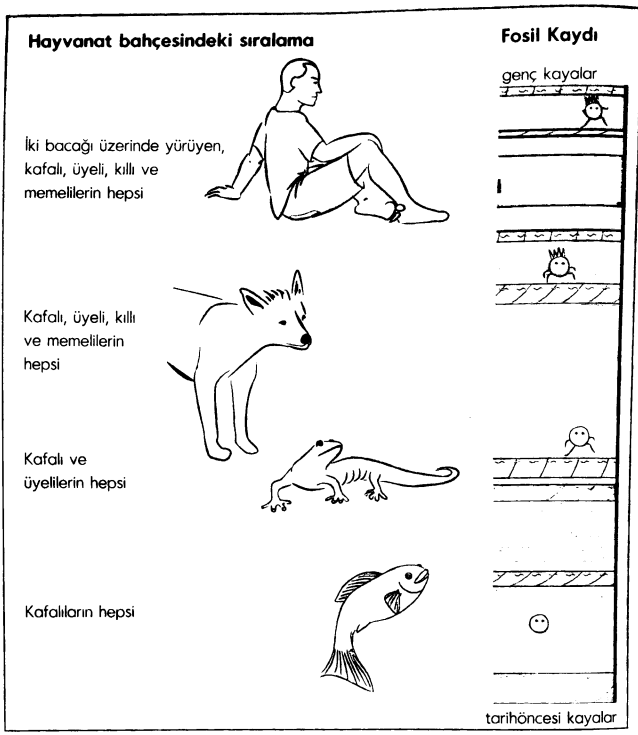
Yeryüzü kayalarının içindeki fosiller genellikle bu düzene uygun dizilmiştir; biz de, yeni keşif seferleri tasarlarken bu düzenden yararlanabiliriz. Yukarıda verdiğimiz örneğe dönecek olursak, "Hepsi" grubunun ilk örneği, yani kafası ve iki gözü olan ilk canlı, fosil kayıtlarında, "Üyelilerin hepsi" grubunun ilk örneğinin ortaya çıkışından çok daha önce yer alır. Daha kesin konuşursak, ilk balık ("Hepsi" kümesinin sancaktarı), ilk amfibiden ("Üyelilerin hepsi" kümesinden) önce ortaya çıkar. Hiç

kuşkusuz, kayaların gerçek yaşını ölçmenin yanı sıra, daha fazla hayvan türünü ve bu hayvan kümelerinde ortak olan çok daha fazla özelliği inceleyerek bu sıralamaya daha ince ayrıntılar kazandırabiliriz.

Laboratuvarlarımızda, binlerce özellik ve canlı türü üzerinde yaptığımız da bu türden bir analizdir. Bu canlıların anatomilerini mümkün olan en ince ayrıntısına kadar inceler, çoğunlukla da büyük DNA parçalarına bakarız. O kadar fazla veri vardır ki, kümelerin içindeki kümeleri ortaya çıkarmak için genellikle güçlü bilgisayarlar gerekir. Biyolojinin temelini oluşturan bu yaklaşım sayesinde canlıların birbirleriyle nasıl akraba olduklarına ilişkin varsayımlarda bulunabiliriz.

Yüzlerce yıllık bu fosiller, canlıları daha ayrıntılı sınıflandırmamızın yanı sıra, dünyaya ve üzerindeki hayata ilişkin muazzam bir birikim -ya da kayıt- oluşturmamıza da yaramış durumdadır. Böylece, artık büyük değişimlerin yaşandığı zaman dilimlerini yaklaşık olarak tespit edebiliyoruz. Memelilerin kökenlerine mi ilgi duyuyorsunuz? Erken Mezozoik adı verilen döneme ait kayalara bakın; jeokimya bilimi, bu kayaların yaklaşık 210 milyon yıllık olduğunu söylüyor. Primatların kökenine mi ilgi duyuyorsunuz? Kaya sütununun daha üstteki katmanlarına, yani kayaların yaklaşık 80 milyon yıllık olduğu Kretase dönemine bakın.

Yeryüzündeki kayalarda yer alan fosillerin düzeni, diğer canlılarla aramızdaki bağlantının güçlü bir kanıtıdır. Eğer, 600 milyon yıllık kayaları kazdığımızda bir dağ sıçanı iskeletinin hemen yanında ilk denizanasını bulacak olsaydık, bu konudaki bilgileri yeniden ve en başından ele almamız, fosil kaydında bu dağ sıçanını ilk memeliden, sürüngenden, hatta balıktan öncesine -hatta ilk solucandan bile öncesine- yerleştirmemiz gerekecekti. Üstelik bu yaşlı dağ sıçanı bize, dünyanın ve üzerindeki hayatın geçmişi hakkında bildiğimizi sandığımız şeylerin çoğunun



Hayvanat bahçesinde dolaşırken keşfettiğimiz düzen, aslında, fosillerin, yeryüzündeki kayalarda nasıl dizildiğini yansıtır.

yanlış olduğunu söyleyecekti. Ama insanlar 150 yılı aşkın bir süredir fosillerin (dünyanın her kıtasında ve erişilebilir kaya katmanlarının hemen hepsinde) peşinden koştukları halde, böyle bir gözlemin yapıldığı hiç olmadı.

İsterseniz, asıl sorumuza, yani, karada yürüyecek ilk balığın akrabalarını nasıl bulacağımıza dönelim. Bu canlılar, yaptığımız gruplandırmada "Hepsi" ile "Üyelilerin hepsi" arasında bir yerdedir. Bunu, kayalar hakkında bildiklerimizle birlikte ele alır-

sak, 380 milyon yıl öncesi ile 365 milyon yıl öncesi arasındaki dönemin son derece önemli bir dönem olduğuna dair kuvvetli bir jeolojik kanıt ortaya çıkar. Bu zaman dilimine ait görece genç kayaların, yani yaklaşık 360 milyon yıllık kayaların içinde, hepimizin amfibi ya da sürüngen olarak tanıyacağı, çok çeşitli türde fosilleşmiş hayvan vardır. Cambridge Üniversitesi'nden meslektaşım Jenny Clack ve ekibi, Grönland'da yaklaşık 365 milyon yıllık kayalardan amfibiler çıkardılar. Bunlar boyunları, kulakları ve dört bacaklarıyla balığa benzemiyorlardı. Ama yaklaşık 385 milyon yıllık kayalarda, gerçekten de 'balığa benzeyen' eksiksiz balıklar bulduk; yüzgeçleri, konik kafaları, pulları vardı ama boyunları yoktu. Bunun üzerine, balıktan karada yaşayan hayvanlara geçişe dair kanıtlar bulabilmek için dikkatimizi, doğal olarak yaklaşık 375 milyon yıllık kayalara çevirdik.

Araştıracağımız zaman dilimini kararlaştırdık, böylece jeoloji sütununda incelemek istediğimiz katmanları da tespit etmiş olduk. Şimdi asıl zorluk, fosilleri koruyup saklayabilecek koşullarda oluşan kayaları bulmaktı. Kayalar, farklı çevre koşullarında oluşur ve oluştukları ilk ortamlar, bu kaya katmanlarında kendilerine özgü izler bırakır. Volkanik kayalar çoğunlukla açıktadır. Bildiğimiz hiçbir balık lav içinde yaşayamaz. Öyle ki, böyle bir balık var olmuş olsa bile, bazalt, riyolit, granit ve diğer volkanik taşların oluştuğu bu aşırı sıcak koşullarda, balığın fosilleşmiş kemikleri korunamazdı. İlk oluşumlarından itibaren ya aşırı ısınmaya ya da aşırı basınca maruz kalmaları nedeniyle, şist ve mermer gibi metamorfik kayaları da saymayalım. Bunların içinde korunmuş herhangi bir fosil kalmış olsaydı da, zaten çok uzun zaman önce yok olurdu. Fosillerin korunabilmesi için ideal olanı kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı ve şeyl, yani tortul kayalardır. Volkanik ve metamorfik kayalarla kıyaslandığında, bunlar nehir, göl ve denizlerin hareketleri gibi daha yavaş ve yumuşak süreçlerle oluşur. Bu kayaların, fosilleri korumaya uygun yerler

olabilmesi için, sadece hayvanların bu tür ortamlarda yaşayabilmesi yetmez; bunda tortullaşma süreçlerinin de payı vardır. Örneğin, denizde ya da göldeki parçacıklar sürekli olarak suyun dibinde çökelir. Zamanla bu parçacıklar birikir; yeni oluşan ve üst üste binen katmanların basıncıyla alttaki parçacıklar sıkışır. Giderek artan bu basınç, çok uzun zaman dilimlerinde kayaların içinde meydana gelen kimyasal süreçlerle birleşince, kaya içinde kalan iskeletler fosilleşme fırsatı bulur. Aynı süreç, akan sular için de geçerlidir. Genel kural, akıntı ne kadar hafifse fosillerin de o kadar iyi korunacağı şeklindedir.

Yerinde duran her kayanın, o kaya oluştuğu sırada dünyanın neye benzediği hakkında bir öyküsü vardır. Kayanın içinde, genelde bugünkünden çok farklı olan geçmiş iklimlere ve çevre koşullarına dair kanıtlar vardır. Bazen, bugün ile geçmiş arasındaki kopukluk o kadar keskin olmayabilir. Uç bir örnek olarak Everest Dağı'nı ele alalım. Dağın zirvesinin yakınında, 8 bin metreyi aşkın bir irtifada eski bir deniz tabanına ait kayalar bulunmaktadır. Ünlü Hillary Basamağı'nın görüş alam içinde kalan Kuzey Yüzü'ne gidecek olursanız burada fosilleşmiş deniz kabukları bulabilirsiniz. Aynı şekilde, Kuzey Kutbu'nda çalıştığımız yerlerde, kışın sıcaklık *-40°C*'ye kadar düşebilir. Yine de, bölgedeki bazı kayaların içinde, tıpkı Amazon'dakine benzeyen eski bir tropikal deltanın kalıntıları yatar; yani, ancak sıcak, nemli bölgelerde yetişebilecek bitki ve balık fosilleri. Bugün aşırı irtifalarda ve enlemlerde sıcağa-uyumlu türlerin var olması, gezegenimizin ne ölçüde değişebileceğinin kanıtıdır: dağlar yükselir ve çöker, iklimler ısınır ve soğur, kıtalar gezinip durur. Zamanın uçsuz bucaksızlığını ve gezegenimizin değişimini açıklayan olağanüstü süreçleri kavradığımızda, yeni fosil arama seferlerini planlarken bu bilgiden yararlanabilecek duruma geleceğiz.

Üyeli hayvanların kökenini anlamak istiyorsak, artık biliyo-

ruz ki, araştırmamızı okyanuslarda, göllerde ya da akarsularda oluşmuş, kabaca 375 milyon ila 380 milyon yaşındaki kayalarla sınırlandırabiliriz. Volkanik ve metamorfik kayaları araştırmamızdan çıkarınca, fosil bulma ihtimalimiz olan yerler daha da netleşecektir.

Ancak, yapacağımız yeni bir keşif seferinin tasarlanmasında henüz yolun başındayız. Fosil bulma beklentisi içinde olduğumuz, doğru yaştaki tortul kayalarımız yerin derinliklerine gömülüyse ya da doğa örtüsüyle kaplıysa, üzerinde alışveriş merkezleri ya da kentler kuruluysa, o zaman bu seferimiz boşa çıkacak, biz de körlemesine kazıyor olacağız. Tahmin edebileceğiniz gibi, fosil bulmak amacıyla kuyu kazmanın başarı olasılığı düşüktür; diğer bir deyişle kapalı bir kapının ardındaki bir hedef tahtasına atış yapmaktan pek farkı yoktur.

Öyleyse bakılacak en iyi yerler, kemiklerin dayanmayı başarabildiği bölgeleri keşfetmek için üzerinde kilometrelerce yürüyebileceğimiz yerlerdir. Fosilleşmiş kemikler genellikle etraflarındaki kayalardan daha sert olur, bu nedenle biraz daha yavaş aşınır ve kaya yüzeyinde kabartma şeklinde bir iz bırakırlar. Buna bağlı olarak, çıplak kaya üzerinde yürür ve yüzeyde kemik izi bulunca kazmaya girişiriz.

Yeni bir fosil keşif seferi planlamanın püf noktası da işte buradadır: Doğru yaştaki, doğru türdeki (tortul) ve yüzeyi açığa çıkmış kayaları bulmak. İşte o zaman işe koyulabiliriz. İdeal fosil arama alanları, çok az toprak ve bitki örtüsüyle kaplı, insan elinin değmediği, bozulmamış yerlerdir. Bu durumda keşiflerin önemli bir kısmının ücra arazilerde gerçekleşmesi şaşırtıcı mı? Gobi Çölü'nde örneğin. Sahra Çölü'nde. Utah'ta. Grönland gibi Kuzey Kutbu çöllerinde.

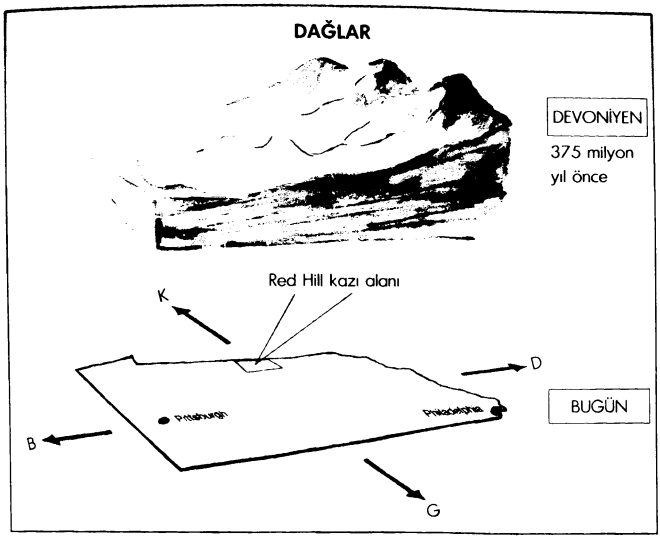
Tüm bunlar akla son derece uygun görünüyor; ama biz, yine de tesadüfün payını unutmayalım. Aslında, ekibimizi, içimizdeki balığa götüren de tesadüftü. İlk önemli keşiflerimizi çölde

değil, kayaların olabilecek en berbat şekilde yüzeye çıktığı Pennsylvania'da bir yol kenarında yaptık. Üstelik orayı araştırmamızın tek nedeni, fazla paramız olmayışıydı.

Grönland'a ya da Sahra Çölü'ne gitmek epey para ve zaman ister. Oysa yerel projeler için büyük araştırma ödeneklerine gerek yoktur, sadece otoyol geçiş ücretini ve benzini karşılayacak kadar para yeter. Yüksek lisans öğrencileri ve üniversitede çalışmaya yeni başlayan öğretim elemanları için bunlar son derece önemli değişkenlerdir. Philadelphia'da ilk işime başladığımda beni en çok cezbeden, Pennsylvania Catskill Formasyonu olarak bilinen kaya grubuydu. Bu oluşum 150 yıldır fazlasıyla incelenmişti. Yaşı da gayet iyi biliniyordu ve Üst Devoniyen dönemini kapsıyordu. Ayrıca buradaki kayalar, üyeli ilk hayvanları ve onların en yakın akrabalarını mükemmel şekilde koruyabilecek nitelikteydi. Bunu anlayabilmenin en iyi yolu, Philadelphia'nın Devoniyen dönemde nasıl göründüğünü hayal etmek. Bugünkü Philadelphia, Pittsburgh ya da Harrisburg'a ait görüntüleri zihninizden çıkarın ve Amazon Nehri deltasını hayal edin. Eyaletin doğusunda dağlık bölgeler vardı. Bu dağlardan süzülen sular bir dizi akarsu halinde doğudan batıya doğru akıyor ve bugün Pittsburgh'un kurulu olduğu yerde, büyük bir denizde son buluyordu.

Orta Pennsylvania'nın şehirlerle, ormanlarla ve tarlalarla örtülü olduğunu saymazsak, fosil bulmak için bundan daha uygun koşullar hayal edilemez. Açığa çıkan kayalara gelince, bunların en çok bulunduğu yerler, Pennsylvania Ulaştırma Bakanlığı'nın (PennDOT) büyük yollar geçirmeyi planladığı bölgelerdir. PennDOT otoban inşa ederken, bu kayaları patlatır; her zaman ideal biçimde olmasa da patlama olan yerlerde kayalar yüzeye çıkar. Ama bulduğumuzla yetiniriz. Bilimi ucuza getirirseniz, sonucuna da katlanırsınız.

Ayrıca tesadüf etmeninin de farklı biçimleri vardır: 1993'te,



Pennsylvania yolları boyunca, bugünkü Amazon'a çok benzeyen eski bir nehir deltasını inceliyorduk. Pennsylvania eyalet haritası (altta) ile Devoniyen dönemindeki topografisi (üstte).

Ted Daeschler, paleontoloji okumaya geldiğinde danışmanlığını ben üstlenmiştim. Bu işbirliği, ikimizin de hayatını değiştirecekti. Farklı yaradılışlarımız birbirini kusursuzca tamamladı: Ben yerimde duramıyor ve sürekli, bir dahaki sefere nereyi inceleyeceğimi düşünüyordum; Ted ise sabırlıydı, hazinelerine ulaşmak için nerede, ne zaman durup kazmaya başlayacağını biliyordu. Ted'le beraber, üyelerin kökenine ilişkin yeni kanıtlar bulabilmek ümidiyle Pennsylvania'nın Devoniyen döneme ait kayalarını araştırmaya başladık. Eyaletin doğusunda yol açmak için kesilen büyük kayaların hepsine gittik. Araştırmamıza başladıktan kısa bir süre sonra Ted, ummadığımız bir anda, çok ilginç bir omuz kemiği buldu. Kemiğe, Yunanca "Hyner'li sürü-

nen küçük hayvan" anlamına gelen *Hynerpeton* adını verdik. Hyner (Pennsylvania), en yakın kasabanın adıydı. *Hynerpeton*'un çok güçlü bir omzu vardı; bu da onun muhtemelen çok güçlü uzantıları olan bir canlı olduğuna işaret ediyordu. Ne yazık ki, bu hayvanın iskeletinin tamamını hiçbir zaman bulamadık. Çünkü kazı alanı çok kısıtlıydı. Neler mi kısıtlıyor? Tahmin edebileceğiniz gibi, bitki örtüsü, evler ve alışveriş merkezleri.

Bu kayalarda *Hynerpeton* ve başka fosillerin de keşfinden sonra Ted de ben de, yüzeyde daha açıkta kalan kayalarda bir an önce keşfe çıkmak için sabırsızlanmaya başlamıştık. Eğer tüm bu bilimsel girişimimiz, ufak tefek kalıntı parçalarının bulunup çıkarılmasından ibaret kalacaksa, üzerinde uğraşacağımız sorular da çok sınırlı kalacaktı. Bu yüzden "kitaba uygun" yaklaşımı benimseyerek çöl arazilerinde, yüzeyi belirgin biçimde açıkta kalmış, doğru yaşta ve doğru türdeki kayaların arayışına girdik; sonuçta, elimizdeki jeolojiye giriş kitabından yararlanmamış olsaydık, kariyerimizin en büyük buluşunu da yapamayacaktık.

Başlangıçta, yeni keşif bölgeleri olarak gözümüzü Alaska ve Yukon'a çevirmiştik, çünkü başka ekiplerce burada benzer keşifler yapılmıştı. Jeolojiye özgü konularda giriştiğimiz bir tartışmanın en can alıcı noktasında içimizden biri, uğurlu jeoloji ders kitabını çıkardı. Hangimizin haklı olduğunu bulmak için hızla sayfaları karıştırırken bir çizimle karşılaştık. Çizim, nefesimizi kesmişti; aradığımız her şeyi açıkça gösteriyordu.

Tartışmayı bıraktık ve hemen yeni bir arazi keşfi planlamaya başladık.

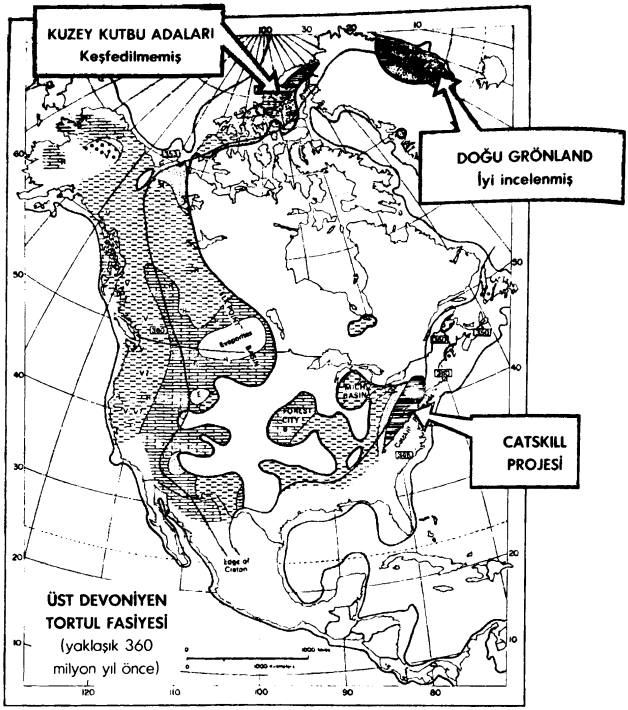
Biraz daha genç kayalarda yapılan önceki keşiflerden, fosil avımız için en iyi başlangıç yerinin, tarihöncesi tatlı su akıntıları olduğuna inanıyorduk. Çizimde, Devoniyen tatlı su kayalarının bulunduğu üç bölge görülüyordu ve üçünde de birer nehir delta sistemi vardı. İlki, Grönland'ın doğu kıyısıydı. Burası,

Jenny Clack'ın bulduğu üyeli ilk canlılardan olan ve bilinen en eski tetrapodlardan (omurgalı dört ayaklı) sayılan fosilin yurduydu. Sonra, *Hynerpeton*'un yurdu olan Kuzey Amerika'nın doğusu vardı ki, burada zaten çalışmıştık. Ve Kanada Kutup Bölgesi boyunca doğudan batıya uzanan, geniş bir üçüncü bölge daha vardı. Kutup bölgesinde hiç ağaç, toprak örtüsü ya da yerleşim yoktur. Bu nedenle doğru yaşta ve türde kayaların tamamen yüzeye çıkmış olma şansı yüksekti.

Kanada Kutup Bölgesi arazisi, başta bunların haritasını çıkaran Kanadalı jeologlar ve paleobotanikçiler olmak üzere, herkesçe gayet iyi biliniyordu. Aslında, bu konudaki bilginin büyük çoğunluğunu borçlu olduğumuz ekiplerin lideri Ashton Embry, Devoniyen Kanada kayalarının jeolojisinin, pek çok bakımdan Pennsylvania'dakilerin jeolojisiyle tamamen aynı olduğu açıklamasını yapmıştı. Bunları okuduğumuz an Ted'le birlikte valizimizi toplayıp yola çıkmaya hazırdık. Pennsylvania yollarında öğrendiklerimiz, Kanada'nın Yüksek Kutup bölgesinde işimize yarayabilirdi.

Kutup kayaları, Grönland ve Pennsylvania fosil yataklarından bile daha yaşlıydı. O halde bu bölge, üç kriterimize de, yani yaş, tür ve yüzeyde bulunma kriterlerine tam tamına uyuyordu. Daha da önemlisi, omurgalıları araştıran paleontologlar tarafından iyi bilinmiyordu ve bu yüzden de burada fosil aranmamıştı.

Artık önümüzdeki yeni zorluklar, Pennsylvania'da karşılaştıklarımızdan tamamen farklıydı. Pennsylvania yollarında fosil ararken, yanımızdan vınlayarak geçen kamyonların altında kalma tehlikesiyle karşı karşıyaydık. Kuzey Kutbu'nda ise kutup ayılarına av olma, aç kalma ya da kötü hava koşulları yüzünden mahsur kalma tehlikesi altındaydık. Sandviçlerimizi yanımıza alıp otomobilimizi fosil yataklarına sürdüğümüz günler geride kalmıştı. Şimdi, sahada geçireceğimiz her gün için en az sekiz gün boyunca plan yapmamız gerekiyordu, çünkü kayalara



İşte her şeyi başlatan harita. Bu Kuzey Amerika haritası, aradığımızı en özlü haliyle kapsıyor. Farklı tonlardaki taramalar, deniz suyu veya tatlı su içinde, Devoniyen çağa ait kayaların yüzeye çıktığı yerleri gösteriyor. Haritada, bir zamanlar nehir deltası olan üç bölge de işaretlenmiş. R. H. Dott ve R. L. Batten, Evolution of the Earth (New York: McGraw-Hill, 1988) adlı kitapta yer alan Şekil 13.1'den uyarlanmıştır. McGraw-Hill Companies'in izniyle.

ancak havayoluyla ulaşılabiliyordu ve en yakın ikmal üssü 400 kilometre uzaklıktaydı. Bize hiç sapma şansı tanımayan bir uçuş planıyla, ekibimize ancak yetecek kadar yiyecek ve malzemeyle yola çıkacaktık. En önemli sıkıntı ise, uçağın ağırlık sınırının

düşük olmasıydı; yani bulduğumuz fosillerin çok az bir kısmını yanımızda götürebilecektik. Bu sınırlamalara bir de, her yıl Kuzey Kutbu'nda bilfiil kazı yapabileceğimiz zaman aralığının darlığını eklerseniz, önümüzdeki engellerin tümüyle yeni ve son derece yıldırıcı olduğunu görebilirsiniz.

Harvard'daki danışmanım Dr. Farish A. Jenkins, Jr. imdadımıza yetişti. Farish, yıllarca Grönland'a yapılan keşif seferlerini yönetmişti ve bu tehlikeli girişimin altından kalkabilecek deneyime sahipti. Ekip kuruldu. Üç kuşak akademisyen, yani eski öğrencim Ted, üniversite danışmanım Farish ve ben, balıktan karada yaşayan hayvana geçişe ait kanıtlar bulabilmek amacıyla Kuzey Kutbu'na doğru yola koyulacaktık.

Kuzey Kutbu paleontolojisiyle ilgili bir saha kılavuzu yoktur. Arkadaşlarımızdan ve meslektaşlarımızdan teçhizat tavsiyeleri aldık, kitaplar okuduk; ama anlayacaktık ki bizi deneyimin kendisi için hazırlayabilecek hiçbir şey yoktu. Bunu, helikopter bizi Kuzey Kutbu'nun tam anlamıyla terk edilmiş, cinlerin cirit attığı bir yerine indirdiği anda anladık. İlk aklımıza gelen kutup ayıları oldu. Hareket eden "beyaz lekeler" olup olmadığını anlamak için etrafı kaç kez kolaçan ettiğimi anlatamam. Bu korku, hayal görmenize de yol açabiliyor. Kuzey Kutbu'nda geçirdiğimiz ilk hafta, ekibimizden biri, hareket eden beyaz bir leke gördü. Altı yüz metre ötede bir kutup ayısı varmış gibi görünüyordu. Gördüğümüzü sandığımız ayının aslında 60 metre uzaklıktaki beyaz bir Kutup tavşanı olduğunu anlayıncaya kadar silahlara, işaret fişeklerine ve düdüklere sarılmıştık. Etrafta mesafeyi kestirmeye yarayabilecek herhangi bir ağaç veya ev olmayınca, Kuzey Kutbu'nda mesafe duyunuzu kaybediyorsunuz.

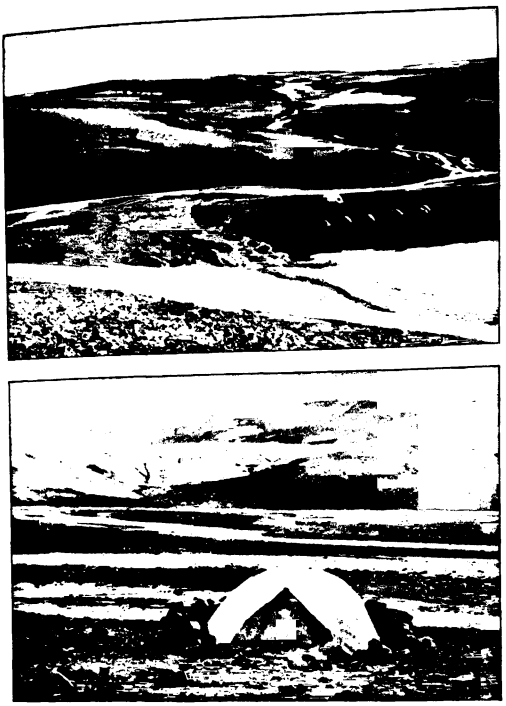
Kuzey Kutbu, büyük ve bomboş bir yerdir. Araştırmak istediğimiz kayalar, yaklaşık 1.500 kilometrelik bir alanda yüzeye çıkmış durumdaydı. İzini sürdüğümüz canlılar ise 120 cm

boyundaydı. Ne yapıp edip, fosillerimizin saklı olduğu bir kaya parçasının yerini tespit etmeliydik. Proje desteklerini değerlendiren jüri bazen öyle acımasız olur ki hep bu tür güçlükleri bulup çıkarırlar. Buna en iyi örnek, Farish'in ilk Kuzey Kutbu projelerinden birini değerlendiren bir jüri üyesinin ifadesidir. Bu bilirkişinin proje teklifine ilişkin -pek de yürekten olmayan- değerlendirmesinde yazdığı gibi, Kuzey Kutbu'nda yeni fosiller bulma ihtimali, "samanlıkta aranan iğnenin bulunma ihtimalinden daha düşüktür".

Bu iğneyi bulmak için bizim, Ellesmere Adası'na altı yılda dört keşif seferi düzenlememiz gerekti. Tesadüf buraya kadar.

Aradığımızı, deneyerek, yanılarak ve hatalarımızdan ders çıkararak bulduk. 1999 saha sezonunda ilk kazı yerlerimiz, Kuzey Kutup Bölgesi batı kesiminin ucundaki Melville Adası'ndaydı. Bilmiyorduk, ama eski bir okyanusun kıyısına indirilmiştik. Kayalar fosil doluydu, çok farklı türlerde balıklar bulduk. Sorun şuydu ki, bunların hepsi de derin deniz yaratıkları gibi görünüyordu; karada yaşayan hayvanların ortaya çıktığı sığ akıntılarda veya göllerde bulmayı umduğumuz türden balıklar değillerdi. Ashton Embry'nin jeolojik analizlerine göre konuşlandırdığımız 2000'deki keşif seferimizi doğuya, Ellesmere Adası'na kaydırmaya karar verdik, çünkü buradaki kayalarda eski akarsu yatakları olabilirdi. Çok geçmeden bir çeyreklik büyüklüğünde fosilleşmiş balık kemikleri bulmaya başlamıştık bile.

Asıl buluşumuz ise 2000'de, saha sezonunun sonlarına doğru gerçekleşti. Akşam yemeğine az kalmıştı, dönmeyi planladığımız tarihe yaklaşık bir hafta vardı. Ekip kampa dönmüştü, hepimiz akşamüstü etkinlikleriyle meşguldük; o gün toplananları derliyor, saha notlarını hazırlıyorduk, bir yandan da akşam yemeği hazırlıklarına başlamıştık. O zamanlar paleontoloji öğrenmeye hevesli bir üniversite öğrencisi olan Jason Downs,



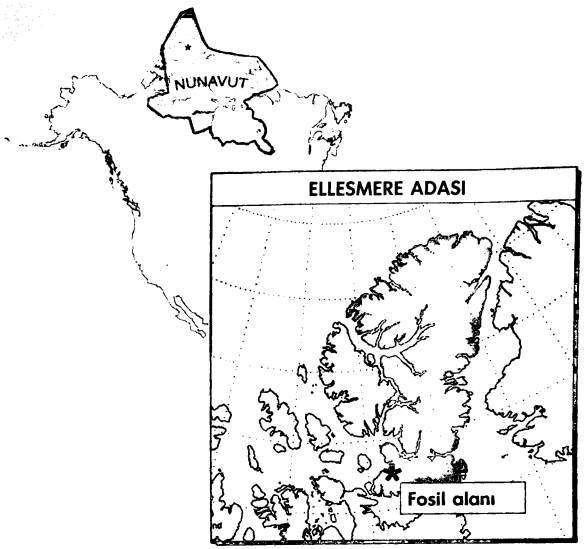
Uçsuz bucaksız arazide minicik görünen kampımız (üstte). Benim yazlığım (altta) ise, saatte 80 km hızla esen rüzgârdan korunması için taş yığınlarıyla çevrilen bu küçük çadır. Fotoğraflar yazar tarafından çekilmiştir.

beklenen saatte kampa dönmemişti. Genellikle hep ekip halinde kamptan ayrılır, ekipten ayrılan olursa da, ne zaman buluşulacağını dakikası dakikasına planlardık. Jason'ın gecikmesi endişe yaratmıştı. Bölgede kutup ayıları ve birden patlak veren şiddetli fırtınalar varken, işimizi şansa bırakamazdık. Ekiple beraber, ana çadırda oturduğumuzu hatırlıyorum; geçen her saniyeyle, Jason için duyduğumuz endişe artıyordu. Hep birlikte arama planı yapmaya başlamıştık ki, çadırın fermuarının açıldı-

ğını duydum. İlk başta tek gördüğüm şey, Jason'ın yüzüydü. Yüzünde, paniğe kapılmış bir ifade vardı; nefes nefeseydi. Jason çadıra girince kutup ayısı tehlikesi olmadığını anladık; tüfeği omzunda asılı duruyordu. Hâlâ titreyen elleriyle ceplerine, paltosuna, pantolonuna, fanilasına ve sırt çantasına doldurduğu fosilleşmiş kemikleri avuç avuç çıkarınca neden geciktiği anlaşıldı. O şekilde yürüyebilecek olsaydı, sanırım çoraplarına ve ayakkabılarına da kemik fosilleri tıkıştırırdı. Bu küçük kemik fosillerinin hepsini, kampa bir buçuk kilometre mesafede, tek arabalık bir park yeri büyüklüğündeki küçük bir yerde, yüzeyde bulmuştu. Akşam yemeği kalabilirdi.

Yaz aylarında gündüzün 24 saat sürdüğü Kuzey Kutbu'nda gün batacak diye telaşlanmamıza gerek yoktu; biz de çikolatalı gofretleri kapıp Jason'ın alanına doğru yola düştük. Bu alan, iki güzel nehir vadisi arasında kalan bir tepenin yamacmdaydı ve Jason'ın dediği gibi, üstü fosilleşmiş balık kemikleriyle halı gibi örtülüydü. Saatlerce fosil parçaları topladık, fotoğraf çektik ve planlar yaptık. Burada, aradığımız her şey vardı. Ertesi gün yeniden buraya döndüğümüzde, artık yeni hedefimiz kemiklerin bulunduğu asıl kaya katmanını bulmaktı.

İşin en önemli kısmı, Jason'm bulduğu kemik parçaları yığınının kaynağını tespit etmekti; bu bizim sağlam iskeletler bulmak için tek ümidimizdi. Sorun ise, Kuzey Kutbu coğrafyasıydı. Burada sıcaklık, kışın *-40°C*'ye kadar düşüyordu. Yazın, güneşin hiç batmadığı zamanlarda ise sıcaklık 10 dereceye yükseliyordu. Bu donma-çözülme çevrimi yüzeydeki taşların ve fosillerin parçalanıp ufalanmasına yol açar; kışın soğur ve büzülür, yazın ısınır ve genleşirler. Yüzeydeki bu kemikler, binlerce yıl boyunca her mevsimle birlikte büzülüp genleşme sonucunda parçalanır. Tepeye darmadağınık biçimde yayılmış bu kemik yığınıyla karşılaştığımızda, bunların asıl kaynağı olan belirli bir kaya tespit edememiştik. Birkaç günümüzü, yamaçtaki kemikle-



İşte çalıştığımız yer: Kanada'nın Nunavut Bölgesi'ndeki Ellesmere Adası'nın güneyi. Kuzey Kutbu'na 1.500 km uzaklıkta.

rin nereden çıktığını anlayabilmek için jeolog çekiçlerimizi su arama çatalı gibi kullanıp, test çukurları kazarak bu parçaların izini sürmekle geçirdik. Dört gün sonra katmanı ortaya çıkardık ve birbiri ardına çok sayıda fosilleşmiş balık iskeleti bulduk; çoğu da üst üste duruyordu. Bu balıkları açığa çıkarmak için iki yaz uğraştık.

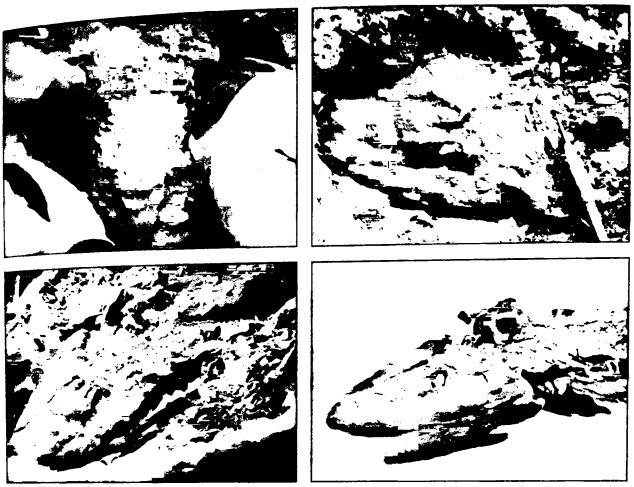
Yine başarısızlık: Bulduğumuz balıkların hepsi de daha önce Doğu Avrupa'da, aynı yaştaki kazı yerlerinde toplanmış olan ve iyi bilinen türlere aitti. Üstüne üstlük, bu balıkların, karada yaşayan canlılarla pek bir akrabalığı da yoktu. 2004'te, şansımızı bir kez daha denemeye karar verdik. Artık ya batacak ya da çıkacaktık. Kuzey Kutbu keşif seferleri caydırıcı ölçüde pahalıy-

dı; dikkate değer bir keşif yapamazsak, vazgeçmek zorunda kalacaktık.

2004 Temmuzu başlarında, dört günde her şey değişti. Artık kayadan çok buz kırdığım kazı alanının dibinde çekiç sallayarak çalışıyordum. Buzu kırdım ve asla unutmayacağım bir şey gördüm: bugüne dek kazı alanında gördüğümüz hiçbir şeye benzemeyen pullu bir leke. Bu leke, beni, buzla kaplı başka bir kütleye götürdü. Bunlar çene parçalarını andırıyor, ama bir yandan da, şimdiye kadar gördüğüm hiçbir balık çenesine de benzemiyordu. Bana, sanki yassı bir kafaya aitlermiş gibi geldi.

Ertesi gün, meslektaşım Steve Gatesy, kazı alanının üst kısmında kayaları eşelerken, yüzü kendisine dönük bir hayvanın burnunu ortaya çıkarmak için yumruk büyüklüğünde bir kaya parçasını yerinden söktü. O da, çukurun dibinde gördüğüm buza gömülü balık gibi, yassı kafalıydı. İşte bu yeni ve önemli bir bulguydu. Ama benim balığımın aksine, Steve'in balığı gerçekten umut vaat ediyordu. Biz balığın burnunu görüyorduk. Eğer şansımız varsa, iskeletin geri kalanı bu kayalığın içinde korunmuş halde duruyor olabilirdi. Steve o yazı, kayaları fosilin üzerinden parça parça sökmekle geçirdi; böylece iskeletin tamamını laboratuvarımıza getirip temizleyebilirdik. Steve'in bu fosilde sergilediği ustalık sayesinde sudan karaya geçişe dair, o tarihe kadar keşfedilmiş en iyi fosillerden biri ortaya çıkarılmış oldu.

Dönüşte laboratuvarımıza getirdiğimiz örnekler, içinde fosilleri barındıran iri kaya parçalarından ibaretti. Kayayı iki ay boyunca, genellikle dişçilikte veya laboratuvarlarda kullanılan türden küçük kazı aletlerinin yardımıyla, elimizle parça parça söktük. Her gün, bu fosil yaratığın anatomisi biraz daha açığa çıkıyordu. Ne zaman büyük bir parça açığa çıksa, biz de karada yaşayan hayvanların kökenlerine ilişkin yeni bir şey öğreniyorduk.



Fosil bulma süreci bir kaya kütlesiyle başlar; fosil, bu kaya kütlesinden yavaş yavaş ortaya çıkarılır. Burada, bir fosilin sahadan laboratuvara uzanan yolculuğunu ve titiz bir çalışma sonucunda bir fosil örneği (yeni hayvanın iskeleti) haline getirilişini görüyorsunuz. Sol üstteki fotoğraf yazara aittir; diğer fotoğraflar Philadelphia Doğa Bilimleri Akademisi'nden Ted Daeschler'in izniyle yayımlanmıştır.

2004 yılı sonbaharı boyunca kayadan gün yüzüne yavaş yavaş çıkışına tanık olduğumuz şey, balıklar ile karada yaşayan hayvanlar arasında yer alan çok ilginç bir ara halkaydı. Balıklar ve karada yaşayan hayvanlar pek çok bakımdan birbirinden farklıdır. Balıklar konik kafalıyken, karada yaşayan ilk hayvanların kafaları timsah kafasına çok benzer: yassıdır ve gözler tepededir. Balıkların boynu yoktur; omuzları, bir dizi kemiksi plakayla kafalarına bağlanır. Karada yaşayan ilk hayvanların da, onlardan türeyen bütün hayvanlar gibi, boyunları vardı; yani kafalarını, omuzlarından bağımsız olarak hareket ettirebiliyorlardı.

Başka önemli farklılıklar da vardır. Balıkların vücudu pullarla kaplıyken karada yaşayan hayvanlarda pul yoktur. Önemli bir fark da, balıkların yüzgeçlerine karşılık, karada yaşayan hayvanların, parmak ve bileklere sahip kol ve bacakları olmasıdır. Bu karşılaştırmalara devam edebilir ve balıklarla karada yaşayan hayvanların farklılıklarına dair çok uzun bir liste yapabiliriz.

Ne var ki, bulduğumuz bu yeni yaratık, balıklarla karada yaşayan hayvanlar arasındaki ayrımı ortadan kaldırmıştı. Balıklarda olduğu gibi, sırtında pullar ve perdeli yüzgeçleri; ama karada yaşayan ilk canlılar gibi, yassı bir kafası ve boynu vardı. Ayrıca yüzgecin içine bakınca, üst kola, önkola ve hatta bileğe karşılık gelen kemikler görülüyordu. Eklemleri de vardı; bu, omuz, dirsek ve bilek eklemleri olan bir balıktı. Bu yapıların hepsi perdeli bir yüzgeç içerisindeydi.

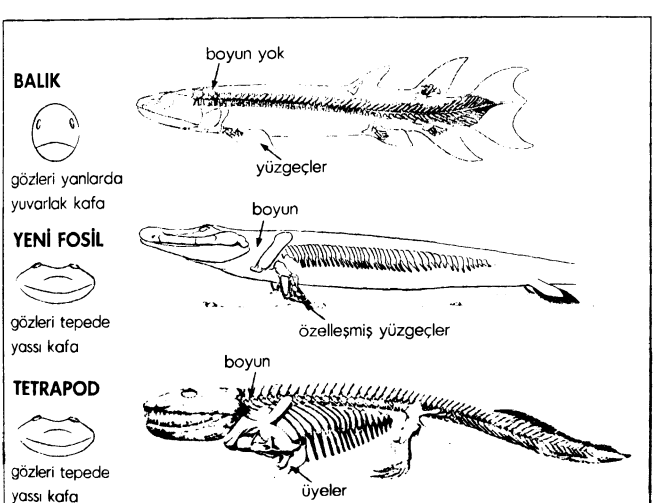
Bu canlının, karada yaşayan canlılarla paylaştığı ortak özellikler çok ilkel görünüyordu. Örneğin, balığın üst "kol" kemiğinin (humerus/pazı kemiği) şekli ve üzerindeki çeşitli kabartılar kısmen balıklarınkine, kısmen amfibilerinkine benziyordu. Kafatası ve omuzlar için de durum böyleydi.

Onu bulmamız altı yılımıza mal oldu; ama bu fosil, paleontolojinin bir tahminini doğrulamıştı: Bulduğumuz bu yeni balık, hem iki farklı hayvan türü arasındaki ara basamaktı, hem de onu, *dünya tarihinin doğru zaman diliminde ve tarihöncesindeki doğru ortamında* bulmuştuk. Yanıt, tarihöncesi akıntılarla oluşmuş, 375 milyon yıllık kayalardan gelmişti.

Ted, Farish ve ben, bu canlıyı keşfeden kişiler olarak, ona resmi bilimsel adını verme ayrıcalığına sahiptik. Vereceğimiz adın, hem balığın Nunavut Bölgesi kökenini, hem de orada çalışmamıza izin veren İnuit halkına duyduğumuz minneti yansıtmasını istiyorduk. İnuit dilinde bir isim bulmak için, Inuit Qaujimajatuqangit Katimajiit resmi adıyla tanınan Nunavut Yaşlılar Meclisi'ne başvurduk. Beni asıl düşündüren şey ise,

ismi Inuit Qaujimajatuqangit Katimajiit olan bir komitenin telaffuz edemeyeceğimiz bilimsel bir isim önermesiydi. Onlara fosilin bir resmini gönderdim; Nanavut büyükleri de *Siksagiaq* ve *Tiktaalik* olmak üzere iki isim önerisinde bulundu. Biz de, hem İnuit dilini bilmeyenlerce daha kolay telaffuz edilebileceğinden, hem de İnuit dilindeki anlamından ötürü *Tiktaalik* ismini seçtik: "büyük tatlı su balığı."

Nisan 2006'da, keşfin duyurulduğunun ertesi günü, *The New York Times* gibi gazetelerin manşetleri de dahil olmak üzere, birçok gazetede *Tiktaalik* birinci haberdi. Bu ilgi, genelde sakin geçen hayatımda, bir haftada tamamen farklı bir dönem açmıştı. Ama benim için bütün bu medya bombardımanında en büyük an, ne politik karikatürleri görmek, ne gazete yorumlarını, ne de bloglardaki hararetli tartışmaları okumak oldu. O anı, oğlumun anaokulunda yaşadım.



Bu resim her şeyi anlatıyor. *Tiktaalik*, balıklar ile karada yaşayan ilkel hayvanlar arasındaki ara basamaktır.

Basının onca hayhuyu arasında, oğlumun anaokulu öğretmeni benden fosili getirmemi ve onunla ilgili bilgi vermemi istedi. Ben de, yaratacağı kargaşayı göze alarak *Tiktaalik*'in bir maketini Nathaniel'in sınıfına götürdüm. Dört veya beş yaşındaki yirmi afacan, Kuzey Kutbu'nda fosil bulmak için nasıl çalıştığımızı anlatıp onlara hayvanın keskin dişlerini gösterirken inanılmaz derecede uslu durdular. Sonra, onlara bu hayvanın ne olduğu konusundaki düşüncelerini sordum. Eller hemen havaya kalktı. İlk çocuk, bunun bir timsah veya bir alligatör olduğunu söyledi. Neden öyle düşündüğünü sorunca, gözlerinin bir timsah veya bir kertenkeleninki gibi tepede ve kafasının da yassı olduğunu söyledi. Ayrıca dişleri de büyüktü. Diğer çocuklar itiraz etmeye başladılar. Parmak kaldıran çocuklardan birine söz verdiğimde şunları söyledi: "Yo, hayır, o bir timsah değil, o bir balık, çünkü pulları ve yüzgeçleri var." Bir başka çocuk, "Belki de her ikisidir!" diye bağırdı. *Tiktaalik*'in mesajı o kadar açıktı ki, anaokulu öğrencileri bile anlayabiliyordu.

Bizim açımızdansa, *Tiktaalik* çok daha büyük bir anlam taşıyordu. Bu balık, bize balıklar hakkında bir şeyler anlatmakla kalmıyor, bizim bir parçamızı da içeriyordu. Beni Kuzey Kutbu'na sürükleyen birinci şey, işte bu bağlantıyı bulma arzusuydu.

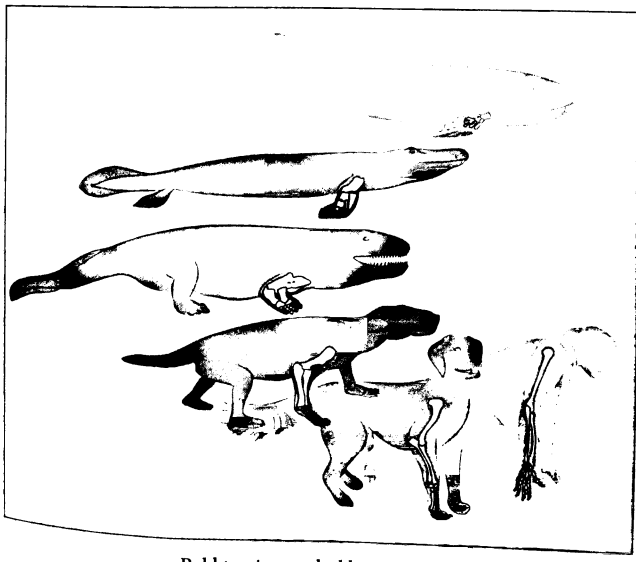
Bu fosilin benim kendi vücudumla ilgili bir şeyler söylediğinden nasıl bu kadar emindim? *Tiktaalik*'in boynunu düşünün. *Tiktaalik*'ten önceki bütün balıklarda, kafatasını omuzlara bağlayan bir kemik kümesi bulunur; böylece hayvan gövdesini her çevirişinde kafasını da çevirir. Tiktaalik ise farklıdır. Kafası omuzlarından tamamen bağımsızdır. Baş ve omuzların bu konumu, amfibiler, sürüngenler, kuşlar ve bizim de dahil olduğumuz memelilerle ortaktır. Baş ve omuzların konumundaki değişimin izini baştan sona, birkaç küçük kemik eksiğiyle *Tiktaalik* gibi balıklara kadar sürmek mümkündür.

Bilekler, kaburgalar, kulaklar ve iskeletimizin diğer kısımları

da aynı şekilde incelenebilir; bu özellikler *Tiktaalik* gibi bir balıkta bulunabilir. *Tiktaalik* fosili, Afrikalı hominidlerin (*Australopithecus afarensis*, yani ünlü "Lucy" gibi) olduğu kadar bizim geçmişimizin de bir parçasıdır. Lucy'ye bakarak, çok gelişmiş bir primat olarak geçmişimizi anlayabiliriz. *Tiktaalik*'e baktığımızda ise bir balık olarak geçmişimizi görürüz.

O halde ne öğrenmiş olduk? Dünyamızda öyle olağanüstü bir düzen vardır ki, dört bir yanındaki kayaların farklı katmanlarındaki fosil türlerini tahmin edebilmek için hayvanat bahçesinde şöyle bir gezinmemiz yeter. Bu tahminler bize, canlılar tarihinin en eski olaylarına dair bir şeyler anlatacak fosil keşiflerine yol açabilir. Bu olayların kayıtları, anatomimizin bir parçası olarak içimizde hâlâ yer almaktadır.

Henüz bahsetmediğim bir şey daha var; o da, kendi geçmişimize genlerimizin içindeki DNA'lardan da ulaşabileceğimiz.



Balıktan insana kol kemikleri

Geçmişimizle ilgili bu kayıt kayaların içinde değil, içimizdeki her bir hücrede duruyor. Kendi hikâyemizi, vücutlarımızın oluşum hikâyesini, hem fosillerden, hem de genlerden yararlanarak anlatacağız.

İKİNCİ BÖLÜM

KAVRAMAYA BAŞLAMAK

Tıp fakültesindeki, anatomi laboratuvarında gördüklerinizi hiç unutmazsınız. Düşünün ki bir odaya giriyor ve burada, sırf insan vücudundaki on binlerce yapıyı ve adlarını öğrenebilmek için bir kadavrayı kat kat, organ organ parçalarına ayırarak aylar geçiriyorsunuz.

İlk kadavra diseksiyonumdan aylarca önce, ne göreceğimi, nasıl tepki vereceğimi ve ne hissedeceğimi kafamda canlandırmaya çalışarak kendimi hazırlamıştım. Sonradan, hayalimde canlandırmanın, kendimi bu deneyime hazır hissetmeme hiç yararı olmadığını anladım. Örtüyü kaldırıp ilk kez bir kadavrayla karşılaştığım an, hiç de beklediğim kadar zor olmamıştı. Göğüs bölgesinin diseksiyonunu yapacaktık; bu nedenle kadavranın başı, kolları ve bacaklarını koruyucu kimyasallarla ıslatılmış gazlı bezlerle örtülü bırakarak, yalnızca bu bölgeyi açtık. Pek insan dokusuna benzemiyordu. Çeşitli koruyucu maddelerle işlem görmüş olduğu için, üzerinde bir kesi yapıldığında, kadavradan kan akmıyordu; cilt ve iç organlar da lastik gibiydi. Kadavra, bana bir insan gibi değil de, oyuncak bir bebek gibi görünmeye başlamıştı. Birkaç haftayı, çene ve karın kısmındaki organları açmakla geçirdik. Kendimi, artık tam bir profesyonel gibi görmeye başlamıştım; iç organların çoğunu görmüş biri olarak, deneyimin tümü konusunda ukalaca bir kendine güven duygusu içindeydim. İlk diseksiyonlarımı yapmış, kesikler atmış ve belli başlı organların çoğunun anatomisini öğrenmiştim.

Bu benim için tamamen mekanik, objektif ve bilimsel bir deneyimdi.

Ancak, elin sargılarını çözdüğüm anda, bu aldatıcı güven hissim darmadağın oldu. Parmakların üzerindeki bez sargıları kaldırdığımda (eklemleri, parmak uçlarını ve tırnakları ilk kez gördüğümde) sanki haftalardır saklı kalan duygularım da açığa çıkmıştı. Bu ne bir oyuncak bebek, ne de bir mankendi; bazen iş görmek, bazen sevgi göstermek için bu eli kullanan, bir zamanlar yaşamış olan bir insandı. Bu mekanik alıştırma yani diseksiyon, böylece birdenbire derin ve duygusal bir kişisel deneyime dönüşmüştü. O ana kadar, kadavrayla aramdaki yakınlığın farkında değildim. Mideyi, safra kesesini ve diğer iç organları daha yeni açmıştım; ama hangi aklı başında insan, bir safra kesesinin görünüşü karşısında insani bir yakınlık duyardı ki?

Eli, bu derece insana özgü kılan nedir? Belki de ellerin bir anlamda, insanlar arasında görünen bir bağlantı; kim olduğumuzun ve yapabileceklerimizin bir simgesi olması. Kavrama, yaratma ve düşüncelerimizi hayata geçirme kabiliyetimiz, bu kemik, sinir ve damar kompleksinde saklıdır.

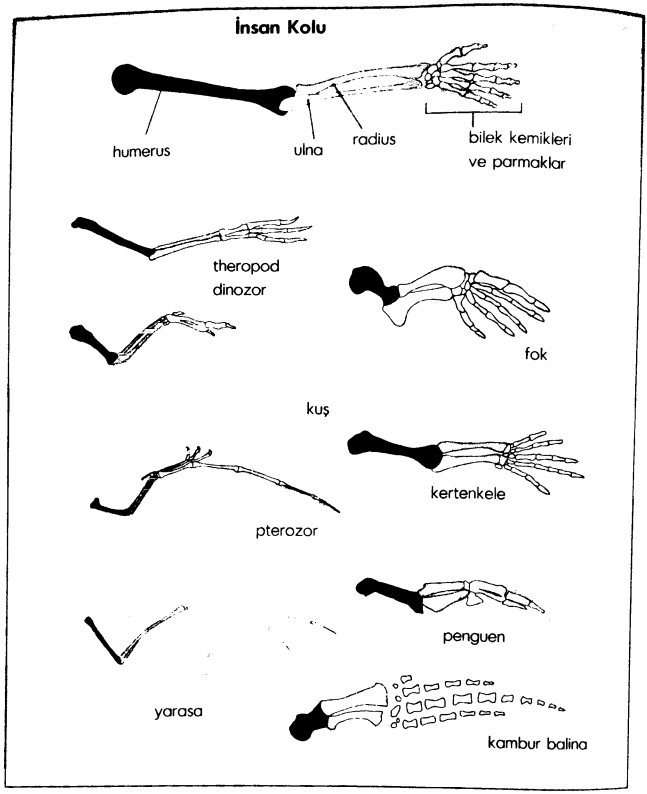
Elin içini ilk gördüğünüzde sizi bir anda çarpan şey, elin bu sıkıştırılmış, "özlü" yapısıdır. Avuç içinin başparmak hizasındaki kabartısında (tenar kabartı) dört farklı kas vardır. Başparmağınızla daire çizip elinizi yana doğru büktüğünüzde on farklı kas ve en az altı farklı kemik birbiriyle uyum içinde hareket eder. Bilekte, birbirine karşıt hareket eden en az sekiz küçük kemik vardır. Bileğinizi büktüğünüzde, önkolunuzdan başlayıp kas kirişlerine (tendon) uzanan ve bu kirişler aracılığıyla önkol boyunca inerek elinizde sonlanan pek çok kas harekete geçer. En basit harekette bile, dar bir alana sığışmış pek çok parça, karmaşık bir şekilde karşılıklı hareket eder.

Ellerimizin, insan oluşumuzdan ayrı düşünülemeyecek bu

karmaşıklığı, bilimcileri her zaman büyülemiştir. 1822'de, ünlü İskoçyalı cerrah Sir Charles Bell, elin anatomisi üzerine klasik eserini kaleme almıştı. Kitabın başlığı her şeyi anlatıyordu: *Özlü Tasarımıyla Elin Mekanizması ve Tanrı Vergisi Yaşamsal Yetenekleri.* Bell'e göre elin yapısı "kusursuz"du; çünkü karmaşıktı ve yaşayış şeklimize tümüyle uygun biçimde, ideal bir düzenlenme gösteriyordu. Bell, bu kusursuz tasarımın ancak ilahi bir yaratıcının eseri olabileceğini düşünüyordu.

İnsan vücudunda ilahi düzen arayan öncü bilimcilerden biri de büyük anatomist Sir Richard Owen'dı. Dünyanın uzak köşelerinde, halen keşfedilecek yepyeni hayvan türlerinin olduğu bir çağda, 1800'lerin ortalarında yaşayan bir anatomi uzmanı olduğu için şanslıydı Owen. Dünyamn giderek daha büyük bir bölümünü keşfe çıkan Batılı insanlar, buldukları her türlü egzotik canlıyı da laboratuvar ve müzelere taşıyorlardı. İlk gorilin tanımı, Orta Afrika seferinden dönüşte yanında getirdiği gorille Owen tarafından yapılmıştı. Yine Owen, İngiltere'de kayalıklarda keşfedilen yeni bir tür canlı fosiline, kendi bulduğu "dinozor" adını vermişti. Bu tuhaf, yeni yaratıklar üzerinde yaptığı incelemeyle Owen farklı bir anlayış kazanmış, düzensiz görünen bu canlı çeşitliliğinde önemli bazı örüntüleri tespit etmeye başlamıştı.

Owen, kollarımızla bacaklarımızın, ellerimizle ayaklarımızın, daha geniş kapsamlı bir plana uyduğunu keşfetti. Kendinden önceki anatomi uzmanlarının uzunca bir süredir görüp de fark etmediği bir şeyi, insan kolunun iskeletinin belirli bir modele uyduğunu fark etti: Üst kolda bir kemik, önkolda iki kemik, bilekte dokuz minik kemikten oluşan bir küme ve parmakları oluşturan çubuk şeklinde beş kemik. İnsan bacağındaki kemikler de hemen hemen aynı modele uyuyordu: bir-kemik, iki-kemik, çok sayıda yuvarlak-kemik ve beş ayak parmağı. Bu modeli, dünyadaki çeşitli iskeletlerle karşılaştıran Owen, son



Üyelerin hepsindeki ortak plan: bir kemik, ardından iki kemik, sonra küçük yuvarlak kemikler, sonra da parmaklar.

derece önemli bir keşifte bulundu.

Owen'in dehası, çeşitli iskeletleri birbirinden farklı kılan özellikler üzerinde yoğunlaşmasında değildi. Owen'in bulduğu ve sonraları bir dizi konferans ve kitapla tanıtıp anlattığı gerçek şuydu: Kurbağadan insana kadar birbirinden farklı canlılar arasında *olağanüstü benzerlikler* vardı. İster bacak, ister kanat, yüz-

geç ya da el olsun, üyeli canlıların hepsinde ortak bir tasarım söz konusuydu. Kolda (humerus) ya da bacaktaki (femur) bir-kemik, iki-kemikle eklemleniyor, bu iki-kemik, bir dizi minik yuvarlak kemikle birleşiyor, onlar da el veya ayak parmaklarına bağlanıyordu. Bu model, üyelerin (kol, bacak, kanat, yüzgeç gibi) hepsinin temelini oluşturuyordu. Bir yarasa kanadı mı yapmak istiyorsunuz? Parmakları iyice uzatın. At mı yapmak istiyorsunuz? Orta parmakları ve başparmağı uzatın, dışta kalan parmakları kısaltın ve kaldırın. Kurbağa bacağı mı? Bacak kemiklerini uzatın ve birkaçını birleştirin. Canlılar arasındaki farklılık, aslında kemiklerin şekil ve büyüklüklerindeki, yuvarlak kemiklerin, el ve ayak parmaklarının sayısındaki farklılıklardır. Üyelerin işlev ve görünüşleri birbirinden tamamen farklı da olsa, hepsinin temelinde bu model yatar.

Üyelerdeki ortak planı fark etmek, Owen için sadece işin başıydı. Kafatası ve omurgaları incelediğinde, hatta vücut planının bütününe baktığında, yine aynı şeyi buldu. Hayvanların hepsinin iskeletinin temel bir tasarımı vardı. Kurbağalar, yarasalar, insanlar ve kertenkeleler, hepsi de tek bir temanın varyasyonlarından ibaretti. Owen'e göre bu tema, Yaratıcı'nın planıydı.

Owen, *Üyelerin Yapısı Üzerine* adlı klasik incelemesinde bu gözlemini aktardıktan kısa bir süre sonra Charles Darwin, buna harika bir açıklama getirmişti: Yarasa kanadıyla insan kolunun iskelet modeli ortaktı, çünkü ortak bir atadan geliyorlardı. İnsan koluyla kuş kanadı, insan bacağıyla kurbağa bacağı -üyeli canlıların hepsi- için de aynı çıkarım geçerlidir. Owen'in kuramı ile Darwin'in kuramı arasında önemli bir fark vardır: Darwin'in kuramı, bize çok kesin tahminlerde bulunabilme imkânı tanır. Darwin'in kuramına göre düşünecek olursak, Owen'in modelinin, hiç üyesi olmayan canlılarda da açığa çıkan bir geçmişi olmalıdır. O halde, üye modelinin geçmişini nerede arayacağız? Balıklarda ve yüzgeç iskeletlerinde.

BALIĞI GÖRÜYORUZ

Owen ve Darwin'in zamanında, yüzgeçlerle üyeler arasındaki ayrım, kapanması imkânsız bir uçurum gibi görünüyordu. Balık yüzgeçleriyle üyeler arasında görünürde bir benzerlik yoktu. Dışarıdan bakıldığında çoğu balık yüzgeci büyük ölçüde perdeliydi. Oysa ne bizim, ne de günümüzün başka canlılarının üyeleri bu yüzgeçlere benzer. Perdeli yüzgeci kaldırıp içerideki iskelete de baksanız, benzerlik bulmanız kolay değildir. Balıkların çoğunda, Owen'in bir-kemik, iki-kemik, birçok yuvarlak kemik-parmak modeline uyacak bir şey yoktur. Üyelerin hepsinin gövdeden çıkan kısımlarında tek bir uzun kemik vardır: üst kolda humerus ve üst bacakta, yani uylukta femur. Balık iskeleti ise, bundan tamamen farklı görünür. Tipik bir yüzgecin gövdeden çıktığı "taban" kısmında, içeride dört veya daha fazla sayıda kemik vardır.

1800'lerin ortalarında, anatomi bilginleri, Güney Yarımkürede yaşayan esrarengiz balıklar keşfetmeye başladılar. İlk keşfedilen balıklardan biri, Alman anatomistler tarafından Güney Amerika kıtasında bulunmuştu. Yüzgeçleri ve pullarıyla normal bir balığa benziyordu, ama gırtlağının gerisinde büyük, damarlı keseler, yani akciğerler vardı. Ama pulları ve yüzgeçleri de vardı. Kâşiflerinin kafaları öylesine karışmıştı ki bu canlıya, "akla aykırı pullu amfibi" anlamına gelen *Lepidosiren paradoxa* adını verdiler. Çok geçmeden, Afrika ve Avustralya'da, akciğerli başka balıklar bulundu. Afrika kâşifleri, bu balıklardan birini Owen'a getirdi. Thomas Huxley ve anatomist Carl Gegenbaur gibi bilimciler, akciğerli balığın aslında bir amfibi-balık melezi olduğunu keşfederken, yöre halkı da balığın lezzetli olduğunu keşfetmişti.

Bu balıkların yüzgeçlerindeki görünüşte önemsiz bir özellik, bilim dünyasını temelinden sarstı. Akciğerli balığın yüzgecinin gövdeden çıktığı kısmında, omuza bağlı tek bir kemik vardı.

Anatomistlere göre benzerlik apaçık ortadaydı. Üst kolumuzda tek bir kemik vardı ve bu tek kemik, yani humerus, omzumuzla birleşiyordu. Akciğerli balık, humeruslu bir balıktı. Ayrıca ilginç olan, bunun sıradan bir balık değil, akciğerli bir balık oluşuydu. Bu bir tesadüf müydü?

1800'lerde bu canlı türünden keşfedilen bir avuç örnek hakkındaki bilgi birikimi artarken, başka bir kaynaktan da ipuçları gelmeye başladı. Tahmin edebileceğiniz gibi bu kaynak, tarihöncesi balıklardı.

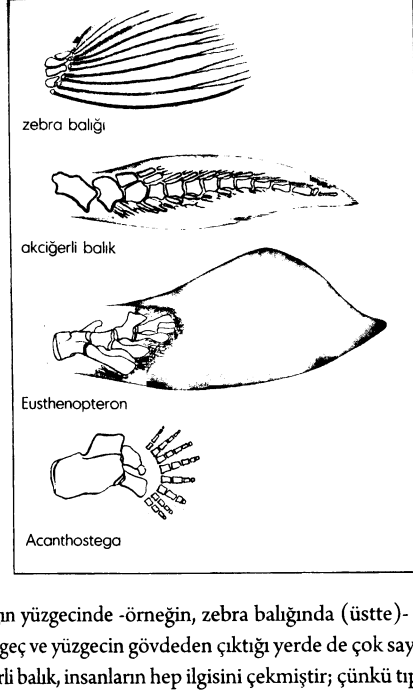
Quebec'te Gaspe Yarımadası sahilindeki kayalardan çıkarılan ilk fosillerden biri, yaklaşık 380 milyon yaşındaydı. Bu balığa, telaffuzu zor bir isim verilmişti: *Eusthenopteron*. *Eusthenopteron*, amfibi ve balıklarda görülen özelliklerin ilginç bir karışımıydı. Owen'in, bir-kemik, iki-kemik, birçok yuvarlak kemik-parmaktan oluşan üye modelinin, bir-kemik ve iki-kemik bölümüne sahipti; ama bunu taşıdığı yer, yüzgeciydi. Öyleyse, bazı balıklarda, bir üyeninkine benzeyen yapılar vardı. Owen'in arketipi, ilahi ve ebedi değildi. Bir geçmişi vardı ve bu geçmiş, 390 milyon ila 360 milyon yıllık kayalarda, yani Devoniyen dönemi kayalarında bulunacaktı. İşte bu derin anlayışla, yepyeni bir araştırma gündemiyle yepyeni bir araştırma programı ortaya çıktı. Devoniyen kayalarında bir yerlerde, el ve ayak parmaklarının kökenini bulmalıydık.

1920'lerde, bu kayalardan başka sürprizler de çıktı. İsveçli genç paleontolog Gunnar Säve-Söderbergh, Grönland'ın doğu kıyısında fosil aramak için harika bir fırsat yakalamıştı. Bu bölge henüz hiç keşfedilmemişti ("terra incognita"), ama Säve-Söderbergh, bölgenin muazzam bir Devoniyen kaya zenginliğine sahip olduğunu fark etti. Eşine ender rastlanan, en iyi saha paleontologlarından biri olan Säve-Söderbergh, gözüpek kâşif ruhuyla ve ayrıntıları kaçırmayan keskin dikkatiyle, kısacık kariyerinde olağanüstü fosilleri gün ışığına çıkarmıştı (Ne yazık ki,

saha keşif seferleriyle parlak başarılar kazandıktan kısa bir süre sonra, genç yaşta tüberkülozdan ölecekti). 1929-1934 arasında gerçekleştirdiği seferlerde Säve-Söderbergh'in ekibinin yaptığı keşif, o zamanlar önemli bir kayıp halka olarak nitelendirilmişti. Tüm dünya basınında büyük yankı uyandıran keşif, başyazılara hatta karikatürlere bile konu oldu. Söz konusu fosiller gerçekten de birer "mozaik"* gibiydi: Kafaları ve kuyrukları balığınkine benziyordu, ama aynı zamanda tam oluşmuş üyeleri (el ve ayak parmaklı) ve bir amfibininkine şaşılacak derecede benzeyen omurları vardı. Säve-Söderbergh öldükten sonra, bu fosilleri, meslektaşı Erik Jarvik tanımlayıp sınıflandırdı ve arkadaşının onuruna, yeni türlerden birine onun adını verdi: *Ichthyostega soderberghi.*

Bizim içinse, Ichthyostega biraz hayal kırıklığı demekti. Başı ve sırtının pek çok özelliğiyle son derece önemli bir ara halka olduğu doğruydu; ama el ve ayak parmakları olan diğer amfibiler gibi o da, üyelerin kökenine ilişkin pek bir şey söylemiyordu. Daha önce Säve-Söderbergh duyurduğu zaman pek ilgi çekmeyen başka bir canlı ise, yıllar sonra gerçekten önemli şeyler söyleyecekti. Yine üyeli olan bu ikinci hayvan, size birinci bölümde sözünü ettiğim paleontolog meslektaşım Jenny Clack 1988'de, Säve-Söderbergh'in kazı yerine gidip bu hayvana ait başka fosiller buluncaya kadar, bir muamma olarak kalmıştı. 1920'lerde Säve-Söderbergh'in bulduğu parçalardan yola çıkılarak *Acanthostega gunnari* adı verilen bu canlı, şimdi el ve ayak parmaklarıyla birlikte üyeleri eksiksiz olarak ortaya çıkarılmıştı. Üstelik bir de sürprizi vardı: Jenny bu üyenin, tıpkı bir fokunki gibi, yüzgeç şeklinde olduğunu fark etti. Bu da ona, ilk üyelerin hayvanın yürümesine değil, yüzmesine yardımcı olmak için çıktığını düşündürdü. Bu anlayış son derece önemli bir ilerleme

* Mozaisizm, aynı canlının içinde, genetik bileşenleri farklı olan hücre ve dokuların bulunması durumudur (ç.n.).



Çoğu balığın yüzgecinde -örneğin, zebra balığında (üstte)- büyük oranda perdeli yüzgeç ve yüzgecin gövdeden çıktığı yerde de çok sayıda kemik vardır. Akciğerli balık, insanların hep ilgisini çekmiştir; çünkü tıpkı bizde olduğu gibi, bu uzantının tabanında tek bir kemik vardır. *Eusthenopteron* (ortada), bize, yüzgeçlerden kollara geçişteki eksikliğin fosillerle nasıl kapanmaya başladığını gösterdi; bizim üst kolumuza ve önkolumuza karşılık gelen kemikleri vardı. *Acanthostega*'nın (altta) el ve ayak parmakları vardı, yine de üyesinin taban kısmında, kemik dizilişi bakımından *Eusthenopteron*-unkine benzeyen bir iskelet vardı.

demekti, ama sorun henüz çözülmemişti: *Acanthostega*, gerçek bir bilek ve perdesiz parmaklarıyla oluşumunu tamamlamış üyelere sahipti. *Acanthostega*'nın, ilkel de olsa üyeleri vardı. Ellerin ve ayakların, el ve ayak bileklerinin kökeni bulmak için, zamanda daha gerilere uzanmak gerekecekti. Durum, 1995'e kadar işte böyleydi.

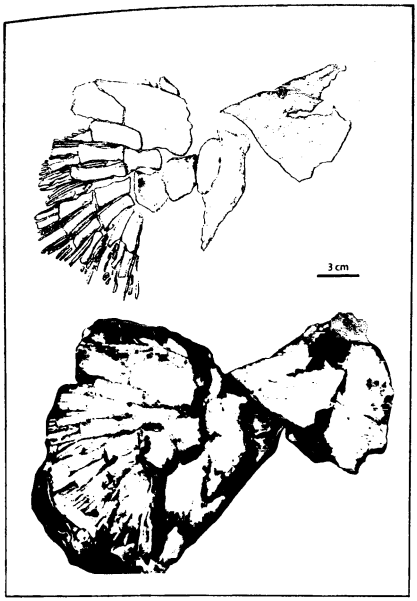
BALIK PARMAKLARI VE BİLEKLERİ BULUNUYOR

1995 senesiydi. Bir gün Ted Daeschler ile birlikte, karayolu açmak için kesilen yeni kayalar bulma ümidiyle orta Pennsylvania'yı boydan boya otomobille geçmiş, sonra onun Philadelphia'daki evine yeni dönmüştük. Williamsport'un kuzeyindeki 15 numaralı otobanda, PennDOT'un yaklaşık 365 milyon yıllık kumtaşı kayaçlarında açtığı devasa bir uçurumun olduğu bölgede, kesilmiş güzel bir kaya bulmuştuk. PennDOT bu kayalığı dinamitleyince karayolunun yanma iri kaya parçaları yığılmıştı. Burası, bizim fosil avımız için biçilmiş kaftandı. Durup çoğu küçük bir mikrodalga fırın büyüklüğündeki bu kaya yığınlarının arasma daldık. Bazı kayaların her tarafına balık pulları serpilmiş durumdaydı. Bir kısmını Philadelphia'ya götürmeye karar verdik. Ted'in evine dönünce, dört yaşındaki kızı Daisy, babasını görmek için hemen koşarak dışarı fırladı ve ne bulduğumuzu sordu.

Daisy'ye iri kaya parçalarından birini gösterirken birden iri bir balığa ait bir yüzgeç kıymığının, taştan dışarı çıktığını fark ettik. Sahadayken hiç dikkatimizi çekmemişti. Sonradan anlayacağımız gibi bu, kesinlikle sıradan bir balık yüzgeci değildi; içinde pek çok kemik olduğu kesindi. Laboratuvardakiler bu yüzgeci kaya parçasından çıkarmak için bir ay uğraştılar. Sonunda ortaya çıkan, Owen'in modeline uygun bir balıktı. Gövdeye en yakın bölgede bir kemik vardı. Bu tek kemik, iki kemiğe bağlıydı, yüzgeçten de çubuk şeklinde sekiz kemik çıkıyordu. İşte bu gerçekten de parmakları olan bir balığa benziyordu.

Yüzgecimizin perdeleri, pulları tamdı, hatta balıksı bir omzu vardı. Ama iç kısımda büyük ölçüde "standart" üyeye uyan kemikler yer alıyordu. Ne yazık ki, elimizde sadece bir yüzgeç vardı.

Yapmamız gereken, bu canlıların vücutlarını bütün ve



İşte bizi boşuna umutlandıran yüzgeç. Maalesef, bir tek bu örneği bulmuştuk. Yukandaki çizim, Arcadia Üniversitesi'nden Scott Rawlins'in izniyle kullanılmıştır. Fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir.

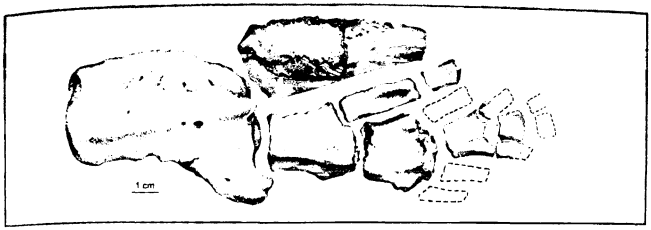
bozulmamış haliyle bulup çıkarabileceğimiz bir yer bulmaktı. Tek bir yüzgeçle, asıl sorulara hiçbir zaman cevap bulamazdık: Bu canlı, bu yüzgecini ne için kullanıyordu? Bu balık yüzgeçlerinde, bizdekiyle aynı işi gören kemikler ve eklemler var mıydı? Bu soruların cevaplarını, ancak eksiksiz iskeletlerde bulabilirdik.

Böyle bir iskelet bulmak için on yıl uğraşmamız gerekecekti. Üstelik bulduğumuzun ne olduğunu ilk fark eden ben değil, iki profesyonel fosil hazırlayıcısıydı: Fred Mullison ve Bob Masek. Fosil hazırlayıcıları, sahada bulduğumuz kayaları kazıyıp içlerindeki fosilleri açığa çıkarmak için dişçilik aletleri kullanırlar.

Bir fosil hazırlayıcısının, bizimki gibi fosil dolu büyük bir kaya parçasını, araştırılacak kalitede bir örneğe dönüştürmesi aylarca, hatta yıllarca sürebilir.

2004 keşif seferi sırasında Ellesmere Adası'ndan, Devoniyen döneme ait ve her biri sırt çantası büyüklüğünde parçalardan oluşan üç külçe kaya topladık. Her birinin içinde, yassı kafalı bir hayvan vardı: taş ocağının dibinde buzun içinde bulduğum bir örnek, Steve'in örneği ve bir de keşif seferinin son haftasında bulduğumuz üçüncü örnek. Sahadayken, üçünün de baş kısımlarını açığa çıkarmış ve gövdelerinin kalan kısmının laboratuvarda incelenebilmesi için etraflarında, zarar görmelerini önleyecek kadar taş bırakmıştık. Dönüş yoluna çıkmadan önce de kayaları plasterle sarıp sarmalamıştık. Laboratuvarda bu bantlar çıkarılırken bir zaman makinesiyle yolculuk yapıyormuş gibi hissedersiniz. Kuzey Kutbu tundralarında yaşadıklarımızın izleri, saha notları ve örnek üzerine çiziktirdiklerimiz her şey oradadır. Hatta plasterler çözüldükçe paketlerden tundraların kokusu bile yayılır.

Fred Philadelphia'da, Bob da Chicago'da, aynı zamanlarda, farklı kaya parçalarını kazımakla meşguldüler. Bob, Kuzey Kutbu'na ait bu büyük parçalardan birinden, balığın (o zaman henüz *Tiktaalik* adını vermemiştik) büyük yüzgecindeki küçük bir kemiği çekip çıkarmıştı. Küp şeklindeki bu minik kemik kütlesini diğer yüzgeç kemiklerinin hepsinden farklı kılan özellik, ucunda dört kemik daha alabilecek boşluklara sahip bir ekleme olmasıydı. Yani bu minik kemik kütlesi, ürkütücü derecede bilek kemiğine benziyordu. Ancak, Bob'un hazırlamakta olduğu bu bloktaki yüzgeçler öyle karışık bir haldeydi ki kesin bir şey söylenemezdi. Bir hafta sonra Philadelphia'dan başka bir kanıt geldi. Dişçilik aletleri kullanan bir sihirbaz olan Fred, kendi bloğu içinden tam bir yüzgeç açığa çıkarmıştı. Yüzgeçte doğru yerde, yani önkol kemiklerinin tam ucunda, "o" kemik



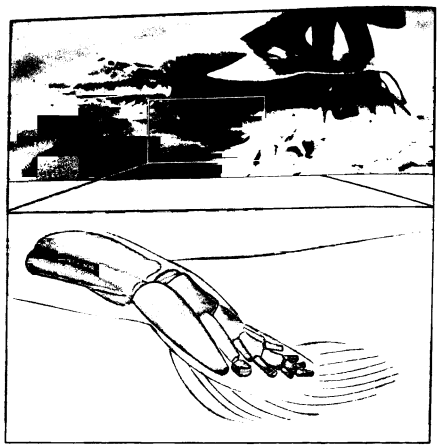
Tiktaalik'in, yani bilekli balığın ön yüzgeç kemikleri.

vardı. Ve *o* kemik, uca doğru dört kemiğe bağlıydı. Vücudumuzdaki bir parçanın, 375 milyon yıllık bu balığın içinde duran kökenine hayretle bakakalmıştık. Elimizde, bileği olan bir balık vardı.

Sonraki aylarda, bu uzantının kalan kısmını da büyük oranda görebildik. Bu yapı kısmen yüzgeç, kısmen koldu. Balığımızın perdeli yüzgeci vardı, ama iç kısmı, Owen'in birkemik, iki-kemik, çok sayıda küçük yuvarlak kemik-parmak dizilişinin ilkel bir versiyonuydu. Tıpkı Darwin kuramımn öngördüğü gibi doğru zamanda, doğru yerde, bariz bir şekilde birbirinden farklı iki hayvan türü arasındaki ara halkaları bulmuştuk.

Bu yüzgecin bulunması, keşfin sadece başlangıcıydı. Ted, Farish ve benim için asıl eğlence, yüzgecin ne işe yaradığını, nasıl çalıştığını anlamaya ve bilek ekleminin gerçekte neden ortaya çıktığını tahmin etmeye çalışırken başladı. Bu bilmecelerin çözümleri, aslında bu kemiklerin ve eklemlerin yapılarında saklıdır.

Tiktaalik'in yüzgecini parçalarına ayırınca, gerçekten tuhaf bir şey bulduk: Eklem yüzeylerinin hepsi de son derece iyi korunmuş haldeydi. *Tiktaalik*'in, insandaki üst kol, önkol ve bilekle aynı kemiklerden oluşan bir omzu, dirseği ve bileği var. Bir kemiğin, karşısındaki başka bir kemikle ilişkili olarak nasıl



Tiktaalik'in vücudunun gerçek boyutlarına göre yapılmış modeli (üstte) ve yüzgecine ait bir çizim (altta). Yüzgeç kemikleri, gerçek kemiklerin birebir kopyalarıdır. Omzu, dirseği ve ilkel bileğiyle şınav çekme yetisine sahip bir yüzgeç.

hareket ettiğini anlamak için bu eklemlerin yapısını incelediğimizde gördük ki *Tiktaalik*, olağandışı diyebileceğimiz bir işlev için özel tasarlanmıştı: Şınav çekebiliyordu!

Şınav çekerken ellerimizi yere yaslar, dirseklerimizi büker ve aşağı-yukarı hareket edebilmek için göğüs kaslarımızdan yararlanırız. *Tiktaalik*'in vücudu bunların hepsini yapabiliyordu. Dirseği bizimki gibi bükülebiliyor, ayrıca bileği de "avuç içi" yere yaslanacak şekilde bükülebiliyordu. Göğüs kaslarına gelince, *Tiktaalik*'in muhtemelen fazlasıyla göğüs kası vardı. Omzuna ve kol kemiğinin omzuna bağlı olduğu kısmın altına baktığımızda, iri göğüs kaslarının tutunduğu yerde büyük kabartılar ve yara izleri bulduk. *Tiktaalik*, belli ki sıkı bir şınavcıydı.

Bir balık neden şınav çekmek isterdi ki? Bunu, hayvanın vücudunun diğer kısımlarına bakarsak anlayabiliriz. Yassı kafa-

sı, tepedeki gözleri ve kaburgalarıyla *Tiktaalik*, muhtemelen yerde ve sığ sularda ya da göllerde sürünmek, hatta kıyılarda, gelgitlerin yığdığı çamurlara batıp çıkmak üzere tasarlanmıştı. Gövdeyi kaldırabilecek kabiliyetteki bu yüzgeçlerin, bu tür ortamlarda manevra yapmak zorunda olan bir balığa gerçekten çok yararı olmuş olsa gerek. Bu açıklama aynı zamanda, *Tiktaalik* fosilini bulduğumuz yerin jeolojisine de uygun düşüyor. Kaya katmanlarının yapısı ve kayaların kendi içlerindeki taneciklerin düzenlenişi, geniş mevsimsel çamurluklarla çevrili sığ bir akarsuyun oluşturduğu bir birikintinin imzasını taşıyor.

Peki ama bu canlı neden böyle bir çevrede yaşamayı seçsin? Hangi çılgın balık, sudan çıkıp da kıyılarda yaşar? Bunu bir düşünelim: 375 milyon yıllık sularda yüzen balıkların hemen hepsi bir tür avcıydı. Bazılarının boyu 5 metreye yakındı; yani en iri *Tiktaalik*'in boyunun iki katı. *Tiktaalik*'in yanı başında bulduğumuz en yaygın balık türleri, 2 metre boyundaydı ve başları bir basket topu büyüklüğündeydi. Dişleri, demiryolu çivisi büyüklüğünde ve kanca şeklindeydi. Bu tarihöncesi sularda siz yüzmek ister miydiniz?

Bunun, balıkların birbirini yediği bir dünya olduğunu söylemek abartılı olmaz. Bu ortamda hayatta kalabilmenin yolu gayet açık: irileşmek, silahlanmak ya da sudan çıkmak. Uzak geçmişteki atalarımız savaşmaktan kaçmış gibi gözükmektedir.

Yine de, bu kavgadan kaçışın bizim için anlamı çok daha büyük. Kol ve bacaklarımızdaki (üyelerimizdeki) pek çok yapının izini, bu balıkların yüzgeçlerine kadar sürebiliriz. Bileğinizi öne ve geriye doğru bükün. Elinizi açıp kapayın. Bu hareketleri yaptığınızda, *Tiktaalik* gibi balıkların yüzgeçlerinde ilk ortaya çıkan eklemleri kullanmış olursunuz. Bu eklemler, *Tiktaalik*'ten önce yoktu. Sonradan da onları kollarda bulduk.

Tiktaalik'ten amfibilere, oradan memelilere yol aldığımızda çok açık bir gerçekle karşı karşıya kalıyoruz: Bizdeki üst kol,

önkol, hatta bilek ve el kemiklerine sahip ilk canlı, aynı zamanda pullu ve perdeli yüzgeçliydi. Bu canlı, bir balıktı.

Öyleyse, Owen'in Yaratıcı'ya atfettiği bir-kemik, iki-kemik, çok sayıda küçük yuvarlak kemik-parmak planı ne anlama geliyor? Akciğerli balık gibi bazı balıklarda, üyenin çıktığı yerde tek kemik vardır. Öbür balıklarda, örneğin *Eusthenopteron*'da, bir-kemik ve iki-kemik düzeni geçerlidir. Bir de, *Tiktaalik* gibi bir-kemik, iki-kemik ve çok sayıda yuvarlak kemikli canlılar vardır. Kol ve bacaklarımızın (üyelerimizin) içinde tek bir balık değil, komple bir akvaryum saklıdır. Owen'in modeli, balıklarda anlam kazamyordu.

Tiktaalik, belki şınav çekebiliyordu, ama basket atamaz, piyano çalamazdı ya da iki ayağı üzerinde doğrulup yürüyemezdi. *Tiktaalik*'ten insanlığa uzanan yol çok uzundur. Önemli ve hayret uyandıran gerçek şu ki insanların yürürken, bir şey fırlatırken ya da bir şey tutarken kullandığı belli başlı kemikler ilk kez, on ila yüz milyonlarca yıl önce, hayvanlarda ortaya çıkmıştır. Üst kolumuzun ve bacağımızın ilk parçaları, *Eusthenopteron* gibi 380 milyon yıllık balığın içindedir. *Tiktaalik*, bileğimizin, avuç içimizin ve parmaklarımızın evrimindeki ilk evreleri açığa çıkardı. İlk gerçek el ve ayak parmakları, *Acanthostega* gibi 365 milyon yıllık amfibilerde; insanın el ve ayak bileklerinde görülen kemikler de tam takım halinde, 250 milyon yılı aşkın bir süre önce yaşamış sürüngenlerde görülür. El ve ayak iskeletimizin genel yapısı, yüz milyonlarca yıl önce ilk defa balıklarda, sonra da amfibi ve sürüngenlerde ortaya çıkmıştı.

Öyleyse ellerimizi kullanabilmemizi ya da bacaklarımızın üzerinde doğrulup yürüyebilmemizi mümkün kılacak hangi büyük değişiklikler olmuştu? Bu değişiklikler nasıl gerçekleşmişti? Kimi cevapları bulabilmek için üyelerle ilgili iki basit örneği ele alalım.

Diğer pek çok memeli gibi biz insanlar da, dirseğimizi refe-

rans alarak, yani dirseğimizi sabit tutarak elimizi çevirebiliyoruz. Bu basit işlev, gündelik hayatta ellerimizi kullanırken çok önemlidir. Elinizi, dirseğe referansla oynatmadan yemek yemeğe, yazmaya ya da basket atmaya çalıştığınızı düşünün. Bu hareketleri yapabilmemizi sağlayan, dirsek eklemindeki bir eksen etrafında dönen bir önkol kemiğidir, yani radius kemiği. Dirsekteki eklemin yapısı, bu işleve uygun olarak mükemmel bir şekilde tasarlanmıştır. Üst kol kemiğinin, yani humerus'un alt ucunda küçük bir küre vardır. Radius'un buraya bağlanan ucunda da bu küreye uyan, küçük ve düzgün bir yuva yer alır. Bu "top-yuva eklemi" sayesinde, üst kolumuzu oynatmadan elimizi içe dışa döndürebiliyoruz. Eli bu şekilde içe ve dışa döndürme hareketlerine sırasıyla "pronasyon" ve "supinasyon" denir. Peki, bu kabiliyetin kökenlerini nerede görüyoruz? *Tiktaalik* gibi canlılarda. *Tiktaalik*'te, humerus'un ucu uzunlamasına bir çıkıntı oluşturur, radius'un çukurlu eklem yüzeyi de bunun üzerine yerleşir. *Tiktaalik* dirseğini büktüğünde radius'un ucu, dirseğe referansla içe dönecektir (pronasyon). Bu kabiliyetin, amfibi ve sürüngenlerde incelik kazandığını görürüz. Bu canlılarda humerus'un ucu, tıpkı bizdeki gibi tam bir küreye dönüşmüştür.

Arka üyelere baktığımızda ise, diğer memelilerle de paylaştığımız ve bize yürüme kabiliyeti kazandıran son derece önemli bir özellikle karşılaşırız. Balıkların ve amfibilerin aksine, dizlerimiz ve dirseklerimiz aksi yönlere dönüktür. Bu özellik son derece önemlidir: Dizkapaklarınız geriye dönükken yürümeye çalıştığınızı düşünün. Diz ve dirseğe karşılık gelen eklemlerin büyük ölçüde aynı yöne dönük olduğu *Eusthenopteron* gibi balıklarda ise çok farklı bir durum söz konusudur. Ancak, gelişimimizin erken dönemlerinde henüz küçük olan üyelerimiz, *Eusthenopteron*'dakine benzer bir konum sergiler; dirsek ve dizler aynı yöne bakmaktadır. Anne karnında gelişirken, bu eklem-

ler, çağımız insanında gözlediğimiz hareketleri yapabilmemize imkân sağlayacak şekilde döner.

Tiktaalik gibi yere uzanır pozisyonda hareket eden yaratıkların aksine, insanoğlunun iki ayağı üzerindeki yürüyüşü, kalça, diz, ayak bileği ve ayakta dik dururken bizi ileri doğru hareket ettiren ayak kemikleri sayesinde gerçekleşir. Önemli tek büyük fark, kalçamızın duruşudur. Bacaklarımız timsah, amfibyum ya da balıklar gibi gövdemizin yanlarından çıkmaz; gövdemizin altından çıkar. Vücudun duruşundaki bu değişiklik, kalça eklemi, pelvis ve uyluk kısmındaki değişikliklerle ortaya çıkmıştır: pelvisimiz leğen şeklini almış, kalça oyuğumuz derinleşmiş, uyluğumuz kendine özgü bir boyun oluşturmuş, bu özelliği sayesinde gövdemizin yanından değil, altından çıkabilecek hale gelmiştir.

Tarihöncesi geçmişimize ait bu olgular, insanoğlunun, diğer canlılar arasında özel ve benzersiz bir yeri olmadığı anlamına mı geliyor? Tabii ki hayır. Aslında insanın kökenlerine dair bir şeyler bilmekle, sadece varlığımızın olağanüstülüğünü pekiştirmiş oluruz. Tüm bu sıradışı yeteneklerimiz, tarihöncesi balıkta ve diğer yaratıklarda ortaya çıkıp evrimleşen temel öğelerden doğmuş, ortak öğelerden benzersiz bir yapı ortaya çıkmıştır. Bizler, canlılar âlemindeki diğer yaratıklardan ayrı değiliz; kemiklerimize, hatta birazdan göreceğimiz gibi genlerimize kadar bu âlemin bir parçasıyız.

Geriye dönüp baktığımda, ilk kez bir balığın bileğini gördüğüm an benim için, anatomi laboratuvarına getirilen kadavranın parmağındaki sargıyı çözdüğüm an kadar anlamlıydı. İkisinde de kendi insanlığım ile başka bir varlık arasındaki derin bağları çözüyordum.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

HÜNERLİ GENLER

2004 Temmuz'unda, ben ve arkadaşlarım Kuzey Kutbu'nda ilk *Tiktaalik*'i çıkarmaya çalışırken, laboratuvarımdaki araştırmacılardan Randy Dahn da, iğneli vatozun kuzenleri tırpana ve köpekbalıklarının embriyoları üzerinde genetik deneyler yaparak Chicago'nun güney yakasında ter döküyordu. "Denizkızı çantası" olarak bilinen bu küçük siyah yumurta kılıflarına kumsalda rastlamışsınızdır. Bu "çantaların" içinde, sonradan tırpana veya vatoz embriyosuna dönüşecek olan döllenmiş yumurtalar olur. Randy, bu yumurta kılıfları içindeki embriyolarla gece yarılarına kadar deney yaparak belki de yüzlerce saat geçirmiştir. Sonraki yılları etkileyecek olan o 2004 yazında, Randy bu kılıfları alıp içindeki yumurtalara A vitamininin moleküler bir versiyonunu enjekte etmekle meşguldü. Daha sonra yumurtaları, yavru çıkana kadar, birkaç ay gelişmeye bırakacaktı.

Parlak bir bilimsel kariyer vaat eden genç bir bilimci için bile, zamanının çoğunu böyle deneylerle geçirmek tuhaf görülebilir. Neden köpekbalıkları? Neden bir A vitamini çeşidi?

Bu deneyleri anlayabilmek için, bir adım geri atıp onlardan beklentilerimize şöyle bir bakmamız gerekir. Kitabın bu bölümünde, tek bir yumurtadan bütün vücudumuzu oluşturan formüle, yani DNA'mızda yazılı formüle değinmek istiyoruz. Sperm yumurtayı döllediğinde, bu döllenmiş yumurtanın içinde, sözgelimi minik bir el yoktur. Eller, bu bir hücrenin içinde bulunan bilgiden yapılır. Bu da bizi çok daha derin bir soruya

götürüyor. Ellerimizdeki kemiklerle balık yüzgecindeki kemikleri karşılaştırmak bir şey; peki ya, ellerimizi oluşturan genetik formülle balığın yüzgecini oluşturan formülü karşılaştırmak? Bu durumda ne göreceğiz? Bu sorunun cevabını bulabilmek için, biz de tıpkı Randy'nin yaptığı gibi, ellerimizden köpekbalıklarının yüzgeçlerine, hatta sineklerin kanadına uzanan bir dizi keşfin peşinden gideceğiz.

Gördüğümüz gibi vücutlarının içinde, bizim vücudumuzun farklı ve genellikle daha basit versiyonlarını sergileyen canlıları keşfetmek bize, çok uzak geçmişi araştırmak için bulunmaz bir fırsat tanır. Ancak, fosiller üzerinde çalışırken büyük kısıtlamalar söz konusudur. Çoktan ölüp gitmiş bu hayvanlar üzerinde deney yapmamız mümkün değildir. Oysa deneyler, bazı şeyleri bilfiil yönlendirip sonuçlarını görebilmek açısından mükemmel araçlardır. Bu nedenle laboratuvarımın yarısı fosillere, diğer yarısı da DNA ve embriyolara ayrılmış durumdadır. Laboratuvarımdaki yaşam tarzı biraz şizofrenik bir karakter sergiler; *Tiktaalik* örneklerini sakladığımız kilitli dolabın hemen yanındaki dondurucuda değerli DNA numunelerimiz saklıdır.

DNA ile yapılan deneyler, içimizdeki balığı ortaya çıkarabilecek kadar büyük bir potansiyel taşır. Bir balık embriyosuna çeşitli kimyasallar uygulayıp vücudunu istediğiniz gibi değiştirecek, yüzgecinin kısmen el gibi görünmesini sağlayacak bir deney yapabilecek olsanız ne olurdu? Peki ya bir balığın yüzgecini oluşturan genlerin, ellerimizi oluşturan genlerle hemen hemen aynı olduğunu gösterebilecek olsaydınız?

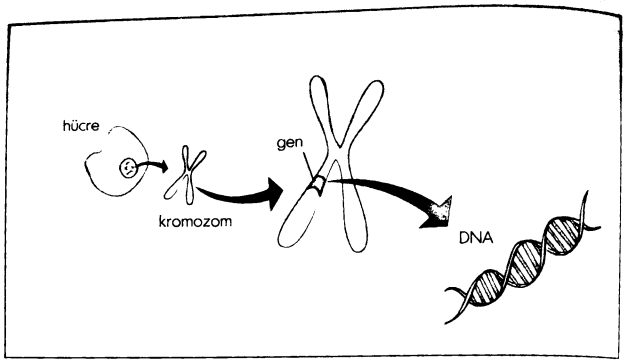
Başlangıç noktamız tam bir bilmece. Vücudumuz, yüzlerce farklı türde hücreden oluşmuştur. Dokularımıza ve organlarımıza kendine özgü biçimlerini ve işlevlerini kazandıran da bu hücre çeşitliliğidir. Kemiklerimizi, sinirlerimizi, bağırsaklarımızı vb. oluşturan hücrelerin görünümü ve işleyişi birbirinden tamamen farklıdır. Bu farklılıklara rağmen, vücudumuzdaki

hücreler aslında büyük bir benzerlik de taşır: Hepsinde de tıpatıp aynı DNA bulunur. Eğer vücudumuzun, dokularımızın ve organlarımızın yapılış bilgisi DNA'da saklıysa, o zaman nasıl oluyor da kas, sinir ve kemik hücreleri kadar birbirinden farklı hücrelerdeki DNA hep aynı?

Cevap, her bir hücrede hangi DNA parçalarının (genlerin) devreye girdiğinde yatıyor. Bir deri hücresi, bir sinir hücresinden farklıdır; çünkü deri hücresinde etkin olan genlerle sinir hücresinde etkin olan genler farklıdır. Bir gen devreye sokulduğu, yani 'açıldığı' zaman o hücrenin neye benzeyeceği ve ne yapacağında etkili olacak bir protein oluşturur. Dolayısıyla, gözdeki bir hücrenin, elin kemiklerindeki bir hücreden farklı olmasını sağlayan şeyin ne olduğunu anlayabilmek için önce, her bir hücredeki ve dokudaki gen etkinliğini kontrol eden genetik açma-kapama düğmeleri, yani genetik anahtarlar hakkında bilgi sahibi olmamız gerekir.

İşte, önemli gerçek: Genetik anahtarlar, parçalarımızın yerli yerine monte edilmesine yarar. Başlangıçta, vücudumuzun yapımı için gerekli bütün DNA'yı barındıran tek bir hücreden ibaretiz. Vücudun bütününün planı, mikroskobik büyüklükteki bu tek hücrenin içinde saklı talimatlara uyulmasıyla yavaş yavaş ortaya çıkar. Her şeyi içinde barındıran bu yumurta hücresinden yola çıkıp, her şeyi yerli yerinde trilyonlarca özelleşmiş hücresiyle tam bir insana varmak için bütün gen kümelerinin, gelişim evrelerinin tam olarak doğru bir noktasında devreye sokulması ya da devreden çıkarılması gerekecektir. Tıpkı bir konçertonun çok sayıda enstrümandan çıkan tek tek notaların biraraya gelip oluşması gibi vücudumuz da, gelişim sırasında her bir hücrede açılıp kapatılan genlerin bir bileşiminden oluşur.

Genetik bilgi, vücut yapılarını anlamaya uğraşanlar için bulunmaz nimettir; zira artık farklı genlerin etkinliklerine baka-



Genler, vücudumuzdaki her bir hücrede bulunan DNA dizileridir.

rak yeni organların kökeninde ne tür değişimlerin yattığını belirleyebiliyoruz. Üyeleri ele alalım. Balık yüzgecinin gelişiminde etkili olan genlerle, insan elinin gelişiminde etkili olan genleri karşılaştırıp, yüzgeçlerle üyeler arasındaki genetik farklılıkların bir envanterini çıkarabiliriz. Böyle bir karşılaştırma bizi, bu farklılıklardan sorumlu olabilecek nedenlere, yani üyelerin ilk ortaya çıkışı sırasında değişmiş olabilecek genetik anahtarlara ulaştırabilir. O zaman, bu genlerin embriyoda ne yaptıklarını ve nasıl bir değişime uğradıklarını inceleyebiliriz. Hatta vücudun, farklı koşullar veya uyaranlar karşısında gerçekte nasıl değiştiğini görebilmek için genlerle istediğimiz gibi oynayabileceğimiz deneyler bile yapabiliriz.

Ellerimizi ve ayaklarımızı yapan genlerin hangileri olduğunu anlamak için, TV dizisi *CSI* (*Olay Yeri İnceleme*) senaryosundan bir vakayı ele alırcasına, vücuttan başlayıp içerilere doğru devam edelim. Bunun için kol ve bacaklarımızın -üyelerimizin- yapısından başlayacak, sonra bunları oluşturan dokulara, hücrelere ve genlere varıncaya dek her şeyi yakından inceleyeceğiz.

ELLERİN YAPIMI

Üyelerimiz üç boyutludur: üstü ve altı; serçe parmak ve başparmak tarafı; çıkış yeri (tabanı) ve uç kısmı vardır. Uçlardaki, yani parmaklarımızdaki kemikler, omuzlardaki kemiklerden farklıdır. Aynı şekilde, elimizin bir tarafı diğer tarafından farklıdır. Serçeparmaklarımızın şekli, başparmaklarımızınkinden farklıdır. Embriyo gelişimini araştırmadaki kutsal amacımız, üyelerimizdeki çeşitli kemikleri hangi genlerin farklılaştırdığım ve üyelerin bu üç boyutta gelişiminin hangi genlerin kontrolünde olduğunu anlamaktır. Serçeparmak, başparmaktan farklı yapan DNA parçası hangisidir? Parmaklarımızı kol kemiklerimizden farklı kılan nedir? Bu süreçleri kontrol eden genleri iyice anladığımızda, bizi oluşturan formülün de sırrına ermiş olacağız.

El parmaklarını, kol kemiklerini ve ayak parmaklarını yapan genetik anahtarların hepsi, döllenmeden sonraki üç ila sekiz hafta içinde yapacaklarını yaparlar. Üyelerin gelişimi, embriyo halindeki vücutlarımızdan minik tomurcukların çıkmasıyla baş-



Bir üyenin, bu örnekte tavuk kanadının gelişimi. Kanat iskeletinin gelişimindeki önemli evrelerin hepsi yumurta içinde gerçekleşir.

lar. Bu tomurcuklar iki haftada büyür ve uçları küçük birer kürek biçimini alır. Bu kürekçiklerin içinde, ömrümüzün sonuna kadar kullanacağımız kemik, sinir ve kaslar haline gelecek olan milyonlarca hücre bulunur.

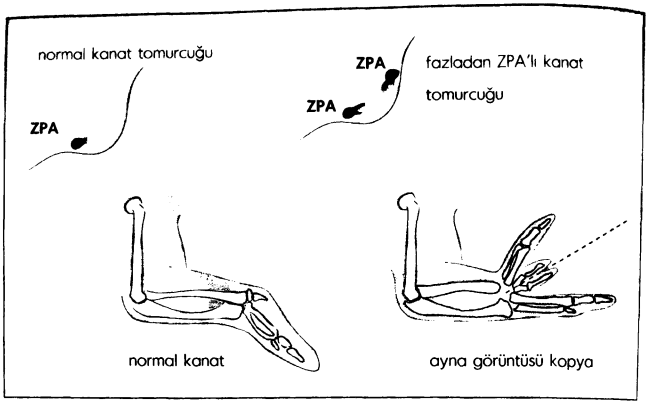
Bu sürecin nasıl işlediğini anlayabilmek için, embriyoları incelememiz ve bazen de, işler yanlış gittiğinde ne olduğunu saptayabilmek için gelişimlerine müdahale etmemiz gerekir. Ayrıca, mutantlara, mutantların iç yapılarına ve genlerine de (genellikle, dikkatli bir üretme yoluyla tamamı mutant topluluklar oluşturarak) bakmalıyız. İnsanlar üzerinde bu şekilde çalışamayacağımız ortada. Bu alandaki öncü bilimcilerin aşmaları gereken bir zorluk da, insan gelişiminin anlaşılmasında yararlı olabilecek hayvanları bulmaktı. 1930'lar ve 1940'larda üyeler üzerinde çalışan ilk deneysel embriyologlar, bu konuda sorunlarla karşılaştılar. Üyelerini gözlemleyebilecekleri ve üzerinde deneyler yapabilecekleri bir organizma bulmaları gerekiyordu. Bu embriyo, üzerinde cerrahi girişimlerde bulunabilecekleri kadar büyük olmalı, daha da önemlisi, bir muhafaza içinde, kalabalıktan ve diğer çevresel etkileşimlerden korunabileceği kapalı bir ortamda büyümeliydi. Üstelik bu embriyolar hem sayıca çok, hem de yılın her döneminde elde edilebilir olmalıydı. Bu bilimsel ihtiyacın kesin çözümü bakkalınızdadır: tavuk yumurtası.

1950'lerde ve 1960'larda, aralarında Edgar Zwilling ve John Saunders'ın da bulunduğu bazı biyologlar, iskelet modelinin nasıl oluştuğunu anlayabilmek amacıyla tavuk yumurtaları üzerinde son derece yaratıcı deneyler yaptılar. Bu bir kesip biçme dönemiydi. Embriyolar doğranıp biçiliyor, dokuları çıkarılıyor ve bunun gelişimlerine etkisi inceleniyordu. Bunun için hassas mikro cerrahi işlemlerden yararlanılıyor, kalınlığı bir milimetreyi geçmeyen doku parçalarıyla çalışılıyordu. Gelişim evresindeki üyelerin dokularıyla bu şekilde oynayan Saunders ve Zwilling

de, kuş kanadı, balina yüzgeci ve insan eli gibi farklı üyeleri oluşturan önemli bazı mekanizmaları ortaya çıkardılar.

Araştırmacılar, üyelerdeki kemik düzeninin gelişimini, aslında iki küçük doku parçasının kontrol ettiğini keşfettiler. Üye tomurcuğunun en ucundaki bir doku şeridi, üyelerin *hepsinin* gelişimi için mutlaka gerekliydi; çıkarıldığında gelişme duruyordu. Erken çıkarılacak olursa, elimizde yalnızca üst kol veya kolun bir parçası kalıyordu. Biraz daha sonra çıkarılacak olursa üye gelişimi, üst kol ve önkolda bitiyordu. Daha da geç çıkarılacak olursa, parmakların kısa ve deforme olması dışında üye gelişimi neredeyse tamamlanmış oluyordu.

İlk olarak Mary Gasseling'in, John Saunders'in laboratuvarında yürüttüğü farklı bir deney ise, bizi bu alanda önemli araştırmalara götürecek yeni bir yol açtı. Bu deneyde, gelişimin ilk evrelerindeyken, üye tomurcuğunun serçe parmağın oluşacağı tarafından alman bir doku parçası aksi tarafa, birinci parmağın oluşacağı yerin hemen altına aşılandı. Civciv gelişmeye ve kanat oluşturmaya bırakıldı. Sonuç herkesi şaşırtmıştı. Kanat gelişimi normaldi; ancak, *parmak takımının tam bir kopyası* oluşmuştu. Daha tuhaf olansa, parmakların yerleşim düzeniydi: yeni parmaklar, normal parmak takımının ayna görüntüsü şeklinde dizilmişti. Belli ki doku parçasının içindeki bir şey, belki bir molekül veya gen, parmakların yerleşim düzeninin gelişimini yönlendirebiliyordu. Bu sonuç, art arda bir dizi başka deneyle defalarca tekrarlandı ve söz konusu etkinin pek çok değişik yolla ortaya çıkabileceği anlaşıldı. Örneğin, tavuk embriyosu alınır ve üye tomurcuğuna birazcık A vitamini sürülür ya da yumurtaya A vitamini enjekte edilerek embriyo gelişmeye bırakılır. Eğer doğru evrede ve doğru konsantrasyonda A vitamini verilirse, Gasseling, Saunders ve Zwilling'in parça aşılama deneylerinde elde ettiğiyle aynı ayna görüntüsü kopya elde edilir. Aşılanan bu doku parçasına, kutuplaştırıcı etkinlik alanı



ZPA adı verilen küçük bir doku parçasının yerinin değiştirilmesi, parmakların iki kopya halinde ortaya çıkmasına neden olur.

(zone of polarizing activity - ZPA) adı verilmiştir. Bir başka deyişle ZPA, serçeparmak tarafının başparmak tarafından farklı olmasına neden olan doku parçasıdır. Tavuklarda serçe parmak ve başparmak olmadığı ortada. Kullandığımız terminoloji, serçeparmağımızın diğer hayvanların beşinci parmağına, başparmağımızın da birinci parmaklarına karşılık gelecek şekilde parmakların numaralandırılmasına dayamyor.

ZPA çok ilgi çekmişti, çünkü el ve ayak parmaklarının oluşumunu bir şekilde kontrol eder görünüyordu. Ama nasıl? Bazı bilimciler, ZPA içindeki hücrelerin, daha sonra bütün üyelere yayılarak hücrelere farklı parmaklar yapmaları talimatı veren bir molekül oluşturduğunu düşünüyordu.

Bu düşüncenin temelinde, sözü edilen adsız molekülün konsantrasyonunun bu süreçte önemli bir faktör olduğu fikri yatıyordu. Bu molekülün yüksek konsantrasyonda bulunduğu ZPA yakınındaki bölgelerde yer alan hücreler serçe parmağı, gelişim evresindeki elin aksi tarafında ve ZPA'ya uzak bölgelerdeki

hücreler de başparmağı oluşturacaktı. Ortadaki hücrelerden ise, bu molekülün konsantrasyonuna göre ikinci, üçüncü ve dördüncü parmaklar gelişecekti.

Konsantrasyonu esas alan bu görüş test edildi. 1979 yılında Denis Summerbell, ZPA parçası ile üyenin geri kalan kısmı arasına çok minik bir folyo parçası yerleştirdi. Niyeti, bu folyoyla ZPA'dan diğer tarafa herhangi bir molekülü geçirmeyecek bir bariyer oluşturmaktı. Summerbell, bu bariyerin her iki yanındaki hücrelere ne olduğunu inceledi. ZPA tarafındaki hücreler parmak oluştururken, diğer taraftakiler çoğunlukla oluşturmuyor, oluşturduklarında ise ciddi kusurlar ortaya çıkıyordu. Sonuç açıktı. ZPA'dan kaynaklanan bir şey, parmakların nasıl oluşacağını ve neye benzeyeceğini kontrol ediyordu. Bu etkeni tanımlamak için araştırmacıların DNA'ya bakmaları gerekecekti.

DNA FORMÜLÜ

Bu iş, yeni kuşak bilimcilere kaldı. ZPA'nın işleyişini kontrol eden genetik mekanizma, 1990'larda yeni moleküler teknikler kullanılabilir hale gelinceye kadar çözülemedi.

Cliff Tabin'in Harvard'daki laboratuvarı, ZPA'yı kontrol eden genlerin peşine düştü ve 1993'te önemli bir buluş gerçekleşti. Tabin'in ekibi ZPA'nın, serçe parmağı başparmaktan farklı yapabilmesini sağlayan moleküler mekanizmayı arıyordu. Ekip 1990'ların başında çalışmaya başladığı sıralarda, az önce anlattığım türden deneyler, tüm bunlara bir tür molekülün neden olduğuna inanmamızı sağlamıştı. Bu "büyük" bir varsayımdı, ama kimse bu molekülün ne olduğunu bilmiyordu. Birbiri ardına sayısız molekül öneriliyor, ama önerilen moleküllerin hiçbirinin bu işi üstlenmediği ortaya çıkıyordu. Sonunda Tabin'in ekibi, yepyeni ve bu kitabın temasına da çok uygun düşen bir fikirle çıkageldiler. Cevabı sineklerde arayacaklardı.

1980'lerde yapılan genetik deneylerle, bir hücreli yumurta-

dan bir sineğin vücudunu oluşturan kusursuz gen etkinliği düzeni ortaya çıkarılmıştı. Meyve sineğinin vücudu, başı önde ve kanatları arkada olmak üzere, önden arkaya doğru tasarlanmıştır. Sineğin gelişimi sırasında bütün gen kümeleri devreye sokulur, devre dışı bırakılır; genlerdeki bu etkinlik düzeni sayesinde sineğin farklı kısımları birbirinden ayrılmış olur.

Tabin'in o zamanlar haberi yoktu, ama iki laboratuvar daha -Andy MacMahon ve Phil Ingham'ın laboratuvarları- birbirinden bağımsız olarak aynı görüşe varmıştı. Sonuçta, bu üç ayrı laboratuvar ekibi arasında son derece başarılı bir işbirliği kuruldu. Tabin, McMahon ve Ingham'in dikkatini çeken bir sinek geni vardı. Bilimciler bu genin, vücudun bir segmentinin bir ucunun, diğer ucundan farklı olmasını sağladığını fark ettiler. Sinek genetikçileri bu gene, *kirpi* adını verdi. *Kirpi*'nin sinek gövdesindeki işlevi -bir bölgenin diğerinden farklı olmasını sağlamak- sizce de, serçe parmağı başparmaktan farklı yapan ZPA'nın işlevine benzemiyor mu? Bu benzerliği, laboratuvarların üçü de gözden kaçırmadı. Bu nedenle tavuk, fare ve balık gibi canlılarda kirpi geni aramaya koyuldular.

Ekipler sinekteki *kirpi* geninin yapısını bildikleri için, tavuklarda bu geni tarayıp bulmaya çalışırken, ne aradıklarına dair bir fikirleri vardı. Her genin kendine özgü bir diziliş sırası vardır; araştırmacılar da, birtakım moleküler araçlar kullanarak tavuk DNA'sında *kirpi* genine ait bir diziliş olup olmadığına baktılar; bir sürü deneme ve yanılmadan sonra, tavuktaki *kirpi* genini buldular.

Nasıl paleontologların yeni türlere isim verme hakkı varsa, genetikçilerin de yeni genlere isim verme hakkı vardır. Sinek genetikçilerinin keşfettikleri gene *kirpi* adını vermelerinin nedeni, mutasyonlu geni taşıyan sineklerde küçük bir kirpinin kine benzer dikenler olmasıydı. Tabin, McMahon ve Ingham bir Sega Genesis video oyunundan esinlenerek, bu genin tavuk

taki versiyonuna *Sonik kirpi* adını verdiler.

Geldik meselenin eğlenceli kısmına: *Sonik kirpi* üyelerde gerçekte ne yapıyor? Tabin'in ekibi, bu gene bağlanacak bir moleküle boya ekleyerek genin üyede etkin olduğu yerlerin görünmesini sağladılar. Sonuç, onları oldukça şaşırttı. Üyede gen etkinliğinin gözlendiği tek bölge, küçücük bir alandaki hücrelerden oluşuyordu; yani ZPA'dan.

Artık sonraki adım belliydi. *Sonik kirpi* genindeki etkinlik düzeni, ZPA dokusundakine benziyor olmalıydı. Hatırlarsanız, bir üyeye bir tür A vitamini olan retinoik asit uygulandığında, aksi tarafta bir ZPA etkinliği elde ediliyordu. Bir üyeye retinoik asit uygulandığında ne olduğunu bulursanız, geriye *Sonik kirpi*'nin etkin olacağı yerleri belirlemek kalıyor. Tıpkı retinoik asit uygulanan ZPA'da olduğu gibi, *Sonik kirpi* de her iki tarafta, yani hem serçe parmak, hem de başparmak tarafında etkin hale gelmektedir.

Tavuktaki *Sonik kirpi*'nin yapısı anlaşılınca, diğer araştırmacılara kurbağadan insana, parmakları olan öteki canlılarda da *Sonik kirpi*'yi arama yolu açılmış oldu. Üyeleri olan her hayvanda *Sonik kirpi* geni vardır. Ayrıca *Sonik kirpi*, incelediğimiz her hayvanda ZPA dokusunda etkilidir. Eğer Sonik kirpi, gelişiminizin sekizinci haftasında gerektiği gibi devreye sokulmamış olsaydı, o zaman ya fazladan parmaklarınız olurdu ya da serçe parmağınızla başparmağınız birbirine benzerdi. *Sonik kirpi* mekanizmasında sorunların ortaya çıktığı bazı durumlarda, hepsi birbirine benzeyen on iki parmaklı, kürek benzeri eller ortaya çıkar.

Artık *Sonik kirpi*'nin, doğru zamanlarda 'açılıp kapanma' yoluyla üyelerimizi tepeden parmak uçlarına kadar biçimlendirme görevi gören düzinelerce genden biri olduğunu biliyoruz. İlginçtir ki tavuklarda, kurbağalarda ve farelerde yürüttüğümüz çalışmalar da bize aynı şeyi söylüyordu. Üst kol, önkol, bilek ve

parmakları oluşturan DNA formülü, üyeleri olan her canlıda hemen hemen aynıdır.

Sonik kirpi'nin ve üyelerimizi yapan öteki DNA parçalarının izini sürmede ne kadar geriye gidebiliriz? Bu mekanizma balık yüzgeçlerinin yapımında da etkili mi? Yoksa eller, genetik bakımdan balık yüzgeçlerinden tamamen farklı mı? Kollarımızın ve ellerimizin anatomisini incelerken, "içerideki balığı" görmüştük. Peki ya onu yapan DNA hakkında ne diyebiliriz?

Bu noktada Randy Dahn ve denizkızı keseleri sahneye çıkar.

KÖPEKBALIKLARINA EL VERMEK

Randy Dahn, laboratuvarıma basit ama çok zekice bir fikirle gelmişti: Cliff Tabin'in tavuk yumurtalarına uyguladığı işlemi tırpana embriyolarına uygulamak. Randy'nin amacı, Saunders ve Zwilling'in doku aşılama işlemlerinden Cliff Tabin'in gen deneylerine kadar, tavuklarla çalışan biyologların tavuk yumurtaları üzerinde gerçekleştirdikleri tüm deneyleri, tırpanalar üzerinde gerçekleştirmekti. Tırpanalar, bir tür kabuk ve yumurta sarısından oluşan bir yumurta içinde gelişirler. Tırpana embriyoları da, tıpkı tavuklar embriyoları gibi büyüktür. Koşullar böyle elverişli olunca, tavuklar için geliştirilen genetik araçları ve deney araçlarını tırpanalara uygulayabildik.

Köpekbalığı yüzgecinin gelişimi ile tavuk bacağının gelişimini karşılaştırarak ne öğrenebilecektik? Asıl önemlisi, tüm bu deneylerden kendimiz hakkında ne öğrenebilecektik?

Saunders, Zwilling ve Tabin'in de gösterdiği üzere tavuk üyeleri, kendimizinkilerle ilgili olarak şaşılacak ölçüde çok şey söyleyecektir. Saunders ve Zwilling'in kesme ve aşılama deneyleriyle ve Tabin'in DNA çalışmalarıyla keşfedilen her şey, bizim üyelerimiz için de geçerlidir: Bizde de ZPA vardır, bizde de *Sonik kirpi* vardır ve ikisinin de genel durumumuz üzerinde oynadıkları rol büyüktür. Görmüş olduğumuz gibi, ZPA'daki

bir işlev bozukluğu ya da *Sonik kirpi*'deki bir mutasyon, insan elinde önemli oluşum kusurlarına yol açabilir.

Randy, ellerimizi yapan bu "aygıtın", bizde ne kadar farklı olduğunu bulmak istiyordu. Diğer canlılarla aramızdaki bağ ne kadar köklüydü? Ellerimizi yapan formül yeni miydi, yoksa kökleri derine, başka canlılara kadar uzanıyor muydu? Eğer öyleyse, ne kadar derine uzamyordu?

Köpekbalıkları ve akrabaları, içinde iskeleti olan yüzgeçlere sahip en eski canlılardır. Randy'nin sorusunu yanıtlayabilmenin en ideal yolu, 400 milyon yıllık bir köpekbalığı fosilini laboratuvara getirmek, öğütmek ve genetik yapısına bakmak olurdu. Sonra, *Sonik kirpi*'nin, üyelerimizde şimdi etkili olduğu yerle aşağı yukarı aynı yerde etkili olup olmadığını anlamak için embriyo fosillerinde istediğimiz gibi oynayabileceğimiz deneyler yapabilirdik. Bu harika bir deney olurdu, ama ne yazık ki imkânsız. Bu kadar yaşlı fosillerden DNA elde edemiyoruz; elde edebilseydik bile, fosilleşmiş bu hayvanların, üzerinde deney yapacak embriyolarını hiç bulamazdık.

İdeale en yakın seçenek ise, günümüzde yaşayan köpekbalıkları ve akrabalarıdır. Köpekbalığı yüzgeciyle insan elini kimse karıştırmaz; ikisini ayırt edebilmek için bir iki farklı uzantıya daha bakmak isteyen olmaz. Köpekbalıklarıyla insanlar hem birbiriyle çok uzaktan akrabadır, hem de uzantılarının iskelet yapıları birbirine hiç benzemez. Köpekbalığı yüzgecinde, Owen'ın bir-kemik, iki-kemik, birçok yuvarlak kemik-parmak modeline birazcık olsun benzer hiçbir şey yoktur. Yüzgeç içindeki kemikler, daha çok uzunlu kısalı, ince veya kalın çubuk şeklindedir. Kıkırdak olmalarına rağmen biz onlara kemik diyoruz (iskeletleri hiçbir zaman sert kemiğe dönüşmediğinden köpekbalıkları ve tırpana balıkları kıkırdaklı balıklar olarak bilinir). Eğer Sonik kirpi'nin üyelerdeki rolünün sadece üyeli hayvanlara özgü olup olmadığını öğrenmek istiyorsak, neden tama-

men farklı bir canlı türü seçmeyelim? Ve bu canlı, herhangi bir tipte (ister yüzgeç, ister üye) ikili uzantıya sahip, yaşayan en ilkel balık türü neden olmasın? Köpekbalıkları her iki koşula da mükemmel uyuyor.

İlk sorunumuzun çözümü kolaydı. Bize, köpekbalığı ve tırpana embriyoları sağlayacak güvenilir bir kaynağa ihtiyacımız vardı. Her istediğimizde köpekbalığı bulmak zordu; yakın akrabaları tırpanalar ise başka bir meseleydi. Bu yüzden, önce köpekbalıkları ile işe başladık; stoktaki köpekbalıkları azalmaya başlayınca da tırpanalarla devam ettik. Bize bir iki ayda bir, içindeki embriyolarıyla birlikte 20-30 yumurta kılıfı gönderebilecek bir tedarikçi bulduk. Her ay, değerli yumurta kılıflarımızın teslim edilmesini sabırsızlıkla bekler hale gelmiştik.

Tabin'in ekibinin ve öteki ekiplerin çalışmaları sayesinde Randy, kendi araştırmasını başlatacak önemli ipuçları yakalamıştı. Tabin'in 1993'teki çalışmasından bu yana, balıklardan insanlara kadar pek çok farklı canlı türü üzerinde yapılan araştırmalarda *Sonik kirpi* hep bulunmuştu. Artık genin yapısını da bilen Randy, köpekbalığı ve tırpana DNA'larında *Sonik kirpi*'yi aramaya başlayabilirdi. Çok kısa bir süre içinde de buldu: köpekbalığı *Sonik kirpi* geni.

Şimdi yanıtlanması gereken önemli sorular; *Sonik kirpi*'nin nerede etkili olduğu ve daha da önemlisi ne yaptığı idi.

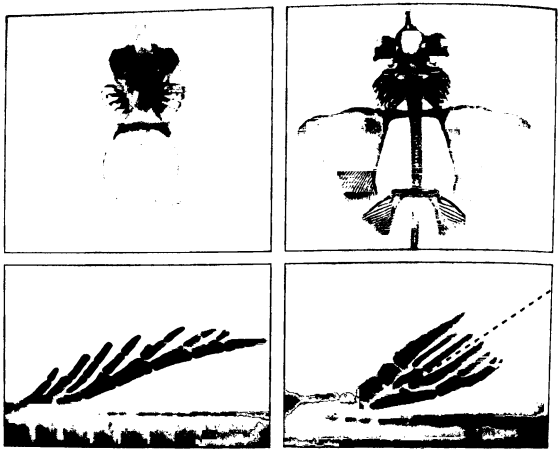
Sonik kirpi'nin tırpanaların gelişiminde nerede ve ne zaman etkili olduğuna dair Randy'nin yürüttüğü tahminler ışığında yumurta kılıfları kullanılmaya başlandı. Randy önce, *Sonik kirpi*'nin tırpana yüzgeci gelişiminde de, tavuk üyelerindekiyle aynı zamanda devreye sokulup sokulmadığını araştırdı. Sonuç olumluydu. Sonra genin, yüzgecin arka ucunda, serçe parmağa karşılık gelen doku parçası üzerinde etkinleşip etkinleşmediğini araştırdı. Sonuç yine olumluydu. Artık sıra, A vitamini deneyine gelmişti. İşte bu, büyük andı. Tavuğun veya memeli bir hay-

vanın bir üyesine bu bileşik uygulanırsa, o üyenin bulunduğu yerin karşı tarafında *Sonik kirpi* etkinliğinin gözlendiği bir doku parçası elde edilir ve bu şekilde kemiklerden çifter kopya oluşur. Randy yumurtalara A vitamini enjekte etti, bir gün kadar bekledi, sonra A vitamininin, tavuklarda olduğu gibi üyenin karşı tarafında *Sonik kirpi* etkinleşmesine neden olup olmadığına baktı. Evet; *Sonik kirpi*, karşı tarafta etkinleşmişti. Şimdi de sıra, uzun zamandır beklediğimiz şeye gelmişti. Sonik kirpi'nin, tırpana veya köpekbalığı yüzgecinde gösterdiği etkiyi ellerimizde de gösterdiğini biliyorduk. Peki ama tüm bunların iskelet üzerindeki etkisi ne olacaktı? Cevabı bulmak için iki ay beklemeniz gerekti.

Embriyolar, içini göremediğimiz, saydam olmayan bir yumurta kılıfı içinde gelişiyorlardı. Tek söyleyebileceğimiz, içerideki canlının sağ olup olmadığıydı; yüzgecin içi görünmüyordu.

Elde ettiğimiz sonuç, bizimle, köpekbalıkları ve tırpanalar arasındaki benzerlik açısından hayret verici bir örnekti: ayna görüntüsünde bir yüzgeç. Sırt yüzgeçleri, tıpkı üyelerde yaptığımız deneylerde olduğu gibi, mükemmel bir önden-arkaya modele uygun biçimde kendilerini kopyaladılar. Üyeler, üye yapısını kopyalıyordu. Köpekbalığı yüzgeçleri, tırpanaların yaptığı gibi, köpekbalığı yüzgeci yapısını kopyalıyordu. *Sonik kirpi*, bugün dünyada bulunan iskeletlerin en farklı uzantılarında bile aynı etkiyi gösterir.

Sonik kirpi'nin bir etkisi de, hatırlayacağınız gibi parmakları birbirinden farklı yapmaktı. ZPA'dan bildiğimiz gibi, ne tip bir parmağın oluşacağı, o parmağın *Sonik kirpi* kaynağına ne kadar yakın olduğuna bağlıdır. Normal erişkin tırpana yüzgecinde, hepsi de birbirine benzeyen bir sürü kemiksi çubuk bulunur. Bu çubukları, parmaklarımızda olduğu gibi, birbirinden farklı yapabilir miyiz? Randy, *Sonik kirpi*'nin ürettiği bir proteinin



Normal yüzgeçler (solda) ve Randy'nin işlemden geçirdiği yüzgeçler. Bu ikinci grup, daha önce tavuk kanatlarında olduğu gibi, ayna imgesi kopyalar oluşturdu. Fotoğraflar, Chicago Üniversitesi'nden Randall Dahn'ın izniyle yayınlanmıştır.

emdirilmiş olduğu küçük bir küreciği, birbirinin tıpatıp aynı olan kemiksi çubukların arasına yerleştirdi. Deneyin can alıcı noktası, kullanılan *Sonik kirpi* geninin fareye ait olmasıydı. Düzenek tuhaftı doğrusu: içinde fare *Sonik kirpi* proteini sızdıran bir kürecik taşıyan bir tırpana embriyosu. Bu fare proteini, köpekbalığı veya tırpana balığı üzerinde de etki gösterecek miydi?

Böyle bir deneyin sonucu iki uç noktadan biri olacaktır. Biri, hiçbir şey olmamasıdır; bir diğer deyişle tırpanalar farelerden o ölçüde farklıdır ki, *Sonik kirpi* proteini herhangi bir etkide bulunamamaktadır. Diğer uçtaki sonuç ise, içimizdeki balığa şaşırtıcı bir örnek oluşturacaktır. Bu durumda, çubuklar birbirinden farklı biçimde gelişecek ve *Sonik kirpi*'nin tırpanalarda da, bizde de aynı şeyi yaptığını gösterecektir. Randy'nin kullandığı pro-

teini bir memeliden aldığını, bu nedenle genetik formülün de çok ama çok benzer olacağını unutmayalım.

Çubuklar birbirinden farklı bir görünüme bürünmekle kalmamış, *Sonik kirpi* küreciğine yakınlıklarına bağlı olarak gene, büyük ölçüde parmakların göstereceği tepkiyi göstermişlerdi. Küreciğe yakın olan çubuklar, uzaktakilerden farklı bir biçimde gelişmişti. Üstüne üstlük, bu görevi tırpanalarda bu kadar etkili biçimde yerine getiren, fare proteiniydi.

Randy'nin bulduğu "içerideki balık", bırakın tek bir kemik olmayı, iskeletin bir kısmı bile değildi. Randy'nin içerideki balığı, aslında yüzgeçleri yapan biyolojik mekanizmaların içinde saklıydı. Fare, köpekbalığı ve sinek gibi birbirinden bu kadar farklı canlılar üzerinde birbiri ardına yaptığımız deneyler bize, bu formülün parçalarının büyük oranda ortak olduğunu gösteriyor. Aslında, hayvanların hepsi, tek bir temanın çeşitlemeleridir. Bu tema, bizi inşa eden formülde yazılıdır. DNA'nın diğer kısımlarını inceleyip bu formül hakkında daha fazla şey öğrendikçe de, *Sonik kirpi*'den öğrendiklerimizin çok genel kapsamlı olduğunu fark ederiz. İster yüzgeç olsun ister üye, tüm uzantılar benzer genler tarafından yapılır. Bütün bunlar, ilk iki bölümde uğraştığımız sorun -balık yüzgecinin üyelere dönüşümü- açısından ne anlama gelmektedir? Bu büyük evrimsel dönüşümün, yeni DNA'nın ortaya çıkmasını gerektirmediği anlamına gelir. Bu dönüşümün önemli bir bölümünde işleyen mekanizma, muhtemelen tarihöncesi genlerin (köpekbalığı yüzgeç gelişiminde devreye giren genler gibi), el ve ayak parmaklarına sahip üyelerin yapımında, yeni ve farklı biçimlerde kullanılması temeline dayanmıştır.

Ama üyeler ve yüzgeçler üzerinde yapılan bu deneylerin daha derin bir anlamı da vardır. Tabin'in laboratuvarı, *insandaki* doğum kusurlarını anlamamızı sağlayacak bir *tavuk* geni bulmak için *sinekler* üzerinde yapılan çalışmalardan yararlanmıştı.

Randy, *tırpana balığı* ile akrabalığımız hakkında bir şeyler öğrenebilmek için Tabin'in laboratuvarının keşfinden yararlandı. "İçerideki sinek", "içerideki tavuğun" bulunmasına, "içerideki tavuk" da, Randy'nin "içerideki tırpana"yı bulmasına yardımcı oldu. Canlılar arasındaki bağlar gerçekten de çok derinlere uzanmaktadır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

DİŞLER HER YERDE

Anatomi dersinde dişlerin pek üzerinde durulmaz: dişlere tam beş dakika ayırırız. Gözde organlar arasında -herkesin listesi kendine- dişlerin ilk beş sırada yer aldığı pek görülmez. Ancak, önemsenmeyen bu dişler, öteki canlılarla aramızdaki bağlantının öyle büyük bir kısmını oluşturur ki, dişleri bilmeden vücudumuzu anlamamız neredeyse imkânsızdır. Dişlerin benim için de özel bir önemi var, çünkü nasıl fosil bulacağımı ve fosil keşif seferlerini nasıl yürüteceğimi öğrendiğimden bu yana, hayatım diş aramakla geçiyor.

Dişlerin görevi, büyük canlıları küçük parçalar haline getirmektir. Dişler, çenenin hareketiyle kesme, ufalama ve öğütme işi yaparlar. Ağzın büyüklüğü sınırlıdır; canlılar, dişleri sayesinde, ağızlarına sığamayacak kadar büyük şeyleri de yiyebilirler. Bu, özellikle, ağızlarına götürmeden önce yiyeceklerini parçalayıp ufalayabilecek elleri ve pençeleri olmayan canlılar için geçerlidir. Büyük balığın küçük balığı yuttuğu doğrudur. Ama dişler, durumu eşitlemede önemli bir unsurdur. Sağlam dişleri varsa, küçük balık da büyük balığı kıtır kıtır yiyebilir. Küçük balıklar, dişlerini kullanarak ya büyük balığın pullarından sıyırır, ya küçük parçacıklarla idare eder ya da etli kısımlardan büyük lokmalar koparıp yerler.

Dişlerine bakarak bir hayvan hakkında pek çok şey öğrenebiliriz. Dişin girinti çıkıntıları, yüzeyindeki çizikler, o hayvanın nasıl beslendiğini gösterir. Örneğin, kedigiller gibi

etoburların, eti kesmeye yarayan bıçak gibi azı dişleri varken, otobur hayvanların ağzı, yaprakları ve yemişleri öğütmeye yarayan düz, yassı dişlerle doludur. Dişlerin, içerdikleri bilgi açısından taşıdıkları değer, geçmişteki anatomi uzmanlarının da gözünden kaçmamıştır. Fransız anatomi uzmanı Georges Cuvier, tek bir dişten bir hayvanın tüm iskeletini ortaya çıkarabileceğini iddia etmişti. İddiası biraz abartıya kaçmış olsa da, genelde anlatmak istediği doğrudur: Dişler, bir hayvanın yaşam tarzını öğrenmede güçlü araçlardır.

İnsan ağzı, bizim her şeyi yemeye uygun olduğumuzu gösterir, çünkü ağzımızda birkaç çeşit diş vardır. Ön dişlerimiz, yani kesici dişlerimiz, kesme amacına uygun olarak özelleşmiştir. Bitkisel ya da hayvansal dokuları öğütebilen en gerideki azı dişleri ise daha kısa ve yassıdır. Kesici dişlerle azı dişleri arasında kalan küçük azıdişleri de, işlev bakımından bu iki çeşit dişin arasında yer alır.

Ağzımızla ilgili en etkileyici nokta ise, çiğneme hassasiyetidir. Ağzınızı açıp kapayın: Dişleriniz, üst ve alt çenedeki dişler tam birbiri üzerine kapanacak şekilde hep aynı konumda birbirine değecektir. Üst ve alt çenedeki dişlerin girinti çıkıntıları, çukur ve kabartıları birbirine tam uyduğundan, yiyecekleri azami verimle parçalayabiliriz. Üst ve alt çenedeki dişlerimiz birbirine uymasaydı dişlerimiz kırılıp ufalanabilirdi; bu da sadece diş hekimlerine yarardı.

Paleontologlara göre dişler son derece aydınlatıcıdır. Dişler, vücudumuzun en sert kısımlarıdır; çünkü diş minesi, yüksek oranda (kemiklerdekinden bile daha yüksek) hidroksiapatit minerali içerir. Sertliklerinden ötürü, pek çok çağın fosil kaydında bulduğumuz en iyi korunmuş kısımlar, dişlerdir. Bu nedenle şanslıyız, çünkü bir hayvanın nasıl beslendiğine dair çok önemli ipuçları sağlayan dişlerle oluşturulan bu fosil kayıtları, farklı beslenme şekillerinin nasıl ortaya çıktığını an-

layabilmemiz için iyi bir araç olabilir. Bu, özellikle memelilerin tarihi için geçerlidir. Pek çok sürüngen hayvanın dişleri birbirine benzerken, memelilerin dişleri kendine özgü, apayrı bir yapı sergiler. Tipik bir paleontoloji dersinin memelilerle ilgili bölümü, Diş Hekimliği 101 dersi gibidir.

Bugün yeryüzünde yaşayan sürüngenler -timsahlar, kertenkeleler, yılanlar- memelilerin ağızlarını benzersiz kılan pek çok özellikten yoksundur. Örneğin, timsahların dişlerinin hepsi de, aynı kesici şekle sahiptir; aralarındaki tek fark, bazılarının iri, bazılarının ufak olmasıdır. Ayrıca sürüngenlerde (insanlarda ve diğer memelilerde görülenin aksine) tam oklüzyon (alt ve üst çenedeki dişlerin tam kavuşması) özelliği de yoktur. Bunun dışında, memeliler yalnızca bir kez diş değiştirirken, diş perisi sürüngenleri ömür boyu yalnız bırakmaz; aşınan ve kırılan dişleri sürekli yeniler.

Bizi biz yapan temel özelliklerden biri, yani memelilere özgü hassas çiğneyiş şeklimiz, dünyanın dört bir yanına ait fosil kayıtlarına göre bundan 225 ila 195 milyon yıl önce ortaya çıkmıştır. Yaşlı kayaların altında, görünüş bakımından köpeği andıran birçok sürüngen bulunmuş durumda. Dört ayağı üzerinde yürüyen bu sürüngenlerin kafatasları iriydi ve çoğunun keskin dişleri vardı. Tüm benzerlik bundan ibaretti. Köpeklerin aksine, bu sürüngenlerin, çok sayıda kemikten oluşan bir çeneleri vardı ve dişleri tam olarak birbiri üzerine kapanmıyordu. Ayrıca, sürüngenlere özgü bir şekilde diş değiştiriyorlar, ömürleri boyunca dişler bir görünüp bir kayboluyordu.

Kayaların üst katmanlarına doğru çıktığımızdaysa, tamamen farklı bir şeyle karşılaşırız: memeliliğin ortaya çıkışı. Çene kemikleri küçülür ve kulağa doğru kayar. Üst ve alt çene dişlerinin tam birbiri üzerine kapanmaya başladığının ilk kanıtlarını görmeye başlarız. Ayrıca, çenenin şekli de değişmiş-

tir; sürüngenlerde çubuğa benzerken, memelilerde daha çok bumerangı andırır hale gelmiştir. Yine bu dönemde sürüngenler, bizde olduğu gibi, ömürleri boyunca sadece bir kez diş değiştirir. Bu değişikliklerin hepsini Avrupa, Güney Afrika ve Çin başta olmak üzere belli yerlerdeki kazılardan elde edilen fosil kayıtlarından izleyebiliriz.

Yaklaşık 200 milyon yıl önceki kayalar, *Morganucodon* ve *Eozostrodon* gibi, memelilere benzemeye başlamış olan kemirgen benzeri canlı fosilleri içerir. Fare büyüklüğündeki bu hayvanlar içlerinde, bizim önemli bir parçamızı barındırırlar. Fotoğraflar, bu ilk memelilerin ne kadar harika olduklarını anlatmaya yetmez. Bu canlıları ilk gördüğümde gerçekten heyecandan ürpermiştim.

Lisansüstü çalışmalarıma başladığımda araştırmak istediğim konu ilk memelilerdi. Harvard'ı tercih etmiştim, çünkü kitabın ilk bölümünde tanıttığım Farish A. Jenkins, Jr., memelilerin kendilerine özgü çiğneme kabiliyetini nasıl kazandıklarıyla ilgili izlere ulaşmak için, Amerika'nın batısına düzenlenen ve kayaların sistemli bir biçimde karış karış kazıldığı inceleme gezilerinin başındaydı. Bu çalışma, gerçek bir keşif süreciydi. Farish ve ekibi, başkalarınca zaten keşfedilen yerleri yeniden keşfetmek yerine, yeni mevkiler ve kazı yerleri arıyorlardı. Farish, Harvard Karşılaştırmalı Zooloji Müzesi elemanlarından ve serbest çalışan birkaç profesyonelden oluşan yetenekli bir fosil keşif ekibi kurmuştu. Ekibin en önemli kişileri arasında Bill Amaral, Chuck Schaff ve artık hayatta olmayan Will Downs vardı. Bu kişiler, beni paleontoloji dünyasıyla tanıştıran kişilerdi.

Farish ve ekibi, ilk memelileri bulabilecekleri bölgeleri seçmek için jeoloji haritalarını ve havadan çekilen fotoğrafları incelemişlerdi. Ardından her yaz, kamyonetlerine atlayıp Wyoming, Arizona ve Utah çöllerine sürmüşlerdi. 1983'te

onlara katıldığım sıralarda, zaten önemli birkaç yeni memeli ve fosil alanı bulmuşlardı. Tahmin yeteneklerinden çok etkilenmiştim: Farish'in ekibi, sadece okudukları bilimsel kitapları ve makaleleri dikkate alarak ilk memelileri nerede bulabileceklerini, nerede bulamayacaklarını tespit edebiliyordu.

Paleontoloji alanındaki ilk büyük sınavımı, Chuck ve Bill'le Arizona çölünü geçerek verdim. Başlangıçta bu keşif seferi bir bütün olarak bana çok gelişigüzel görünmüştü. Bölgede, askeri bir operasyon yürütürcesine organize ve düzenli bir keşif yapılacağını sanıyordum; oysa tam tersiyle karşılaşmıştım. Ekip belirli bir kaya parçası üzerine kamp kuruyor, sonra da her yöne dağılıp yüzeyde kemik parçaları arıyordu. Keşfin ilk haftalarında beni kendi halime bıraktılar. Ben de fosil aramaya koyulmuş, gördüğüm her kaya parçasını yüzeyde bir kemik kırıntısı var mı diye sistemli bir biçimde inceliyordum. Her günün sonunda, kampa dönüp bulduğumuz güzel parçaları sergiliyorduk. Chuck birkaç torba kemikle dönüyor, Bill de genellikle küçük bir kafatası kemiği ya da başka bir ganimet getiriyordu. Bana gelince, elim boş dönüyordum; boş torbam, bana daha öğrenmem gereken çok şey olduğunu hatırlatıyordu.

Bu şekilde birkaç hafta geçirdikten sonra, Chuck'la birlikte yürümenin iyi bir fikir olacağına karar verdim. Günün sonunda torbalarını en çok dolduran o oluyordu; o halde bu uzmandan neden biraz sufle almayayım diye düşündüm. Chuck, benimle yürümekten memnundu, bana paleontoloji alanındaki uzun kariyerini anlatıyordu. Brooklyn'de büyümüş, ama yine de tam bir Batı Texas'lıydı: kovboy çizmeleri, benimsediği batı Amerika değerleri ve New York aksanıyla. O, geçmiş keşif hikâyelerini anlatarak bana keyifli bir sohbet yaşatırken, ben de bir yandan keskin bir hezimet duygusu içine giriyordum. Bir kere Chuck, her kayaya bakmıyordu; bir

tanesini incelemeye karar verdiğinde de, bu seçimin nedenini ölsem anlayamıyordum. Ama benim için, işin en utanç verici yanı şuydu: Chuck ile aynı arazi parçasını inceliyor olurduk. Ben kayadan, çıplak çöl toprağından başka bir şey göremezken, Chuck aynı yerde diş ve çene fosilleri, hatta kafatası kemikleri görüyordu.

Yukarıdan bakıldığında, uçsuz bucaksız bir düzlükte, kırmızı yeşil kumtaşı tepelerinin, kilometrelerce uzanan çorak bir arazinin ortasında yalnız yürüyen iki kişiydik. Ama ikimiz de gözümüzü yerden, çölün zeminindeki moloz ve birikintilerden ayırmıyorduk. Aradığımız, boyu birkaç santimetreyi geçmeyen minik fosillerdi; bizimkisi çok küçük bir dünyaydı. Bu kapanık halimiz, etrafımızı kuşatan çölün uçsuz bucaksız panoramasıyla tam bir tezat oluşturuyordu. Yürüyüş arkadaşım bana sanki dünyadaki tek kişi gibi gelirdi, bense bütün varlığımla yerdeki taş parçalarına adanmıştım.

Gündelik yürüyüşlerimizin önemli bir bölümünde ben sorularımla kendisini bunaltırken, Chuck bana karşı son derece sabırlıydı. Kemiklerin nasıl bulunacağını *tam olarak* anlatmasını istiyordum. Dokusu kayanınki gibi değil, kemiğinki gibi olan bir şey, diş gibi parıldayan, kumtaşı parçası gibi değil, kol kemiği gibi görünen bir şey, yani "farklı bir şey" aramam gerektiğini defalarca söyledi. Kolay görünüyordu, ama ne demek istediğini tam kavrayamıyordum. Elimden geldiğince uğraşıyor, yine de kampa eli boş dönüyordum. Aynı kayalara baktığımız halde, Chuck kampa torba torba fosille dönerken elim boş dönmek benim için artık iyice utanç verici olmaya başlamıştı.

Sonunda bir gün, çölde güneşin altında parıldayan ilk diş parçamı gördüm. Kumtaşı molozlarının üzerinde oturuyordum; işte oradaydı, apaçık görünüyordu. Diş minesinin, hiçbir taşta olmayan bir pırıltısı vardı; daha önce gördüğüm

hiçbir şeye benzemiyordu. Aslında tam olarak da değil. Çünkü bunlara her gün bakıyordum. Aradaki fark, sonunda görmem olmuştu. Taşla kemik arasındaki ayrımı artık fark etmiştim. Diş parlıyordu, parladığını görünce çıkıntılarını da ayırt edebildim. Tek başına duran bu diş, kökleri dışında, olsa olsa 10 kuruşluk madeni para büyüklüğündeydi. Ama bana, bir müzede sergilenen en büyük dinozor kadar muhteşem görünüyordu.

Birden, çölün zemini kemikle doldu; önceden taştan başka bir şey görmezken artık her yerde minik kemik ve fosil parçaları görüyordum, sanki yeni bir gözlük takmıştım ve kemik parçalarının hepsi bir projektörle aydınlanmıştı. Bu dişin hemen yanında başka küçük kemik parçaları, onların yanında da başka dişler vardı. Dışı sağlam kalmış, parçalanmış bir çene kemiği gördüm. Artık, her akşam küçük torbalarım dolu halde kampa dönmeye başlamıştım.

Sonunda kemikleri ben de görebiliyordum ve önceden bana gelişigüzel bir çaba gibi gelen ekip çalışması artık kesinlikle düzenli bir çalışma gibi görünmeye başlamıştı. Kimse çöle öyle gelişigüzel dağılmıyordu; söze dökülmese de, gerçeklere dayanan kurallar vardı. Birinci kural: Önceki deneyimlerinizde araziyi tararken kazanmış olduğunuz zihinsel imge ya da görsel ipuçlarından yola çıkarak, en bereketli görünen kayalara yönelin. İkinci kural: Kimsenin izinden gitmeyin; yeni bir araziyi araştırın (Chuck, bu kuralı bozmama nezaketle göz yummuştu). Üçüncü kural: Eğer gözünüze kestirdiğiniz alanda biri varsa, o zaman başka bir iyi alan seçin ya da o kadar ümit verici olmayan başka bir yer bulun. İlk gelen, en büyük payı alır.

Zamanla, başka tür kemiklere ait görsel ipuçlarını da öğrenmeye başladım: uzun kemikler, çene kemikleri ve kafatası parçaları. Bunları bir kez görmeye başladıktan sonra, bir

daha bu yeteneğinizi kaybetmezsiniz. Tıpkı usta bir balıkçının, suyu ve içindeki balıkları "okuyabilmesi" gibi, bir fosil kâşifinin kafasında da, kayaları fosil kaynar gibi gösteren imgeler vardır. Artık, kemik fosillerinin farklı kayalarda, farklı ışıkta nasıl göründüğü, benim kafamda da canlanmaya başlamıştı. Sabah güneşinde fosil bulmak, ikindi güneşinde fosil bulmaktan çok farklıydı, çünkü zemindeki ışık ona göre değişiyordu.

Yirmi yıl sonra, ister Fas'ın Trias döneminden, ister Ellesmere Adası'nın Devoniyen döneminden olsun, yeni bir yerde fosil aradığım her seferinde aynı deneyimi yaşayacağımı artık biliyorum. İlk birkaç gün, tıpkı 20 yıl önce Chuck'la Arizona'da olduğu gibi, bocalayacağım. Tek fark, aradığım fosil imgesinin eninde sonunda kafamda canlanacağından artık emin olmam.

Chuck'la yaptığımız aramanın tek amacı, gün ışığına çıkarabileceğimiz ve fosil açısından zengin bir katmanı belirlemeye yetecek kadar kemik fosili içeren bir kazı alanı bulmaktı. Ekibe katıldığım sırada Farish'in ekibi zaten böyle bir alan, yani üst üste küçük hayvan iskeletlerinin bulunduğu 30 metrelik bir kaya parçası keşfetmişti.

Farish'in keşfettiği bu fosil çukuru, çok ince taneli tortul içerisindeydi. İşin püf noktası, fosillerin en fazla bir milimetre kalınlığındaki ince bir katmandan çıktığını fark etmekti. Bu katman açığa bir kez çıktıktan sonra kemik bulma şansınız çok yüksekti. Fosiller küçücüktü; en fazla üç beş santimetre uzunluğundaydı. Renklerinin siyah olması da, kahverengiye çalan kayaların üzerinde sanki is lekesiymiş gibi durmalarına neden oluyordu. Bulduğumuz küçük hayvanlar arasında kurbağalar (ilk ortaya çıkanlardan bazıları), bacaksız amfibiler, kertenkele ve diğer sürüngenler, en önemlisi de ilk memililerden bazıları vardı.

Burada en can alıcı nokta, ilk memelilerin küçük, hatta çok küçük olmalarıdır. Dişleri en fazla 2 milimetre uzunluğundaydı. Onları işaretleyip çıkarırken çok dikkatli, hatta çoğu kez çok şanslı olmanız gerekiyordu. Eğer üzerleri bir taş kırıntısıyla ya da biraz kum tanesiyle örtülüyse, fosilleri hiç fark etmeyebilirdiniz bile.

Beni cezbeden de, işte bu ilk memelilerin görüntüsüydü. Fosil katmanıyla karşılaşır, sonra tüm yüzeyi 10 numara büyütecimle iyice tarardım. Dizlerimin üzerine çöker, ellerimi yere yaslar, yere 5 santimetre mesafeden büyütecimle bakarak her şeyi dikkatle incelerdim. Bu işe o kadar dalardım ki hep istemeden komşumun alanına girer, ancak başımdan aşağı bir torba dolusu toprak boca edildiğinde arazimin dışına çıkmamam gerektiğini hatırlardım. Yine de bazen, umulmadık bir anda şansım yaver gider ve köklü bir bağlantıyı en baştan fark ediverirdim. Çıkıntıları ve kökleriyle dişler, minik birer bıçağa benziyor, çıkıntılar çok özel bir durumu açığa vuruyordu. Her dişin, üst ve alt dişlerin birbiri üzerine kapandığı yüzeyinde kendine özgü bir aşınma izi vardı. Hassas çiğneme şeklimize ait ilk bulguları, 190 milyon yıllık minik bir memelide görüyordum.

Bu anlar öyle etkileyiciydi ki ömrüm boyunca unutmayacağım. Kırılıp ufalanan bu kayalarda, insanların düşünme şeklini değiştirebilecek nesneleri keşfediyordum. İnsanı bu kadar çocuksu hale getiren, hatta yerlerde süründüren bu faaliyetlerle, insanoğlunun en büyük entelektüel emelleri arasındaki bu yakınlık, aklımdan hiç çıkmadı. Yeni bir yeri kazmaya başladığım her seferinde kendime bunu hatırlatmaya çalıştım.

O sonbahar okula döndüğümde büyük bir keşif seferi yapma hevesine kapılmıştım. Kendi seferimi düzenlemek istiyordum, ama büyük çaplı bir geziyi gerçekleştirecek kay-

nağım yoktu; bu yüzden Connecticut'taki yaklaşık 200 milyon yıllık kayaları incelemekle işe başladım. 19. yüzyılda fazlasıyla incelenmiş olan bu kayalar, bazı önemli fosillerin keşfine sahne olmuştu. Büyütecimle ve çok işe yarayan kafamdaki "ilk memeli" imgesiyle bu kayalara gidersem pek çok güzel parça bulacağımı düşündüm. Bir kamyonet kiraladım, yanıma bir kasa saklama torbası aldım ve yola koyuldum.

Bir ders daha almış oldum: Hiçbir şey bulamadım. Başladığım yere geri dönmüştüm, yani okulun jeoloji kütüphanesine.

Bana, yeryüzünde açıkta duran 200 milyon yıllık kayaların olduğu bir yer gerekiyordu. Connecticut'ta sadece yol açmak için kesilen kayalar vardı. İdeal yer, dalgaların bol miktarda yeni parçalanmış kaya taşıdığı bir deniz kıyısı olurdu. Haritaya bakıp seçimimi yaptım: Trias ve Jura dönemi kayalarının (yaklaşık 200 milyon yıl yaşında) yüzey boyunca uzandığı Nova Scotia. Üstelik bölgeyle ilgili tanıtıcı yazılarda, bazen 15 metreyi aşan, dünyanın en büyük gelgitlerinden bahsediliyordu. Ne kadar şanslıydım.

Bu kayalar konusunda uzman olan Paul Olsen'i aradım; kendisi Columbia Üniversitesi'nde ders vermeye yeni başlamıştı. Fosil bulma ihtimali nedeniyle zaten heyecana kapılmıştım, Paul'le konuştuktan sonra ise iyice coştum. Bana, küçük memelilerin ve sürüngenlerin bulunabileceği ideal jeolojiyi tarif etti: tarihöncesinden kalma akarsular ve kum tepecikleri, minik kemikleri koruyabilecek gerekli özelliklere sahipti. Hatta kendisi de, Nova Scotia'nın Parrsboro kasabası civarındaki sahil boyunca bazı dinozor kemikleri ve ayak izleri bulmuştu. Paul'le birlikte, Parrsboro'ya gidip sahilde minik fosiller aramak üzere bir plan yaptık. Paul büyük bir cömertlik göstermişti; çünkü bu bölgede hakkı vardı. Üstelik bırakın işbirliğini, bana yardım etmek zorunda da değildi.



Paul Olsen, Nova Scotia'nın gelgit sığlıklarında ayak izleri keşfederken. Sular yükseldiğinde, su seviyesi soldaki kayalıklara kadar ulaşıyordu. Soldaki ok, zamanlamada hata yapacak olursak bir anda sıkışıp kaldığımız ve saatlerce kurtulamadığımız yeri işaret ediyor. Fotoğraflar yazar tarafından çekilmiştir.

Oluşturduğumuz planı Farish'e danıştım; bana para teklif ettiği gibi, fosil keşif uzmanları Bill ve Chuck'ı da yanıma almamı önerdi. Para, Bill, Chuck, Paul Olsen, ideal ve keşfe açık kayalar! Başka ne isteyebilirdim ki? Ertesi yaz, kendi düzenlediğim ilk fosil keşif gezisinin başındaydım.

Saha ekibimle, yani Bill ve Chuck'la kiralık bir kamyonete atlayarak Nova Scotia sahillerine doğru yola çıktık. Şaka gibiydi. Benim toplam yaşadığımdan daha uzun sürelik bir saha deneyimine sahip Bill ve Chuck ile birlikte olduğuma göre, ben sadece sözde liderdim. Fosil keşif tahminlerini onlar yapıyor, ben de akşam yemeklerini ısmarlıyordum.

Nova Scotia'daki kayalar, kendilerini Fundy Koyu boyunca uzanan, turuncu kumtaşından muhteşem uçurumlarda gösteriyordu. Her gün, karanın içlerine doğru giren yaklaşık 800

metrelik gelgitler oluyor, muazzam büyüklükte turuncu yerli kayaçlar ortaya çıkıyordu. Çok geçmeden çeşitli arazilerde kemikler bulmaya başlamıştık. Kayalıklardan minik beyaz kemik parçacıkları çıkıyordu. Paul, her yerde hatta her günkü gelgitlerin açtığı sığlıklarda bile ayak izleri buluyordu.

Chuck, Bill, Paul ve ben, Nova Scotia'da iki haftamızı kazarak geçirdik, kayaların arasında saplanıp kalmış ince kemik tabakaları, parçacıkları bulduk. Grubun fosil hazırlayıcısı olan Bill, kemikleri laboratuvarda, mikroskop altında daha kontrollü koşullarda inceleyebilmesi için, sahadayken onları hepten açığa çıkarmamam, üzerleri hâlâ kumtaşıyla kaplı haldeyken sarıp saklamam için beni sürekli uyarıyordu. Öyle yaptık, ama getirdiğimiz parçalar beni hayal kırıklığına uğratacaktı: sadece birkaç ayakkabı kutusu dolusu taş, minik kemik parçacıkları ve tabakaları... Eve dönüş yolunda, pek bir şey bulamasak da önemli bir deneyim edindik diye düşündüğümü hatırlıyorum. Dönüşte bir hafta izin aldım; Chuck ve Bill de laboratuvara döndüler.

Boston'a geri döndükten sonra bir gün, Chuck, Bill ve ben öğle yemeğine çıkmıştık. Bazı meslektaşlarımız müzeyi ziyarete gelmişti, bana bakıyor, gelip elimi sıkıyor, tebrik ediyor ve sırtıma vuruyorlardı. Bana sanki fetih yapmış bir kahramanmışım gibi davranıyorlardı, ama nedeni hakkında hiçbir fikrim yoktu; tuhaf bir şaka gibiydi, sanki beni oyuna getiriyorlardı. Bana Bill'in laboratuvarına gidip ödülümü görmemi söylediler. Ne düşüneceğimi bilemeden laboratuvara koştum.

Bill'in mikroskobunun altında, boyu en fazla 1,5 cm'lik minik bir çene duruyordu. Üzerinde küçücük birkaç diş vardı. Çenenin bir sürüngene ait olduğu besbelliydi, çünkü dişlerin sadece birer kökü vardı, oysa memeli dişlerinin birkaç kökü olur. Ama dişlerin üzerinde çıplak gözle bile seçebilen minik çıkıntılar ve çizikler bulunuyordu. Dişleri mikroskop altında

inceleyince büyük bir sürprizle karşılaştım: dişin çıkıntılarındaki küçük aşınma izleri. Bu, dişleri birbiri üzerine kapanan bir sürüngendi. Fosilim, kısmen memeli, kısmen sürüngendi.

Bill, benden habersiz, taş yığınlarımızdan birinin sargılarını çözmüş, çok minik kemik parçaları görmüş, bunları mikroskop altında iğneyle temizleyerek hazırlamıştı. Sahadayken hiçbirimiz farkında değildik, ama keşif gezimiz muazzam bir başarı olmuştu. Hep Bill'in sayesinde.

O yaz ne öğrenmiştim? Birincisi, Chuck ve Bill'in sözünü dinlemeyi öğrendim. İkincisi, en büyük keşiflerin sahada değil, fosil hazırlayıcılarının elinden çıktığını öğrendim. Sonradan anlaşılacağı gibi, saha çalışmasıyla ilgili en önemli dersleri henüz almamıştım.

Bill'in bulduğu sürüngen bir *Tritheledont* idi; yani Güney Afrikalı olarak bilinen, şimdi de Nova Scotia'lı bir canlıydı. Çok ender bulunuyordu, o yüzden ertesi yaz başka *Tritheledont*lar bulmak için Nova Scotia'ya tekrar gitmek istiyorduk. Bütün kışı gergin bir bekleyişle geçirdim. Fosil bulmak için buzları kırabileceğimi bilsem gidecektim.

1985 yazında, *Tritheledont*'u bulduğumuz yere gittik. Fosil yatağı, sahille aynı seviyedeydi. Birkaç yıl evvel buraya kayalıklardan kopan bir parça düşmüştü. Günlük gezintilerimizi planlarken çok dikkatli olmalıydık: Sular yükseldiği zaman fosil yatağına ulaşılamıyordu, su o kadar yükseliyordu ki denizden gitmek gerekiyordu. Parlak turuncu kaya parçamızı bulabilmek için bölgenin etrafında dolandığımız o ilk günün heyecanını ömrüm boyunca unutmayacağım. Bu anı unutulmaz kılan, önceki yıl üzerinde çalıştığımız alanın, geçen kışla birlikte dökülüp gitmiş, ortadan kaybolmuş olmasıydı. O eşsiz *Tritheledont*ları içinde saklayan güzelim fosil alanımız, gelgitlerle yokolup gitmişti.

İyi haberse -iyi denebilirse eğer- sahil boyunca taranacak

küçük bir turuncu kumtaşı kitlesi daha olmasıydı. Sahilin büyük bir kısmı, özellikle de bizim her sabah dolaşmamız gereken noktası, 200 milyon yıl önceki bir lav akıntısının ürünü olan bazalttan oluşuyordu. Burada hiç fosil bulamayacağımızdan kesinlikle emindik, çünkü bir zamanlar aşırı kızgın haldeki bu kayaların, içlerinde bulunabilecek fosilleşmiş herhangi bir kemiği koruyamayacağı apaçık ortadaydı. Gezilerimizi gelgitlere göre planlayarak bölgede beş altı gün harcadık, turuncu kumtaşlarını yoklayıp eşeledik ama hiçbir şey bulamadık.

Asıl büyük olay, yerel güzellik yarışmasında Parrboro Güzellik Kraliçesi'ne tacını giydirecek jüri üyeleri arayan, yörenin Lions Kulübü başkanının bir gece kampımıza uğraması sonucu gerçekleşti. Yarışma sırasında taraflar hep birbirine girdiğinden kasabalı, bu zorlu görevi hep yöreyi ziyaret edenlerden bekler olmuştu. Her zaman jürilik yapan Quebec'li yaşlı çift, bu yıl kasabayı ziyarete gelmediği için onların yerine ben ve ekibim davet edildik.

Ancak, jüri olarak değerlendirme yapıp tartışmakla fazlaca zaman harcayarak çok geç saatte yatmamızın ve gelgiti de unutmamızın sonucu olarak, ertesi gün bazalt kayalıklarda, yaklaşık 15 metre genişliğindeki küçük bir burun üzerinde iki saat kadar çakılıp kaldık. Kayalar, fosil aramak için kimsenin seçeceği türden değildi, volkanik kökenliydi. Sıkılıncaya kadar taş sektirdik, sonra da ilginç kristal veya mineral parçaları bulma ümidiyle kayaları incelemeye başladık. Bill bir köşeyi kayboldu, ben de arkamızdaki bazaltlara bakıyordum. On dakika sonra bana seslenildiğini işittim. Bill'in o fazlasıyla sakin ses tonunu hiç unutmayacağım: "Neil, bir baksana buraya..." Ama köşeyi döner dönmez Bill'in ne kadar heyecanlı olduğunu fark ettim. Sonra da ayağının altındaki kayaları gördüm. Kayalardan küçük beyaz parçalar çıkıyordu. Kemik fosilleri,

hem de binlerce.

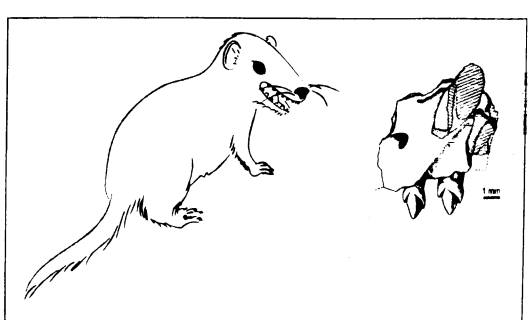
Tam aradığımız şeydi; küçük kemiklerle dolu bir yer. Sonradan anladık ki, bu volkanik kayalar, tümüyle volkanik değildi, kayalığın içinde boydan boya kumtaşı kırıkları seçiliyordu. Bu kayalar, çok eskiden, volkanik bir patlamayla birikken çökeltiden oluşmuştu, çökeltinin içinde de sıkışıp kalmış fosiller vardı.

Bu kayalardan tonlarcasını beraberimizde götürdük. Taşların içerisinde başka *Tritheledont*lar, bazı ilkel timsahlar ve kertenkeleye benzer başka sürüngenler vardı. Tabii ki, içlerinde en değerlisi *Tritheledont*lardı, çünkü bazı tür sürüngenlerin, ta o zamandan bizdeki memeli tarzı çiğneme şekline sahip olduklarını gösteriyorlardı.

İlk memelilerde, örneğin Farish'in ekibinin Arizona'da ortaya çıkardıklarında, çok hassas bir ısırma biçimi göze çarpıyordu. Üst çenedeki dişlerin çıkıntıları üzerinde yer alan aşınma izleri, alt çenede dişlerinin üzerindekilerle ayna imgesi gibi uyuşuyordu. Aşınma izlerinin ortaya çıkardığı örüntü o kadar belirgindir ki, erken memeliler arasındaki farklı türleri, bu aşınma ve dişlerinin birbiri üzerine kapanma (oklüzyon) şeklinden ayırt etmek mümkündür. Farish'in Arizona'da bulduğu memelilerin dişlerindeki çıkıntı şekilleri ve çiğneyişleri, Güney Amerika, Avrupa ve Çin'de aynı çağa ait memelilerinkinden farklıydı. Eğer bu fosilleri bir tek yaşayan sürüngenlerle karşılaştırmakla yetinmek zorunda kalsaydık, o zaman memelilerde beslenmenin kökeni büyük bir sır olarak kalırdı. Daha önce de söz ettiğim gibi, timsahların ve kertenkelelerin oklüzyonu, başka canlılarınkine benzemez. İşte bu noktada *Tritheledont* gibi canlılar devreye girer. Çağlar öncesine, Nova Scotia'daki gibi 10 milyon yıllık kayalara baktığımızda, bu çiğneme şeklinin ilk halini *Tritheledont*larda görürüz. Dişlerinin üzerindeki çıkıntılar, memelilerde olduğu gibi, tam tamı-

na birbiri üzerine kenetlenmez; üst çenedeki dişlerin iç yüzü, alt çenedeki dişlerin dış yüzü üzerinden, makas hareketine benzer biçimde kayar. Kuşkusuz dişlerin birbiri üzerine kapanmasında meydana gelen bu değişiklikler durduk yere ortaya çıkmamıştır. Memeli gibi çiğneyen ilk canlıların alt çene, kafatası ve iskeletlerinin de memeli özellikleri göstermesi şaşırtıcı olmayacaktır.

Fosil kayıtlarındaki dişler çok iyi korunmuş olduğundan, çağlar boyunca ortaya çıkan belli başlı çiğneme şekilleri -ve yeni beslenme şekillerine geçebilme kabiliyeti- hakkında çok ayrıntılı bilgiye sahibiz. Memelilerin öyküsü büyük oranda, besinleri yeni yöntemlerle işlemelerinin öyküsüdür. Fosil kaydında *Tritheledont*larla karşılaşmamızdan kısa süre sonra birçok yeni memeli türü ve bunlarda da yeni diş çeşitleri, yeni kenetlenme şekilleri ve dişlerin yeni kullanım şekillerini görmeye başlıyoruz. Dünyanın birçok bölgesine ait kayalarda, yaklaşık 150 milyon yıl öncesine tarihlenmiş ve yeni bir diş dizilimine sahip, kemirici boyutlarında küçük memeliler ortaya çıkıyor. Dişlerinin bu yeni diziliş şekli ise, bizim varoluşumuzun yolunu açmış durumda. Bu canlıları özel



Nova Scotia'da keşfedilen bir *Tritheledont* ve üst çenesinin bir kısmı. Çene parçası Lazlo Meszoley tarafından çizilmiştir.

kılan, ağız yapılarının karmaşıklığıydı: çenelerinde farklı türde dişler vardı. Çenelerinin ön tarafındaki dişler, geridekilerden farklı görünüşteydi; ağızlarında bir tür işbölümü ortaya çıkmıştı. Öndeki kesici dişler yiyecekleri kesmede, biraz gerideki köpek dişleri koparıp parçalamada ve en gerideki azı dişleri de ezip öğütmede özelleşmişti. Fareyi andıran bu küçük memelilerde geçmişimizin önemli bir parçası saklıdır. İkna olmadıysanız, kendinizi kesici dişleriniz olmadan bir elmayı ya da azı dişleriniz olmadan iri bir havucu yemeye çalışırken hayal edin. Meyveden ete, etten pastaya kadar çeşitlenen zengin beslenme şeklimiz ancak, çok önceki memeli atalarımızda tam olarak birbiri üzerine kapanabilen farklı türde dişlerin bulunduğu bir ağzın ortaya çıkmasıyla mümkün hale gelmiştir. Ve bu ağız yapısının ilk evrelerine, *Tritheledont*larda ve tarihöncesindeki başka akrabalarımızda da rastlıyoruz: Ön dişlerimizin kenar ve çıkıntıları, arka dişlerimizdekinden farklı bir şekildedir.

SERT KISIMLAR: DİŞLER VE KEMİKLER

Dişleri diğer organlar arasında özel kılan, kuşkusuz en başta sert oluşlarıdır. Dişlerin, parçaladıkları yiyeceklerden daha sert olması gerekir; bir süngerle bir bifteği kesmeye çalıştığınızı düşünebiliyor musunuz? Dişler, pek çok bakımdan taş kadar serttir, nedeniyse içerdikleri kristal molekülüdür. Hidroksiapatit olarak bilinen bu molekül, hem dişlerin hem de kemiklerin moleküler ve hücresel altyapısını doldurarak dişleri ve kemikleri bükülme, ezilme gibi zorlanmalara karşı dirençli hale getirir. Dişler kemikten daha serttir, çünkü dış yüzeylerini oluşturan diş minesi, kemik de dahil olmak üzere vücuttaki tüm yapılardakinden çok daha fazla hidroksiapatit içerir. Dişe, kendine özgü o beyaz parlaklığı veren ise diş minesidir. Tabii ki diş minesi, dişlerimizi oluşturan katmanlardan sadece biridir. Pulpa ve dentin gibi iç katmanlar da hid-

roksiapatit ile doludur.

Sert dokuları olan başka pek çok canlı vardır; istiridye ve ıstakoz gibi. Ama bu canlıların dokularını sertleştiren hidroksiapatit değil, kalsiyum karbonat ya da kitin gibi başka maddelerdir. Ayrıca, bu canlılarda bizden farklı olarak, vücutlarını örten bir dış iskelet vardır. Bizim sert kısmımız içeridedir.

Ağzımızdaki dişlerimiz ve vücudumuzun içindeki kemiklerimizle bize özgü sertliğimiz, bizi biz yapan en temel özelliklerdendir. Yememiz, hareket etmemiz, soluk alıp vermemiz, hatta bazı mineralleri metabolize edebilmemiz, hidroksiapatit içeren dokularımız sayesinde mümkün olur. Bu yeteneklerimiz için, balıklarla ortak olan atalarımıza şükretmeliyiz. Yeryüzündeki balık, amfibi, sürüngen, kuş ve memelilerin hepsi de bizim gibidir; hepsi de, hidroksiapatit içeren yapılara sahiptir. Peki ama bu sert yapılar nasıl ortaya çıktı?

Şimdi bu önemli, karmaşık meseleyi anlamaya çalışalım. Dişlerin ve kemiklerin neden ortaya çıktığını, ancak nerede, ne zaman ve ne sertlikte ortaya çıktıklarını bilirsek anlayabiliriz. Bizdeki gibi sert dokular neden var oldu? Acaba, hayvanları yaşadıkları ortamdaki tehlikelerden korumak için mi, yoksa hareket etmelerine yardımcı olmak için mi? Bu soruların cevapları, fosil kayıtlarında, yaklaşık 500 milyon yıllık kayalarda saklı.

Tarihöncesi okyanuslarındaki en yaygın fosillerden bazıları, 500 ila 250 milyon yıl yaşındaki konodontlardır. Konodontları, kitabın ileriki bölümlerinde tekrar karşımıza çıkacak büyük Rus biyologu Christian Pander 1830'larda keşfetmişti. Konodontlar, gövdelerinde iğneye benzer çıkıntıları olan, küçük, kabuklu organizmalardır. Pander'den bu yana, her kıtada konodont bulundu; hatta öyle yerler vardır ki, bir kayayı kırıp da bol miktarda konodont bulmadığınız olmaz. Konodontların bilinen yüzlerce türü vardır.

Konodontlar, çok uzun süre boyunca bir muamma olarak kalmıştı: Bilimciler yıllarca, konodontların hayvan mı, bitki mi, yoksa mineral mi olduğunu tartışıp durdular. Bu konuda, herkesin tuttuğu farklı bir kuram vardı. Konodontların bir istiridye, sünger veya omurgalıya, hatta solucana ait bir parça, olduğu bile iddia edilmişti. Fosil kayıtlarında bu hayvanın tamamı ortaya çıkarılınca bütün bu spekülasyonlar da sona erdi.

Her şeyi açıklığa kavuşturan ilk örnek, Edinburgh Üniversitesi'nin bodrum katını didik didik araştıran bir paleontoloji profesörü tarafından bulundu. Bodrum katta, içinde bir taşemen balığı varmış gibi görünen bir taş levha vardı. Taşemen balıklarını biyoloji derslerinizden belki hatırlarsınız; bunlar, çenesi olmayan çok ilkel balıklardır. Yaşamlarını, başka balıklara tutunarak ve onların vücut sıvılarından beslenerek sürdürürler. Bu taşemen izinin önünde, yine gömülü halde ve tuhaf şekilde tanıdık görünen küçük fosiller vardı: Konodontlar. Önce Güney Afrika'da, sonra da ABD'nin batı eyaletlerindeki kayalarda taşemenlere benzeyen başka fosiller de çıkmaya başladı. Bu canlıların hepsi de çok garip bir özelliğe sahipti: Ağızlarında toplu halde konodontlar vardı. Çıkarılacak sonuç çok açıktı: Konodontlar dişti. Üstelik sıradan bir diş de değil, tarihöncesinde yaşayan çenesiz bir balığın dişleriydi.

Fosil kaydındaki en eski dişleri zaten 150 yıl önce bulmuş, ama ne olduklarını anlamamıştık. Bu, fosillerin nasıl korunduğuna bağlıydı. Kuşkusuz sert kısımlar, örneğin dişler, daha iyi korunur. Kaslar, cilt ve bağırsaklar gibi yumuşak kısımlar ise, genellikle fosilleşmeden yok olup gider. Müzelerde iskelet, kabuk ve diş fosilleri odaları doldururken, paha biçilmez değerdeki bağırsak ve beyin fosillerinin sayısı çok azdır. Yumuşak dokuların varlığına ilişkin kanıtlara rastladığımız ender durumlarda ise, bulgular hep izlerden ibaret-

tir. Fosil kaydımız konodont dişlerle doluydu, ama gövdeleri bulmamız 150 yıl aldı. Konodontların ait olduğu gövdelerle ilgili tuhaf bir şey daha var; hiç sert kemik barındırmıyorlardı. Sonuçta bu canlılar, sert dişleri olan yumuşak gövdeli hayvanlardı.

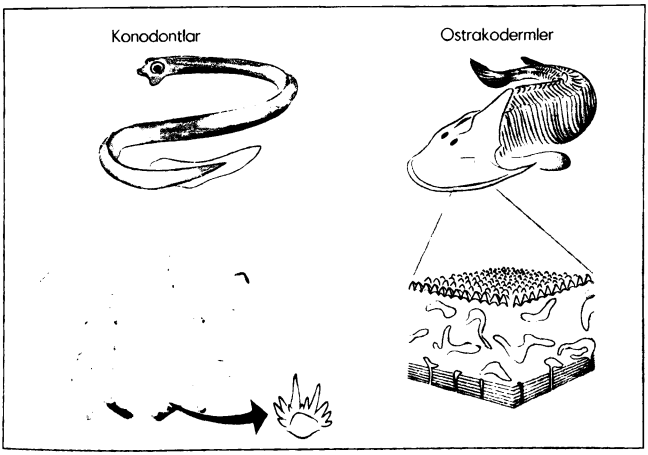
Paleontologlar yıllarca, neden en önce hidroksiapatit içeren sert iskeletlerin ortaya çıktığını anlamaya çalıştılar. İskeletin çene, omurga ya da gövde iskeletiyle başladığına inananlara göre konodontlar, "yersiz çıkan" birer dişten öte değildi. Vücudun, sert hidroksiapatit içeren ilk kısmı dişlerdi. Sert kemikler, hayvanlardan korunmak için değil, onları yemek için ortaya çıkmıştı. Yani, balığın balığı yediği bu âlem, gerçekten çok sert başlamıştı. Önce büyük balık küçük balığı yedi, sonra da silahlanma yarışı başladı. Küçük balık silahlandı, büyük balığın çenesi de bu savunmayı yarabilecek şekilde büyüdü ve yarış böylece sürdü gitti. Dişler ve kemikler, bu yarışın çehresini gerçekten de değiştirmişti.

Kafası kemikli ilk hayvanlardan bazılarını incelediğimizde durum iyice ilginç bir hal alır. İlk konodont hayvanlardan günümüze geldikçe, ilk kemikli kafalı iskeletlerin neye benzediğini görürüz. Bunlar, 500 milyon yıl önce yaşamış ve *Ostrakoderm* adı verilen balık sınıfına aittirler ve Kuzey Kutbu'ndan Bolivya'ya kadar dünyanın her yerindeki kayalarda bulunurlar.

Ostrakodermlerin kafa kısmı, kemikten bir kalkanın zırh gibi sardığı büyük bir diskten oluşur. Bir müzenin dolabından çıkarıp size gösterecek olsam, bir tuhaflık olduğunu anında fark ederdiniz: kafa iskeleti, tıpkı bizim dişlerimiz ya da balığın pulları gibi parlaktır.

Bilimci olmanın en keyifli yanlarından biri, doğanın size yaşattığı hayret ve şaşkınlıktır. İşte, tarihöncesinin bu anlaşılmaz çenesiz balıkları, yani ostrakodermlerde bunun iyi bir

örneğini buluruz. Ostrakodermler, kemikli-kafalı ilk canlılardandır. Kafatasını kesip açın, bir plastiğin içerisine oturtun ve mikroskobun altına koyun. Sıradan bir dokuyla karşılaşmazsınız; bulup bulacağınız bizim dişlerimizdekiyle aynı dokudur. Bir mine tabakası, hatta pulpa bile vardır. Bu zırh bütünüyle, birbirine kaynaşmış binlerce minik dişten oluşmuştur. Fosil kaydındaki en eski örneklerden olan bu kemikli kafatası, tamamen minik dişlerden oluşmuştur. Başlangıçta canlıları ısırmak için ortaya çıkan dişler, sonradan, canlıların korunması amacıyla farklı bir biçim almıştır.



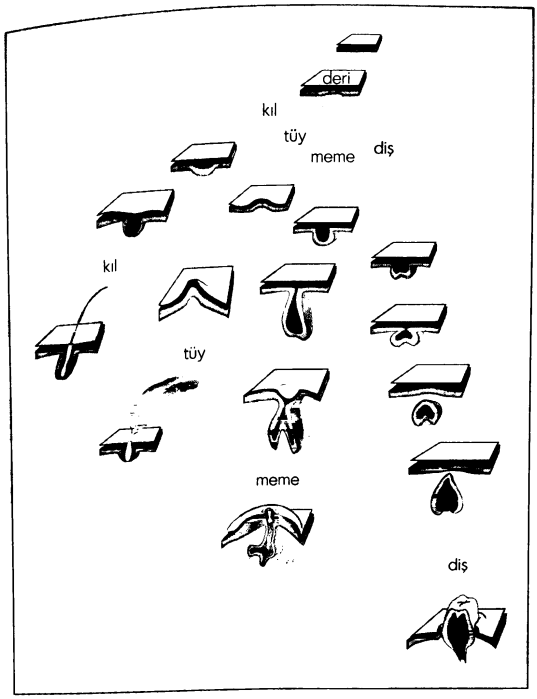
Konodont (solda) ve ostrakoderm (sağda). Konodontlar başlangıçta yalıtık halde bulunmuşlardı. Hayvanların tümü hakkında daha fazla bilgi sahibi olduktan sonra, konodontların pek çoğunun biraraya gelip, bu yumuşak gövdeli çenesiz balığın ağzında bir diş sırası olarak işlev gördüğü anlaşıldı. Ostrakodermlerin kafaları, kemikten bir zırhla kaplıydı. Bu zırhın katmanları mikroskop altında minik diş benzeri yapılardan oluşmuş gibi görünür (Konodont diş modeli, Leicester Üniversitesi'nden Dr. Mark Purnell ve Bristol Üniversitesi'nden Dr. Philip Donoghue'nın izniyle alınmıştır).

DİŞLER, SALGI BEZLERİ VE TÜYLER

Dişler, tümüyle yeni bir yaşam şeklinin habercisi olmaktan öte tümüyle yeni bir organ yapım şeklinin de başlangıcıdır. Gelişmekte olan derimizin iki doku katmanı arasındaki etkileşim sonucu ortaya çıkarlar. Kabaca, iki katman birbirine yaklaşır, hücreler bölünüp çoğalır, katmanlar şekil değiştirir ve protein oluşturmaya başlarlar. Dış katmandan diş minesinin öncül molekülleri, iç katmandan da dişin iç kısmını oluşturan pulpa ve dentin çıkar. Zamanla diş bir yapıya kavuşur, sonra da, yontula yontula türe özgü girinti ve çıkıntılar oluşur.

Dişin oluşumunu sağlayan, iki doku katmanı (dış kısımdaki daha sıkı, iç kısımdaki de daha gevşek yapıda olan hücre katmanları) arasındaki etkileşimdir. Bu etkileşim sonucunda doku bükülür ve her iki katmanın da dişi oluşturacak olan molekülleri salgılamasına neden olur. Deriden gelişen tüm yapıların (pullar, kıllar, tüyler, ter bezleri, hatta süt bezleri) temelinde bu etkileşimin yattığı bilinmektedir. Hepsinde de, iki katman biraraya gelir, kıvrılır ve protein salgılar. Aslında, bu etkileşim sürecinde, iki tip dokuda da, büyük oranda aynı genetik anahtarlar etkili olur.

Bu süreç, yeni bir imalat ve montaj işlemi geliştirmeye benzer. Plastik enjeksiyon ilk icat edildiğinde, otomobil parçasından yoyoya kadar her şeyin yapımında kullanılmıştı. Dişlerde de aynı durum söz konusudur. Dişin oluşumuyla sonuçlanan süreç, bir kez ortaya çıktıktan sonra, deri içindeki çok çeşitli yapıların üretimine uyarlanmıştır. Ostrakodermlerde bu durumun aşırı uçlara vardığını görüyoruz; tıpkı kuş, sürüngen ve insanlarda da pek çok bakımdan olduğu gibi. İlk başta dişler çıkmasaydı, hiçbir zaman pullar, tüyler ya da memeler de olmayacaktı. Dişleri oluşturan gelişimsel araçlar, başka önemli deri oluşumlarının yapımına uyumlu hale gelmiştir. Diş, tüy ve meme gibi birbirinden çok farklı organların



Dişler, memeler, tüyler ve kıllar. Hepsi de, iki deri katmanlarının birbiriyle etkileşimi sonucu gelişmiştir.

geçmişi, birbirinden ayrı düşünülemeyecek kadar iç içe geçmiştir.

Kitabın ilk dört bölümü, bir organın izini, farklı canlılarda nasıl sürebileceğimizle ilgiliydi. 1. Bölüm'de, tahminler yürütebileceğimizi ve tarihöncesinden kalma kayalarda organlarımızın farklı versiyonlarını bulabileceğimizi gördük. 2. Bölüm'de, benzer kemiklerin izini, balıktan insana nasıl sürebileceğimize baktık. 3. Bölüm, asıl kalıtsal parçamızın (organları inşa eden DNA ve genetik formül), çok farklı canlılarda da

nasıl izlenebileceği ile ilgiliydi. Bu bölümde ise, diş, süt bezi ve tüylerde, yine aynı temaya ulaştık. Birbirinden farklı organların yapıldığı biyolojik süreçler, aynı temanın versiyonlarıdır. Birbirinden farklı organların ve gövdelerin birbiriyle olan bu köklü benzerliklerini fark ettiğinizde, yeryüzündeki farklı canlıların, aslında aynı temanın versiyonları olduğunu da fark etmeye başlarsınız.

BEŞİNCİ BÖLÜM

BAŞA GEÇMEK

Anatomi finalimden iki gece önceydi, sabahın ikisinde laboratuvarda, kafa sinirlerini (kranial sinirler) ezberliyordum. Kafatası içinde her biri tuhaf büklümler ve kıvrımlarla dallara ayrılan 12 çift kafa siniri vardır. Bu sinirleri inceleyebilmek için, kafatasını alından çeneye kadar ikiye ayırmış, avurttaki bazı kemikleri de kesip açmıştık. İşte, kafanın her bir yarısı bir elimde, sinirlerin beyinden çıkıp kafatası içindeki farklı kaslara ve duyu organlarına doğru izlediği dolambaçlı yolları inceliyordum.

Sinirlerden iki tanesi (trigeminal ve fasiyal sinirler) beni büyülemişti. Bu sinirler, karmakarışık bir düzenden öyle basit, öyle olağanüstü bir sadeliğe varıyordu ki, insan kafası gözüme bambaşka görünmeye başlamıştı. Daha önce bu sinirleri, çok daha basit haliyle köpekbalıklarından biliyordum. Gerçi yeni bir şey değildi, karşılaştırmalı anatomi uzmanları bundan en az yüz yıl önce bunu fark etmişlerdi; ama bu zekice keşfimin ve yakında gireceğim sınavın sıkıntısıyla nerede olduğumu unutmuştum. Bir ara etrafıma baktım. Gecenin bir yarısıydı ve laboratuvarda tek başımaydım. Üstelik etrafım, üzeri örtülü 25 insan kadavrasıyla çevriliydi. İlk ve son kez olmak üzere korkuya kapıldım; öyle ki, ensemdeki tüyler diken diken olmuştu, bacaklarım üzerine düşeni yaptı ve bir nanosaniyede kendimi soluğu kesilmiş halde otobüs durağında buldum. Tabii ki kendimi çok gülünç hissetmiştim. Kendi kendime

şöyle dediğimi hatırlıyorum: Shubin, kendini çok kaptırdın. Ama bu düşünce uzun sürmedi; çok geçmeden evimin anahtarlarının laboratuvarda kaldığını fark ettim.

Kendimi bu kadar kaptırmamın nedeni, kafa anatomisinin çok büyüleyici ve harikulade oluşuydu. Bilimin en keyifli yanlarından biri de bazen, başlangıçta kaotik görünen şeylerin düzenini açığa çıkaran bir örüntüyü fark edivermektir. Karmakarışık bir şey, basit bir planın bir parçası haline geliverir ve bu planın özüne erebileceğiniz şeyi kavradığınızı hissedersiniz. Bu bölüm, kafamızın içindeki özü kavramakla ilgilidir. Bir de tabii, balığın kafasının içindekini.

KAFANIN İÇİNDE KAOS

Kafa anatomisi hem karmaşık, hem de görülmesi zor bir yapı sergiler. Vücudun diğer kısımlarının aksine başın dokuları, kemikten bir mahfazayla çevrilidir. Damarları ve organları görebilmek için avurtları, alnı ve kafatasını kesip açmamız gerekir. Bundan sonra da, karmakarışık bir misina yığınını andıran bir görüntüyle karşılaşırız. Damarlar ve sinirler, kafatasının içinden geçerken tuhaf dolambaçlı yollar izler. Bu küçük mahfazanın içinde binlerce dala ayrılan sinirler, kaslar ve kemikler toplanmıştır. İlk bakışta, kafatasını donatan tüm bu tertibat, içinden çıkılmaz karmakarışık bir yığın gibi görünür.

Kafatasımızı oluşturan üç temel parça vardır: plakalar, bloklar ve çubuklar. Plakalar, beynimizi örter. Başınızın tepesine hafifçe vuracak olursanız bu plakaları hissedersiniz. Kafatasımızın büyük bir kısmı, yapboz parçaları gibi birbirine geçen bu büyük plakalardan oluşur. Bu plakalar, doğduğumuzda birbirinden ayrıdır; aralarındaki bıngıldak denilen boşluklar bebeklerde gözle görülebilir, hatta bazen alttaki beyin dokularında nabzın attığı bile fark edilebilir. Büyüdükçe, bu kemikler de büyüyüp genişler ve 2 yaşımıza geldiğ

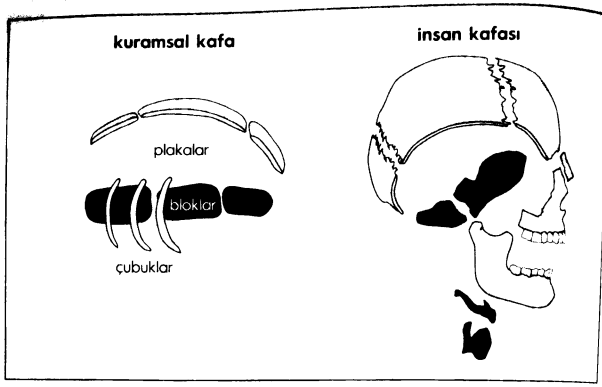
mizde kaynaşmış olurlar.

Kafatasımızın bir diğer parçası da, beynimizin altında, beynimizi "tutan" tabandır. Tepemizdeki plakaya benzeyen kemiklerin aksine, tabanı oluşturan bu kemikler blok şeklinde karmaşık yapılardır; içlerinden pek çok damar ve sinir geçer. Üçüncü kemik türü ise çeneyi, bazı kulak kemiklerini ve boğaz bölgesindeki kemikleri oluşturur. Bunlar, gelişimlerinin ilk dönemlerinde çubuğa benzer, sonradan bölünür ve çiğnememize, yutmamıza ve işitmemize yarayacak şekilde biçim değiştirirler.

Kafatasının içinde, farklı organların barındığı pek çok bölme ve boşluk vardır. Kuşkusuz, en büyük yeri beyin işgal eder. Diğer boşluklarda gözlerimiz, kulaklarımızın bir kısmı ve burun yapıları yer alır. Başın anatomisini öğrenirken en büyük zorluk, bu farklı boşlukları ve organları üç boyutlu görmektir.

Başımızdaki bu kemiklere ve organlara çiğnemek, konuşmak, gözlerimizi ve başımızı hareket ettirmek için kullandığımız kaslar tutunur. Bu kaslara giden 12 sinir vardır; hepsi de beyinden çıkar ve başımızın farklı yerlerine doğru yol alır. Bunlar, her anatomi öğrencisinin kâbusu "kafa sinirleri"dir.

Başın özüne inebilmek için, önce kafa sinirlerine, karmakarışık bir yığından öte bir şey olarak bakmalıyız. Aslında, bu sinirlerin çoğu hiç de karışık değildir. En basit olanları, sadece tek bir işleve sahip, tek bir kasa ya da organa bağlı sinirlerdir. Burun kanallarına giden kafa sinirinin, yani koku sinirinin tek bir görevi vardır: Burun dokularından aldığı bilgiyi beyne iletmek. Gözlerimize ve kulaklarımıza giden bazı sinirler de, bu anlamda basittir: Görme siniri görmede, işitme siniri işitmede rol oynar. Dört kafa siniri ise sadece kasların hizmetindedir (sözgelimi, gözlerin göz yuvarları içerisinde hareket ettirilmesine ya da başın boynun etrafında hareket ettirilmesine yarar).



Kafatasındaki ana tema: plakalar, bloklar ve çubuklar. Kafatasımızdaki bütün kemikler, bu üç gruptan birine dahildir.

Fakat dört tane kafa siniri vardır ki, bunlar tıp öğrencilerini delirtmekte yıllarca rakip tanımamıştır. Ama haklı gerekçelerle: Hepsi de çok karmaşık işlevler üstlenirler ve bu işlevlerini yerine getirebilmek için başın içinde izledikleri yollar da çok dolambaçlıdır. Bu açıdan trigeminal sinir ile fasiyal sinir özellikle bahse değer. İkisi de beyinden çıkar ve dallara ayrılarak kafa karıştırıcı bir ağ oluştururlar. Bir kablonun televizyon, İnternet ve ses bilgilerini iletebilmesi gibi, trigeminal ya da fasiyal sinire ait tek bir dal da, hem duyularla hem de hareketle ilgili bilgileri iletebilir. Duyu ve hareketle ilgili sinir lifleri ayrı ayrı, beynin farklı kısımlarından çıkar, biraraya gelerek "kablolar" oluşturur (işte trigeminal ve fasiyal sinir dediğimiz yapılar, bu kablolardandır), sonra tekrar dallara ayrılarak başın dört bir tarafına yayılırlar.

Trigeminal sinirin dallarının başlıca iki görevi vardır: kasları kontrol etmek ve yüzün büyük kısmından gelen duyusal bilgiyi beyne iletmek. Trigeminal sinirin kontrol ettiği ka-

lar arasında, çiğnemek için kullandığımız kasların yanısıra kulağın derinlerindeki minik kaslar da yer alır. Trigeminal sinir, aynı zamanda yüzümüzdeki duyumla ilgili en önemli sinirdir. Yüzümüze atılan tokadın, duygularımızı incitmesinin ötesinde bu kadar canımızı yakması, işte bu trigeminal sinirin yüzümüzden aldığı duyusal bilgiyi beynimize iletmesinden kaynaklanır. Trigeminal sinirinizin nasıl dallandığını, diş hekiminiz de gayet iyi bilir. Diş köklerine farklı dallar uzanır; bu dallardan birine yapılan tek bir uyuşturucu iğne, diş kökümüzün farklı kısımlarındaki duyumları keser.

Fasiyal sinir de kasları kontrol eder ve duyusal bilgi iletir. Mimik kaslarını kontrol eden ana sinirdir. Gülümsemek, kaşlarımızı çatmak, kaldırmak ya da düşürmek, burun deliklerimizi genişletmek gibi eylemlerle gerçekleştirdiğimiz yüz ifadelerinde bu minik kaslardan yararlanırız. Bu kaslara çok betimleyici adlar verilmiştir. Somurtmak için kullandığımız ve ağız köşelerini aşağı çeken kasın adı depressor anguli oris'tir*. Endişeliyken alnımızı buruşturduğumuzda kullandığımız kasa verilen mükemmel ad ise, corrugator supercilii'dir.** Burun deliklerinizi genişletin, işte kullandığınız kas nasalis'tir***. Bu kasların her biri, mimik kaslarının hepsi gibi fasiyal sinir dallarıyla kontrol edilir. Tek taraflı gülümseme ya da göz kapaklarının kapanırken asimetrik oluşu gibi durumlar, yüzün bir yanındaki, yani sağ veya sol fasiyal sinirle ilgili bir bozukluğun belirtisi olabilir.

Artık, bu sinirleri öğrenmek için neden geç saatlere kadar çalıştığımı anlamaya başlamışsınızdır. Bu sinirler akıl alır gibi değildir. Örneğin, hem trigeminal hem de fasiyal sinirlerin,

* "Ağız köşelerini aşağı çeken" anlamında (ç.n.).

** "Kaş-üstü bölgesini buruşturan" anlamında (ç.n.).

*** "Nasal", "burunla ilgili" anlamına gelir (ç.n.).

kulaklarımızın içindeki kaslara uzanan minik dalları vardır. Yüzün ve çenenin tamamen farklı kısımlarına giden iki farklı sinir, neden birbirine bitişik duran kulak kaslarına doğru dallanır? Daha da karmaşık olanı, trigeminal ve fasiyal sinirlerin, yüzümüze ve çenemize doğru dallara ayrılırken birbirlerini çaprazlamasına kesmesidir. Neden? Gereğinden fazla gibi görünen birçok işlev ve izledikleri böylesine dolambaçlı yollarla bu sinirlerin, kafatasımızı oluşturan plakalar, bloklar ve çubuklarla nasıl örtüştüğü şöyle dursun, yapılarının da mantıklı hiçbir açıklaması yok gibi görünüyor.

Bu sinirlerle uğraşırken aklıma, 2001'de Chicago'ya taşındığım ilk günler geldi. Araştırma laboratuvarı için bana yüz yıllık bir binada yer ayrılmıştı. Laboratuvara elektrik tesisatı, sıhhi tesisat ve havalandırma gerekiyordu. Binanın içlerine girebilmek için ustaların duvarları yıktıkları o günü hatırladım. Ustaların, duvarın içindeki su ve elektrik tesisatıyla karşılaştıklarında verdikleri ilk tepki, benim insan kafasını açıp trigeminal ve fasiyal sinirleri ilk kez gördüğümde verdiğim tepkinin aynısıydı. Duvarların içindeki elektrik tesisatı, kablolar ve borular karmakarışıktı. Aklı başında hiç kimse, sıfırdan başlayıp, kabloların tuhaf dolambaçlarla döşeneceği böyle bir bina planlamazdı.

İşte asıl mesele de buydu. Eski bir plana göre 1896'da inşa edilen binanın tesisatında, daha sonraki yeniliklerin gerektirdiği biçimde düzenlemeler yapılmıştı. Binanın elektrik ve sıhhi tesisatını çözebilmek için, önce geçmişini ve her yeni kuşak bilimcinin ihtiyacına göre nasıl yenilendiğini anlamanız gerekir. Aynı şekilde insan kafasının da uzun bir geçmişi vardır. Trigeminal ve fasiyal sinirler gibi karmaşık sinirler de ancak bu geçmişle açıklanabilir.

Geçmiş, bizim için yumurtanın döllenmesiyle başlıyor.

EMBRİYODAKİ ÖZ

Kimse hayata bir kafayla başlamaz; sperm ve yumurta biraraya gelip tek bir hücre oluşturur. Döllenme anından başlayarak hayatın üçüncü haftasına kadar geçen sürede, tek bir hücreden, önce bir hücre yumağına, sonra disk biçimli bir hücre topluluğuna, sonra da, kabaca bir boruyu andıran ve çeşitli türde dokular içeren bir "şey"e dönüşürüz. 23. günle 28. gün arasında, bu borunun ön ucu kalınlaşır, kendi üzerine katlanır ve embriyo daha o zamandan fetüs pozisyonunda kıvrılmış gibi görünür. Bu aşamada kafa, iri bir topağa benzer. İnsan kafasını oluşturan en önemli unsurlar işte bu topağın taban kısmındadır.

Bu bölge civarında oluşan dört minik kabartıdan, gırtlak ve yutak yapıları gelişecektir. Yaklaşık 3. haftada bu kabartılardan ilk ikisi, dört gün sonra da diğer ikisi belirir. Bu kabartılar, dış taraftan pek belli olmaz: Belli belirsiz bir yuvarlaktan ibarettirler, aralarındaki ince kırışıklıktan seçilirler. Bu kabartı ve kırışıklıkların başına gelenleri izledikçe, trigeminal ve fasiyal sinirler de dahil, başın güzelliğini ve düzenini fark etmeye başlarsınız.

Yay adı verilen bu kabartılardaki hücrelerden bir kısmı kemik dokusunu, bir kısmı da kasları ve kan damarlarını oluşturacaktır. Her yayın içinde karmaşık hücre toplulukları yer alır; bazı hücreler hemen oracıkta bölünürken bazıları uzun bir yol kat edip yayın içine öyle girer. Her yaydaki hücreleri, erişkin organizmada aldıkları konumlara göre tanımlarsak, o zaman her şey anlam kazanmaya başlar.

Birinci yayın dokuları, en sonunda üst ve alt çeneyi, iki minik kulak kemikçiğini (çekiç ve örs) ve bunlara giden tüm damar ve kasları oluşturur. İkinci yay, üçüncü kulak kemikçiğini (üzengi), gırtlakta yer alan çok küçük bir kemiği ve mimik kaslarının büyük bir kısmını oluşturur. Üçüncü yay,

boğaz bölgesinin daha derin kısımlarında, yutakta yer alan ve yutkunmak için kullandığımız kemikleri, kasları ve sinirleri oluşturur. Son olarak, dördüncü yay, boğazın en derin kısımlarını oluşturur; buna gırtlak (larinks) ve gırtlağı çevreleyerek işlevine yardımcı olan kas ve damarlar da dahildir.

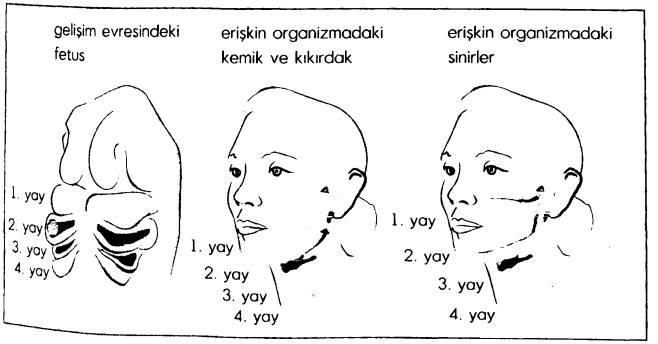
Eğer bir topluiğne başı kadar küçülüp gelişim evresindeki bir embriyonun ağzından içeri doğru ilerleyebilecek olsaydık, bu kabartılara karşılık gelen girintiler görürdük. Bu girintilerden dört tane vardır. Dış taraftaki yaylar gibi, bu girintilerin üzerindeki hücreler de önemli yapılar oluşturur. İlki uzayarak Östaki borusunu (yemek borusu) ve kulaktaki bazı yapıları oluşturur. İkincisi, bademciklerimizin bulunduğu boşluğu oluşturur. Üçüncü ve dördüncü girintiler ise paratiroit, timus ve tiroit gibi önemli bezleri oluşturur.

Bu anlattıklarımla size, en karmaşık kafa sinirlerinin ve başın önemli bir kısmının anlaşılmasını sağlayacak önemli ipuçlarından birini vermiş oldum. Trigeminal siniri anlamak istiyorsanız birinci yayı düşünün. Fasiyal sinir için ikinci yayı. Trigeminal sinirin hem alt ve üst çene, hem de kulağa gitmesinin nedeni, dallarının ulaştığı tüm yapıların esasen birinci yaydan gelişmiş olmasıdır. Aynı şey, fasiyal sinir ve ikinci yay için de geçerlidir. Fasiyal sinirin liflerini alan mimik kaslarıyla kulak kaslarının ortak noktası, ikinci yaydan türemiş olmalarıdır. Üçüncü ve dördüncü yayın sinirleri ise, sırf kendi yaylarından çıkan yapıları sinirlerle donatmak için böyle karmaşık yollar izlerler. Aralarında glossofaringeal sinir (dil-yutak siniri) ile vagus sinirinin de bulunduğu üçüncü ve dördüncü yay sinirleri, öndekilerle aynı yolu izleyerek kendi yaylarından oluşan yapılara ulaşırlar.

Kafadaki bu temel modeli dikkate alarak düşündüğümüzde, anatomi öykülerinden bir tanesi anlam kazanır. Rivayete göre, 1820'de Johannes Goethe, Viyana'daki Yahu-

mezarlığından geçerken çürümekte olan bir koç iskeletine rast gelir. Omurgası açığa çıkmış, kafatası hasar görmüş haldedir. Goethe, ilahi bir ilhamla birden, kafatasındaki kırıkların, kafatasının bir omur yığını gibi görünmesine neden olduğunu fark eder. Goethe'ye göre kendisine vahyolunan, asıl plandır: Kafanın, biraraya gelip kaynaşan ve böylece beynimizi ve duyu organlarımızı koruyacak bir çatı oluşturan omurlardan oluşmuş olması. Bu, başı ve gövdeyi aynı temel planın iki farklı versiyonu olarak birbirine bağlaması bakımından çok yenilikçi bir fikirdi. Bu fikir 1800'lerde içme suyuna karışmış olmalı ki, aralarında Lorenz Oken'in de bulunduğu başka bilimciler de aynı zamanlarda, temelde aynı fikirle ortaya çıkıvermişlerdir.

Goethe ve Oken farkında değillerdi, ama ikisi de çok önemli bir şey bulmuşlardı. Vücudumuz segmentli yapıdadır ve bu yapı, omurlarımızda açıkça görülür. Her omur, vücudumuzun bir segmentini temsil eden bir bloktur. Sinir sistemimiz de, omurların düzeniyle yakından ilişkili olan segmentli bir yapıdadır. Sinirler, omurilikten çıkarak vücuda yayılır. Omuriliğin, her bir vücut kısmıyla ilişkili olan bölge-



Solungaç yaylarını embriyodan erişkin organizmaya kadar takip edersek çene, kulak, gırtlak ve yutağın kökenlerine ulaşabiliriz. Kemik, kas, sinir ve damarların hepsi de bu yayların içinde oluşur.

sinin düzeyine baktığımızda, bu segmentli yapılanma açık biçimde ortaya çıkar. Örneğin, bacaklarımızdaki kaslara giden sinirlerin omurilikten çıktığı yer, kollarımıza giden sinirlerin çıktığı yerin altındadır. Pek belli olmasa da, başımız da aslında çok segmentli bir düzenlemeye sahiptir. Sözünü ettiğimiz yaylar kemik, kas, damar ve sinir segmentlerini tanımlar. Erişkin birine baktığınızda bu modeli fark etmeyiz; bunu sadece embriyoda görürüz.

Embriyo döneminden erişkinliğe doğru ilerledikçe kafatasımız, bu segmentli kökenini yansıtan görünür kanıtları tümden kaybeder. Kafatasımızdaki plakaya benzer kemikler, solungaç yaylarının üzerinde oluşur; hepsi de başlangıçta çok basit bir segmentli motif sergileyen kas, sinir ve damarlarımız da erişkin kafalarımızı oluşturmak üzere yeniden düzenlenir.

Embriyo gelişimi hakkında bilgi sahibi olmak, belirli doğum kusurlarıyla doğan çocuklarda sorunun kökenini arayacağımız yeri tahmin etmede bize yardımcı olabilir. Örneğin, birinci yay sendromuyla doğan çocukların çeneleri fazla küçük, işlevsiz kulakları da çekiç ve örs kemiğinden yoksundur; birinci yaydan gelişmiş olması gereken yapıları eksiktir.

Yaylar, en karmaşık kafa sinirlerinden kaslara, damarlara, kemiklere ve içteki bezlere kadar, kafatasının temel yapıları için birer yol haritasıdır. Yaylar, bir konuda daha rehberlik eder: köpekbalıklarıyla olan çok derin bağlarımızı anlamada.

İÇİMİZDEKİ KÖPEKBALIĞI

Avukat fıkralarının çoğunun anafikri, avukatların aslında doymak bilmez köpekbalıkları olduğudur. Bu tür fıkraların yine moda olduğu sıralarda embriyoloji dersi verirken, bu şakanın aslında hepimizle ilgili olduğunu düşünmüştüm. Hepimiz değişime uğramış köpekbalıklarıyız (ya da daha kötüsü, hepimizin içinde bir avukat var).

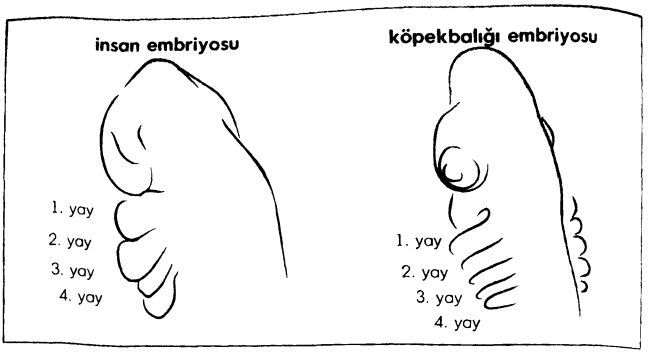
Gördüğümüz gibi kafamızla ilgili sırlar, karmaşık kafa sinirlerinin ve başın içindeki önemli yapıların yol haritasını sağlayan kabartılarda, yani yaylarda saklıdır. Bu silik, zar zor seçilen kabartı ve girintiler, 150 yıldır anatomi uzmanlarını meşgul etmektedir; çünkü balıkların ve köpekbalıklarının boğaz kısmındaki solungaç yarıklarına benzerler.

Bu girinti ve çıkıntılar balık embriyolarında da vardır. Girintiler balıklarda sonunda, suyun solungaçlardan geçebileceği bir açıklık halini alır. Bizdeyse, bu girintiler kapanmıştır. Bazı anormal vakalarda, solungaç yarıkları kapanmaz, kese ya da kist halinde açık kalır. Örneğin, "brankial kist" (solungaç kisti), genellikle boynun içinde açık bir kese halindeki, sıvı dolu, iyi huylu bir kisttir; bu kese, 3. ya da 4. yayın kapanmaması yüzünden oluşur. Nadiren, eski solungaç yayı kıkırdağına ait bir kalıntıyla, yani 3. yaydan çıkan solungaç çubuğu yerine geçen minik bir çubukla doğan bebekler olur. Böyle vakalarda cerrah meslektaşlarım, bizi ısırmak için geri gelmiş olan içerideki balığı ameliyat etmek durumunda kalırlar.

Köpekbalığından insana her hayvan, gelişim döneminde kafasında bu dört yayı taşır. Bu hikâyeye asıl renk katan, her bir yayın içinde olup bitenlerdir. Artık, insan kafasıyla köpekbalığı kafası arasında, en ince ayrıntısına kadar bir karşılaştırma yapabiliriz.

İnsanda ve köpekbalığında birinci yayı inceleyecek olursanız, özellikle de çene bölgesinde olan bitenin, bu iki canlı arasında çok benzer olduğunu görürsünüz. En önemli fark, insandaki birinci yayın, aynı zamanda bazı kulak kemikçiklerini de oluşturmasıdır ki köpekbalıklarında bunu göremeyiz. İnsanlarda ve köpekbalıklarında alt ve üst çeneye giden kafa sinirinin birinci yay siniri, yani trigeminal sinir olması da şaşırtıcı değildir.

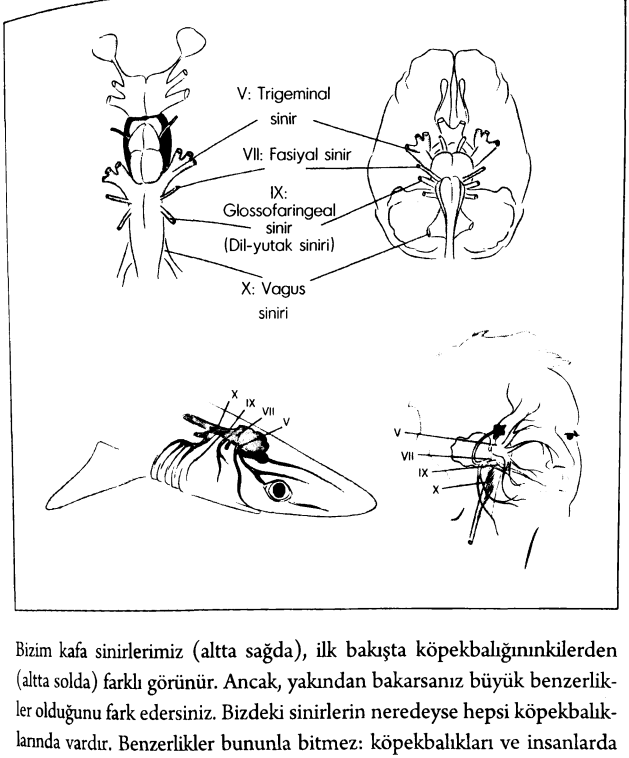
İkinci solungaç yayının içindeki hücreler bölünür, değişir



Gelişim evresindeki bir köpekbalığının ve gelişim evresindeki bir insanın solungaç bölgesi, ilk başta aynı görünür.

ve kıkırdak ile kastan yapılı bir parça oluşur. Bizde, bu kıkırdak parçası bölünerek ortakulağımızdaki üç kemikçikten birini (üzengi kemiğini), kafa tabanı ve boğaz bölgesindeki küçük yapılardan bazılarını oluşturur. Bunlardan dil kemiği (hyoid) adı verilen kemik, yutkunmamıza yarar. Sonuç olarak, önünüzdeki bardaktan bir yudum alın, müziğinizi dinleyin ve bunlar için ikinci yaydan gelişen bu yapılara şükredin.

Köpekbalıklarında, ikinci yay çubuğu parçalanarak alt ve üst çeneyi destekleyen iki kemik oluşturur: altta, bizdeki dil kemiğine benzeyen bir kemik, üstte ise üst çeneyi tutan başka bir kemik. Büyük beyaz köpekbalığının bir şeyleri (sözgelimi, kafesin içindeki bir dalgıcı) hatır hutur yemeye çalıştığını izlediyseniz, bu sırada köpekbalığının üst çenesinin ileri geri hareket edebildiğini fark etmişsinizdir. İkinci yayın üst kemiği, bu hareketi mümkün kılan ve dönerek işlev gören kemikli kaldıraç sisteminin bir parçasıdır. Üst kemiğin dikkate değer bir özelliği daha vardır. Bizim ortakulağımızdaki kemikçiklerden birine, üzengi kemiğine benzer. Köpekbalıklarında üst ve



Bizim kafa sinirlerimiz (altta sağda), ilk bakışta köpekbalığınınkilerden (altta solda) farklı görünür. Ancak, yakından bakarsanız büyük benzerlikler olduğunu fark edersiniz. Bizdeki sinirlerin neredeyse hepsi köpekbalıklarında vardır. Benzerlikler bununla bitmez: köpekbalıkları ve insanlarda birbirine karşılık gelen sinirlerin yayıldığı yapılar da aynıdır; hatta beyinden çıkışları da aynı düzeni izler (üst solda ve üst sağda).

alt çeneyi tutan kemikler, insanlarda yutkunmada ve işitmede kullanılır.

Üçüncü ve dördüncü yaylara gelince; bizim konuşurken ve yutkunurken kullandığımız yapılardan pek çoğunun, köpekbalıklarında solungaçları destekleyen dokulara karşılık geldiğini görürüz. Yutkunurken ve konuşurken kullandığımız kaslar ve kafa sinirleri, köpekbalıklarında ve balıklarda solun-

gaçları hareket ettirir.

Kafamız inanılmaz derecede karmaşık görünebilir, ama basit ve mükemmel bir modelden yapılmıştır. İster bir köpekbalığının, ister kemikli bir balığın, semenderin ya da insanın olsun, yeryüzündeki her kafada ortak olan bir düzen vardır. Bu düzenin keşfi, anatomi uzmanlarının ellerine geçen her türden embriyoları mikroskop altında inceledikleri bir çağın, 19. yüzyıl anatomisinin en büyük başarısıdır. 1872'de Oxfordlu anatomi uzmanı Francis Maitland Balfour, köpekbalıklarını inceleyip çıkıntıları, solungaç yaylarını ve içteki yapıları gördükten sonra, kafadaki temel planı fark etmişti. Ne yazık ki, bundan kısa bir süre sonra, İsviçre Alplerinde dağcılık yaparken geçirdiği bir kazada öldü. Daha otuzlu yaşlarındaydı.

SOLUNGAÇ YAYI GENLERİ

Döllenmeden sonraki ilk üç haftada, solungaç yaylarımızda ve gelecekte beynimizi oluşturacak tüm dokularda gen grupları, birer bütün olarak devreye sokulur, devre dışı bırakılır, yani "açılıp kapatılır". Bu genler, hücrelere, kafamızın farklı kısımlarını oluşturma talimatı verir. Başımızdaki her bir bölgenin, kendisini diğerlerinden ayıran genetik bir adresi olduğunu varsayalım. Bu genetik adresi değiştirerek burada gelişen yapıların türlerini de değiştirmemiz mümkündür.

Örneğin, *Otx* olarak bilinen bir gen, başın, birinci yayın oluştuğu ön bölgesinde etkindir. Bunun daha gerisinde, başın arkasına doğru, *Hox* adı verilen genlerin etkin olduğunu görürüz. Her solungaç yayının içinde, burada etkili olan farklı bir *Hox* geni tamamlayıcısı vardır. Bu bilgiyle, solungaç yaylarımızın ve bunların yapımında etkinleşen genlerin bir haritasını çıkarabiliriz.

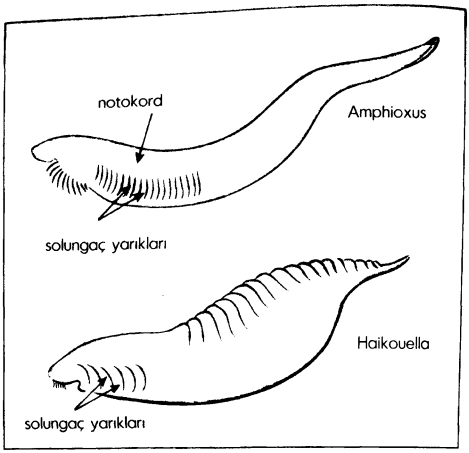
Artık deneylere geçebiliriz; bir solungaç yayının genetik adresini, bir diğerininkiyle değiştirelim. Bir kurbağa embriyo-

sunu alıp bazı genleri devre dışı bırakır, birinci ve ikinci yaylardaki genetik sinyalleri birbirinin aynı hale getirirsek iki çeneli bir kurbağa elde ederiz; normalde dil kemiğinin (hyoid) olması gereken yerde bir altçene kemiği (mandibula) oluşur. Bu, bize genetik adreslerin, solungaç yaylarımızı oluşturmadaki gücünü gösterir. Adresi değiştirirseniz yaydaki yapıları da değiştirmiş olursunuz. Bu yolla, temel kafa tasarımlarıyla ilgili deneyler yapabiliyoruz: İçlerindeki genlerin etkinliğini değiştirerek, solungaç yaylarının özelliklerini de istediğimiz gibi değiştirebiliyoruz.

KAFALARIN İZİNDE: KAFASIZ KERAMETLERDEN KAFALI ATALARIMIZA

Neden kurbağalarda ve köpekbalıklarında duralım ki? Yaptığımız karşılaştırmayı, böcekler ya da solucanlar gibi başka canlıları da kapsayacak şekilde neden genişletmeyelim? Peki, ama bırakın kafa sinirlerini, kafası bile olmayan bu canlılarla karşılaştırma yapmanın ne anlamı var? Bu canlıların iskeleti bile yok. Balıklardan solucanlara geçtiğimizde, çok yumuşak ve kafasız bir dünyayla karşılaşırız. Yine de, yakından bakarsak, bu canlılarda da bizden bir şeyler vardır.

Üniversite öğrencilerine karşılaştırmalı anatomi dersi verirken, ilk derse genellikle bir *Amphioxus* slaytıyla başlarız. Her eylülde, Maine'den California'ya kadar, tüm sınıflarda projektör ekranlarında yüzlerce *Amphioxus* boy gösterir. Neden mi? Omurgalı hayvanlarla omurgasız hayvanlar arasındaki basit ayrımı hatırlıyor musunuz? *Amphioxus* bir solucandır, yani omurgasızdır. Ama balıklar, amfibiler ve memeliler gibi omurgalı hayvanlarla ortak pek çok özelliği vardır. *Amphioxus*'un omurgası yoktur, ama omurgalı tüm canlılar gibi, sırtı boyunca uzanan bir sinir kordonu, ayrıca, vücudunu boydan boya geçen ve bu iliğe paralel uzanan bir çubuk vardır.



Kafalı hayvanların en yakın akrabaları solungaç yarıkları olan solucanlardır. Burada, *Amphioxus* ve 530 milyon yıl önce yaşamış bir solucan fosili (*Haikouella*) modeli görülmektedir. İki solucanın da birer notokordu, sinir iliği ve solungaç yarıkları vardır. Bu solucan fosilini, Çin'in güneyinde bulunan üç yüz kadar örnekten biliyoruz.

Notokord olarak bilinen çubuk şeklindeki bu yapı, peltemsi bir maddeyle doludur ve vücuda destek olur. Birer embriyo iken bizim de notokordumuz vardır, ama *Amphioxus*'unkinden farklı olarak bizimki parçalara ayrılır ve sonunda omurlar arasında yer alan disklerin bir parçası haline gelir. Bu disklerden biri kırılacak ya da parçalanacak olursa, bir zamanlar notokordu oluşturan bu peltemsi madde, sinirlere dokunduğunda ya da omurlardan birinin diğeriyle bağlantılı hareketine müdahale ettiğinde, ortalığı kasıp kavurabilir. Omurgamızdaki diskleri incittiğimizde zarar gören yapı, vücut planımızın çok eski bir bileşenidir. Eksik olma *Amphioxus*.

Amphioxus, solucanlar arasındaki tek örnek değildir. En iyi örneklerin bir kısmı, bugünkü okyanuslarda değil, Çin ve

Kanada'daki tarihöncesi kayaçlarda bulunur. 500 milyon yıldan yaşlı tortul katmanlara gömülü halde duran küçük solucanların ne kafaları, ne gelişmiş birer beyinleri, ne de kafa sinirleri vardır. Kayalara bulaşmış küçük lekeleri andıran bu fosiller, pek bir şeye benzemese de, inanılmaz derecede iyi korunmuş durumdadırlar. Mikroskop altında incelerseniz, yumuşak dokularının anatomilerini en ince ayrıntısına kadar yansıtan, mükemmel denecek kadar iyi korunmuş izleri, hatta bazen derilerinin izlerini bile seçebilirsiniz. Bu izler olağanüstü bir şeyi daha yansıtır. Notokordu ve sinir iliği olan ilk canlılardır bunlar. Ve bize, vücudumuzu oluşturan parçaların kökeniyle ilgili bir şey söylemektedirler.

Bu minik solucanlarla ortak bir noktamız daha var: solungaç yayları. Bu yaylardan bol miktarda içeren *Amphioxus*'ta, her bir yayla ilişkili olan bir de küçük kıkırdak çubuğu vardır. Çenemizi, kulak kemikçiklerimizi ve gırtlağımızın parçalarını oluşturan kıkırdaklar gibi, bu çubuklar da solungaç yarıklarını destekler. Kafamızın özü solucanlara, yani kafası bile olmayan organizmalara kadar uzanır. Peki, ama *Amphioxus* bu solungaç yaylarıyla ne yapar? İçlerinden su pompalayarak küçük yiyecek parçalarını süzer. İşte kendi kafamızın temel yapısı da, böylesine mütevazı bir başlangıcın ürünüdür. Tıpkı dişlerin, genlerin ve üyelerin yüzyıllar içerisinde değişikliğe uğraması, işlevlerinin farklı amaçlara göre uyarlanması gibi, başımızın temel yapısı da değişikliğe uğramış ve uyarlamalardan geçmiştir.

ALTINCI BÖLÜM

;URSUZ VÜCUT PLANLARI

Biz insanlar, şaşmaz bir düzenle biraraya gelen yaklaşık 2 trilyon hücrelik bir bileşimiz. Vücudumuz, tam da olması gereken yerde bulunan hücrelerimizle ve organlarımızla üç boyutlu yapıdadır. Kafamız en üstte, omuriliğimiz ise sırtımıza yakın konumlanmıştır. Mide ve bağırsaklarımız karın bölgesinde, kol ve bacaklarımız da yanlardadır. Bu temel yapı, bizi hücre yığınlarından veya kümelerinden oluşan ilkel canlılardan ayırır.

Aynı plan, diğer canlıların vücut düzenlemelerinde de önemli bir yer tutar. Bizim gibi, balıkların, kertenkelelerin ve ineklerin vücutları da ön/arka, üst/alt ve sol/sağ simetrisine sahiptir. Ön uçta (dik duran bir insanda üst kısma karşılık gelir) hep kafa yer alır, duyu organları ve beyin de kafanın içindedir. Vücudun sırt kısmında, gövde boyunca uzanan bir omurilik bulunur. Yine bizim gibi bu hayvanların da vücutlarının bir ucunda ağızları, diğer ucunda da anüs bulunur. Ön uçtaki kafa, genellikle hayvanın yüzdüğü veya yürüdüğü yöne bakar. Tahmin edebileceğiniz gibi anüs önde olsaydı, başta su ortamında olmak üzere pek hoş karşılanmaz, sosyal ortamlarda da sorun yaratabilirdi.

Denizanası gibi çok ilkel hayvanlarda bu temel tasarımı pek göremeyiz. Denizanası farklı bir vücut planına sahiptir: hücreleri biraraya gelerek, üstü ve altı olan diskler oluşturmuştur. Ön ve arka yüzü, başı ve kuyruğu, ayrıca sol ve sağ tarafı yoktur; bu bakımdan denizanasının vücut organizasyonu bizimkinden çok farklıdır. Vücut planınızı, bir süngerle karşılaştırmak için ise

boşuna zahmet etmeyin. Çok istiyorsamz deneyin, ama bu, anatomik değil, daha çok psikiyatrik bir sonuç verecektir.

Bu ilkel hayvanlarla kendimiz arasında hakkıyla bir karşılaştırma yapabilmek için bazı araç gereçlere ihtiyacımız olacaktır. Tıpkı kafalarda ve üyelerde olduğu gibi geçmişimiz, döllenmiş yumurtadan erişkinliğe kadar olan gelişimimizde kayıtlıdır. Embriyolarda, yaşamın en büyük sırlarım aydınlatacak ipuçları ve bir de benim planlarımı baltalayabilecek bir güç saklıdır.

GENEL PLAN: EMBRİYOLARI KARŞILAŞTIRMAK

Lisansüstü eğitimime memeli fosillerini incelemek için başladım; 3 yıl sonra, tezim için balıkları ve amfibileri inceleyerek bitirdim. Yoldan çıkışım -öyle de denilebilir- embriyolar üzerinde çalışmaya başladığım zaman oldu. Laboratuvarda pek çok embriyo bulundururduk: semender larvası, balık embriyosu, hatta döllenmiş tavuk yumurtaları bile vardı. Bunları hep mikroskop altında inceler, içlerinde olan bitene bakardım. Türlerin hepsinde de embriyolar, boyu 2-2,5 cm'yi geçmeyen, minik beyaz hücre kümeleri görünümündeydi. Gelişimlerinin seyrini izlemek heyecan vericiydi; embriyo büyüdükçe, yumurtanın sansı, yani embriyonun yiyecek deposu giderek küçülüyordu. Yumurtanın sarısı kaybolup gittiğinde ise, embriyo genellikle yumurtadan çıkacak kadar büyümüş oluyordu.

Bu gelişim sürecini izlemek, düşünce şeklimde muazzam bir değişime yol açtı. Sadece embriyodan ibaret bir başlangıçtan (küçük bir hücre kümesinden), tam olması gerektiği gibi dizilmiş trilyonlarca hücreden oluşan kusursuz kuşlar, kurbağalar ve alabalıklar ortaya çıkıyordu. Bununla da bitmiyordu. Balık, amfibi ve tavuk embriyoları, biyoloji öğrenimim sırasında gördüğüm hiçbir şeye benzemiyordu. Genel olarak hepsi birbirinin aynı gibiydi. Hepsinin de, solungaç yayları olan birer kafası vardı; hepsinin, gelişimine üç kabarıklıkla başlayan küçük birer

beyni vardı; yine hepsinin küçük üye tomurcukları vardı. Aslında tez konum, yani 3 yıl boyunca asıl ilgileneceğim konu da, bu üyeler olacaktı. Bu noktada, kuş, semender, kurbağa ve kaplumbağaların iskelet gelişimlerini karşılaştırırken, kuş kanadı ile kurbağa bacağı kadar birbirinden farklı üyelerin oluşum evresinde birbirine ne kadar çok benzediğini fark ettim. Bu embriyolara bakarken hepsinde ortak olan bir plan görüyordum. Sonunda hepsi farklı bir görünüme kavuşan bu türler, hep benzer bir durumdan yola çıkıyorlardı. Embriyoları incelerken memeliler, kuşlar, amfibiler ve balıklar arasındaki farklılıklar, temel benzerliklerin yamında bana önemsiz gibi görünüyordu. Sonra Karl Ernst von Baer'in çalışmaları hakkında bilgi sahibi oldum.

1800'lerde bazı doğa bilimcileri, yeryüzündeki bütün canlılardaki ortak planı bulmaya uğraşırken embriyoları incelemişlerdi. Bu doğa gözlemcilerinin en önemlisi Karl Enst von Baer'di. Soylu bir aileden gelen von Baer, önce tıp öğrenimi görmüştü. Hocası kendisinden, civciv oluşumunu incelemesini ve civciv organlarının nasıl geliştiğini öğrenmesini istemişti.

Ne yazık ki, von Baer'in ne civcivler üzerinde çalışabilmesi için gereken kuluçka makinesini, ne de çok sayıda yumurta satın alabilecek parası vardı. Yani durum pek parlak görünmüyordu. Neyse ki, bu deneylerin masrafını karşılayabilecek zengin bir arkadaşı vardı: Christian Pander. Birlikte embriyoları incelerken önemli bir şey fark ettiler: *Tavuktaki bütün organların geçmişi, gelişim evresindeki embriyonun üç doku katmanından birine kadar takip edilebilirdi.* Bu üç katman, daha sonra "germ yaprakları" adını alacaktı. Böylece von Baer ve Pander, bugüne kadar ulaşan efsanevi bir üne kavuştular.

Pander'in keşfettiği bu üç katman, von Baer'in önemli sorular sormasına vesile oldu. Bu düzen, hayvanların hepsinde ortak mıydı? Kalp, akciğerler ve kaslar, hayvanların hepsinde bu kat

manlardan mı oluşuyordu? Daha da önemlisi, farklı türlerde de aynı katmanlardan aynı organlar mı oluşuyordu?

Von Baer, Pander'in tavuk embriyolarındaki bu üç katmam, balık, sürüngen veya memeli, eline geçirebildiği bütün canlılardakiyle karşılaştırıyordu. Ve evet; hayvanlardaki her organ, bu üç katmandan birinden oluşuyordu. Gerçekten de bu üç katman, her canlı türünde aynı yapıları oluşturuyordu. Sözgelimi kalp, bütün türlerde aynı katmandan gelişiyordu. Bir diğer katman da, bütün türlerde beynin kökeniydi vs... Erişkinken ne kadar farklı görünürlerse görünsünler, minik bir embriyoyken türlerin hepsi aynı gelişim evrelerinden geçiyordu.

Bunun ne kadar önemli bir keşif olduğunu anlayabilmek için önce, döllenmeden sonraki ilk 3 hafta üzerinde biraz daha duralım. Döllenme anında yumurtanın içinde çok büyük değişiklikler meydana gelir (spermin ve yumurtanın genetik bileşenleri birbirine kaynaşır ve yumurta bölünmeye başlar). Sonunda hücreler bir küre şeklini ahr. İnsanlarda, 5 gün geçtiğinde bir hücrelik yapı dört kez bölünerek 16 hücrelik bir küre oluşturmuş olur. Blastosist adı verilen bu hücre kümesi, içi sıvı dolu bir balon gibi görünür. Ortada toplanan sıvının etrafım, hücrelerin oluşturduğu küresel, ince bir çeper sarmıştır. Bu "blastosist evresi"nde, henüz herhangi bir vücut planı olduğuna dair bir belirti yoktur. Bir "ön" ve "arka"dan söz edilemeyeceği gibi, doğal olarak herhangi bir organ ya da doku da ortaya çıkmamıştır. Döllenmeden 6 gün kadar sonra, bu hücre yumağı annenin rahmine tutunur, böylece anneyle embriyonun kan dolaşımını birleştirecek bağın oluşum süreci başlar. Bir vücut planının varlığına dair herhangi bir işaret, bu aşamada da yoktur. İnsana benzemek şöyle dursun, ortaya çıkmış olan yapı, bildiğiniz hiçbir memeli, sürüngen ya da balıkla uzaktan yakından alakası olmayan bir hücre yumağından ibarettir.

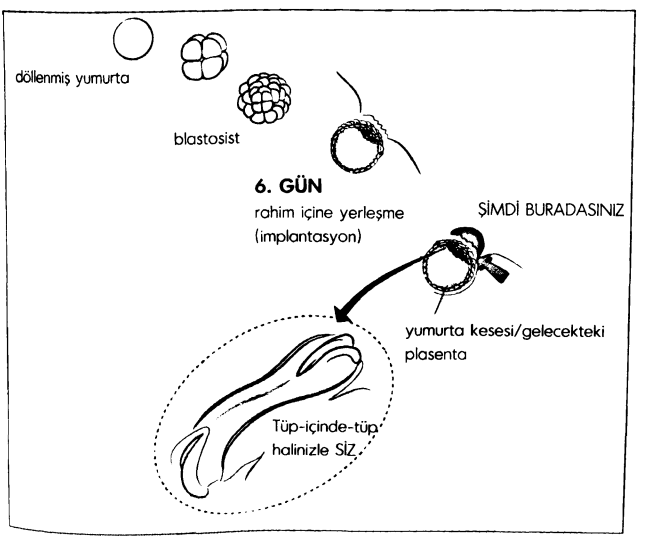
Şanslıysak, hücre yumağı, annenin rahmi içerisine iyice yer-

leşir. Blastosist yanlış bir yere yerleşecek olursa, yani bir "dış gebelik" söz konusuysa, sonuçları tehlikeli olabilir. Dış gebeliklerin yaklaşık yüzde 96'sı yumurta kanallarında (Fallop tüpleri), döllenmenin gerçekleştiği yere çok yakın bir bölgede görülür. Bazen mukoza salgısı, blastosistin rahme geçişini engelleyerek blastosistin tüplere yerleşmesine yol açar. Dış gebelik zamanında fark edilmezse, çeşitli doku yırtılmalarına neden olabilir. Çok nadiren blastosist, annenin vücut boşluğuna; bağırsaklar ile vücut duvarı arasındaki boşluğa atılır. Bu blastosistlerin, rektumun ya da rahmin dış tabakasına yerleştiği daha da ender durumlarda, fetüsün, gebeliğin sonuna kadar gelişimini burada sürdürdüğü olağandışı vakalara da rastlanır! Bu fetüslerin, bazen annenin karnı açılarak dünyaya getirilmesi mümkün olsa da, bu tür bir yerleşim genelde çok tehlikelidir; çünkü anne için kanamaya bağlı ölüm riskini, normal gebeliğe kıyasla 90 kat arttırır.

Her durumda, gelişimin bu evresinde son derece mütevazı bir görüntü sergileriz. Döllenmeden sonraki ikinci haftanın başında, blastosist annenin rahmine yerleşmiş. Bu hücre yumağının bir kısmı rahim duvarının içine gömülü haldeyken, öteki kısmı açıkta kalmıştır. Bir balonun duvara doğru bastırıldığını kafanızda canlandırmaya çalışın: işte yassılaşıp disk biçimini almış olan bu küre, insan embriyosuna dönüşecektir. Vücudumuzun *tamamı*, bu yumağın sadece üst kısmından, yani rahim duvarı içine gömülü kısmından oluşur. Blastosistin bu diskin altındaki kısmı, yumurta sarısı olarak bildiğimiz kısmı içerir. Bu oluşum evresinde, iki katmanlı bir diske, yani bir frizbiye benzeriz.

Bu oval frizbi nasıl olup da von Baer'in üç germ yaprağına dönüşür, zamanla da insanınkine benzer bir görünüm kazanır? Önce, hücreler bölünür ve göç eder, böylece dokular kendi üzerlerine katlanır. Sonunda, dokuların yer değiştirip katlanmasıyla, baş ve kuyruk kısımları katlanmış birer kabartı halinde

tüp şeklini alırız. Bu sırada insan embriyosunu ortadan bölecek olsak, iç içe geçmiş iki tüple karşılaşırız. Dıştaki boru vücut duvarını, içteki boru ise sindirim sistemine dönüşecektir. Bu iki tüpün arasında, gelecekte vücut boşluğunu oluşturacak olan bir boşluk yer alır. Bu "tüp içinde tüp" yapısını ömrümüz boyunca taşırız. Bağırsakları oluşturacak olan tüp giderek karmaşıklaşır; mide için büyük bir kese ve uzun bağırsak kıvrımları oluşur. Dıştaki tüp de kıl, deri, kaburgalar ve dışarı doğru uzayan kol ve bacaklarla karmaşık bir yapı sergilemeye başlar. Yine de temel plan aynı kalır. Bu halimizle, döllenmeden sonraki 21. güne kıyasla çok daha gelişmiş olsak da, halen tüp-içinde-tüp konumunu korumaktayızdır ve organlarımızın hepsi, yaşamın ikinci haftasında ortaya çıkan bu üç doku katmanından birinden gelişecektir.



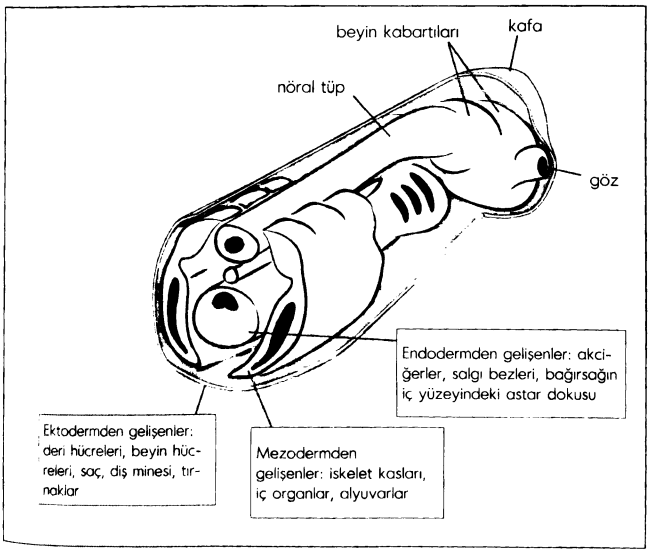
İlk günlerimiz, yani döllenmeden sonraki ilk üç hafta. Tek bir hücreden, bir hücreler küresine, sonunda da bir tüpe dönüşürüz.

Hayati önemdeki bu üç katman, konumlarına göre adlandırılır: dıştaki katmana ektoderm, içtekine endoderm ve ortadakine de mezoderm adı verilir. Ektodermden, vücudun dış kısmının büyük bölümü (deri) ve sinir sistemi oluşur. Vücudun içyapılarından birçoğu ise içteki katmandan, yani endodermden gelişir; sindirim sistemi ve onunla ilintili birçok salgı bezi gibi. Ortadaki katman olan mezodermdenden de iskelet ve kaslar gibi, bağırsaklar ile deri arasında kalan dokular gelişir. Vücut, ister bir alabalığa, ister tavuğa, ister kurbağaya ya da bir fareye ait olsun, organlarının hepsi endoderm, ektoderm ve mezodermden oluşur.

Von Baer, canlılardaki temel örüntülerin embriyolarda nasıl ortaya çıktığını fark etmiş ve embriyo gelişimindeki iki farklı özelliği karşılaştırmıştı: türlerin hepsinde ortak olan özelliklerle, türden türe değişen özellikler. Tüp-içinde-tüp düzeni gibi özellikler, omurgası olan hayvanların hepsinde, yani balıklarda, amfibilerde sürüngenlerde, kuşlarda ve memelilerde ortaktır. Bu ortak özellikler, embriyo gelişiminin oldukça erken bir evresinde belli eder. Bir canlıyı diğerinden ayıran özellikler ise -insanlarda büyük bir beyin, kaplumbağalarda kabuk, kuşlarda tüyler- daha geç ortaya çıkar.

Von Baer'in yaklaşımı, okulda öğrendiğiniz "bireyin geçmişi türün geçmişinin tekrarıdır" ("ontogeny recapitulates phylogeny") görüşünden çok farklıdır. Von Baer embriyoları karşılaştırmış ve farklı türlerin embriyoları arasındaki benzerliğin, bu türlerin erişkinleri arasındaki benzerliklerden çok daha fazla olduğunu fark etmişti. Yıllar sonra Ernst Haeckel tarafından savunulan "bireyin geçmişi türün geçmişinin tekrarıdır" yaklaşımı, her türün, embriyo gelişimi süresince kendi türünün geçirdiği evrimsel süreci izlediğini ileri sürer. Bu görüşe göre insan embriyosu da, balık, sürüngen ve memeli evrelerinden geçiyordu. Haeckel, insan embriyosunu, erişkin bir balıkla

da kertenkeleyle karşılaştırıyordu. Von Baer ile Haeckel'in görüşleri arasında çok ince bir ayrım varmış gibi görünebilir, ama öyle değildir. Son yüz yıl içinde gerçekleşen ilerlemeler ve yeni kanıtlar, von Baer'in lehine çok daha fazla işlemiştir. Bir türün embriyolarını başka bir türün erişkinleriyle karşılaştırmakla Haeckel, aslında elmalarla portakalları karşılaştırıyordu. Oysa evrim sürecini işleten mekanizmaları aydınlatabilecek bir karşılaştırma yapmak çok daha anlamlı olacaktır. Bunun için, bir türün embriyolarını başka bir türün embriyolarıyla karşılaştırınız. Farklı türlerin embriyoları tamamen aynı değildir, ama benzerlikleri de çok derindir. Hepsinin de solungaç yayları, notokordları vardır ve hepsi de, gelişimlerinin bir evresinde tüp-içinde-tüp görünümündedir. Daha da önemlisi, balıkla insan kadar birbirinden farklı türlerin embriyoları, Pander ve



Döllenmeden sonraki 4. haftada, tüp-içinde-tüp halindeyizdir ve tüm organlarımızı oluşturacak üç doku taslağımız vardır.

von Baer'in üç germ yaprağını taşırlar.

Bu karşılaştırmaların hepsi, bizi yine sorguladığımız asıl meseleye götürür. Embriyo, nasıl oluyor da başın ön uçta, anüsün de arkada oluşması gerektiğini "biliyor"? Embriyo gelişimini yürüten, hücre ve dokuların vücudu oluşturmasını sağlayan mekanizmalar nelerdir?

Bu sorulara cevap verebilmek için tamamen yeni bir yaklaşıma ihtiyacımız vardı. Von Baer'in zamanındaki gibi embriyoları karşılaştırmakla yetinmeyip, bunları analiz etmek için yeni bir de yol bulmalıydık. 19. yüzyılın ikinci yarısı, 3. Bölüm'de sözünü ettiğimiz, embriyoların parçalarına ayrılıp birbirine aşılandığı, aklınıza gelebilecek hemen her tür kimyasal maddenin uygulandığı çağı açmıştı. Bunlar hep bilim uğruna yapıldı.

EMBRİYOLARLA DENEY

20. yüzyıla gelindiğinde biyologlar, vücutla ilgili temel sorularla boğuşmaktaydılar. Vücudu oluşturacak bilgi, embriyonun neresinde saklıydı? Bu bilgi, her hücrede var mıydı, yoksa bazı hücre gruplarında mı saklıydı? Bu bilgi nasıl bir şekil almıştı? Özel bir çeşit kimyasal madde miydi?

Alman embriyoloji uzmanı Hans Spemann, 1903'ten başlayarak hücrelerin, embriyo gelişimi sırasında vücut inşa etmeyi nasıl öğrendiklerini araştırmaya başladı. Amacı, vücut yapımıyla ilgili bilginin yerini bulmaktı. Spemann için cevaplanması gereken asıl soru şuydu: Embriyodaki her hücre, vücudun tamamını yapmaya yetecek bilgiyi taşıyor muydu, yoksa bu bilgi, oluşum evresindeki embriyonun sadece belirli kısımlarında mı saklıydı?

Hem kolay bulunduğu, hem de laboratuvarda uğraşması kolay olduğu için su keleri yumurtalarını inceleyen Spemann zekice bir deney geliştirdi. O zaman bebek olan kızının saçından bir tel aldı ve bundan minyatür bir kement yaptı. Bebek

saçı, yumuşaklığı, inceliği ve esnekliğiyle harika bir malzemeydi; su keleri yumurtası kadar minik bir küreyi bağlamak için de idealdi. Spemann, gelişim evresindeki su keleri yumurtasını bu kementle bir yamndan kıstırıp ayırdı. Hücre çekirdekleriyle biraz oynadıktan sonra, elde ettiği bu tuhaf şeyi, gelişmesi için kendi haline bıraktı ve ne olup bittiğini gözledi. Embriyo, ikiz oluşturmuştu; ikisi de normal birer vücut planına sahip ve sağlıklı olan iki semender ortaya çıktı. Sonuç açıktı: Bir yumurtadan, birden fazla birey oluşabiliyordu. Tek yumurta ikizleri de böyle oluşuyordu. Biyolojik açıdan Spemann, gelişiminin ilk evresindeki embriyodaki bazı hücrelerin, kendi başlarına tamamen yeni bir birey oluşturabilecek kapasitede olduğunu kanıtlamıştı.

Bu deney, yepyeni bir keşif evresinin yalnızca bir başlangıcıydı.

1920'lerde, Spemann'ın laboratuvarında bir lisansüstü öğrencisi olan Hilde Mangold, küçük embriyolar üzerinde çalışmaya başladı. Parmaklarını inanılmaz bir hassasiyetle kullanabilen Mangold, bu kabiliyeti sayesinde olağanüstü zorlayıcı nitelikte deneyler yaptı. Mangold'un üzerinde çalıştığı semender embriyoları, henüz gelişim sürecindeyken, çapı yaklaşık 1,5 mm olan bir küre büyüklüğündeydi. Mangold, embriyonun bir kısmından topluiğne başından daha küçük, minik bir doku parçasını kesip aldı ve onu başka bir türün embriyosuna aşıladı. Mangold'un aşıladığı bu parça herhangi bir parça değil, üç germ yaprağının büyük kısmım oluşturacak hücrelerin göç ettiği ve kıvrıldığı yerdi. Mangold o kadar hünerliydi ki, aşıladığı embriyolar gerçekten de gelişimlerini sürdürerek kendisine hoş bir sürpriz yaptı. Aşılanan kısımdan, tümüyle yeni bir vücut ortaya çıktı; omuriliği, sırtı, karnı, hatta kafasıyla birlikte.

Bu deney neden bu kadar önemli? Mangold, öteki hücreleri, eksiksiz bir vücut planı oluşturmak üzere yönlendiren küçük



Mangold, embriyoya sadece küçük bir doku parçası aktararak, ikiz elde etmişti.

bir doku parçası keşfetmişti. Vücut planıyla ilgili tüm bu bilgiyi taşıyan bu minik, son derece önemli doku parçası, ileride "Düzenleyici" (Organizer) adını alacaktı.

Mangold'un tez çalışması daha sonra Nobel Ödülü'ne layık bulundu; ama kendi adına değil. Hilde Mangold, tezini bile yayımlatamadan trajik bir şekilde, mutfağındaki gaz sobasından çıkan bir yangında öldü. "Düzenleyiciyi ve embriyo gelişimindeki etkisini keşfetmesi" dolayısıyla 1935 Nobel Tıp Ödülü Spemann'a verildi.

Günümüzde, pek çok bilimci Mangold'un çalışmasının, embriyoloji tarihinde yapılmış tek başına en önemli deney olduğu görüşündedir.

Mangold'un, Spemann'ın laboratuvarında deney yaptığı sıralarda, W. Vogt da Almanya'da, hücreleri ve hücre kümelerini "işaretlemek" ve böylece yumurta geliştikçe olup bitenleri görünür kılmak için zekice yöntemler geliştirmekteydi. Vogt her bir organın yumurtada ilk ortaya çıktığı yeri gösteren bir embriyo haritası oluşturmayı başarmıştı. Bu harita, embriyonun başlangıç evrelerindeki hücrelerin akıbetini yansıtması bakımından, vücut planının bir öncülü gibidir.

Von Baer, Pander, Mangold ve Spemann gibi ilk embriyoloji uzmanları, bize erişkin vücutlarımızdaki her parçanın, üç kat

manlı frizbide yer alan hücre grupları üzerine işaretlenebileceğini ve vücudun genel yapısının, Mangold ve Spemann'ın keşfettiği Düzenleyici bölgeyle harekete geçirilen mekanizma sonucu ortaya çıktığını gösterdiler.

Kesin, bölün, parçalayın... sonunda tüm memeli, kuş, amfibi ve balıklarda Düzenleyiciler olduğunu göreceksiniz. Hatta bazen bir türün Düzenleyici'sini diğerininkiyle değiş tokuş bile edebilirsiniz. Bir tavuğun Düzenleyici kısmını alıp bir semender embriyosuna aşılayacak olursanız, bir semender ikizi elde edersiniz.

Peki, ama Düzenleyici nedir? İçinde, hücrelere vücudun nasıl yapılacağını söyleyen ne var? Tabii ki DNA. Ve hayvanlar âlemindeki diğer canlılarla ortaklaşa paylaştığımız formül de bu DNA'da saklıdır.

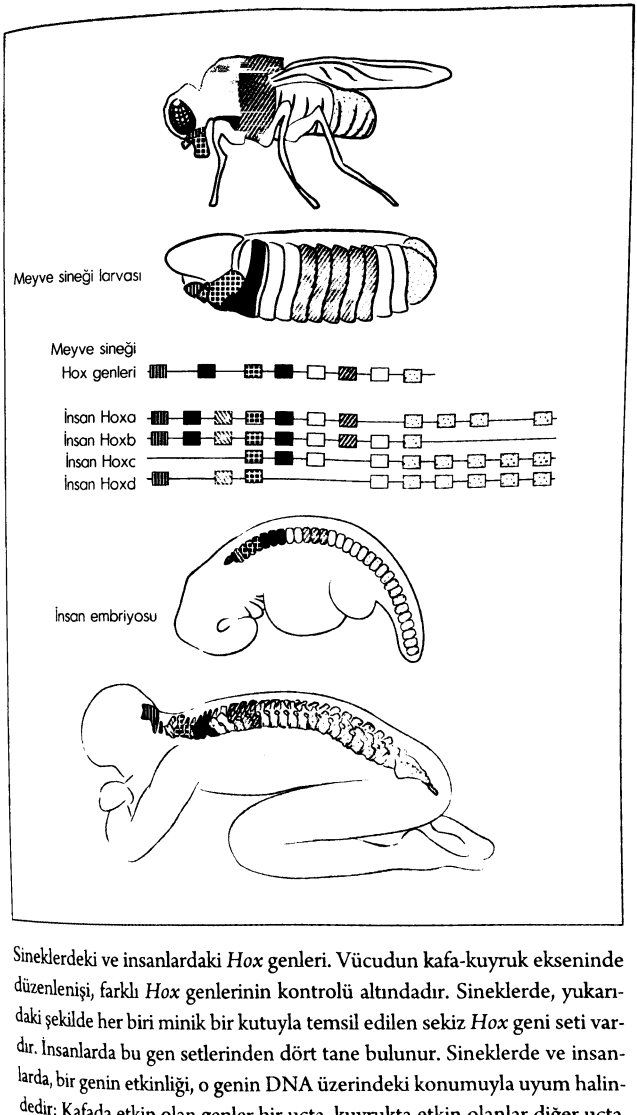
SİNEKLER VE İNSANLAR

Von Baer embriyoların gelişimini gözlemiş, bir türü başka bir türle karşılaştırmış ve vücutlarda temel örüntü ve modellerin olduğunu fark etmişti. Mangold ve Spemann, embriyo dokularının vücudu nasıl inşa ettiğini anlamak için embriyolar üzerinde fiziksel değişiklikler yaparak çalışmışlardı. Bulunduğumuz DNA çağında da, artık genetik yapımızla ilgili sorular sorabiliriz. Genlerimiz, dokularımızın ve vücutlarımızın gelişimini nasıl kontrol ediyor? Sineklerin önemsiz olduğunu düşünüyorsanız, şuna ne diyeceksiniz: Sineklerdeki mutasyonlar bize, *insan embriyosunda* etkili olan en temel vücut planı genleriyle ilgili önemli ipuçları sağlar. El ve ayak parmaklarının yapımında rol alan genlerin keşfinde böyle bir yaklaşımdan yararlanmıştık. Şimdi de aynı yaklaşımın, bize vücudun tamamının inşasına dair neler söyleyeceğine bakacağız.

Sineklerin vücut planı vardır: ön ve arka, üst ve alt vs. Antenleri, kanatları ve diğer uzantıları, vücutlarının tam doğru

yerlerinden çıkar. Tabii eğer vücut planları yoksa o zaman durum değişir. Bazı mutant sineklerin üyeleri kafalarından çıkar. Bazılarının iki çift kanadı ve vücutlarında fazladan segmentleri vardır. Bunlar bize, omurlarımızın vücudun kafa-anüs ekseni boyunca neden şekil değiştirdiğini anlatan türden mutantlardır.

İnsanlar, yüz yıldan uzun süredir bu anormal sinekleri incelenmektedir. Belli türden bir anormalliği olan mutant sinekler ise özel bir ilgi konusuydu. Bu sineklerin ya organları yanlış yerdeydi (antenlerin olması gereken yerde bir bacak, fazladan bir çift kanat gibi) ya da vücutlarının bazı segmentleri eksikti. Bu sineklerin temel vücut planını bozan bir şey olmalıydı. Sonuçta, bu mutasyonların nedeni DNA'daki bir tür hatadır. Genlerin, kromozomlar üzerindeki DNA bölümleri olduğunu hatırlayın. Kromozomları görebilmemizi sağlayan çeşitli teknikler kullanarak, kromozomun böyle bir mutantın ortaya çıkmasından sorumlu olan kısmım tespit edebiliriz. Bunun için yapmamız gereken, bireylerinin hepsi aynı genetik kusuru taşıyan bir nüfus oluşturacak şekilde, mutantları çoğaltmaktır. Sonra da, çeşitli moleküler işaretler kullanarak mutasyona uğrayan bireylerin genlerini, normal bireylerin genleriyle karşılaştırırız. Bu karşılaştırma sayesinde, mutasyona uğrayan bölgeyi ve mutasyon etkisini ortaya çıkarmış olabilecek kromozom parçasını belirleyebiliriz. Bu şekilde anlıyoruz ki, bir sinekte bu tür etkilere yol açan sekiz adet gen vardır. Bu genler, sineğin upuzun DNA zincirlerinden birinde yan yana dizilidir. Kafa segmentlerini etkileyen genler, sineğin orta kısmındaki segmentleri, yani kanatların çıktığı kısmı etkileyen genlerle yan yanadır. Bu DNA parçaları da, sineğin arka kısmının gelişimini kontrol eden genlere bitişiktir. Genlerin dizilişinde mükemmel bir düzen vardır: DNA zinciri üzerindeki konumları, vücudun ön-arka eksenine paraleldir.



Sineklerdeki ve insanlardaki *Hox* genleri. Vücudun kafa-kuyruk ekseninde düzenlenişi, farklı *Hox* genlerinin kontrolü altındadır. Sineklerde, yukarıdaki şekilde her biri minik bir kutuyla temsil edilen sekiz *Hox* geni seti vardır. İnsanlarda bu gen setlerinden dört tane bulunur. Sineklerde ve insanlarda, bir genin etkinliği, o genin DNA üzerindeki konumuyla uyum halindedir: Kafada etkin olan genler bir uçta, kuyrukta etkin olanlar diğer uçta, vücudun orta kısmında etkin olan genler de bu iki uç arasında yer alır.

Şimdi asıl zorluk, bu mutasyona neden olan DNA'nın yapısını belirlemekti. Walter Gehring'in İsviçre'deki laboratuvarında çalışan Mike Levine ve Bill McGinnis ile Tom Kauffman'ın Indiana'daki laboratuvarında çalışan Matt Scott, her genin ortasında, inceledikleri her canlı türünde tamamen aynı denebilecek kısa bir DNA dizisi olduğunu fark ettiler. Bu kısa diziye "homeobox", homeobox'u içeren sekiz gene de *Hox* genleri adı verilir. Bilimciler, başka türlerde de bu gen dizisini araştırırken, değişmez bir özellik keşfettiler; ki bu, tam bir sürpriz oldu: *Vücudu olan her hayvanda Hox genlerinin versiyonları vardı.*

Aynı genlerin versiyonları, sinekle fare kadar birbirinden farklı canlıların vücutlarının ön-arka ekseninde düzenlenişini biçimlendirir. *Hox* genleriyle oynayıp bozarsanız, vücut planını da bozmanız kaçınılmazdır. Orta segmentte etkin olan geni içermeyen bir sinek yapacak olursanız, bu sineğin orta kısmı ya olmayacak ya da değişikliğe uğramış olacaktır. Göğüs segmentlerini belirleyen genleri eksik olan bir fare yapacak olursanız da, farenin sırt bölgesini değiştirmiş olursunuz.

Hox genleri, aynı zamanda vücut oranlarını (kafanın, gövdenin, sırtın alt kısmındaki değişik bölgelerin boyutlarını) belirler. Bu genler organların, kol ve bacakların, üreme organlarının ve bağırsakların gelişiminde rol oynar. Bu genlerde bir değişiklik meydana geldiğinde, vücudumuzun biraraya getiriliş şeklinde de değişiklikler ortaya çıkar.

Farklı canlı türlerindeki *Hox* geni sayısı da farklıdır. Sineklerde ve diğer böceklerde 8, farelerde ve diğer memelilerde 28 *Hox* geni vardır. Farelerdeki 28 *Hox* geninin hepsi de, sineklerdeki *Hox* genlerinin versiyonlarıdır. Bu benzerlik, memelilerde çok sayıda olan *Hox* genlerinin, sinekteki küçük bir gen tamamlayıcısı grubunun kopyalanmasıyla ortaya çıktığını düşündürmüştür. Sayılardaki bu farklılığa rağmen fare genleri, tıpkı sinek genlerinde olduğu gibi, şaşmaz bir düzenle ön-arka ekseninde etkindir.

Soyağacımızda daha derinlere inebilir ve vücudumuzun çok daha temel kısımlarının yapımında da benzer DNA dizilerini bulabilir miyiz? Şaşırtıcı biçimde, bu sorunun cevabı "evet"tir. Bu da, sinekten bile daha basit hayvanlarla aramızda bağ kurar.

DNA VE DÜZENLEYİCİ

Spemann'ın Nobel Ödülü aldığı sıralarda Düzenleyici çok popülerdi. Bilimciler, tüm vücut planının yapımını başlatan bu esrarengiz kimyasal maddeyi bulmak için uğraşıyorlardı. Ama popüler kültürün yoyoları ve Elmo bebekleri gibi, bilimde de gelip geçici hevesler söz konusudur. 1970'lere gelindiğinde Düzenleyici, olsa olsa ilginç bir şey, embriyoloji tarihinde hoş bir anekdot gibi görülür olmuştu. Bu gözden düşüşün nedeni, aslında mekanizmasının kimse tarafından anlaşılamamış olmasıydı.

1980'lerde *Hox* genlerinin keşfiyle her şey değişti. 1990'ların başında, Düzenleyici kavramının halen demode olduğu sıralarda, UCLA'de Eddie De Robertis'in laboratuvarı, Levin ve McGinnis'in yöntemlerine benzer yöntemler kullanarak kurbağalarda *Hox* genleri bulmaya çalışıyordu. Bu geniş kapsamlı araştırmada çok çeşitli genler elde edilmişti. Bu genlerden biri, çok özel bir etkinlik modeli sergiliyordu. Bu gen, embriyoda tam Düzenleyici'yi içeren yerde ve gelişimin tam aynı zamanında etkindi. De Robertis'in bu geni bulduğu zaman neler hissettiğini hayal bile edemiyorum. Düzenleyici'yi incelerken birden bu doku parçasının içinde, onu kontrol ediyormuş ya da embriyodaki etkinliğiyle bağlantılıymış gibi görünen bir gen fark etti. Düzenleyici geri dönmüştü.

Birden her yerde, bütün laboratuvarlarda, Düzenleyici genler mantar gibi bitmeye başladı. Berkeley'de Richard Harland, bambaşka bir deney yaparken, kendisinin *Noggin* adını verdiği başka bir gen buldu. *Noggin*, tam olarak Düzenleyici genin yaptığı işi

yapıyordu. Harland, *Noggin* genlerini embriyoda tam doğru yere enjekte ettiğinde, bu genler de tıpkı Düzenleyici gibi işlev görmüştü. Embriyoda iki vücut ekseni ve iki kafa gelişmişti.

De Robertis'in geni ve *Noggin*, Düzenleyici'yi oluşturan DNA kırıntılarının kendisi miydi? Bu sorunun cevabı hem evet, hem hayırdır. Bu iki gen de dahil olmak üzere pek çok gen, vücut planını düzenlemek için birbirleriyle etkileşime girer. Bu çok karmaşık bir etkileşimdir, çünkü genler, embriyo gelişimi sırasında çok farklı roller üstlenebilir. Sözgelimi *Noggin*, vücut ekseninin gelişiminde rol oynar, ama aynı zamanda çok sayıda organın gelişiminde de rol alır. Ayrıca genler, kafa gelişiminde gördüklerimize benzer karmaşık hücre davranışlarını tek başlarına hareket ederek düzenlemezler. Genler, gelişimin her evresinde diğer genlerle etkileşim halindedir. Bir gen, bir başka genin etkinliğini engelleyebilir de, destekleyebilir de. Bazen birçok gen etkileşime girerek başka bir geni devreye sokar ya da devre dışı bırakır. Neyse ki artık, bir hücrede bir seferde binlerce genin etkinliğini inceleyebileceğimiz yeni cihazlar var. Bu teknoloji, gen işlevlerini aydınlatacak bilgisayar temelli yeni yöntemlerle birleşince, bize genlerin hücreleri, dokuları ve vücudu nasıl inşa ettiğini anlamamıza yarayacak muazzam bir imkân sağlıyor.

Genler arasındaki bu karmaşık etkileşimlerin anlaşılmasıyla vücudu yapan asıl mekanizmalar da aydınlığa kavuşmuş olacak. Bu bakımdan *Noggin* mükemmel bir örnek. *Noggin*, embriyodaki herhangi bir hücreye, üst-alt ekseninde hangi konumda olacağı talimatını tek başına vermez; bunun için başka genlerle uyum içinde hareket eder. Başka bir gen, *BMP-4* geni, bir alt bölge genidir; embriyonun alt kısmını, yani kanın bölgesini yapacak hücrelerde devreye sokulur. *BMP-4* ile *Noggin* arasında da önemli bir etkileşim vardır. Bir yerde *Noggin* geni etkinse orada *BMP-4* geni işlev göremez. Sonuçta *Noggin*'in yaptığı

hücrelere "vücudun üst kısım hücreleri" olarak gelişmelerini söylemek değil, hücreleri *alt* kısmın hücreleri yapacak sinyali kesmektir. Gelişim süreçlerinin hemen hepsinin temelinde yatan, bu devreye sokma-devre dışı bırakma, yani açma-kapama etkileşimleridir.

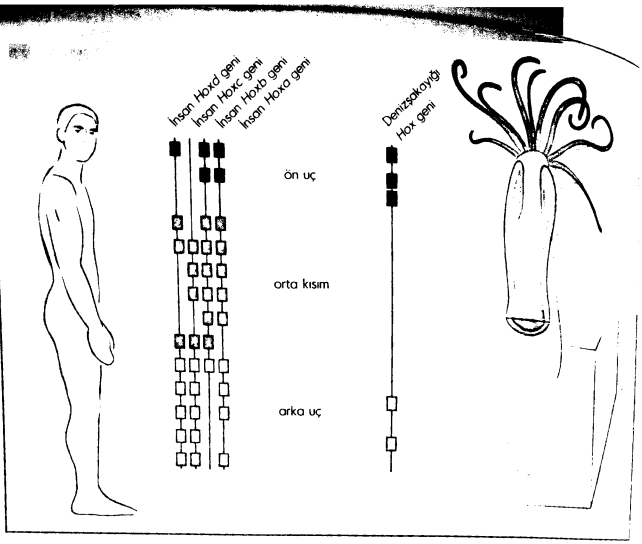
İÇİMİZDEKİ DENİZŞAKAYIĞI

Vücudumuzu, kurbağaların ve balıkların vücuduyla karşılaştırmak yetmez. Gerçekten de birbirimize benzeriz: Onların da bizim de bir omurgamız, iki bacağımız, iki kolumuz, bir kafamız vardır. Peki, kendimizi denizanası veya denizanasıyla akraba canlılar gibi bize hiç benzemeyen bir canlıyla karşılaştırırsak ne olur?

Pek çok hayvanın vücut ekseni, hareket ettiği yöne ya da ağız ve anüsünün birbirine göre konumuyla belirlenir. Bunu biraz durup düşünelim: İnsanda ağızla anüs, vücudun zıt uçlarında yer alır ve tıpkı balıklarla böceklerde olduğu gibi, ağzımız genellikle "ileri" bakan yöndedir.

Hiç sinir düğümü olmayan hayvanlara bakarak kendimizi nasıl görebiliriz, ya da hiç anüsü, hiç ağzı olmayan canlılara? Denizanası, mercan ve denizşakayığı gibi canlıların ağzı vardır, ama anüsü yoktur. Ağız işlevi gören delik, aynı zamanda atıkların çıkarılmasına da yarar. Bu tuhaf düzen, denizanası ve denizanasına akraba canlılar için elverişli olsa da, bu canlıları diğer canlılarla karşılaştırmaya çalışan biyologların başını döndürür.

Aralarında Mark Martindale ve John Finnerty'nin de bulunduğu bazı meslektaşlarım, bu hayvan grubunun gelişimini inceleyerek soruna balıklama daldılar. Denizanasıyla yakın akraba olmaları ve çok ilkel bir vücut düzenine sahip olmaları bakımından denizşakayıkları, onlar için son derece aydınlatıcı oldu. Ayrıca denizşakayığının, ilk bakışta kendimizle karşılaştırmanın boşuna olduğu izlenimini veren çok tuhaf bir şekli vardır.



Denizanasıyla akraba olan denizşakayığı gibi canlılarda da, bizde olduğu gibi, aynı genlerin versiyonlarından meydana gelen bir ön-arka ekseni vardır.

Denizşakayığı, ortada kütük şeklinde uzun bir gövde, ucunda da dokunaçlarıyla bir ağaç gövdesine benzer. Denizşakayıklarıyla özellikle ilgilenmemizin nedeni, belki bir ön-arka, üst-alt ekseni barındırabilecek olan bu tuhaf şekilleridir. Bu hayvanın ağzından gövde tabanına doğru hayali bir çizgi çekelim. Biyologlar, bu çizgiye bir ad vermişler: oral-aboral eksen. Tabii bir adı olması, onu gelişigüzel bir çizgi olmaktan çıkarmaz. Ama eğer gerçekten de böyle bir çizgi varsa, o zaman gelişimi de bizim vücudumuzdaki eksenlerden birinin gelişimine benzer olmalı.

Martindale ve meslektaşları, bizim önemli vücut planı genlerimizden (kafa-anüs eksenimizi belirleyen genler) bazılarının ilkel versiyonlarının, denizşakayığında gerçekten de var olduğunu keşfettiler. Daha da önemlisi, bu genler, oral-aboral eksende

etkindir. Bu da demektir ki, bu ilkel canlıların oral-aboral eksenı, genetik bakımdan bizim kafa-anüs eksenimize karşılık gelmektedir.

Bir eksen aşağıya doğru; ya diğerleri? Denizşakayıklarında, bizdeki karın-sırt eksenine karşılık gelen bir şey var mı? Yokmuş gibi görünüyor. Buna rağmen, Martindale ve meslektaşları, denizşakayığında bizdeki karın-sırt eksenini belirleyen genleri aramaya giriştiler. Bizdeki genlerin neye benzediğini biliyorlardı, bu yüzden araştıracakları şeyin ne olduğuna dair bir fikirleri vardı. Denizşakayığında bir tane değil, farklı pek çok karın-sırt geni açığa çıkardılar. Ancak, bu genler bir eksen üzerinde etkili oldukları halde bu eksen, erişkin hayvan organlarının biraraya geliş şekliyle ilişkili görünmüyordu.

Bu gizli eksenin ne olabileceği, hayvana dışarıdan bakıldığında anlaşılmaz. Ama bir tanesini yarıya böldüğümüz zaman önemli bir ipucuna ulaşırız: bir başka simetri eksenine. Yönlendirici (directive) eksen denilen bu eksen, canlının sol ve sağ denilebilecek iki farklı yanını belirliyor gibi görünmektedir. Anatomi uzmanlarının 1920'lerde fark ettiği bu eksen, bilimsel literatürde bir merak konusu olarak kalmıştı. Martindale ile Finnerty'nin ekibi, bu durumu değiştirdi.

Bütün hayvanlar hem birbirine benzer, hem de farklıdırlar. Bir kek tarifinin kuşaktan kuşağa geçerken her kuşakta biraz değişime uğraması gibi, bizim vücudumuzun yapılış tarifi de, çağlar boyunca kuşaktan kuşağa değişikliğe uğramıştır. Belki denizşakayığına ya da denizanasına benzemiyoruz, ama bizim yapılış tarifimiz, onların yapılış tarifinin yalnızca karmaşık bir versiyonudur.

Türler arasında gen değiş tokuşu yaptığımızda, hayvanların vücudunun ortak bir genetik tarife dayandığına dair güçlü kanıtlar buluruz. Bizim gibi karmaşık vücut planına sahip bir hayvandan aldığımız bir vücut-yapım genini, denizşakayığın-

dan alınan bir vücut-yapım geniyle değiş tokuş etsek ne olur? *Noggin* genini hatırlayın; bu gen, kurbağalarda, farelerde ve insanlarda, gelişip sırt yapılarını meydana getirecek yerlerde etkinleşir. Bir kurbağa yumurtasına fazladan kurbağa *Noggin* geni enjekte edecek olursanız bu kurbağada fazladan sırt yapıları gelişecek, hatta bazen ikinci bir kafa oluşacaktır. Denizşakayığı embriyosunda, yönlendirici eksenin bir ucunda, *Noggin* geninin bir versiyonu da etkinleşir. Gelelim büyük ödüllü deneye: Bir denizşakayığından bu *Noggin* ürününü alalım ve bir kurbağa embriyosuna enjekte edelim. Sonuç: fazladan sırt yapılarına sahip bir kurbağa; kurbağaya kendi *Noggin* geni enjekte edildiğinde elde edilen sonuçla hemen hemen aynı olan bir sonuç.

Yine de, zamanda geriye gittikçe, kendimizi büyük bir boşlukla karşı karşıya buluruz. Bu bölümde anlatılan her canlının bir vücudu vardı. Peki, ama kendimizi, hiç vücudu olmayan canlılarla (yani tek hücreli mikroplarla) nasıl karşılaştıracağız?

YEDİNCİ BÖLÜM

VÜCUT GELİŞTİRME SERÜVENİ

Sahada fosil toplamadığım zamanlarda meslek hayatım hep, hücrelerin nasıl biraraya gelip kemikleri oluşturduğunu mikroskop altında incelemekle geçti.

Bir semenderin ya da bir kurbağanın gelişim evresindeki üyesini alır, gelişmekte olan kıkırdağın mavi, kemiklerin kırmızı renk alacağı bir boyayla hücrelerini boyardım. Sonra üyeye gliserin uygulayıp diğer dokularını belirgin hale getirirdim. Bunlar harika hazırlıklardı: Embriyo tümüyle belli olur, kemiklerin hepsi de boyanın rengini alırdı. Camdan yapılmış canlıları incelemek gibiydi.

Mikroskop başında uzun saatler geçirdiğim o günlerde, kelimenin tam anlamıyla bir hayvanın inşasını izliyordum. Gelişimlerinin ilk evrelerindeki embriyolarda minnacık üye tomurcukları vardı ve içlerindeki hücreler düzgün aralıklarla dizilmiş haldeydi. Sonraki evrelerde bu hücreler, üye tomurcuğunun içinde kümeleniyordu. Daha büyük embriyolarda, hücreler farklı şekiller alıyor ve kemikler oluşuyordu. Gelişimlerinin ilk evrelerinde gözlediğim hücre kümeleri kemik haline geliyordu.

Bir hayvanın, parçalarını birleştirip kendini oluşturmasını izlerken hayranlık duymamak mümkün değil. Tıpkı tuğladan örülmüş bir ev gibi, bir üye de, küçük parçaların, büyük bir yapı oluşturacak şekilde biraraya gelmesiyle yapılır. Yine de, aralarında muazzam bir fark vardır. Bir ev inşasında, tuğlaların nere-

ye yerleştirilmesi gerektiğini bilen bir müteahhit varken üyelerde ve vücutlarda böyle bir şey söz konusu değildir. Üyelerin yapımına temel oluşturan bilgi, mimari bir plan içinde değil, her bir hücrenin kendi içinde saklıdır. Sırf tek tek tuğlalarda saklı bilgiye dayanarak kendiliğinden oluşan bir ev hayal edin: İşte bir hayvanın vücudu böyle ortaya çıkar.

Vücudu yapan çoğu şey gibi bizi benzersiz yapan şeyde hücrenin içinde saklıdır. Bizim vücudumuzu bir denizanasının vücudundan ayıran, hücrelerimizin birbirine bağlanış şekli, aralarındaki iletişimin şekli ve ürettiği farklı maddelerdir.

Baş, beyin ya da kollar şöyle dursun, henüz bir "vücut planımız" bile yokken, ilk önce bir vücut yapım şekli olmak zorundaydı. Peki bu ne demek? Hücrelerin, vücudun tüm dokularını ve yapılarını oluşturabilmek için birbiriyle nasıl eşgüdüm kuracaklarını, tamamen yeni bir birey yapmak için nasıl biraraya geleceklerini bilmeleri gerekiyordu.

Bunu daha iyi anlayabilmek için önce vücudun ne olduğuna bakalım. Sonra da, vücutla ilgili üç büyük soruyu ele alalım: Ne zaman? Nasıl? Ve Neden? Vücutlar ne zaman ortaya çıktı? Nasıl ortaya çıktı? En önemlisi de, vücutlar neden var?

HABEAS CORPUS: VÜCUDU GÖSTER

Her hücre kümesi, vücut adıyla anılma onuruna erişemez. Bir bakteri yığını ya da bir deri hücresi kümesi, birey olarak adlandırabileceğimiz bir hücre düzeninden çok uzaktır. Bu temel bir ayrımdır; düşünce deneyi yoluyla farkı görebiliriz.

Bir bakteri yığını içinden bazı bakterileri çekip çıkaracak olsanız ne olur? Daha küçük bir bakteri yığını elde edersiniz. Peki, bir insanın ya da bir balığın, sözgelimi kalbinden ya da beyninden bazı hücreleri çekip çıkarırsanız ne olur? Hangi hücreleri çıkardığınıza bağlı olarak cansız bir insan ya da cansız bir balık elde edebilirsiniz.

Öyleyse bu düşünce deneyi yoluyla, vücutların tanımlayıcı özelliklerinden birini; bizi oluşturan parçaların birlikte çalışarak daha büyük bir bütün oluşturduğunu görebiliriz. Fakat vücudun her parçası bir değildir; canlı kalmak için bazı parçalar olmazsa olmaz. Üstelik vücutta, parçalar arasında bir iş bölümü vardır; beyin, kalp, mide başka başka işlevler üstlenmiştir. Bu işbölümü, vücudu oluşturan hücreler, genler ve proteinler gibi en küçük yapılara kadar uzanır.

İster bir solucan, ister bir insan vücudu olsun, bir vücut, kendisini oluşturan parçalarda, yani organ, doku ve hücrelerde olmayan bir kimliğe sahiptir. Sözgelimi, deri hücrelerimiz hiç durmaksızın bölünür, ölür ve dökülür. Ama deri hücreleriniz hepten değişmiş olsa da, siz yine de yedi yıl önceki aynı kişisinizdir: O zamanki hücreleriniz ölüp gitmiş, yerine yenileri gelmiştir. Aynı şey vücudumuzdaki hemen her hücre için de geçerlidir. Tıpkı akışı, su seviyesi, hatta büyüklüğü değiştiği halde aynı kalan bir nehir gibi, biz de, parçalarımız sürekli yenileriyle değiştiği halde aynı kişiler olarak kalırız.

Bu sürekli değişime rağmen, her bir organımız vücuttaki büyüklüğünü ve yerini "bilir". Büyürken doğru oranlarda büyürüz, çünkü kollarımızdaki kemiklerin büyümesi, parmaklarımızdaki ve kafatasımızdaki kemiklerin büyümesiyle eşgüdümlü gerçekleşir. Deri hücreleri birbiriyle iletişim kurabildiği ve bu sayede deri yüzeyinin bütünlüğünü ve düzgünlüğünü koruduğu için derimiz düzgündür. Bir yerimizde siğil çıkması gibi olağandışı bir şey olmadığı sürece bu böyledir. Siğilin içindeki hücreler kurallara uymaz: Büyümeyi ne zaman durduracaklarını bilmezler.

Vücudun farklı parçaları arasındaki bu ince ayarlı denge bozulursa, organizma ölebilir. Örneğin bir dizi hücre, artık diğer hücrelerle eşgüdümü sağlayamazsa, kanserli bir tümör ortaya çıkar. Sonsuza kadar bölünen ya da gerektiğinde yok ola-

mayan bu hücreler, bireyi canlı tutmak için gereken dengeyi bozabilir. Kanser, hücrelerin birbiriyle eşgüdümünü sağlayan kuralları yıkar. Birlik içindeki toplumları yıkan zorbalar gibi kanser de, kendi çıkarları uğruna, içinde olduğu toplumu, yani insan vücudunu yok edinceye dek elinden geleni yapar.

Bu karışıklığı yaratan nedir? Uzak atalarımız, milyarlarca yıl önce, tek hücreli canlıdan vücudu olan canlılara geçebilmek için, hücrelerini birarada hareket ettirecek yeni mekanizmalar kullanmak zorundaydı. Hücreleri birbirleriyle iletişim kurabilmeli, onları birarada tutabilmek için yeni çareler bulunmalıydı. Bunun yanısıra, yeni "bir şeyler"in imali de gerekiyordu; organları birbirinden farklı kılan moleküller gibi. Bu özellikler, yani hücreleri birarada tutan harç, hücrelerin birbiriyle "konuşabilmesini" sağlayan mekanizmalar ve hücrelerin ürettiği moleküller, yeryüzünde gördüğümüz bütün farklı vücutların yapımı için gereken takım çantasının içeriğini oluşturur.

Bu takım çantasının icadı bir devrimdir. Tek hücreli hayvanlardan vücudu olan hayvanlara geçiş, yepyeni bir dünyanın kapılarını açtı. Yepyeni kabiliyetlerle yeni canlılar ortaya çıktı: büyüdüler, etrafa dağıldılar ve kendi âlemlerini algılamaya, yemeye ve sindirmeye yarayacak yeni organlar geliştirdiler.

VÜCUTLARIN KEŞFİ

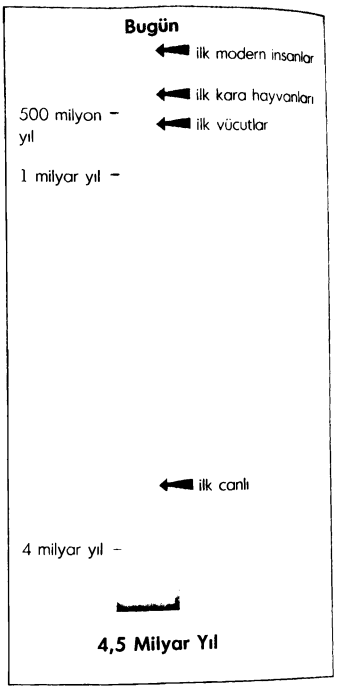
İşte, solucanlardan balıklara ve insanlara kadar tüm canlıları kibirlerinden edecek bir görüş: Canlı tarihi çoğunlukla tek hücreli canlıların hikâyesinden ibarettir. Buraya kadar sözünü ettiğimiz canlıların hemen hepsi -elleri, başı, duyu organları, hatta vücut planı olan hayvanlar- yeryüzü tarihinde kısacık bir zaman dilimine karşılık gelecek bir süredir dünya üzerindedir. Paleontolojiyle uğraşanlarımız bu zaman diliminin ne kadar kısa olduğunu anlatabilmek için sık sık "dünya yılı" benzetmesine başvurur. Yeryüzünün 4,5 milyar yıllık tarihini, dünyanın

başlangıcını 1 Ocak ve bugünü de 31 Aralık gecesi kabul ederek tek bir yıl ölçeğinde ele alalım. Hazirana kadar sadece, alg, bakteri ya da amip gibi birhücreli mikroplar vardı. Başı olan ilk hayvan, ancak Ekim'de, ilk insan ise 31 Aralık'ta ortaya çıktı. Bugüne kadar yaşayan tüm hayvanlar ve bitkiler gibi biz de, yeryüzündeki bu canlılar partisine son dakikada katılan sürpriz misafirleriz.

Bu zaman ölçeğinin ne kadar uçsuz bucaksız olduğunu, yeryüzündeki kayaları incelediğimizde apaçık görürüz. 600 milyon yıldan yaşlı kayalarda genellikle hayvan veya bitki yoktur. Bu kayalarda bulup bulacağımız sadece birhücreli canlılar ya da alg kolonileridir. Bu koloniler yığınlar ya da diziler oluşturur; bazıları kapı tokmağı şeklindedir. Bunların vücutlarla uzaktan yakından ilgisi yoktur.

Fosil kayıtlarına geçen ilk vücutları gören ilk kişilerin, gördükleri şeyin ne olduğuna dair hiçbir fikirleri yoktu. 1920 ila 1960 yılları arasında, dünyanın her yanından çok tuhaf fosiller ortaya çıkmaya başladı. 1920'ler ve 1930'larda, günümüzde Namibya topraklarında kalan bir arazide çalışan Alman paleontolog Martin Gurich, hayvan vücuduna ait olduğu izlenimi veren çeşitli izler buldu. Disk veya plaka şeklindeki bu izlerin özellikle dikkat çeken bir yanı yoktu: Bunlar, tarihöncesindeki denizlerde yaşayan ilkel algler veya denizanaları olmalıydı.

1947'de, Avustralyalı maden jeoloğu Reginald Sprigg'in yolu tesadüfen, alt yüzlerinde disk, şerit ve çizgili yaprak şeklinde yapılar taşıyan kayaların bulunduğu bir yöreye düştü. Güney Avustralya'da Ediacara Tepeleri'ndeki terk edilmiş bir maden civarında çalışan Sprigg, bu fosillerden bir grup ortaya çıkararak, bunları büyük bir özenle tarif etti. Zamanla, Antarktika dışında dünyanın bütün kıtalarında benzerleri bulunan bu izler tanınır hale geldi. Sprigg'in bulduğu yaratıklar tuhaf görünüyordu, ama birkaç kişi dışında kimse bunları gerçekten önemsemedi.



Canlılık tarihindeki olaylara ait zaman çizelgesi. Dikkat ederseniz, son derece uzun bir zaman süresince yeryüzünde vücudu olan hiçbir canlı yok, sadece tek başına veya koloniler halinde yaşayan birhücreli organizmalar var.

Bu toplu paleontolojik gafletin nedeni, fosillerin Kambriyen döneminin görece genç kayalarından ortaya çıktıkları düşüncesiydi ki, bu döneme ait ilkel vücutlu birçok hayvan fosilinin varlığı zaten biliniyordu. Sprigg ve Gurich'in fosilleri pek önemsenmedi. Tuhaf olsalar da bu toplu fosiller, öyle müthiş heyecan yaratacak türden değildi, dünyadaki müze koleksiyonlarında zaten bolca sergilenmiş bir döneme ait izlerdi.

Ancak, 1960'ların ortalarında, Avustralya'da yaşayan karizmatik Avusturyalı Martin Glaessner bu durumu hepten değiştirdi. Bu kayaları, dünyanın diğer yerlerindeki kayalarla karşılaştıran Glaessner, bu fosillerin en küçük şüpheye yer bırakmayacak şekilde, önceden düşünüldüğünden 15-20 milyon yıl daha yaşlı olduğunu gösterdi. Bunlar anlamsız izlerden ibaret değildi; Gurich, Sprigg ve diğerlerinin buldukları, aslında en eski vücutlardı.

Bu fosiller, "yaşamdan önce" anlamına gelen ve Prekam-

briyen olarak bilinen bir çağa aitti. Hayatın ne kadar eski oluşuna dair bilgilerimizin yanlış olduğu ispatlanmıştı. Bu paleontolojik garabetler, bilimsel cevherler haline geldi.

Bu Prekambriyen diskler, şerit ve çizgili yaprak şeklindeki yapılar kesinlikle, vücudu olan en eski canlılardır. İlk hayvan fosillerinden bekleneceği gibi, bunlar da bugün gezegenimizde yaşayan sünger ve denizanası gibi en ilkel hayvanlardan birkaçına ait temsilciler içerir. Diğer Prekambriyen fosiller ise bilinen hiçbir şeye benzemez. Bu izlerin, vücudu olan bir 'şeyin' izi olduğu söylenebilse de yuvarlak ya da şeritsi şekilleri, yaşayan hiçbir canlınınkine benzemez.

Bundan çıkarılacak anlam çok açıktır: Çok hücreli canlılar, 600 milyon yıl önce gezegenimizin denizlerinde yaşamaya başladı. Bu canlıların, şekli gayet belirgin olan vücutları vardı ve sadece hücre kolonilerinden ibaret değillerdi. Bazılarının biçimi, günümüzdeki canlı formlarını andıran simetrik düzendeydi. Yaşamakta olan canlı formlarıyla doğrudan karşılaştırılamayacak durumda olanlarının bile vücutlarının farklı kısımlarında özelleşmiş yapılar vardı. Bu da, Prekambriyen dönemde yaşayan organizmaların, o zaman için tümüyle yeni olan bir biyolojik düzenlenme biçimine sahip olduklarını göstermektedir.

Bu değişimlerin kanıtlarına, vücut fosillerinde olduğu kadar kayaların kendisinde de rastlanmaktadır. İlk vücutlarla birlikte ilk izler de oluşmuştur. Bu kayalara yer eden izler, aslında çamurda emekleyip süzülen canlıların bıraktığı ilk işaretlerdi. Tarihöncesinden kalan bu ilk izleri oluşturan, küçük, şerit şeklindeki çizikler bize, vücudu olan bu canlılardan bazılarının nispeten karmaşık hareketleri yapabilecek kabiliyette olduklarını gösterir. Bu canlılar, ayırt edilebilir kısımlar içeren vücutlara sahip olmanın ötesinde, bu kısımları tamamen yeni şekillerde hareket ettirerek kullanıyorlardı.

Bunların hepsi birlikte ele alındığında, ortaya akla oldukça

yakın bir tablo çıkıyor. İlk vücutları, ilk vücut planlarından önce görüyoruz. İlk ilkel vücut planlarını, kafası olan ilk vücut planlarından önce görüyoruz vs. Birinci bölümde gezindiğimiz hayali hayvanat bahçesi gibi, yeryüzündeki kayalarda da belli bir düzen ve sıralama vardır.

Bu bölümün başında söylediğimiz gibi, vücutların ne zaman, nasıl ve neden ortaya çıktığının peşindeyiz. Prekambriyen döneme ait keşifler, bize "ne zaman?" sorusunun cevabını verir. Nasılını ve sonunda nedenini anlayabilmek için biraz farklı bir yol izlememiz gerekecek.

BİZDE VÜCUT BULAN KANITLAR

Vücutlarımızın ne kadarının bu Prekambriyen disklerde, şeritlerde ya da çizgili yaprak şeklindeki yapılarda yer aldığını bir fotoğrafta yakalamak mümkün değildir. Bunca karmaşıklığımızla biz insanların, kayalardaki birtakım izlerle, hele de büzüşmüş denizanalarını ve ezilmiş film makaralarını andıranlarıyla ortak neyimiz olabilir ki?

Bu sorunun, meselenin özünü aydınlatan ve kanıtlan gördüğümüzde inkâr edemeyeceğimiz kadar açık bir yanıtı var: Bizi oluşturup birarada tutan -bir vücudumuz olmasını mümkün kılan- "şey", Gurich ve Sprigg'in bulduğu tarihöncesi izleri bırakan vücutları oluşturan "şey"le aynıdır. Aslında, tüm vücudumuzun yapımında kullanılacak yapı iskelesi, hiç ummadığımız kadar eski bir yerden, tek hücreli hayvanlardan ortaya çıkmıştır.

İster bir denizanasım, isterse bir göz küresini oluşturan hücreler olsun, bir hücre kümesini birarada tutan nedir? Bizim gibi canlılarda bu biyolojik harç, insanı hayrete düşürecek kadar karmaşıktır; hücrelerimizi birarada tutmakla kalmaz, hücrelerimizin birbiriyle iletişim kurmalarını ve yapımızın büyük bir kısmını oluşturmalarını da sağlar. Bu harç tek bir şey değildir; hücrelerimiz arasında yer alan ve hücrelerimizi birbirine bağlayan

çok çeşitli moleküllerden oluşur. Bu moleküller mikroskobik ölçekte, doku ve organlarımıza kendine özgü, ayırt edici bir görünüm ve işlev kazandırır. İster çıplak gözle, ister mikroskopla bakalım, bir göz küresi, bir bacak kemiğinden farklı görünür. Aslında, bacak kemiği ile göz küresi arasında fark, büyük oranda, hücrelerin ve maddenin derinlerdeki düzenleniş şeklinde yatmaktadır.

Birkaç yıldır her sonbahar, bu kavramlarla tıp öğrencilerini deli etmekteyim. Heyecanlı birinci sınıf öğrencilerinin, mikroskop altında rastgele seçilen doku slaytlarına bakarak organları ayırt etmeyi öğrenmeleri gerekir. Peki bunu nasıl başarırlar?

Bu iş az çok, küçük bir kasabanın krokisine bakarak hangi ülkede olduğunu anlamaya çalışmak gibidir. Yapılabilir bir iştir, ancak doğru ipuçlarına ihtiyacınız vardır. Organlar söz konusu olduğunda, en iyi ipuçları hücrelerin şeklinde ve birbirlerine bağlanışlarında yatar; hücreler arasında bulunan maddenin tespit edilebilmesi de önemlidir. Dokularda ise, birbirlerine farklı şekillerde bağlanan, birbirinden farklı birçok hücre tipi bulunur: Bazı yerlerde hücreler şerit ya da sütun şeklini alır; bazı yerlerdeyse rastgele dağılmış ve birbirine gevşek biçimde bağlanmış hücreler bulunur. Hücrelerin gevşek kümeler oluşturduğu bu tür bölgeler, genellikle her dokuya kendine özgü fiziksel özellikler kazandıran maddelerle doludur. Örneğin, kemik hücreleri arasında yer alan mineraller kemiğe sertlik verirken, göz akımızdaki görece gevşek proteinler, göz duvarının daha esnek olmasını sağlar.

O halde öğrencilerimizin, organları mikroskop görüntülerinden tanıyabilmesi için önce, hücrelerin nasıl dizildiğini ve hücreler arasında ne olduğunu bilebilmeleri gerekir. Bizim içinse, bu çok daha büyük bir anlam taşır. Bu hücre dizilişlerini mümkün kılan moleküller aynı zamanda, vücutların oluşumunu da mümkün kılan moleküllerdir. Hücreleri birbirine bağlama-

nın hiçbir yolu ya da hücreler arasında hiçbir madde bulunmasaydı, yeryüzünde vücutlu bir canlı da olmayacak, sadece hücre yığınları olacaktı. Bu da demektir ki, vücutların nasıl ve ne zaman ortaya çıktığını anlamak için önce bu molekülleri, yani hücreleri birarada tutmaya yarayan, hücrelerin birbiriyle iletişim kurmalarını mümkün kılan molekülleri ve hücreler arasındaki maddeleri anlamalıyız.

Bu moleküler yapının vücudumuzla ilgisini kavrayabilmek için vücudumuzun sadece bir kısmına, iskeletimize yakından bakalım. İskeletimiz, hem bu derecede minik moleküllerin vücudumuzun yapısı üzerinde nasıl büyük bir etkide bulunabildiğine, hem de vücudumuzun bütün parçalarında geçerli olan genel ilkelere sağlam bir örnek oluşturur. İskeletimiz olmasa, lapa gibi yığılırdık. Karada yaşam kolay olmazdı, hatta imkânsız olurdu. Öyleyse, temel biyolojik yapımızın büyük bölümü ve hareketlerimiz, esasen, pek de kıymetini bilmediğimiz iskeletimiz sayesinde mümkündür. Yürüdüğümüz, piyano çaldığımız, soluk alıp verdiğimiz, yemek yediğimiz her seferinde iskeletimize şükretmeliyiz.

İskeletimizin işlevleri, en iyi bir köprüye benzetilerek anlatılabilir. Bir köprünün dayanma gücü büyüklüğüne, şekline, kiriş ve halatlarına bağlıdır. Daha da önemlisi, köprünün dayanma gücü, yapıldığı maddenin mikroskobik özelliklerine de bağlıdır. Çeliğin ne kadar güçlü olduğunu ve kırılmadan ne kadar esneyebileceğini belirleyen, molekül yapısıdır. Aynı şekilde, iskeletimizin dayanma gücü de kemiklerimizin büyüklük ve şekillerine, ama aynı zamanda kemiklerimizin molekül özelliklerine bağlıdır.

Bu nasıl oluyor, bir bakalım. Yolda koşarken kaslarımız kasılır, sırtımız, kollarımız ve bacaklarımız hareket eder ve ayaklarımız ileri doğru hareket edebilmemiz için yerden güç alır. Kemiklerimiz ve eklemlerimiz, tüm bu hareketleri yapabilme-

mizi sağlayan devasa bir palanga ve kasnak sistemi gibi işlev görür. Vücudumuzun hareketleri temel fizik kurallarına tabidir: koşabilme becerimiz, büyük oranda iskeletimizin büyüklüğüne, şekline ve oranlarına, eklemlerimizin konfigürasyonuna bağlıdır. Böyle baktığımızda, büyük bir makineye benzeriz. Tıpkı bir makine gibi, bizim tasarımımız da işlevlerimize uygundur. Uzun atlama şampiyonu bir atletin kemik oranları, şampiyon bir sumo güreşçisininkinden farklıdır. Atlayıp zıplamada özelleşmiş bir tavşanın ya da bir kurbağanın bacaklarındaki oranlar, bir atınkinden farklıdır.

Şimdi, daha mikroskobik bir açıdan bakalım. Bir uyluk kemiğinden minik bir parça alıp mikroskop altına yerleştirecek olursanız, bu kemiğe kendine özgü mekanik özellikleri veren şeyin ne olduğunu hemen fark edersiniz. Hücreler, başta kemiğin dış kenarı olmak üzere, bazı yerlerde üst seviyede düzenlenme gösterirler. Bir kısmı birbirine yapışıkken bir kısmı birbirinden ayrıdır. Ayrı ayrı duran hücreler arasında kemiğin dayanma gücünü belirleyen maddeler vardır. Bunlardan biri, 4. Bölüm'de ele aldığımız ve hidroksiapatit olarak bilinen taş ya da kristaldir. Hidroksiapatit, beton gibi serttir: baskıya dayanır, ancak eğilip bükülmeye karşı pek dayanıklı değildir. Öyleyse, kemikler, tıpkı tuğla ya da betondan yapılmış bir bina gibi, basınca en yüksek düzeyde direnç gösterip, eğilip bükülmeyi de asgariye indirecek bir şekil almıştır. Galileo, bunu 17. yüzyılda fark etmişti.

Kemik hücrelerimiz arasında bulunan başka bir molekül, insan vücudunun her yerinde en yaygın görülen proteindir. Bir elektron mikroskobuyla 10.000 kez büyüttüğümüzde, minik molekül lifi demetlerinden oluşan halata benzer bir şey görürüz. Kolajen adı verilen bu molekül, halatın mekanik özelliklerine de sahiptir. Çekildiğinde sağlam sayılabilecek halat, ezildiği zaman dağılır; halat çekme oyununda iki takımın da halatın ortasına doğru asıldığını düşünün. Kolajen de halat gibidir; asıl-

maya dayanıklıyken uçlardan zorlandığında dayanıksızdır.

Kemikler, hidroksiapatit, kolajen ve daha az bulunan başka moleküllerle dolu bir ortamda yer alan hücrelerden oluşur. Bazı hücreler birbirine sımsıkı bağlıdır, bazıları da bu maddelerin içerisinde yüzer. Kemiğin dayanma gücü, kolajenin çekilmeye karşı dayanma gücüne ve hidroksiapatitin de basınca dayanma gücüne bağlıdır.

İskeletimizdeki başka bir doku olan kıkırdak ise biraz daha farklı davranır. Hafif tempoda koşarken, kemiklerimizin birbirine sürtünürken kayarcasına hareket ettiği düzgün yüzeyleri sağlayan, eklemlerimizdeki kıkırdaktır. Kıkırdak, kemikten çok daha esnek bir dokudur; üzerine uygulanan kuvvetlere karşı bükülebilir ya da kırılıp dağılabilir. Tempolu koşu sırasında kullandığımız eklemlerimizin çoğu gibi diz ekleminin de düzgün çalışması, nispeten yumuşak kıkırdağı sayesinde olur. Sağlıklı bir kıkırdağa basınç uygulanacak olursa, basınç ortadan kalktığında bulaşık süngeri gibi asıl şekline döner. Koşarken her adımımızda, vücudumuz tüm ağırlığıyla, belli bir hızla yere vurur. Eğer eklemlerimizdeki bu koruyucu kapsüller olmasaydı, kemiklerimiz birbirine sürtünerek aşınır, bu da bizi, eklem iltihabının (artrit) insanı elden ayaktan düşüren istenmeyen sonucuna götürürdü.

Kıkırdağın esnekliği, yapısının mikroskobik bir özelliğinden kaynaklanır. Eklemlerimizdeki kıkırdakta görece az hücre vardır ve bu hücrelerin aralarında bolca dolgu malzemesi bulunur. Kemikte olduğu gibi, kıkırdağa mekanik özelliklerini veren de büyük oranda bu hücrelerarası dolgudur.

Başka dokuların hücrelerinde olduğu kadar, kıkırdak hücrelerinin arasındaki boşluk da büyük oranda kolajenle doludur. Kıkırdağa asıl esnekliğini kazandıran ise başka bir tür moleküldür; tüm vücudumuzdaki en olağandışı moleküllerden biri. Proteoglikan kompleksi adı verilen bu molekül türü, kıkırdağın

ezilmeye ve basınca karşı dayanıklı olmasını sağlar. Uzun sapı ve çok sayıda dalıyla üç boyutlu devasa bir fırçayı andıran proteoglikan kompleksi, mikroskop altında gayet iyi görülür. En ince dallarının suya bağlanma tutkusu sayesinde proteoglikan kompleksi, yürüme ve hareket etme kabiliyetlerimizle yakından ilgili şaşırtıcı bir özelliğe sahiptir. Proteoglikan, dev bir jöle parçası gibi şişinceye dek suyla dolan bir moleküldür. Bu jöleden bir parça alıp etrafını kolajen iplerle saracak olsak hem esnek, hem de basınca karşı dirençli bir madde elde ederiz. Bu madde esasen kıkırdaktır: Eklemlerimiz için kusursuz bir yastık. Kıkırdak hücrelerinin rolü, hayvan büyürken bu molekülleri üretmek, büyümediği zaman da korumaktır.

Kemik, kıkırdak ve dişler arasındaki mekanik farklılıkları yaratan, farklı maddelerin birbirine göre oranlarıdır. Çok sert olan dişlerde, tahmin edeceğiniz gibi, diş minesi hücreleri arasında bolca hidroksiapatit ve az miktarda kolajen vardır. Kemiklerse görece fazla miktarda kolajen, daha az hidroksiapatit içerirken, mine hiç yoktur; bu yüzden diş kadar sert değildir. Bolca kolajen içeren kıkırdak, hiç hidroksiapatit içermezken proteoglikanla doludur; iskeletimizdeki en yumuşak dokudur. İskeletimize sahip olduğu görünümü ve işlevi kazandıran, en başta, bu moleküllerin doğru yerlerde doğru oranlarda bulunmasıdır.

Tüm bunların vücudumuzun kökeniyle ne ilgisi var? İskeleti olsun veya olmasın tüm hayvanlarda ortak bir özellik vardır: Hücre kümeleri de dahil olmak üzere, hayvanların hepsinin hücreleri arasında moleküller, farklı türlerde kolajen ve proteoglikanlar vardır. Kolajen özellikle önemli gibi görünmektedir: Hayvanlarda en fazla bulunan proteindir ve vücut ağırlığının yüzde 90'dan fazlasını oluşturabilmektedir. Uzak geçmişte "vücut yapmak" için, bu moleküllerin icat edilmesi gerekiyordu.

Vücut yapımı için olmazsa olmaz bir şey daha vardır:

Kemiklerimizdeki hücrelerin birbirine kaynaşabilmesi ve birbiriyle konuşabilmesi. Kemik hücreleri birbirine nasıl bağlanıyor ve kemiğin farklı kısımları farklı davranacaklarını nereden biliyor? İşte vücut yapımı için gerekli araçların çoğu burada saklı.

Kemik hücreleri, vücudumuzdaki her hücre gibi, pek çok çeşidi olan minik molekül perçinleriyle birbirine bağlanır. Zamk, ayakkabı tabanını nasıl tutuyorsa, bazı perçinler de aynen o şekilde hücreleri birbirine bağlar: bir molekül, bir hücrenin dış zarına, bir diğer molekül de komşu hücrenin dış zarına sımsıkı tutunur. Böylece iki hücre zarına birden tutunan zamk, hücreler arasında sağlam bir bağ oluşturur.

Bazı molekül perçinleri öyle hassastır ki, bunlar yalnızca aynı tür perçinlere, seçici olarak bağlanırlar. Bu, vücutlarımızın doğru biçimde düzenlenmesine yaradığı için son derece önemli bir özelliktir. Bu seçici perçinler sayesinde, hücreler kendilerini organize edebilir; kemik hücrelerinin kemik hücrelerine, deri hücrelerinin de deri hücrelerine vs. bağlanması garanti edilmiş olur. Başka bilgilerin yokluğunda vücudumuzdaki düzenlemeleri yine bunlar sağlayabilir. Her biri farklı olan bu türden perçinlere sahip birkaç hücreyi aynı kapta toplayıp büyümeye bırakacak olursak, bu hücreler kendilerini organize edecektir. Hücreler, kendi perçin sayılarına ve türlerine göre ayrılacak, bazıları küre, bazıları tabaka şeklini alacaktır.

Yine de hücreler arasındaki en önemli bağlantı, büyük olasılıkla hücrelerin birbirleriyle hangi yollarla bilgi alışverişinde bulunduklarıdır. İskeletimizin, hatta bütün vücudumuzun tam şeklini alabilmesi, ancak hücrelerin nasıl davranacağını bilmesiyle mümkündür. Hücrelerin, ne zaman bölüneceğini, ne zaman molekül üreteceğini ve ne zaman öleceğini bilmeleri gerekir. Örneğin, eğer kemik ya da deri hücreleri rastgele davransaydı -gereğinden fazla bölünseler ya da gerektiğinden az sayıda hücre ölseydi- ya çok çirkin olacak, hatta daha da kötüsü

hepten ölüp gidecektik.

Hücreler, moleküllerin hücreden hücreye taşıdığı "parolaları" kullanarak birbirleriyle iletişim kurar. Bir hücrenin başka bir hücreyle "konuşması" molekül alışverişiyle mümkündür. Örneğin, iki hücre arasındaki oldukça sıradan iletişimde, hücrelerden biri bir sinyal, yani bu durumda bir molekül gönderir. Bu molekül, sinyali alan hücrenin dış tabakasına, yani zarına tutunur. Hücre zarına tutunan molekül, hücrenin dış zarından her yöne doğru, çoğu zaman hücre çekirdeğine kadar ilerleyen zincirleme molekül reaksiyonları başlatır. Genetik bilginin, çekirdeğin içinde yer aldığını hatırlayın. Sonuç olarak, bu molekül sinyali, genlerin açılıp kapatılmasına yol açabilir. Bu sürecin çıktısı, bilgiyi alan hücrenin artık davranışını değiştirmesidir: diğer hücreden gelen bu işarete yanıt olarak belki ölecek, belki bölünecek, belki de yeni moleküller üretecektir.

En temel düzeyde, vücut yapımını mümkün kılan şeyler bunlardır. Vücudu olan her hayvanın, kolajen ve proteoglikan gibi yapısal molekülleri, bu moleküllerin de hücreleri birarada tutan moleküler perçin dizileri ve bu dizilerin de hücrelerin birbiriyle iletişim kurabilmelerini sağlayan moleküler araçları vardır.

Böylece, vücutların kökeninin "nasıl"ını anlayabileceğimiz bir araç edinmiş olduk. Vücutların nasıl ortaya çıktığını anlayabilmek için de, bu molekülleri önce gezegenimizdeki en ilkel vücutlarda, sonra hiç vücudu olmayan canlılarda aramamız gerekir.

TOPAKSI YARATIKLARDA VÜCUT YAPIMI

Bir profesörün vücuduyla bir topağın ortak yönü nedir? Bu soruyu yanıtlayabilmek için, bugün yeryüzünde yaşayan en ilkel vücutlara bakalım.

Bu canlılardan birinin özelliği, doğal ortamında nerdeyse hiç görülmemiş olması. 1880'lerin sonunda, akvaryum camı

üzerinde yaşayan tuhaf ve basit yapılı bir canlı keşfedildi. Hiçbir canlıya benzemiyordu, yapışkan bir kütle gibiydi. Bu canlıyı olsa olsa Steve McQueen'in filmi *The Blob*'daki uzaylı yaratığa benzetebiliriz. Hatırlarsanız Blob, uzaydan düştükten sonra avlanmaya çıkan, Pennsylvania'nın küçük kasabalarındaki köpekleri, insanları, hatta sonunda lokantaları yutan amorf bir yaratıktı. Blob'un sindirim borusunun ağzı, alt kısmında bir yerdeydi: bu bölgeyi hiç görmüyor, yalnızca yakalanan canlıların feryatlarını duyuyorduk. Şimdi bu yaratığı 200 ila 1000 hücreli, yaklaşık 2 mm çapında bir canlı boyutlarına indirin; alın size, placozoa adı verilen esrarengiz yaratık. Placozoaların, minik yassı bir tabağı andıran çok basit vücudu, sadece dört tip hücreden oluşur; ama bu, yine de bir vücuttur. Alt kısmındaki hücrelerin bir kısmı sindirim için özelleşmiştir; diğer hücrelerde, hareket ettiğinde canlıyı sağa sola oynatmaya yarayan "kamçı"lar (flagella) vardır. Placozoaların doğal ortamda ne yediklerine, nerede yaşadıklarına, yani kendi doğal habitatlarının ne olduğuna dair pek bir görüş yok. Buna rağmen bu basit yaratıklarda, müthiş önemli bir şey fark edildi: Bu ilkel canlılarda çok az sayıda özelleşmiş hücre olmasına rağmen, parçalar arasında işbölümü vardı.

Vücutlarda ilgimizi çeken ne varsa, çoğu zaten placozoalarda da vardır. Düzenlenişi çok ilkel olmakla beraber placozoalar gerçek anlamda vücuda sahiptir. DNA'larını ve hücrelerinin yüzeyinde bulunan molekülleri araştırıp incelerken, bizdeki vücut yapım aygıtlarının çoğunun placozoalarda zaten var olduğunu fark ettik. Placozoalarda, bizim kendi vücutlarımızda gördüğümüz molekül perçinlerinin ve hücre iletişim araçlarının versiyonları bulunur.

Sonuçta, bizim vücut yapım aygıtımız, Reginald Sprigg'in bulduğu tarihöncesinden kalma izlerden bile daha basit yapıda olan bu yuvarlak yaratıklarda da var. Acaba işi daha ileri götür-

sek, çok daha ilkel vücut türlerinde de bu aygıtı bulabilir miyiz? Belki, bilinen bir mutfak gerecinde, bir bulaşık süngerinde bu sorunun cevabını bulabiliriz. İlk bakışta, süngerlerde kayda değer bir özellik yoktur. Süngerin vücudu, sünger matrisinin kendisinden oluşur; bu, canlı bir madde değildir. Arada kolajenin serpili halde olduğu bir çeşit silis (camsı madde) ya da kalsiyum karbonattan (sert kabuk görünümünde bir madde) ibarettir. Sünger, en başta bu yüzden ilginçtir. Kolajenin, hücreleri ve pek çok dokuyu birarada tutan, hücrelerarası boşluklarımızı dolduran önemli bir bileşen olduğunu hatırlayın. Size öyle görünmeyebilir ama süngerler, vücudu tanımlayıcı damgaya zaten sahiptir.

1900'lerin başında H.V.P. Wilson, bize süngerlerin aslında ne kadar ilginç canlılar olduklarını gösterdi. Wilson 1894'te, ilk biyoloji profesörü olduğu North Carolina Üniversitesi'ne gelmişti. Burada, gelecek yüzyılda Kuzey Amerika'da genetik ve hücre biyolojisi alanlarını tanımlayacak olan bir Amerikalı biyolog grubunu yetiştirdi. Wilson, daha gençken, ömrünü araştırmaya, her şeyden önce de süngerleri araştırmaya adamaya karar vermişti. Deneylerinden birinde bu, görünüşte basit canlıların gerçekten olağanüstü bir kabiliyetini açığa çıkardı. Wilson, süngerleri bir tür elekten geçirip hücrelerini birbirinden ayırdı. Tamamen ayırdığı, amip görünümündeki bu hücreleri bir tabağa koyup gözlemeye başladı. Başlangıçta, hücreler tabağın yüzeyinde sürünüp durdular. Sonra, hayret verici bir şey oldu: hücreler biraraya gelmişti. Önce, belli belirsiz kırmızı hücre küreleri oluşturdular. Sonra, hücreler daha organize bir hale gelerek belirli bir düzene göre biraraya toplaşmaya başladılar. Sonunda, farklı türde hücrelerin uygun yerlere geçmesiyle bu hücre yığınından yepyeni bir sünger ortaya çıkmıştı. Wilson, bir vücudun sıfırdan oluşumunu izliyordu. Biz de sünger gibi olsaydık, Coen kardeşlerin filmi *Fargo*'da doğranan Steve Buscemi

karakteri de sapasağlam kalırdı; hatta hücreleri, kendisinin çok farklı versiyonlarını oluşturmak üzere biraraya geleceğinden, belki de bu deneyimle yeniden doğmuş gibi hissedecekti.

Süngerlerde vücudun kökenini anlamamıza yardımcı olan şey, hücrelerdir; içlerinde genellikle, türe bağlı olarak bölümlere de ayrılabilen, içi boş oyuklar vardır. Çok özel bir tür hücrenin yönlendirmesiyle bu boşluklardan su geçer. Bu hücreler, hazne kısmı süngerin içine dönük duran kadehlere benzer. Kadehin ağzından çıkan minik tüycükler, sudaki yiyecek parçacıklarını kamçılayıp yakalar. Ayrıca, bu hücrelerin hepsi, kadeh kısmından çıkan büyük birer kamçıya da sahiptir. Kamçıların birbiriyle ahenkli hareketi, su ve yiyecekleri, süngerin gözeneklerinden içeri doğru iter. Süngerin içindeki başka hücreler, bu yiyecek parçalarını sindirir. Dış tarafta dizilen bir diğer grupsa, süngerin, suyun akıntısına göre şeklini değiştirmesi gerektiğinde kasılma hareketi yaparlar.

Bir süngeri vücut olarak nitelendirmek çok güç olsa da, vücutların en önemli pek çok özelliğine sahiptir: Hücreleri arasında işbölümü vardır; hücreler birbiriyle iletişim kurabilmekte; ayrıca farklı hücre grupları, tek bir birey gibi hareket etmektedir. Sünger, farklı yerlerinde farklı işler üstlenen farklı türde hücreleriyle, organize olmuş bir canlıdır. Kusursuz bir biçimde biraraya gelmiş trilyonlarca hücresiyle bir insan vücudu ile bir sünger arasında dağlar kadar fark vardır, ama sünger, insan vücuduyla bazı ortak özelliklere sahiptir. En başta, bizim vücudumuz için söz konusu olan hücre bağlanması, hücrelerarası iletişim ve yapı iskelesi, süngerlerde de büyük ölçüde vardır. Süngerler, çok ilkel ve düzenlenme biçimi görece yetersiz de olsa, birer "vücut"tur.

Placozoa ve süngerler gibi, bizim de çok sayıda hücremiz var. Tıpkı bu canlılar gibi, bizim vücudumuzun parçaları arasında da bir işbölümü söz konusu. Vücudu birarada tutan moleku

ler araçlara da (hücreleri birarada tutan perçinler, hücrelerin birbirine sinyal göndermesine yarayan çeşitli mekanizmalar ve hücreler arasında bulunan pek çok molekül) sahibiz. Hatta placozoa ve süngerlerde, tıpkı bizde ve diğer tüm hayvanlarda olduğu gibi kolajen bile vardır. Ama bizden farklı olarak bu özellikler onlarda çok ilkel versiyonlarıyla bulunur: süngerlerde 21 değil, 2 kolajen vardır; bizler yüzlerce farklı türde molekül perçinine sahipken, bunların sayısı süngerlerde çok daha azdır. Süngerler bizden çok daha basittir ve çok daha az çeşitte hücre içerirler; yine de temel vücut yapım aygıtına sahiptirler.

Placozoalar ve süngerler, günümüzde belki de olup olabilecek en basit vücutlardır. Ama biraz daha ileriye gitmek için, vücutlarımızı yapan şeyleri, hiç vücudu olmayan canlılarda da araştırmamız gerekiyor; yani tek hücreli mikroplarda.

Birhücreli bir canlıyı, vücudu olan bir hayvanla nasıl karşılaştırırsınız? Acaba hayvanlarda bulunan vücut yapıcı mekanizmalar, birhücreli canlılarda da var mı? Eğer varsa ve vücut yapmıyorlarsa, o zaman ne işe yarıyorlar?

Bu soruları cevaplamanın en dolambaçsız yolu, mikropların genlerini inceleyip hayvanlarla aralarında herhangi bir benzerlik olup olmadığına bakmaktır. Hayvan ve mikrop genomları arasında yapılan ilk karşılaştırmalarda çarpıcı bir gerçek ortaya çıktı: tek hücreli pek çok hayvanda, hücrelerin birbirine bağlanmasını, birbirleriyle iletişimini vb. sağlayan moleküler mekanizmaların çoğu yoktu. Hatta bazı analizler, bu moleküllerin 800'den fazla çeşidinin tek hücreli canlılarda olmadığına, sadece vücutlu hayvanlarda bulunduğuna işaret etmektedir. Bu da, hücrelerin birleşerek vücut yapmasına yardımcı olan genlerin, vücutlarla birlikte ortaya çıktığı görüşünü destekler. İlk bakışta, vücut yapım mekanizmalarının, vücutlarla peş peşe ortaya çıkmış olması da mantıklı görünür.

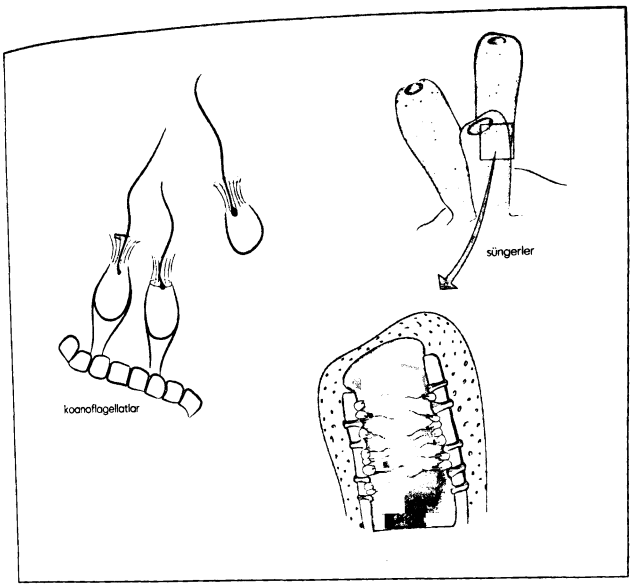
Ancak, Berkeley California Üniversitesi'nden Nicole

King'in "koanoflagellat" adı verilen organizmalar üzerinde yaptığı araştırmayla bu görüş altüst olmuştur. King'in incelemek için bu organizmayı seçmesi tesadüfi değildi. DNA üzerindeki çalışmalarından, vücudu olan hayvanlar, placozoalar ve süngerlerin en yakın mikrop akrabalarının koanoflagellatlar olabileceğini biliyordu. Üstelik koanoflagellatların genlerinde, vücutlarımızı yapan DNA versiyonlarının saklı olduğundan da şüpheleniyordu.

Nicole'ün araştırmasına, vücudumuzdaki genlerin hepsinin haritasını çıkarmayı başaran İnsan Genomu Projesi'nden destek geldi. İnsan Genomu Projesi'nin başarıya ulaşmasının ardından başka gen haritası çıkarma çalışmaları başladı: Sıçan Genomu Projesi, Sinek Genomu Projesi, Yabanarısı Genomu Projesi (hatta süngerlerin, placozoaların ve mikropların genomlarını çözmeye çalışan ve sürmekte olan projeler de vardır). Bu haritalar, pek çok farklı türün vücut yapım genlerini karşılaştırabilmemizi sağladıkları için altın madeni gibidir. Nicole'ün koanoflagellatları incelerken yararlanacağı genetik araçlar da bu çalışmalardan çıkmıştı.

Koanoflagellatlar bariz bir biçimde, süngerin içindeki kadeh biçimli hücrelere benzer. Öyle ki, çoğu kişi, uzun zamandır bunların, bozulmuş süngerler -öteki hücrelerini kaybetmiş süngerler- olduğunu sanıyordu. Ama öyle olsaydı, koanoflagellatların DNA'sının, tuhaf bir süngerin DNA'sına benziyor olması gerekirdi. Ama benzemez. Koanoflagellatların DNA parçalarını, mikrop ve sünger DNA'sıyla karşılaştırdığımızda, mikrop DNA'sına son derece benzediği görülür. Koanoflagellatlar birhücreli mikroplardır.

Nicole'ün koanoflagellatlar üzerindeki çalışmaları sayesinde "birhücreli mikroplar" ile "vücudu olan hayvanlar" arasındaki genetik ayrım hepten yıkılmıştır. Koanoflagellatlarda etkin olan genlerin çoğu, hayvanlarda da etkindir. Hatta bu genlerin çoğu,



Koanoflagellatlar (solda) ve süngerler (sağda).

vücut yapan mekanizmanın parçalarıdır. Bu benzerliğin büyüklüğünü ortaya serecek birkaç örnek verelim. Hücrelerin birbirine bağlanma ve hücrelerarası iletişim kurma işlevleri, hatta hücreler arasındaki maddeyi oluşturan moleküllerin parçaları ve hücrenin dışından içine doğru sinyal taşıyan molekül akışına kadar hepsi koanoflagellatlarda vardır. Koanoflagellatlarda kolajen de vardır. Ayrıca biraz farklı bir görev üstlenmiş olmakla beraber, hücreleri birarada tutan çeşitli molekül perçinleri de koanoflagellatlarda bulunur.

Koanoflagellatların Nicole'e bir katkısı daha oldu: insandaki vücut yapım aygıtlarını başka mikroplarınkiyle karşılaştırmaya yarayacak bir yol haritası. Kolajen ve proteoglikanları birarada toplayan temel moleküler yapıyı, çeşitli mikroplardan biliyo-

ruz. Ağzımızda bolca (ve umarız ki başka yerlerimizde çok az) bulunan *Streptococcus* bakterilerinin hücre yüzeyinde, kolajene çok benzeyen bir molekül vardır. Bu moleküller, kolajenle aynı moleküler imzayı taşımakla birlikte, kolajenin hayvanlarda yaptığı gibi biraraya toplanıp halat veya tabaka şeklini almazlar. Aynı şekilde, kıkırdağımızın içindeki proteoglikan komplekslerini oluşturan bazı şekerler, çeşitli bakterilerin duvarlarında da görülür. Bunlar hem virüslerde, hem de bakterilerde pek hoş olmayan işlevler üstlenmişlerdir. Bakteri ve virüslerin hücreleri işgal ve enfekte etmeleri, bazı durumlarda da daha tehlikeli hale gelmelerinde rol oynarlar. Mikropların bize eziyet etmek için kullandığı moleküllerin pek çoğu, bizim bir vücuda sahip olma şansımızı yaratan moleküllerin ilkel versiyonlarıdır.

Bu da, meseleyi iyice anlaşılmaz bir hale sokuyor. Fosil kayıtlarında, dünya tarihinin ilk 3,5 milyar yıllık döneminde mikroptan başka hiçbir şey göremeyiz. Sonra, aniden, belki 40 milyon yıla yayılan bir sürede, her tür vücut ortaya çıkar: her yerde bitki vücutları, mantar vücutları, hayvan vücutları... Vücut, moda olmuştur. Ancak Nicole'ün çalışmasına göre, vücut oluşturma potansiyeli, vücutların ortaya çıkışından daha önce de vardı. Öyleyse, o kadar uzun süreyi vücutsuz geçirdikten sonra, vücut yapmak için bu acele nedendi?

VÜCUTLARIN TARİHİNDEKİ "KUSURSUZ FIRTINA"

Zamanlama her şeydir. En iyi fikirler, icatlar, kavramlar her zaman başarılı olamaz. Çağının ötesinde olup unutulan ancak, çok sonraları yeniden keşfedilen öyle çok müzisyen, mucit ve sanatçı vardır ki. Bunun için, 1. yüzyılda buhar türbinini icat eden zavallı İskenderiyeli Heron'a bakmak yeter. Heron'un icadı, ne yazık ki oyuncak muamelesi görmüştü. Dünya henüz bu icada hazır değildi.

Aynı durum canlılar tarihinde de geçerlidir. Her şeyin,

vücutların bile, doğru bir zamanı vardır. Önce, vücutların neden ortaya çıkmış olabileceğini anlamamız gerekir.

Vücutların ortaya çıkışını açıklamaya çalışan kuramlardan biri son derece basittir: Vücutlar belki de, mikropların birbirini yiyebilmesi ya da başka mikroplar tarafından yenmekten kurtulması için yeni çarelere başvurması sonucu ortaya çıkmıştır. Çok hücreli bir vücuda sahip olan canlı irileşebilir. İrileşmek de, genellikle, yenmekten kurtulmak için çok iyi bir yoldur. Vücutlar, bir savunma şekli olarak ortaya çıkmış olabilir.

Avcılar avlarını yemek için yeni yollar geliştirirken, avlar da yenmekten kurtulmak için yeni yollar geliştirirler. Vücut yapıcı moleküllerimizin pek çoğu, belki de bu karşılıklı etkileşimden ortaya çıkmıştır. Mikropların çoğu, başka mikroplara tutunup onları "yutarak" beslenir. Mikropların avını yakalayıp tutmasını sağlayan moleküller, muhtemelen, vücudumuzdaki hücreleri birbirine kenetleyen moleküllerdir. Hatta bazı mikroplar, diğer mikropların davranışlarını etkileyen bileşikler üreterek birbirleriyle iletişim kurar. Mikroplar arasındaki avcı-av etkileşiminde genellikle moleküler işaretler vardır; bu işaretler, ya muhtemel avcıları etkisiz hale getirir ya da avı yaklaşmaya cezbeden yem görevi görür. Belki de bu tür sinyaller, vücudumuzu sağ salim tutmaya çalışan hücrelerimizin bilgi alışverişi sırasında kullandığı türden sinyallerin öncülleriydi.

Bu spekülasyonların sonu gelmez; oysa av-avcı etkileşiminden vücutların nasıl ortaya çıktığını gösteren bazı somut deneysel kanıtlara bakmak daha ilginç olacaktır. İşte Martin Boraas ve meslektaşları, bize bu kanıtları sundular. Araştırmacılar, normalde tek hücreli olan bir alg alıp, binlerce nesil boyunca laboratuvarda yaşamaya bıraktılar. Sonra bu ortama bir avcı, yani başka mikropları yutup yiyen tek hücreli kamçılı bir canlı getirdiler. Daha 200 nesil bile geçmeden, algler biraraya toplanıp yüzlerce hücreli bir küme haline gelerek bu avcıya karşı tepki

geliştirdiler; zamanla hücre sayısı azaldı, ta ki her kümede sekiz hücre kalıncaya dek. Optimum sayı sekizdi; yenmekten kurtulabilecek kadar büyük, ama her hücrenin, canlı kalmak için kendisine gereken ışığı alabileceği kadar da küçük bir küme, sekiz hücreden oluşuyordu. Asıl hayret uyandıran şey ise, avcı ortamdan çıkarıldığı zaman gerçekleşti: algler üremeye devam ettiler ve sekiz hücreli bireyler oluşturdular. Sözün kısası, çok hücreli bir canlı formunun basit bir versiyonu, yoktan (vücutsuz bir canlıdan) ortaya çıkmıştı.

Eğer bir deneyle, birkaç yılda vücutsuz bir canlıdan basit bir vücut oluşturulması mümkünse, milyarlarca yılda neler olabileceğini hayal edin. O halde sorulacak soru, vücutların nasıl ortaya çıkmış olabileceği değil, neden daha evvel ortaya çıkmadığıdır.

Bu bulmacanın yanıtları, henüz vücutların ortaya çıkmadığı, dünyanın belki henüz vücutların ortaya çıkışına hazır olmadığı tarihöncesi ortamda yatıyor olabilir.

Bir vücuda sahip olmanın bedeli çok yüksektir. Kuşkusuz iri vücuda sahip bir canlı olmanın belli avantajları vardır: Avcılardan kurtulabilmenin yanı sıra, vücudu olan hayvanlar başka hayvanları, daha küçük canlıları yiyebilir ve daha uzun mesafelerde hareket edebilirler. Bu iki yetenek sayesinde bu hayvanlar kendi ortamlarında daha güçlü olurlar; ama ne yazık ki, ikisi de fazla enerji tüketir. Vücudun, özellikle de fazla miktarda kolajen içeriyorsa, büyüdükçe daha fazla enerjiye ihtiyacı olur. Kolajen sentezi için görece fazla miktarda oksijen gerekir; bu da atalarımızın bu olmazsa olmaz gaza duyduğu ihtiyacı büyük oranda artırmış olmalıydı.

Sorun şuydu ki, tarihöncesinde yeryüzünde oksijen çok azdı. Milyarlarca yıl boyunca atmosferdeki oksijen düzeyi, günümüzdekiyle kıyaslanamayacak kadar düşüktü. Sonra, yaklaşık bir milyar yıl önce, oksijen miktarı birden yükseldi ve o

zamandan bu yana da hep yüksek kaldı. Peki, bunu nereden biliyoruz? Kayaçların kimyasal yapılarından. Yaklaşık bir milyar yıl öncesine ait kayaçlar, oksijen miktarının yükselmesiyle birlikte oluştuklarını gösteren işaretleriyle bu sırrı açığa vurur. Atmosferdeki oksijen miktarının bu artışı, vücutların ortaya çıkışıyla bağlantılı olabilir mi?

Vücutların ortaya çıkışı, paleontoloji açısından bir "kusursuz fırtına"ya karşılık gelir. Milyarlarca yıl boyunca mikroplar, içinde bulundukları ortamla ve birbirleriyle etkileşimin yeni yollarını geliştirdiler. Bunu yaparken, başka amaçlar için kullanmış olsalar da, vücut yapmaya yarayan pek çok araç ve molekül parçası da ortaya çıktı. Bunun yanısıra, vücut oluşumu için hazırda bir neden de vardı: Bir milyar yıl önce, mikroplar, birbirini yemeyi öğrenmişti. O halde, vücut geliştirmek için makul bir neden vardı ve bunun için gereken araçlar da zaten hazırdı.

Ancak önemli bir şey eksikti. Bu şey, yeryüzünde vücutların ihtiyacını karşılamaya yetecek kadar oksijendi. Yeryüzünde oksijen artınca, her yerde vücutlar ortaya çıktı. Artık yaşam, bir daha eskisi gibi olmayacaktı.

SEKİZİNCİ BÖLÜM

KOKU ALMA

1980'lerin başında moleküler biyologlar ile canlı organizmalar üzerinde çalışanlar -ekoloji, anatomi ve paleontoloji uzmanları- arasında bir gerilim yaşanıyordu. Örneğin anatomi uzmanları, modası geçmiş bir bilim dalına ümitsizce bağlanmış, zamanın dışında kalmış kişiler olarak görülüyordu. Moleküler biyoloji alanındaki gelişmeler, anatomi ve gelişimsel biyolojiye bakışımızda öyle köklü bir değişiklik yaratmaktaydı ki, paleontoloji gibi klasik disiplinler, artık biyoloji tarihinin çıkmaz sokakları gibi görülmeye başlamıştı. Benim de, fosillere duyduğum aşk ve ilgiden ötürü, yeni otomatik DNA sıralayıcılarından birinin yerimi alacağım düşündüğüm zamanlar olmuştu.

Yirmi yıl geçti ve ben hâlâ kazılarla ve kayaları kırmakla uğraşıyorum; DNA da topluyor ve bu DNA'ların evrimdeki rolünü araştırıyorum. Tartışmalar, genellikle "ya şu ya da bu" senaryolarıyla başlar. Ama zamanla, bu "ya hep ya hiç" tutumu, daha gerçekçi yaklaşımlara bırakır yerini. Fosiller ve jeolojik kayıtlar, halen geçmişle ilgili kamtlara ulaşmada çok güçlü birer kaynaktır; canlı tarihi boyunca canlıların yaşadığı gerçek ortamları ve ortaya çıkan geçiş yapılarını başka hiçbir şey bu denli açık biçimde ortaya çıkaramaz. Gördüğümüz gibi DNA, canlılığın geçmişini, vücutların ve organların oluşumunu anlamak için müthiş etkili bir araçtır. DNA, özellikle fosil kayıtlarının sessiz kaldığı durumlarda çok önemli bir rol oynar. Vücudun önemli

bir bölümü -örneğin yumuşak dokular- kolay kolay fosilleşmez. Bu dokuların geçmişini anlayabilmek için, DNA kayıtları dışında elimizde pek bir şey yok.

Bir organizmadan DNA elde etmek öyle kolaydır ki, mutfakta bile yapabilirsiniz bunu. Bir bitki veya hayvandan -bezelye veya biftek veya tavuk ciğerinden- bir parça doku alın. Bu dokuyu, biraz tuz ve su ekleyip mikserden geçirerek püre haline getirin. Sonra, biraz bulaşık deterjanı ekleyin. Deterjan, dokudaki hücrelerin etrafını saran ve mikserin doğrayamayacağı kadar minik hücre zarlarını parçalamaya yarar. Sonra, biraz et yumuşatıcı madde ekleyin. Et yumuşatıcı, DNA'ya bağlanan proteinlerin bir kısmını parçalar. Şimdi elinizde, içinde DNA bulunan, deterjanlı ve et yumuşatıcılı bir çorba var. Son olarak, bu karışıma biraz tuvalet ispirtosu ekleyin. Böylece iki katmanlı bir sıvı elde edersiniz: altta deterjanlı püre, üstte berrak alkol. Alkole büyük bir çekim gösteren DNA, alkolün içine doğru hareket edecektir. Eğer alkol içinde cıvık beyaz bir top belirirse her şeyi doğru yapmışsınız demektir. İşte bu beyaz top DNA'dır.

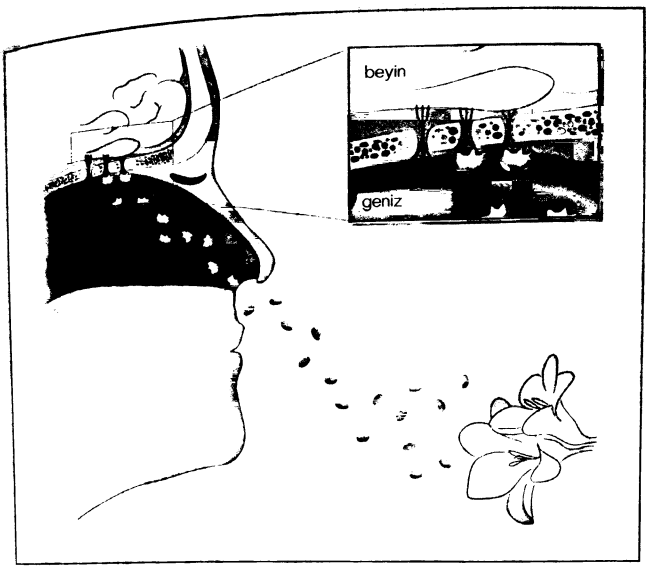
Artık, bu beyaz topağı kullanarak, öteki canlılarla aramızdaki temel bağlantıların büyük bölümünü aydınlatabilirsiniz. Uğruna bunca zaman ve para harcadığımız bu işin sırrı, farklı canlı türlerinin DNA'larının, yapı ve işlev bakımından karşılaştırılmasında yatar. İşin, kavranması zor kısmı da şudur: Farklı canlı türlerinden *herhangi* bir doku (diyelim, karaciğer) alıp ondan DNA elde etmekle, aslında, kendi vücudumuzun neredeyse bütün parçalarının geçmişinin şifresini çözebiliriz; buna koku duyumuz da dahil. Çevremizdeki kokuları algılamaya yarayan aygıt, büyük oranda DNA -ister karaciğerden, isterse kandan ya da kas dokusundan elde edilmiş olsun- içinde saklıdır. Hücrelerimizin hepsinde aynı DNA'nın bulunduğunu hatırlayın; tek fark, DNA'nın hangi parçasının etkin olduğudur.

Koku alma duyusunda rol oynayan genler hücrelerimizin hepsinde vardır, ama sadece burun bölgesindekiler etkindir.

Kokular, hepimizin bildiği gibi, dünyamızı algılama biçimimiz üzerinde derin bir etkisi olabilecek uyarımlar uyandırır beynimizde. Bize, çocukluğumuzun dersliklerini veya büyükannemizin tavan arasındaki küf kokulu sıcaklığını hatırlatan bir koku, çoktandır gömülü duran duyguları uyandırabilir. Daha da önemlisi, kokular, hayatta kalmamıza yardımcı olabilir. Lezzetli bir yemeğin kokusu bizi acıktırır, lağım kokusu midemizi bulandırır. Çürük yumurtadan sakınmak doğamızda var. Evinizi satmak mı istiyorsunuz? Evinizi görmeye geldiklerinde fırında ekmek pişiriyor olmanız, ocakta kapuska pişiriyor olmanızdan çok daha iyi olacaktır. Koku duyumuza, büyük paralar harcıyoruz: Parfüm endüstrisi, 2005 yılında sadece ABD'de 24 milyar dolarlık iş yaptı. Tüm bunlar, koku alma duyumuzun, içimizin ne kadar derinlerinde yer ettiğinin kanıtıdır. Bu, aynı zamanda çok eski, tarihöncesinden kalma bir duyu.

Koku alma duyumuz, beş bin ila on bin farklı kokuyu ayırt etmemizi sağlar. Bazılarımız, bir dolmalık biberdeki trilyonda birden daha düşük yoğunluktaki koku moleküllerini algılayabiliyor. Bu, gözünüzün önünde kilometrelerce uzanan bir kumsaldan tek bir kum tanesini seçmeye benzer. Peki, bunu nasıl yapabiliyoruz?

Bizim koku olarak algıladığımız şey, aslında havada gezinen molekül karışımına beynimizin verdiği karşılıktır. Beynimizin koku olarak kaydettiği bu moleküller, havada asılı duracak kadar minik ve hafiftir. Soluk aldığımız ya da koklad ığımız zaman, bu koku moleküllerini burun deliklerimizden içimize çekeriz. İçimize çektiğimiz bu koku molekülleri, burnumuzun arkasındaki bir bölgeye geçer ve burada geniz mukozası tarafından yakalanırlar. Mukozanın iç tarafı, her biri mukozanın içine yönelen küçük birer çıkıntıya sahip milyonlarca sinir hücresi



Çiçekten çıkan moleküller (kat be kat büyütülmüştür) havaya yayılır. Bu moleküller burun boşluklarını kaplayan astar dokunun içindeki reseptörlere bağlanır. Moleküller bağlandıktan sonra beynimize bir sinyal gönderilir. Her koku, farklı reseptörlere bağlanan birçok farklı molekülden oluşur. Beynimiz bu sinyalleri birleştirir ve biz kokuyu algılarız.

barındıran bir doku parçasıdır. Havadaki moleküller bu sinir hücrelerine bağlandığı zaman beynimize sinyaller gönderilir. Beynimiz de bu sinyalleri koku olarak kaydeder.

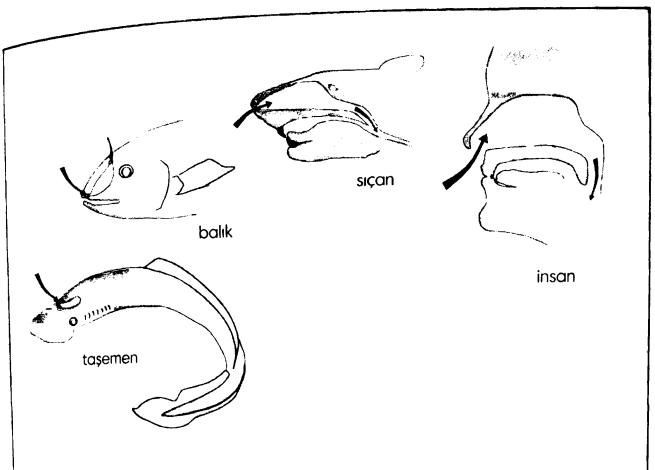
Koklamanın moleküllerle ilgili kısmı kilit-anahtar mekanizması gibi çalışır. Kilit koku molekülüdür, anahtar ise sinir hücreleri üzerindeki reseptörlerdir. Burnumuzdaki mukoza tarafından yakalanan bir molekül, sinir hücresi üzerindeki bir reseptörle etkileşime girer. Sinyal, ancak molekül reseptöre bağlandığında beynimize gönderilir. Her reseptör farklı bir tür moleküle duyarlıdır; dolayısıyla, belirli bir koku pek çok molekül içerebi-

lir ve bu yüzden de beynimize pek çok reseptörden sinyal ulaşır.

Koku, en çok müziğe benzetilebilir; müzikteki akorlara. Akor, tek bir nota gibi birarada çalınan birkaç notadan oluşur. Aynı şekilde koku da, farklı koku moleküllerini temsil eden birçok reseptörden gelen sinyallerin toplamının bir ürünüdür. Beynimiz bu farklı uyarımları tek bir koku olarak algılar.

Koku alma duyumuz balıklarda, amfibilerde, sürüngenlerde, memelilerde ve kuşlarda olduğu gibi, büyük oranda kafatasımızın içinde gerçekleşir. Diğer hayvanlar gibi bizde de, havayı içimize çekmeye yarayan bir veya daha fazla sayıda delik; havadaki kimyasalların nöronlarla etkileşime girebileceği özelleşmiş dokular vardır. Balıklardan insanlara kadar bu deliklerin, boşlukların ve zarların düzenini araştırdığımızda genel bir düzen buluruz. Günümüzde yaşayan kafataslı hayvanların en ilkeli olan, taşemen ve balık asalağı gibi çenesiz balıklarda, kafatası içindeki bir keseye açılan tek bir burun deliği vardır. Su bu kör keseye ulaşır ve koku alma burada gerçekleşir. Bu açıdan bizden en büyük farkları, bu balıkların kokuyu havadan değil, sudan almasıdır. En yakın balık akrabalarımızda, bir ölçüde bizimkine benzer bir düzen vardır: Burun deliğinden giren su, ağızla bağlantılı bir boşluğa ulaşır. Akciğerli balık veya *Tiktaalik* gibi balıkların iki tür burun deliği vardır: bir dış, bir de iç. Bu bakımdan bize çok benzerler. Ağzınız kapalıyken soluk alıp verin. Hava dış burun deliğinizden girer ve burun boşluklarından ilerleyerek, içerideki kanallar aracılığıyla boğazınızın arkasına ulaşır. Balık atalarımızın da hem iç, hem de dış burun delikleri vardı; tahmin edebileceğimiz bunlar, kol kemikleri ve bizimle başka ortak özellikleri olan balıklarla aynı balıklardır.

Koku alma duyumuz, bizim balık, amfibi ve memeli geçmişimize ait muazzam bir arşive sahiptir. 1991'de Linda Buck ve Richard Axel, bize koku duyusunu kazandıran büyük bir gen soyu bularak, bu alanda önemli bir keşfe imza atmış oldular.



Çenesiz balıktan insana, burun açıklıkları ve koku moleküllerinin izlediği yol.

Buck ve Axel, deneylerini tasarlarken üç temel varsayımda bulundular. Önce, koku reseptörlerini oluşturan genlerin neye benzediği konusunda başka laboratuvarların yaptığı çalışmalara dayanarak, mantıksal bir varsayım oluşturdular. Bu deneylerle koku reseptörlerinin, bilgiyi hücreden hücreye taşımaya yarayan çok sayıda moleküler halka içeren, kendine özgü bir yapıda olduğu gösterilmişti. Bu önemli bir bulguydu; böylece Buck ve Axel artık, bir farenin genomunda bu yapıyı oluşturan genleri arayabilirdi. İkinci olarak, bu reseptörleri oluşturan genlerin çok kendine özgü bir etkinliğe sahip olması gerektiği varsayımında bulundular: Bu genler, sadece koku duyusuyla ile ilgili dokularda etkin olmalıydı. Bu da akla uygundu; koku duyusuyla ilgili bir yapı, sadece bu iş için özelleşmiş dokularda olmalıydı. Axel ve Buck son olarak -ki bu çok önemli bir varsayımdı- bu genlerden bir veya birkaç tane olmadığını, çok sayıda gen

bulunması gerektiğini ileri sürdüler. Bu varsayım, farklı türden kimyasalların farklı koku uyarımları yarattığı gerçeğine dayanıyordu. Eğer her tür kimyasal madde için yalnızca kendisine özgü bir reseptör/gen varsa, o zaman muazzam sayıda gen olması gerekirdi. Ancak, deneyi tasarladıkları sırada eldeki verilere göre, bu doğru olmayabilirdi de.

Buck ve Axel'in varsayımlarının üçü de tam olarak doğrulandı. Aradıkları reseptörün yapısına uygun genlerin varlığını saptadıkları gibi, bu genlerin de sadece, koku alma ile ilgili dokularda -burun epitelinde- etkin olduğunu buldular. Son olarak, buldukları genler gerçekten de büyük sayıdaydı. Deney büyük başarıydı. Buck ve Axel daha sonra, gerçekten hayret verici bir şey daha keşfettiler: Tüm insan genomunun yüzde 3'ü, farklı kokuları algılayabilecek genlere ayrılmıştı. Bu genlerin her biri, bir koku molekülüne duyarlı bir reseptör ortaya çıkıyordu. Buck ve Axel, bu çalışmalarından ötürü 2006 yılında Nobel ödülüne layık görüldüler.

Buck ve Axel'in bu başarısının ardından, başka canlı türlerindeki koku reseptörü genleri de araştırılmaya başladı. Böylece bu genlerin, canlı tarihindeki bazı önemli değişimlerden günümüze kalan kanıtlar olduğu anlaşıldı. Bundan 365 milyon yıl kadar önce gerçekleşen sudan karaya geçişi ele alalım. İki tür koku alma geni vardır; biri sudaki, diğeri havadaki kimyasal kokuları almak için özelleşmiştir. Koku molekülleri ve reseptörler arasındaki kimyasal reaksiyonların suda ve havada farklı olması da, farklı türden reseptörlerin gerekliliğini açıklar. Tahmin edebileceğiniz gibi, balıkların koku almayla ilgili nöronlarında su esaslı reseptörler varken, memelilerde ve sürüngenlerde hava esaslı reseptörler bulunur.

Bu keşif, bugün yeryüzünde yaşayan en ilkel balıklar, yani taşemen ve balıkasalağı gibi çenesiz balıklarda koku almanın nasıl gerçekleştiğini anlayabilmemize yardımcı olur. Bu canlı

larda, daha gelişmiş balıklardan ve memelilerden farklı olarak, ne "hava", ne de "su" geni vardır, bunun yerine reseptörler, iki tipi birarada barındırır. Bundan çıkarılacak sonuç bellidir: Bu ilkel balıklar, koku alma genleri iki türe ayrılmadan önce ortaya çıkmıştır.

Çenesiz balıkların çok önemli başka bir özelliği de, çok az sayıda koku genine sahip olmalarıdır. Kemikli balıklarda daha fazla, amfibi ve sürüngenlerde ise onlardakinden de fazla sayıda koku geni vardır. Çenesiz balıklar gibi ilkel yaratıklarda çok az olan koku genleri, zamanla artmış ve memelilerde muazzam sayılara ulaşmıştır. Binden fazla koku geni olan biz memelilerde, genetik sistemin büyük bir kısmı sadece koku duyusuna ayrılmıştır. Büyük ihtimalle, bir hayvanda koku genleri ne kadar fazlaysa, farklı kokuları ayırt etme yeteneği de o kadar hassaslaşmıştır. Bu açıdan baktığımızda, bizdeki koku genlerinin fazlalığı da bir anlam kazanır: Memeliler, koku almada çok özelleşmiş hayvanlardır. Bunu anlamak için köpeklerin ne kadar iyi iz sürdüklerine bakmak yeter.

Peki, ama sahip olduğumuz bütün o fazladan koku genleri nereden geliyor? Hiç yoktan mı ortaya çıktılar? Genlerin yapısına bakınca bu artışın nasıl gerçekleştiği açıkça görülür. Bir memelinin koku genleriyle, çenesiz balıklardaki bir avuç koku genini karşılaştıracak olursak, memelilerdeki "fazladan" genlerin, aslında tek bir temanın çeşitlemeleri olduğunu görürüz: Değişikliğe uğramış da olsalar, çenesiz balıklardaki genlerin kopyalarına benzerler. Yani, sahip olduğumuz çok sayıdaki koku geni, ilkel canlı türlerindeki az sayıdaki genin art arda defalarca kopyalanması sonucu ortaya çıkmıştır.

Bu da bizi bir paradoksa götürür. Tıpkı öteki memelilerde olduğu gibi, insanlarda da genomun yaklaşık yüzde 3'ü koku genlerine ayrılmıştır. İnsanın gen yapısını en ince ayrıntısına kadar inceleyen genetikçiler büyük bir sürprizle karşılaştılar:

Binlerce genden tam 300 tanesi, geçirdikleri mutasyonlar sonucunda tamamen işlevsiz kalmış ve yapılarında onarılamaz değişiklikler meydana gelmişti (bizim dışımızdaki memeliler bu genleri kullanır). Öyleyse, çoğu hiç işe yaramadığı halde neden bu kadar çok koku genimiz var?

Bu soruyu cevaplamamıza yardımcı olacak bilgi, onca canlı türü içinde yunuslar ve balinalardan geliyor. Bütün memeliler gibi, yunuslar ve balinalar da tüy, meme ve üç kemikli ortakulak vardır. Bu hayvanların memelilik geçmişi, koku genlerinde de kayıtlıdır: Balıklardaki gibi suya-özelleşmiş genleri olmayan deniz memelilerinde, memelilerdeki havaya-özelleşmiş genler vardır. Hatta balinaların ve yunusların memelilik geçmişi, koku algılama sistemlerinin DNA'sında bile yazılıdır. Ancak, burada tuhaf bir durum göze çarpar. Yunuslar ve balinalar, koku almak için artık genizlerini kullanmıyorlar. O halde bu genler ne işe yarıyor? Bu hayvanlarda geniz, koklamaya değil, nefes almaya yarayan bir hava deliğine dönüşmüştür. Bu değişimin koku alma genleri üzerinde tuhaf bir etkisi olmuştur: Bir deniz memelisinde normalde bulunan koku genlerinin hepsi olsa da bunların hepsi işlevsizdir.

Yunus ve balinaların koku genlerinin başına gelen, diğer birçok türün genlerinin de başına gelmiştir. Mutasyonların genomda ortaya çıkması kuşaklar alır. Eğer bir mutasyon bir geni işlevsiz bırakırsa, sonucu tehlikeli, hatta ölümcül olabilir. Peki, bir mutasyon, zaten işe yaramayan bir geni işlevsiz bırakırsa ne olur? Pek çok kuramın, zaten bariz olanı açıkça söylediği gibi, bu tür mutasyonlar, sessizce kuşaktan kuşağa geçerler. Tıpkı yunuslarda olduğu gibi. Hava deliğiyle doğan yunuslarda artık koku alma genlerine gerek kalmamış, böylece bu genleri işlevsiz bırakan mutasyonlar zamanla üst üste gelmiştir. Bu genler bir işe yaramaz, ama evrimin sessiz kanıtları olarak DNA içinde varlıklarını sürdürürler.

Peki, ama koku alma duyusuna sahip insanda, koku genlerinin çoğu neden işlevsiz kalmıştır? Yoav Gilad ve meslektaşları, farklı primatların genlerini karşılaştırarak bu sorunun cevabını buldular. Gilad, renkli görmenin geliştiği primatlarda işlevsiz koku genlerinin çok fazla sayıda olduğunu buldu. Sonuç açıktı. Biz insanlar, koku duyusunu görme duyusuyla takas eden bir soydan geliyoruz. Artık hayatımız, kokudan çok görme üzerine kurulu; genomumuz da bunu yansıtıyor. Bu takas sırasında, koku duyumuzun önemi azalmış ve koku genlerimizin birçoğu işlevsiz kalmıştır.

Burunlarımızda -daha doğrusu, koku alma duyumuzu kontrol eden DNA'mızda- çok fazla yük taşıyoruz. Beraberimizdeki bu yük, bu hiçbir işe yaramayan yüzlerce koku geni, hayatını büyük oranda koku alma duyusu sayesinde sürdüren memeli atalarımızdan kaldı bize. Aslında, bu karşılaştırmaları biraz daha geriye götürebiliriz. Tekrar tekrar kopyalandıkça asıllarına benzerliklerini kaybeden fotokopiler gibi, kendimizi giderek daha ilkel canlılarla karşılaştırdığımızda, koku genlerimiz de onlarınkiyle benzerliğini giderek kaybeder. Bizim genlerimiz primatlarınkine benzer; diğer memelilerin, sürüngenlerin, amfibyumların, balıkların vb. öteki canlıların genleriyle karşılaştırdığımızda benzerlik giderek azalır. Bu yük, geçmişimizin sessiz tanığı, burunlarımızın içinde taşıdığımız da hakiki bir hayat ağacıdır.

DOKUZUNCU BÖLÜM

GÖRME

Bir canlı fosilinde gözle karşılaşmak, meslek hayatım boyunca yalnız bir kez başıma geldi. Keşif arazisinde değil, Çin'in kuzeydoğusundaki küçük bir kasabada, bir mineral atölyesinin arka odasındaydım. Meslektaşım Gao Keqin ile birlikte, Çin'in 160 milyon yıllık kayalarından çıkan güzelim fosilleri, bilinen en eski semenderleri alıcı gözüyle inceliyorduk. Gao'nun bildiği birkaç yere uğramış, fosil almaktan yeni dönmüştük. Semender fosilleri, bunları bulan çiftçiler için ciddi bir parasal değer taşıdığından, yerleri gizli tutuluyordu. Bu fosillerin bu kadar değerli oluşu, solungaç, bağırsak, notokord gibi yumuşak doku izlerinin genelde iyi korunmuş olmasına bağlıdır. Özel koleksiyoncular bu tür fosillere bayılır, çünkü bunlar son derece nadir bulunan özelliklerdir. Mineral atölyesine vardığımızda, Gao'nun bildiği yerden biz de kendimize gerçekten çok güzel tarihöncesi semenderler toplamıştık.

Bu mineral tüccarının elinde, tüm zamanların en iyi semender fosillerinden biri vardı. Fosili bize göstermesini isteyen Gao, günün önemli bölümünü satıcıyla pazarlığa ayırdı. Satıcıya yaptığımız ziyaret baştan sona acayip, yasadışı bir havada geçti. Gao, Çinlilere özgü jest ve mimiklerle konuşarak bu beyle saatlerce sigara tüttürdü. Hallerinden sıkı bir pazarlığa tutuştukları belliydi, ama tek kelime Çince bilmediğimden, yapılan tekliflerin ne olduğuna dair hiçbir fikrim yoktu. Sayısız

baş sallama ve nihayet kuvvetli bir tokalaşmadan sonra, arka odaya geçmeme ve satıcının masasındaki fosili görmeme izin verildi. Enfes bir manzaraydı: en fazla 7,5 cm uzunluğunda bir semender larvası. İçinde, yediği son yemek olan minik kabuklara kadar, hayvanın vücudunun bütün izlerini seçebiliyordum. Ve kariyerim boyunca ilk ve son kez, tarihöncesinden kalma bir hayvan fosilinin gözüne bakıyordum. Öylece kalakalmıştım.

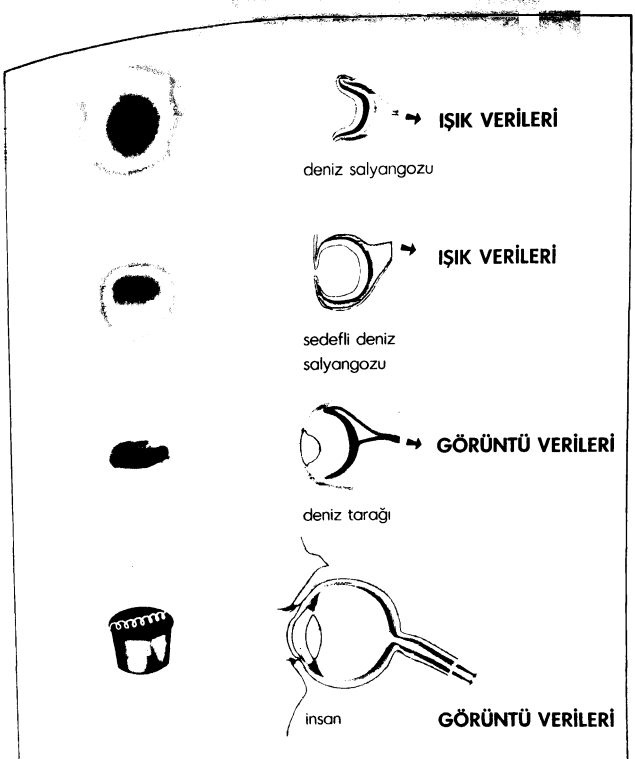
Gözlerin, fosil kayıtlarına geçtiği çok nadirdir. Bildiğiniz gibi, fosillerin en iyi korunan kısımları, hayvanın, kemik, diş ve pullar gibi sert kısımlarıdır. Gözlerin geçmişini anlamak istiyorsak, başka bir bilgiden yararlanabiliriz. Hayvanların ışığı yakalayabilmek için kullandığı organlar ve dokular büyük çeşitlilik gösterir; omurgasız hayvanlardaki ışık algılayıcı basit yapılardan, böceklerdeki bileşik göze, bizdeki fotoğraf makinesi benzeri göze kadar. Peki, bu çeşitliliğin, görme duyumuzun zaman içinde nasıl geliştiğini anlamada bize ne yararı olacak?

Gözümüzün geçmişi, bir otomobilinkine çok benzer. Chevy Corvette'i ele alalım. Bu modelin tarihine bakarken, hem Corvette'i bir bütün olarak, hem de parçalarının geçmişini ayrı ayrı inceleyebiliriz. 'Vette'in bir tarihi, başlangıcı 1953'e dayanan ve her yıl farklı model tasarımlarıyla devam eden bir geçmişi vardır. 'Vette'te kullanılan lastiklerin de, tıpkı bu lastiklerin yapıldığı kauçuğun olduğu gibi bir geçmişi vardır. Bu bakımdan vücutları ve organları, otomobile ve parçalarına benzetebiliriz. Gözümüzün bir organ olarak nasıl bir geçmişi varsa, gözümüzü oluşturan parçaların, hücrelerin ve dokuların, ayrıca bu parçaları yapan genlerin de bir geçmişi vardır. Organlarımızın bu çok katmanlı geçmişini çözdüğümüz zaman, yeryüzündeki öteki canlılarda da olan türlü türlü parçanın biraraya gelmesinden oluşan bir mozaikten ibaret olduğumuzu anlarız.

Gördüklerimizin işlenmesi, büyük ölçüde beynimizin içinde gerçekleşir. Gözün görevi, ışığı, bir görüntü olarak işlenmek

üzere beyne ulaşacağı şekilde yakalamaktır. Kafatası ve omurgası olan her canlının gözü gibi, bizim gözlerimiz de minik bir fotoğraf makinesi gibidir. Işık göze girdikten sonra, gözyuvarının arkasındaki bir tabakaya odaklandırılır. Gözümüze giren ışık birkaç katmandan geçer. Önce, merceği örten saydam, ince bir katman olan korneadan (saydam tabaka) geçer. Göze giren ışık miktarı, iris adı verilen, istemsiz kasların hareketiyle genişleyip kasılan bir diyafram tarafından kontrol edilir. Işık sonra, tıpkı fotoğraf makinesinde olduğu gibi görüntüyü odaklayan mercekten geçer. Göz merceklerinin etrafı minik kaslarla çevrilidir; bu kaslar kasılıp gevşeyerek merceğin şeklini değiştirir, böylece yakın ve uzaktaki görüntülere odaklanılmasını sağlar. Sağlıklı bir göz merceği saydamdır ve ona kendisine özgü şeklini ve ışığı toplama özelliğini kazandıran özel proteinlerden oluşur. Mercek kristalinleri olarak bilinen bu proteinler son derece uzun ömürlüdür; bu sayede biz yaşlandıkça merceklerimiz işlev görmeye devam edebilir. Işığın, üzerine yansıtıldığı tabakaya retina (ağtabaka) adı verilir; retina kan damarlarıyla ve fotoreseptörlerle (ışık algılayıcılarla) doludur. Bu reseptörlerin beynimize gönderdiği sinyalleri biz görüntü olarak algılarız. Retina, ışığa duyarlı ışık toplayıcı hücreleriyle ışığı emer. Bu hücreler iki tiptir: Bir grup ışığa çok duyarlıyken öteki o kadar değildir. Işığa daha duyarlı hücreler, görüntüyü sadece siyah beyaz olarak kaydederken, diğerleri de renkleri kaydeder. Hayvanlar âlemini ele alalım; bir hayvanın gözündeki ışığa duyarlı hücre tipinin ne oranda bulunduğuna bakarak o hayvanın gündüz yaşamaya mı, yoksa gece yaşamaya mı özelleştiğini anlayabiliriz. İnsanda bu hücreler, vücudumuzdaki tüm duyu hücrelerinin yaklaşık yüzde 70'ini oluşturur. Bu da, görmenin bizim için ne kadar önemli olduğunun kesin kanıtıdır.

Fotoğraf makinesine benzeyen gözümüz, balıktan memelilere kadar kafatası olan her canlıda vardır. Kafatası olmayan



Omurgasızlardaki ışık yakalayıcı ilkel organlardan, bizdeki fotoğraf makinesi benzeri mercekli gözlere kadar, farklı göz tipleri. Evrimleştikçe gözlerin görme keskinliği artar.

hayvanlarda ise, ışığı algılamada özelleşmiş hücre gruplarından, böceklerdeki bileşik göze (petek göz) ve bizim gözümüzün ilkel versiyonlarına kadar farklı gözler bulunur. Gözümüzün geçmişini anlayabilmek için, önce, bizim gözümüzdeki yapılarla başka tür gözlerdeki yapılar arasındaki bağlantıyı anlamamız gerekir. Bunun için, ışığı toplayan molekülleri, görmeyi sağlayan dokuları ve bütün görme sistemini yapan genleri inceleyeceğiz.

IŞIK TUTUCU MOLEKÜLLER

Işığın alındığı hücrelerdeki asıl önemli iş, gerçekte ışığı toplama işini yapan molekülün içinde olup biter. Bu molekül, ışığı soğurduğu zaman, şekil değiştirir ve ikiye parçalanır. Bir parçası A vitamininden, diğeri de opsin adı verilen bir proteinden oluşur. Opsinin parçalanması, bir zincir reaksiyon başlatır ve bir nöronun beynimize uyarım göndermesine yol açar. Siyah beyaz ve renkli görme için farklı opsinler kullanılır. Tıpkı mürekkep püskürtmeli yazıcının renkli baskı yapabilmesi için üç dört ayrı renkte mürekkep gerekmesi gibi, bizim de renkli görebilmemiz için, üç ışık tutucu molekülün varlığına ihtiyaç vardır. Siyah beyaz görme için sadece bir molekül kullanırız.

Bu ışık tutucu moleküller ışıkta şekil değiştirir, sonra karanlıkta yeniden "şarj olur" ve tekrar normal hallerine dönerler. Bu süreç birkaç dakika alır. Hepimiz, kendi tecrübemizden bunu biliriz: Aydınlık bir yerden karanlık bir odaya girdiğimizde, etrafımızdaki nesneleri net seçemeyiz. Bunun nedeni, ışık tutucu moleküllerin, yeniden şarj olmak için zamana ihtiyaç duymasıdır. Birkaç dakika sonra, karanlıkta da görmeye başlarız.

Hayvanlarda fotoreseptör organların şaşırtıcı bir çeşitlilik göstermesine karşın, her hayvan, bu iş için aynı tür ışık tutucu moleküllerden yararlamr. Böcekler, insanlar, istiridyeler ve deniztaraklarınm hepsi de opsin kullanır. Opsinlerin yapısındaki farklılıklardan yola çıkarak gözlerimizin geçmişini araştırabiliriz. Bu moleküllere, en başta bakteriler sayesinde sahip olduğumuzu gösterecek sağlam kanıtlara da sahibiz.

Opsin, esasen, dışarıdan hücre içine bilgi taşıyan bir tür moleküldür. Büyük beceri isteyen bu işi başarabilmek için opsinin, belirli bir kimyasalı, hücreyi çepeçevre kuşatan zardan geçirmesi gerekir. Opsin, hücrenin dışından içine doğru ilerlerken dolambaçlı yollar izleyen özel bir tür taşıyıcı kullanır. Ancak reseptörün hücre zarından geçerken izlediği bu dolam-

bağlı yol, öyle gelişigüzel bir yol değildir, kendine özgü bir işaret taşır. Böyle dolambağlı bir yolu başka nerede görmüştük? Bakterilerdeki belirli bazı moleküllerin parçalarında. Bu molekülün canlılar arasında sergilediği keskin benzerlikler, bakterilerle ortak geçmişimize kadar uzanan ve bütün hayvanlarca paylaşılan çok eski bir özelliğe işaret eder. Bir anlamda, tarihöncesi bakterilerin değişime uğramış parçaları, bizim retinamızın içine yerleşmiş ve görmemize yardım etmektedirler.

Farklı hayvanlardaki opsinleri inceleyerek, gözümüzün geçmişinde gerçekleşmiş bazı önemli olaylara bile ulaşabiliriz. Bizim primat geçmişimizdeki önemli olaylardan birini, mesela renkli görmenin ortaya çıkışını ele alalım. İnsanların ve en yakın kuyruksuz maymun akrabaları olan yani Eski Dünya maymunlarının, üç farklı türde ışık reseptörüne dayanan çok hassas bir renkli görme kabiliyetine sahip olduklarını hatırlayalım. Bu reseptörlerin her biri farklı tipte ışığa ayarlıdır. Diğer memelilerin çoğunda ise sadece iki tip reseptör bulunduğu için bizim kadar çok sayıda rengi ayırt edemezler. Renkli görme kabiliyetimizin kökenini, bu reseptörleri yapan genleri inceleyerek bulabiliriz. Memelilerin çoğunun sahip olduğu iki farklı reseptör, yine iki farklı gen tarafından kodlanır. Bizdeki reseptör-yapıcı üç genden ikisi ise, diğer memelilerdeki genlerden bir tanesine şaşırtıcı oranda benzer. Bu benzerlikten yola çıkarsak, bu iki genden bir tanesinin başka memelilerde kopyalanması ve kopyaların da zaman içinde farklı ışık kaynaklarına uygun biçimde özelleşmesiyle renkli görüşe sahip olmuş olabiliriz. Hatırlayacak olursanız, koku reseptörü genlerinde de benzeri bir durum söz konusuydu.

Bu değişim, yeryüzü florasında milyonlarca yıl önce meydana gelen değişikliklerle de ilgili olabilir. Bu noktada, renkli görmenin ilk ortaya çıktığı zaman ne işe yaramış olabileceğini düşünmek yararlı olacaktır. Ağaçlarda yaşayan maymunların

işine yarayacağı kesin; çünkü renkli görme sayesinde, pek çok meyve ve yaprak çeşidini daha iyi ayırt edebilecek ve aralarından kendileri için en besleyici olanını seçebileceklerdi. Renkli görebilen öteki primatlar üzerindeki çalışmalardan, bizdeki renkli görme biçiminin, bundan yaklaşık 55 milyon yıl önce ortaya çıktığını hesaplayabiliyoruz. Bu dönemde tarihöncesi ormanların bileşimlerinde değişiklikler meydana geldiğine kanıt oluşturacak fosillere sahibiz. Bu dönemin öncesinde, ormanlarda incir ve hurma ağaçları çok boldu; ama bu meyveler lezzetli olsa da, hep aynı renkteydi. Daha sonraki ormanlarda bulunan bitki çeşitliliği daha fazla ve bitkiler de muhtemelen farklı renklerdeydi. Renkli görmeye geçişin, tekrenkli bir ormandan, çok daha zengin renklerde yiyeceklerin bulunduğu bir ormana geçişle bağlantılı olduğu, bu durumda akla aykırı bir iddia sayılmaz.

DOKULAR

Hayvanlarda iki çeşit göz olur; birini omurgasızlarda, diğerini de balıklar ve insanlar gibi omurgalılarda görürüz. Aradaki temel fark, göz dokusunda ışığı alan yüzey alanını genişletmede izlenen iki ayrı yöntemde yatar. Omurgasızlar, sözgelimi sinekler ve solucanlar, bunun için çok katmanlı göz dokusu geliştirmişken, bizim soyumuz da yüzey alanım, göz dokusundan çıkan sayısız minik uzantıyla genişletmiştir. Bunun gibi çok sayıda başka farklılık da sıralanabilir. Tarihin bu dönemine ait fosil olmaması, bizim gözümüzle omurgasızların gözü arasındaki farklılıkları birbirine bağlayacak bir köprüyü hiçbir zaman kuramayacağımızı düşündürmüştür. En azından, Detlev Arendt'in çok ilkel minik solucanların gözlerini incelemeye karar verdiği 2001'e kadar.

Denizsolucanları (poliketler/polychaeta), şu anda yeryüzünde bilinen en ilkel solucanlardandır. Çok basit parçalı bir

vücut planına sahip olan bu solucanların aynı zamanda ışığa duyarlı iki çeşit organı vardır: bir göz ve derinin altında da, sinir sistemlerinin ışığı yakalamada özelleşmiş bir parçası. Arendt bu solucanları hem fiziksel, hem de genetik parçalarına ayırdı. Opsin genlerindeki dizilimi ve ışık tutucu nöronların yapısını bilmek Arendt'e, deniz solucanlarının inşasını incelemek için gerekli araçları sağlamıştı. Bu solucanlarda, hayvanlarda bulunan iki tip fotoreseptörün de unsurlarına rastladı. Normal "göz", herhangi bir omurgasız gözü gibi nöronlardan ve opsinlerden oluşuyordu. Derinin altındaki minik fotoreseptörler ise, bütünüyle başka bir meseleydi. "Omurgalı" opsinleriyle birlikte, ilkel formda da olsa tüysü uzantıları bile içeren hücre yapısına sahiptiler. Arendt canlı bir bağlantı, yani biri (bizdeki göz tipi) çok ilkel formda olmak üzere iki tip göze de sahip bir hayvan bulmuştu. İlkel omurgasızları incelediğimizde, farklı tip gözlerde ortak parçalar olduğunu görürüz.

GENLER

Arendt'in bu keşfi başka bir soru doğurdu. Gözlerde bazı parçaların ortak olması yeterli değildi. Birbirinden bu derece farklı görünen gözler (solucanın, sineğin ve farenin gözleri gibi) birbiriyle nasıl bu kadar yakından ilintili olabiliyordu? Cevap için, gözlerin yapımında kullanılan genetik formüle bakalım.

20. yüzyılın başlarında Mildred Hoge, meyve sineklerindeki mutasyonları kaydederken hiç gözü olmayan bir sinek buldu. Bu mutant sinek tek örnek değildi. Hoge, tamamı bu tür sineklerden oluşan bir nesil üretebileceğini fark etti ve bunlara *gözsüz* adını verdi. Sonradan, farelerde de benzeri bir mutasyon keşfedildi. Bazılarının gözleri küçüktü, bazıları ise, gözler de dahil olmak üzere baş ve yüzün bazı parçalarından tümüyle yoksundu. İnsanlarda "aniridi" (doğuştan iris yokluğu) olarak bilinen buna benzer bir bozuklukta, gözlerin bazı parçaları

eksiktir. Genetik uzmanları, birbirinden çok farklı canlılarda (sineklerde, farelerde ve insanlarda) benzer tipte mutantlar bulmaya başlamışlardı.

Asıl buluş 1990'ların başında, bu gözsüz mutantların, gözün gelişimine etkilerini aydınlatmak için laboratuvarların yeni moleküler yöntemler uyguladığı sırada gerçekleşti. Gen haritalarını çıkarıp, bu mutasyonları yaratan DNA parçalarının yerlerini tespit etmeyi başardılar. DNA dizileri incelendiğinde, gözsüzlüğe neden olan sinek, fare ve insan genlerinin aynı DNA yapı ve dizilimlerine sahip olduğu görüldü. Gerçekten de bunlar aynı genlerdi.

Bundan ne öğrendik? Bilimciler, mutasyona uğradığında ya küçük gözlü ya da hiç gözü olmayan canlıların ortaya çıkmasına yol açacak tek bir gen tespit etmişlerdi. Yani bu genin normal versiyonu, gözlerin oluşumunda önemli bir tetikleyiciydi. Şimdi sıra, başka bir soruya cevap olacak deneyleri yapmaya gelmişti: Bu genle oynarsak, bu geni yanlış yerlerde açıp kapatırsak ne olur?

Sinekler bu iş için ideal deneklerdi. 1980'lerde, sinekler üzerindeki çalışmalar sayesinde çok güçlü sayısız genetik araç geliştirildi. Eğer bir geni ya da bir DNA dizisini biliyorsanız, o zaman bu genin eksik olduğu, ya da yanlış yerde etkin olduğu bir sinek oluşturabilirsiniz.

Walter Gehring de, bu araçlardan yararlanarak, bu *gözsüzlük* geniyle oynamaya başladı. Gehring'in ekibi genin DNA'sını, neredeyse istedikleri her yerde etkin hale getirebiliyorlardı: antenlerde, bacaklarda, kanatlarda. Bunu yaptıklarında hayret verici bir şey fark ettiler. *Gözsüzlük* genini antende etkin hale getirdiklerinde antende, vücudun bir segmentinde etkin hale getirdiklerinde de o segmentte bir göz gelişiyordu. Bu geni nerede devreye sokarlarsa orada yeni bir göz oluşuyordu. Üstüne üstlük, yanlış yerlerde oluşan gözlerin bazılarında, ışığa tepki

verme kabiliyeti oluşmaya başlamıştı. Gehring, gözlerin oluşumunda önemli bir tetikleyici faktör keşfetmişti.

Gehring, bununla da yetinmeyerek türler arasında gen değiş tokuşu yapmaya başladı. Ekibiyle, farelerde *gözsüzlük* genine karşılık gelen *Pax 6* genini alıp, bunu bir sinekte devreye soktular. Fare geni yeni bir göz oluşturdu. Ama herhangi bir göz değil, bir sinek gözüydü bu. Gehring'in laboratuvar ekibi, bu *fare* genini, istedikleri yerde fazladan bir *sinek* gözü oluşumunu tetiklemek için kullanabileceklerini fark etti; sırtta, kanatta ya da ağzın kenarında. Gehring'in bulduğu, gözün oluşması için farede ve sinekte hemen hemen aynı olan bir ana şalterdi. Bu gen, yani *Pax 6* geni, karmaşık, zincirleme bir gen etkinliği reaksiyonu başlatıyor ve sonunda yeni bir sinek gözünün oluşmasına yol açıyordu.

Gözsüzlük geninin ya da *Pax 6*'mn, gözü olan her canlıda, gelişimi kontrol ettiğini artık biliyoruz. Gözler birbirinden farklı görünebilir -bazısı merceklidir, bazısı merceksiz; bazısı bileşik gözdür, bazısı basit- ama bunları yapan genetik şalterler aynıdır.

Gözlere baktığınızda, aşkı, yaradılışı ve ruhun aynasını unutun. Gözlerde, mikroplardan, denizanalarından, solucanlardan ve sineklerden türeyen molekülleri, genleri ve dokularıyla tüm canlılar âlemini görürsünüz.

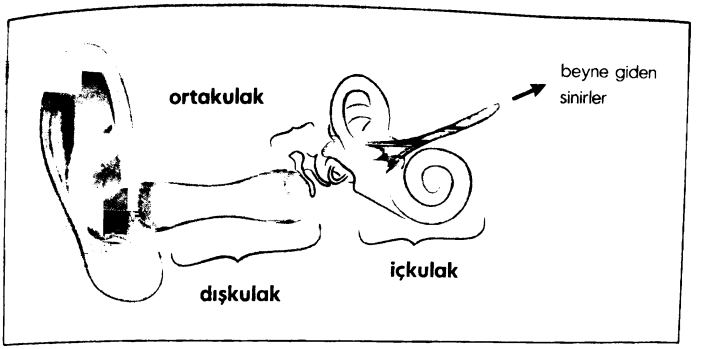
ONUNCU BOLUM

KULAKLAR

Kulağın içini ilk gördüğünüzde büyük bir hayal kırıklığına uğrarsınız; asıl mekanizma, kafatasının iç kısmında, kemikten bir duvarın içinde saklıdır. Önce kafatasını açıp beyni dışarı çıkarmanız, sonra da bir keskiyle bu kemik duvarı bir kenarından yontmanız gerekir. Bu işte gerçekten iyiyseniz ya da çok şanslıysanız, o zaman doğru vuruşu yapar ve içkulağı görürsünüz. İç kulak, parkta ya da bahçede dolaşırken rastladığımız minik salyangozlara benzer.

Size belki öyle görünmeyebilir ama kulak, harika bir Rube Goldberg makinesidir. İşitme, ses dalgalarının dışkulaktan, yani kulak kepçesinden içeri girmesiyle olur. Kulağa giren ses dalgaları kulak zarını titreştirir, kulak zarına bağlı üç kemikçik de zarla birlikte titreşir. Bu kulak kemikçiklerinden biri, bir tür pistonla salyangoz şeklindeki yapıya bağlıdır. Kulak kemikçiğinin titreşmesi bu pistonu yukarı aşağı hareket ettirir, bu da salyangozun içindeki sıvıyı titreştirir. Sıvının titreşimiyle, beyne ses olarak algılayacağı sinyali gönderen sinirler eğilir. Bundan sonra konsere gittiğinizde, kafanızın içinde tüm bunların olup bittiğini bir düşünün.

Bu yapılanmaya bağlı olarak kulağı üç bölümde ele alırız: dış, orta ve içkulak. Dışkulak görünen kısımdır. Ortakulakta kulak kemikçikleri vardır. İç kulak ise, sinirlerden, kulak sıvısın-



İç kulak, kulağımızın üç kısmı (dış, orta ve içkulak) arasında en eski olan ve beyne gönderilen sinir uyarılarını denetleyen kısımdır.

dan ve etrafındaki dokulardan oluşur. Kulağı üç kısımda inceleyerek konuyu çok daha iyi bir şekilde ele alabiliriz.

Kulağın dışarıda kalan, gözlüklerimizi taktığımız kepçe kısmı, evrimin, vücudumuza daha yakın zamanlarda yaptığı bir ilavedir. Bir akvaryum ya da hayvanat bahçesine bir dahaki gidişinizde dikkat edin, bunun doğru olduğunu siz de göreceksiniz. Dışkulağı olan kaç tane köpekbalığı, kemikli balık, amfibi ya da sürüngen var? Kulak kepçesi (dışkulağın kepçe kısmı) sadece memelilerde olur. Bazı amfibi ve sürüngenlerin dışkulakları bellidir, ama kulak kepçeleri yoktur; bu dışkulak genellikle, davula gerilmiş deriye benzeyen bir zardan ibarettir.

Köpekbalıklarıyla ve kemikli balıklarla aramızdaki bağ, kulaklarımızın içinde incelikli bir yolla kendini gösterir. Kulaklar, insan-köpekbalığı bağlantısına verilecek uygun bir örnek gibi görünmeyebilir; özellikle de köpekbalıklarının kulaktan yoksun olması bakımından. Ama bağlantı buradadır. Kulak kemikçiklerinden başlayalım.

ORTAKULAK VE ÜÇ KULAK KEMİKÇİĞİ

Memeliler çok özeldir. Kıllarımız ve süt bezlerimizle, diğer canlılardan hemen ayırt edilebiliriz. Memelilere özgü en ayırt edici özelliklerin, kulağın içinde olduğunu öğrenmekse çoğu kişiyi şaşırtır. Memeli ortakulağındaki kemikçikler, başka hiçbir canlınınkine benzemez: Memelilerde üç kulak kemikçiği varken, sürüngenlerde ve amfibilerde sadece bir kemikçik bulunur. Balıklarda ise hiç yoktur. Öyleyse ortakulağımızdaki bu kemikçikler nereden geliyor?

Biraz anatomi: Ortakulağımızdaki kemikçiklere çekiç, örs ve üzengi adı verildiğini hatırlayın. Bu kemikçiklerin hepsinin de solungaç yaylarından türediğini görmüştük: birinci yaydan üzengi, ikinci yaydan çekiç ve örs. Hikâyemiz de işte burada başlıyor.

1837'de Alman anatomi uzmanı Karl Reichert, kafatası oluşumu anlamak için memeli ve sürüngen embriyolarını inceliyordu. Farklı türlerin solungaç yaylarının gelişimini takip ediyor, yay yapılarının kafatası içindeki akıbetlerini anlamaya çalışıyordu. Bu işi defalarca yaptı, sonra hiç anlam veremediği bir şey fark etti: Memelilerdeki kulak kemikçiklerinden ikisi, sürüngen çenesindeki parçalara karşılık geliyordu. Gözlerine inanamayan Reichert'ın heyecanı, monografisinden de açıkça okunmaktadır. Reichert kulak-çene benzerliğini anlatırken yazısı, 19. yüzyıl anatomisinin genelde ciddi anlatımından sapıyor ve bu buluşu karşısında yaşadıklarını şok, hatta hayretle ifade ediyordu. Sonuç kesindi. Sürüngen çenesinin bir kısmını oluşturan solungaç yayı, memelilerde kulak kemikçiklerini oluşturan solungaç yayıyla aynıydı. Reichert, kendisinin bile inanmakta zorlandığı bir fikir ileri sürdü: Memeli kulağındaki bu parçalar, sürüngen çenesindekilerle aynı parçalardı. Reichert'in bu fikri, Darwin'in tüm canlıları kapsayan evrim ağacı kavramından birkaç onyıl önce öne sürdüğünü düşünecek

olursak işler daha da karışır. Henüz ortada bir evrim kavramı olmadan farklı türdeki iki yapının "aynı" olduğunu söylemek ne anlama geliyordu?

Çok sonraları, 1910 ve 1912'de, Alman anatomi uzmanı Ernst Gaupp, Reichert'ın çalışmasını geliştirdi ve memeli kulağının embriyolojisi üzerine kapsamlı bir başka çalışma yayımladı. Gaupp daha fazla ayrıntıyla çalışmasını zenginleştirmiş, ayrıca yaşadığı çağın tanıdığı olanakla Reichert'in çalışmasını evrimsel bir çerçevede değerlendirmiştir. Gaupp'un hikâyesi şöyle devam eder: Ortakulak kemikçikleri, sürüngenler ile memeliler arasında bir bağlantı olduğunu gösterir. Sürüngen ortakulağındaki tek kemikçik, memelilerdeki üzengi kemiğiyle aynı kemikçiktir; iki kemik de ikinci yaydan türemiştir. Ama asıl çarpıcı bilgi, memelilerdeki diğer iki kulak kemikçiğinin (çekiç ve örs) sürüngen çenesinin arka kısmındaki kemiklerden evrildiği yolundaydı. Durum gerçekten böyleyse, memelilerin ortaya çıkışı sırasında çenedeki bu kemiklerin kulağa geçişlerini fosil kayıtlarında da görebilmemiz gerekirdi. Sorun şuydu ki, Gaupp sadece yeryüzünde varlığını sürdüren canlılar üzerinde çalışmış ve fosillerin kuramında oynayabileceği rolü tam görememişti.

1840'lardan itibaren, Güney Afrika ve Rusya'daki keşifler sayesinde, fosilleşmiş pek çok yeni canlı türü bilinir hale geldi. Çoğu gayet iyi korunmuş halde, köpek büyüklüğündeki hayvanların bütün haldeki iskeletleri gün ışığına çıkarılıyordu. Bu fosillerin çoğu keşfedildikçe, kasalara koyulup teşhis ve analiz için Londra'daki Richard Owen'e gönderiliyordu. Owen, bu canlıların sahip olduğu karma özellikler karşısında şaşkına dönmüştü. İskeletlerinin bazı parçaları sürüngen özellikleri gösteriyor, bazı parçaları, özellikle de dişler memelilerinkine benziyordu. Üstelik bu fosiller, tek tük buluntulardan ibaret değildi; fosil kazı yerlerinden çıkarılan iskeletlerin çoğu, bu

"memelimsi sürüngenlerden" oluşuyordu. Bolca bulunan bu fosillerin aynı zamanda çok çeşidi vardı. Owen'dan sonra bunlar dünyanın başka yerlerinden ve yerkabuğunun farklı zaman dilimlerine ait katmanlardan da çıkarıldı. Bu canlılar, fosil kaydında sürüngenler ile memeliler arasındaki harikulade bir geçiş oluşturmuştu.

1913'e kadar embriyologlar ile paleontologlar, çalışmalarını birbirlerinden bağımsız yürütüyordu. 1913'te, Amerikan Doğa Tarihi Müzesi'nde çalışan Amerikalı paleontolog W. K. Gregory, Gaupp'un embriyolarıyla Afrika fosilleri arasında önemli bir bağlantı olduğunu fark etti. Memelimsi sürüngenlerden sürüngene en benzer olanının ortakulağında sadece bir kemikçik varken çenesi, diğer sürüngenlerdeki gibi pek çok kemikten oluşmuştu. Gregory, memelimsi sürüngenleri gittikçe "memileşen" bir sırayla inceleyince, dikkat çekici bir şey, eğer hayatta olsaydı Reichert'ı allak bullak edecek bir şey ortaya çıktı: Sürüngen çenesinin arka kısmındaki kemikler, küçüle küçüle sonunda memelilerin ortakulağında yer alacak duruma gelmişti. Kemik şekillerinde birbiri peşisıra gerçekleşen biçim değişiklikleri, bunu kuşkuya yer bırakmayacak şekilde ortaya koyuyordu. Çekiç ve örs kemikçikleri, gerçekten de çene kemiklerinden evrilmişti. Reichert ve Gaupp'un embriyolarda gözlediği şey, aslında öteden beri fosil kaydında saklıydı; öylece keşfedilmeyi bekliyordu.

Memelilerde, üç kemikçikli bir ortakulak neden gerekmişti? Bu minik ilave, memelilerin, ortakulağında tek kemik olan hayvanların işittiğinden çok daha yüksek frekanslardaki sesleri işitmelerini mümkün kılan bir kaldıraç sistemi oluşturur. Memelilerin ortaya çıkışı, hem 4. Bölüm'de gördüğümüz yeni çiğneme şekillerinin, hem de yeni işitme şekillerinin gelişmesini gerektirmişti. Bu değişiklik, yeni kemiklerin çıkmasıyla değil, var olan kemiklerin farklı bir amaca göre uyarlanmasıyla olmuş

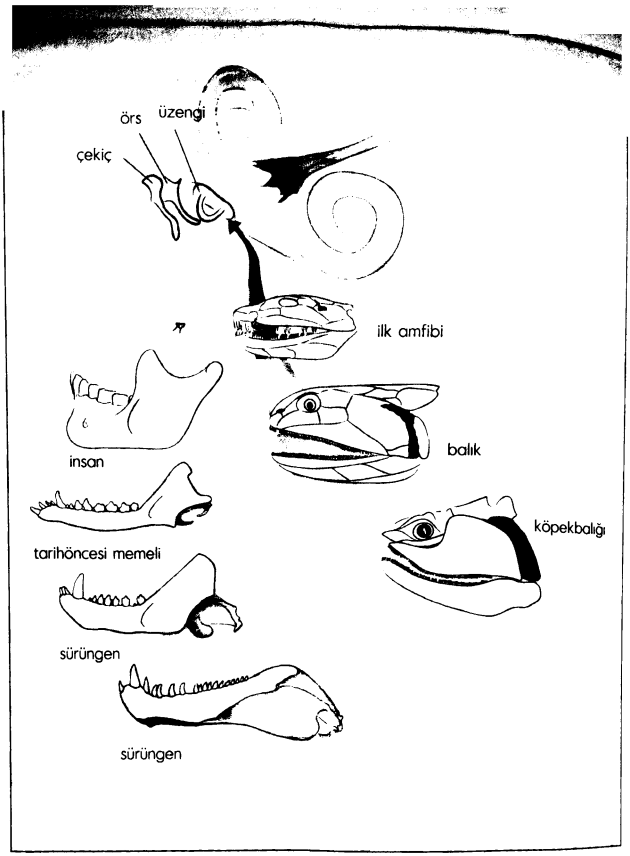
tu. Başlangıçta sürüngenlerin çiğnemek için kullandığı kemikler, memelilerde işitmeye yardımcı olacak şekilde evrilmişti.

Çekiç ve örs kemikleri için durum böyleydi. Peki, ama üzengi kemiği nereden gelmişti?

Size, erişkin bir insan ile bir köpekbalığı gösterseydim, insan kulağının ta içindeki bu kemikçiğin, köpekbalığının üst çenesindeki iri çubukla aynı şey olduğunu hayatta tahmin edemezdiniz. Ancak, gelişimsel açıdan bu kemikler aynıdır. Üzengi kemiği, tıpkı köpekbalığı ve balıkta ona karşılık gelen hiyomandibula kemiği gibi bir ikinci yay kemiğidir. Ama hiyomandibula bir kulak kemiği değildir; balıkların ve köpekbalıklarının kulakları olmadığını unutmayın. Suda yaşayan akrabalarımızda, bu kemik, üst çeneyi, kafatasına bağlayan iri bir çubuktur. İşlev ve şekil açısından bariz farklılıklar göstermelerine karşın, hiyomandibula ile üzengi, sinirlerine varana kadar birbirine benzer. İki kemik için de, işlev bakımından en önemli sinir, ikinci yay siniri, yani fasiyal sinirdir. Sonuçta, gelişimsel kökenleri ve sinir donanımı benzer, ama birbirinden çok farklı iki kemik söz konusu. Bunu nasıl açıklayacağız?

Bu noktada yine fosillere dönüyoruz. Hiyomandibulanın izini köpekbalıklarından *Tiktaalik* gibi canlılara, amfibilere kadar sürerken bu kemiğin giderek küçüldüğünü ve sonunda işitmede rol üstlenmek üzere üst çenedeki yerinden ayrıldığını görebiliriz. Yeri gibi adı da değişir. İriyken ve çeneyi desteklerken hiyomandibula, küçülüp işitmede işlev gördüğü zaman üzengi adıyla bilinir. Bu değişim, balığın torunları karada yürümeye başladığı zaman gerçekleşmişti. Suyun içinde işitmekle karada işitmek birbirinden farklıdır. Üzengi kemiği ise, küçük oluşu ve konumu dolayısıyla, havadaki titreşimleri almaya son derece uygundur. Bu yeni kabiliyet, balığın üst çene kemiğinde gerçekleşen değişiklikle ortaya çıkmıştır.

Ortakulağımızda, canlı tarihindeki en büyük dönüşümler-



İç kulak, kulağımızın üç kısmı (dış, orta ve içkulak) arasında en eski olan ve beyne gönderilen sinir uyarılarını denetleyen kısımdır.

den ikisinin kanıtı saklıdır. Üzengi kemiğimizin ilk ortaya çıkışı ve çeneyi destekleyen bir kemikken kulak kemikçiğine dönüşüm sürecinin başlangıcı, balıkların karada yürümeye başladığı zamana rastlar. Öteki büyük olay ise, memelilerin ilk ortaya

çıkışı sırasında, sürüngen çenesinin arka kısmındaki kemiklerin bizdeki çekiç ve örs kemikçiklerine dönüşmesiyle gerçekleşmiştir.

Şimdi kulağın daha içlerine -içkulağa- geçelim.

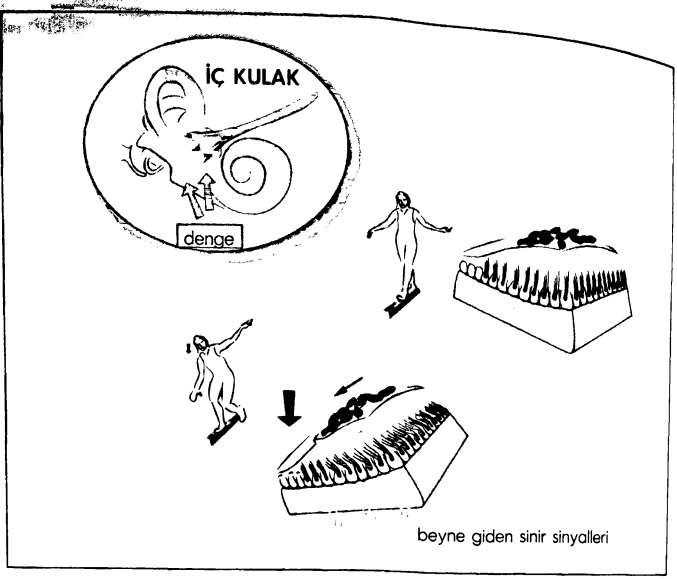
İÇ KULAK: DALGALANAN SIVILAR, EĞİLEN TÜYLER

Dışkulaktan iç kısımlara doğru ilerleyip, kulak zarını ve ortakulaktaki üç kemikçiği de geçtikten sonra kafatasının en iç kısımlarına ulaşılır. Kanalları ve kulak sıvısı dolu keseleriyle içkulak işte buradadır. Anatomi laboratuvarında da bariz biçimde görüldüğü üzere, bu kemikli kanallar insanlarda da, diğer memelilerde olduğu gibi salyangoz kabuğu şeklini almıştır.

İç kulağın, farklı işlevlere ayrılmış farklı kısımları vardır. Bir kısım işitmeye yararken, ikinci bir kısım başın hangi yöne eğilmiş olduğunu, bir diğer kısım da başımızın ne ölçüde ivmelendiğini ya da durup durmadığını kaydeder. İç kulak bu üç işlevi de, ana hatlarıyla aynı şekilde yürütür.

İç kulağın bazı kısımları akışkan, peltemsi bir sıvıyla doludur. Özelleşmiş sinir hücrelerinin, bu sıvının içine uzanan tüysü çıkıntıları vardır. Kulak sıvısı dalgalandığında, sinir hücrelerinin uçlarındaki tüyleri eğer. Bu tüylerin eğilmesiyle, sinir hücrelerinden beyne elektrik uyarıları gönderilir; bu uyarılar, beyinde ses, konum ve ivme olarak kaydedilir.

Bize, başımızın uzaydaki konumunu söyleyen bu yapıyı kafanızda canlandırabilmek için, içinde Özgürlük Anıtı'nın olduğu bir kar küresi hayal edin. Kar küresi, plastikten yapılmıştır ve içi peltemsi bir sıvıyla doludur. Küreyi sallarsanız sıvı hareket eder ve Özgürlük Anıtı'nın üzerine "kar" yağar. Şimdi de esnek zardan yapılmış bir kar küresi hayal edin. Böyle bir küreyi eğecek olursanız, olduğu gibi sağa sola yığılacak, içindeki sıvı da hızla dalgalanacaktır. Çok daha küçük ölçekte olmak

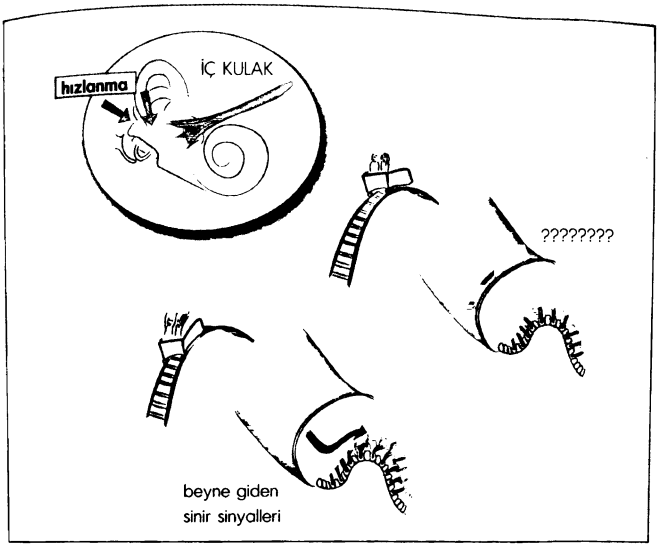


Ne zaman başınızı bir yana eğseniz, sıvı dolu keseciklerin üzerindeki küçük taş parçaları hareket eder. Bu da, keseciklerin içindeki sinir uçlarını eğer ve beyninize "başın eğik" olduğunu söyleyen bir uyarı gönderilir.

üzere, kulaklarımızın içinde olan biten de işte budur. Başımızı bir yana eğdiğimizde, kulağımızın içindeki bu mekanizma hareketlenir ve belli bir olay zinciri başlatır: İçerideki sıvı hızla dalgalanır, sinirlerin üzerindeki tüysü çıkıntılar eğilir ve beynimize bir uyarı gönderilir.

İnsanlarda bu sistem, bu zarın üzerinde bulunan küçücük taş parçalarıyla çok daha duyarlı hale gelmiştir. Başımızı eğdiğimizde, bu taşlar zarın titreşimini arttırarak kulak sıvısındaki dalgalanmanın şiddetlenmesine neden olur. Sistemin hassasiyetinin bu şekilde artmasıyla, başımızın konumundaki küçük farklılıkları algılayabiliriz. Başınızı eğdiğinizde, kafatasınızın içindeki taşlar hemen hareketlenir.

Uzay boşluğunda yaşamanın, bu yüzden ne kadar zor oldu-



Hızlandığımız zaman, içkulak sıvısındaki dalgalanma şiddetlenir. Bu şiddetli dalgalanma, bir sinir uyarısına dönüştürülerek beyne iletilir.

ğunu tahmin edebilirsiniz. Bizdeki ses algılayıcıları yerçekimsiz bir uzay kapsülünde değil, yerçekimli dünya üzerinde çalışmaya uygundur. Boşlukta yüzdüğümüz sırada gözlerimizin "yukarı aşağı" algısı farklı şekilde işler, içkulağımızdaki algılayıcılar da allak bullak olurken mide bulantısı, baş dönmesi de kaçınılmazdır. Uzay sarhoşluğu, bu yüzden hep ciddi bir sorun olmuştur.

İvme algımız ise, içkulağın, diğer iki kısımla bağlantılı üçüncü bir kısmıyla yakından ilintilidir Kulağın içinde, kulak sıvısıyla dolu üç kanal vardır; hızlandığımız ya da durduğumuz zaman, bu kanalların içindeki sıvı dalgalanır, sinir hücrelerinin eğilmesiyle de uyarı oluşur.

Konumu ve ivmeyi algılamaya yarayan bu sistem, bir bütün olarak göz kaslarımıza bağlıdır. Göz hareketlerimiz, gözyuvarının yan çeperlerine bağlı sekiz küçük kasın kontrolündedir. Bu

kaslar, gözü yukarı, aşağı, sola ve sağa çevirmek için kasılıp gevşer. Bu kasları kasıp gevşeterek gözlerimizi istediğimiz yöne çevirebiliriz. Ama bu kasların en ilginç özellikleri, istemsiz hareketleriyle ilgilidir; çünkü bizim düşünmemize bile gerek kalmaksızın gözlerimizi sürekli hareket ettirirler.

Göz ile kaslar arasındaki hassas bağlantıyı anlayabilmek için, kitabın sayfasına bakarken başınızı geriye ve öne doğru hareket ettirin. Bu arada gözleriniz belli bir noktaya sabitlenmiş olsun.

Peki, bu küçük deneyi yaparken ne oldu? Başınız hareket ederken gözleriniz sabit bir noktaya bakmayı sürdürdü. Bize çok olağan gelen bu hareket üzerinde pek düşünmemişizdir, oysa inanılmaz derecede karmaşıktır. Her iki gözümüzdeki sekizer kasın her biri, başımızın bu hareketine bir karşılık verir. Kafamızın içindeki algılayıcılar (bunlardan bir sonraki bölümde bahsedeceğiz), baş hareketinin yönünü ve hızını kaydeder. Bu sinyaller beyne iletilir, beyin de, göz kaslarına harekete geçmelerini söyleyen sinyaller gönderir. Bundan sonra, gözlerinizi bir noktadan ayırmadan başınızı çevirdiğinizde bunu bir düşünün. Bu sistem bazen tutukluk yapabilir; bu tutukluk halimizden de belli olur.

İçkulak ile göz arasındaki bağlantıyı, bozulduğu zaman gayet iyi anlarız. İçkinin fazla kaçırıldığı zamanlarda olduğu gibi. Fazla etanol almak, davranışlarımızdaki engellemeleri azalttığından aptalca şeyler yapmamıza yol açar. Dozu iyice kaçırınca da başımız döner. Bu baş dönmesi, genellikle ertesi sabah berbat halde olacağımızın, bulantı ve baş ağrısı çekeceğimizin habercisidir.

Fazla içki içtiğimizde kan dolaşımımıza bolca etanol karışır. Kulak kanallarımızın içindeki sıvıda zaten çok az etanol vardır. Alkol almayı sürdürdükçe, kanımızdaki alkol içkulağımızdaki sıvıya da geçmeye başlar. Alkol bu sıvıdan daha hafif olduğu için, bu sıvıya karışması, bir bardak zeytinyağına alkol boşaltıl-

masına benzer bir sonuç verir. Tıpkı alkol katıldığında zeytinyağının bardakta dolanıp durması gibi, kulağımızın içindeki sıvı da öyle dolanıp durur. Bu konveksiyon, içkiye düşkün olanlarımızda ciddi hasarlara yol açar. Tüysü hücrelerimiz uyarılır ve beynimiz hareket ettiğimizi sanır. Ancak hareket etmemekteyizdir; ya tökezleyip bir köşeye yığılıp kalmış, ya da bir bar taburesinde uyuklar haldeyizdir. Beynimiz oyuna gelip aldanmıştır.

Sorun, gözlerimizi de etkiler. Dönüp durduğumuzu sanan beynimiz bu bilgiyi göz kaslarına iletir. Gözümüz seğirme hareketleriyle birlikte tek tarafa (genellikle sağa) kaymaya başlar. Zilzurna sarhoş birinin gözlerinde, nistagmus adı verilen bu tipik seğirmeyi görürsünüz. Bu durumu polisler de gayet iyi bilir ve otomobillerini çılgınca sürdükleri için durdurdukları kişilerde, genellikle nistagmus olup olmadığına bakarlar.

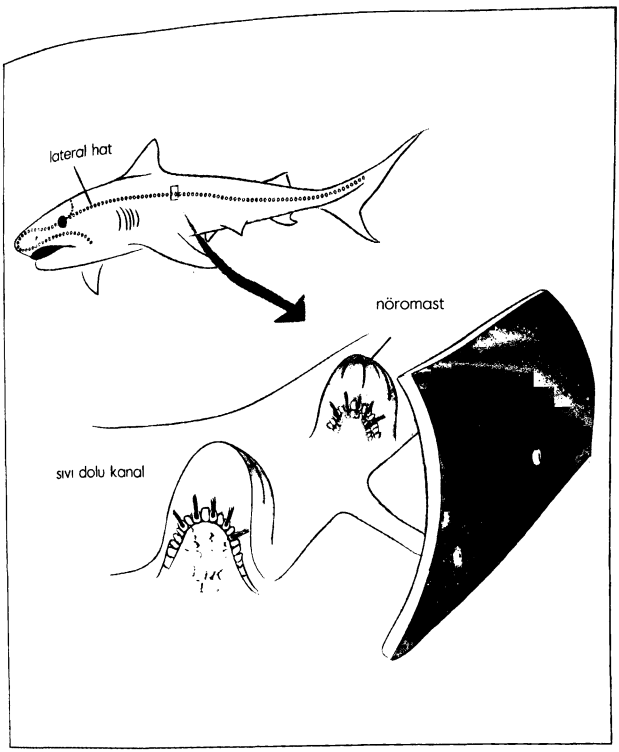
Akşamdan kalmalar ise bundan biraz daha farklı tepkiler gösterir. İçki âleminin ertesi günü karaciğeriniz, alkolü kanınızdan atmak için olağanüstü iyi bir iş çıkarmıştır. Ama kulaklarımızdaki kanallarda halen alkol dolanmaktadır. Bu alkol, daha sonra sıvıdan tekrar kan dolaşımına geçer, geçerken de kulaktaki sıvı tekrar hareketlenir, baş dönmesi yine başlar. Önceki gece gözü sağ tarafa doğru seğiren içkiciye, bu kez de akşamdan kalma haliyle bakın. Gözünde yine seğirme olabilir, ama bu kez öbür tarafa.

Bunun suçlusu, ortak geçmişe sahip olduğumuz köpekbalıkları ve balıklardır. Eğer daha önce alabalık avlamaya çalıştıysanız, muhtemelen içkulağımızın öncülü bir organa karşı mücadele de etmişsinizdir. Balıkçılar gayet iyi bilir; alabalıklar nehrin sadece belirli yerlerinde, genellikle en iyi yiyecekleri bulabilecekleri ve avcılardan korunabilecekleri noktalarda dolanırlar. Bu tür yerler, genellikle nehrin gölgede kalan ve girdap yaptığı bölgelerdir. Büyük balıklar için saklanılacak en iyi yerler, iri kaya

parçalarının ya da suya düşen kütüklerin arkasıdır. Bütün balıklar gibi alabalık da, akıntıyı ve suyun hareketini algılayabileceği, dokunma duyusuna çok benzer bir mekanizmaya sahiptir.

Balığın derisiyle kemiklerinin içinde, gövdesi ve başı boyunca düzenlenmiş, duyu reseptörü küçük organlar yer alır. Küçük kümeler halinde duran bu reseptörlerin, nöromast organı adı verilen ve peltemsi sıvıyla dolu bir keseciğin içine uzanan minik tüysü uzantıları vardır. Burada yine, içinde Özgürlük Anıtı olan kar küresini düşünün. Nöromast organı, içine sinirlerin uzandığı minik bir kar küresine benzer. Balığın etrafındaki su dalgalandıkça bu minik kese biraz yamulur ve sinirin tüysü uzantılarını eğer. Sonra, kulaklarımızdaki mekanizmaya çok benzer bir şekilde, balığın bu organı beyne bir sinyal gönderir; böylece balık, çevresindeki suyun nasıl hareket ettiğini algılar. Köpekbalıkları ve balıklar, suyun hangi yönde aktığını ayırt edebilir, hatta bazı köpekbalıkları suyun hareketindeki değişimleri, sözgelimi yakında yüzen başka balıkların neden olduğu dalgalanmaları bile algılayabilir. Gözlerimizi sabit bir noktadan ayırmadan başımızı hareket ettirdiğimizde, biz de bu sistemin bir versiyonunu kullanmış, sarhoş dostumuzun gözlerini açtığımızda da, sistemin nasıl aksadığına tanıklık etmiştir. Eğer köpekbalıkları ve balıklarla ortak atalarımızın içkulak sıvısı, başka bir tür, sözgelimi alkol karıştığı zaman dolanıp durmayan türden bir sıvı olsaydı, sarhoşken başımız hiç dönmeyecekti.

İç kulaklarımızla nöromast organlarının, aynı şeyin versiyonları olduğunu düşünüyorsanız, çok yanılmış sayılmazsınız. İkisi de, gelişim sırasında aynı tür dokudan oluşur ve benzer yapıdadır. Ama hangisi önce oluştu? Nöromast mı, içkulaklar mı? Bu noktada kanıtlar yetersiz kalıyor. Başı olan ilk fosillerden bazılarına, yani yaklaşık 500 milyon yıl önce yaşamış canlı fosillerine bakacak olursak, vücutlarını örten dış katmanlarında nöromast organları olduğunu düşündürecek minik oyuklar



İç kulağımızın bir kısmının ilkel bir versiyonu, balığın derisine gömülü halde durur. Kesecikler -nöromast- vücuda yayılmıştır. Eğildikleri zaman, balığa, suyun hareketinin nasıl değiştiği hakkında bilgi verirler.

görürüz. Ne yazık ki, başın içkulağı barındıran kısmının korunduğu fosiller olmadığından bu canlıların içkulakları hakkında pek bir şey bilmiyoruz. Başka kanıtlar bulununcaya dek elimizde iki seçenek var: Ya içkulağımız nöromast organlarından ortaya çıktı ya da tam tersi. İki durumda da esasen, vücudun diğer kısımlarında geçerli olan bir ilke söz konusudur. Organlar, bir

niklerinde rastladığımız bazı durumları, kulak ve göz genleri arasındaki bu tarihöncesi bağlantı yardımıyla anlayabiliyoruz. İnsanda göz ve içkulağı birlikte etkileyen ve doğuştan gelen bazı bozukluklar vardır. Bu kusurlar, aslında zehirli kutu denizanası gibi ilkel canlılarla aramızdaki köklü bağlantının bir yansımasıdır.

ON BİRİNCİ BÖLÜM

BÜTÜN BUNLARIN ANLAMI

İÇİMİZDEKİ HAYVANAT BAHÇESİ

Akademi camiasıyla tanışmam, 1980'lerin başına, üniversite öğrencisiyken New York'taki Amerikan Doğa Tarihi Müzesi'nde gönüllü olarak çalıştığım döneme rastlar. O günlerden hiç unutmadığım, müzenin koleksiyonlarında perde arkasında çalışıyor olmaktan duyduğum heyecan ve bir de, büyük gürültü patırtıyla geçen haftalık seminerlerdi. Bu seminerlerde, her hafta bir konuşmacı, doğa tarihi üzerine ezoterik bir çalışma sunardı. Konusu genellikle pek de ilginç olmayan sunum bitince, dinleyiciler anlatılanları didik didik eder, her noktayı eleştirmeye başlardı. Bazen bütün bu olup bitenler, bana, davetli konuşmacının ana yemek olarak şişte çevrildiği bir mangal partisi gibi gelirdi. Bu tartışmalar sık sık çığırından çıkar, havaya yumruklar savrulur, katılımcılar yerlerinde tepinir ve bütün seminer, sessiz filmlerin pantomim sahnelerini andıran yaygara seanslarına dönüşürdü.

Ben de işte burada, akademinin kutsal salonlarında taksonomi üzerine seminerler dinliyordum. Taksonomi, bildiğiniz gibi türleri adlandırma ve bu adları biyolojiye giriş dersinde hepimizin ezberlediği sınıflandırma sistemine yerleştirme bilimidir. Tanınmış büyük bilimcileri bu derece çıldırtıp insanlıktan çıkarması bir yana, gündelik hayatın bu kadar dışında kalan başka bir konu düşünemiyordum. "İşiniz mi yok!" denilse yeriydi.

Asıl ironik olansa, artık neden böyle çileden çıktıklarını anlıyor olmam. Bunu o zaman anlayamıyordum, ama biyolojideki en önemli kavramlardan birini tartışıyorlardı. Belki size dünyayı yerinden oynatacak gibi gelmeyebilir ama bu kavram, farklı canlıları (insanla balığı, balıkla solucanı ya da herhangi bir canlıyla herhangi bir başka canlıyı) birbirleriyle nasıl karşılaştıracağımızın temelinde yatan kavramdır. Ailemizin soyundan gelenleri bulmamızı, DNA bulgularından yola çıkarak suçluları teşhis etmemizi, AIDS virüsünün nasıl tehlikeli hale dönüştüğünü anlayabilmemizi, hatta tüm dünyaya yayılan grip virüslerinin kaynağını bulabilmemizi sağlayan teknikleri hep bu kavram sayesinde geliştirebiliyoruz. Birazdan ele alacağım bu kavram, bu kitaptaki mantığın büyük kısmının temel dayanağını oluşturur. Bunu kavradığımız zaman, içimizde saklı duran balığın, solucanın ve bakterilerin anlamını da kavrayacağız.

Gerçek büyük kavramlar ve doğa yasaları, önce, hepimizin her gün tanık olduğu basit önermelerle dile dökülür. Basit bir başlangıç noktasından yola çıkan bu kavramlar, daha sonra yıldız hareketleri ya da zamanın işleyişi gibi gerçekten çok önemli meseleleri açıklayacak şekilde gelişir. Buna benzer bir çerçevede, ben de sizinle, hepimizin üzerinde hemfikir olacağı gerçek bir yasayı paylaşmak istiyorum. Bu öylesine temel bir yasadır ki çoğumuz hiç düşünmeden, onu olduğu gibi kabul etmişizdir; ama paleontoloji, gelişimsel biyoloji ve genetik biliminde yaptığımız hemen her şeyde başlangıç noktamız bu yasadır.

Bu biyolojik "her şeyin yasası", bu gezegenimizde yaşayan her canlının bir ana babası olduğudur.

Tanıdığınız herkesin biyolojik ana babası vardır, tıpkı gördüğünüz her kuşun, semenderin ya da köpekbalığının olduğu gibi. Belki klonlama ya da henüz icat edilmemiş bir teknikle bu değişebilir ama şimdilik yasa geçerli. Daha açık bir şekilde ifade etmek gerekirse, her canlı, ana babasının bazı genetik bilgilerin-

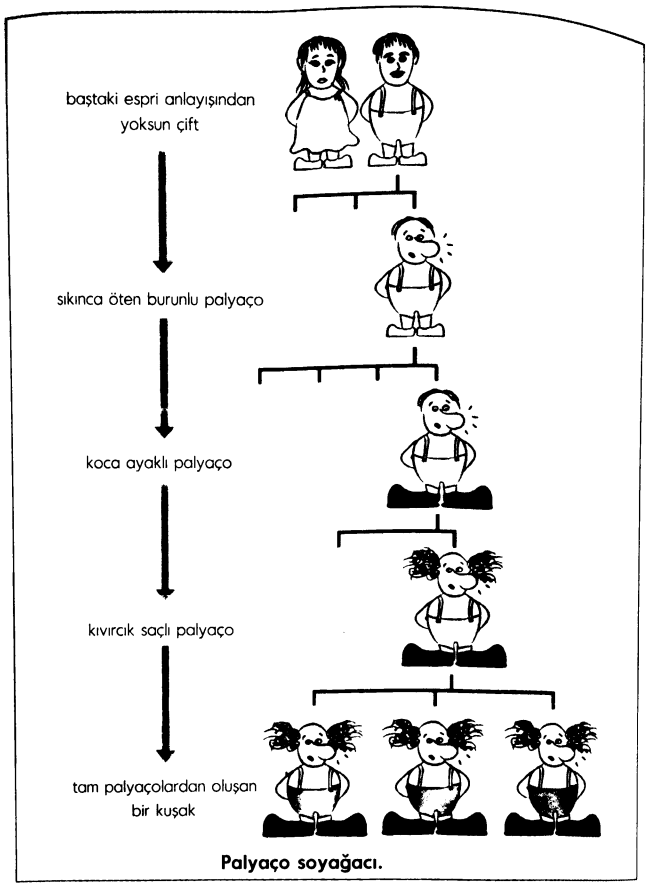
den meydana gelir. Bu ifade, ana babalığı, kalıtımın gerçek biyolojik mekanizmasıyla tanımlar ve bakteriler gibi, bizden farklı üreyen canlılara da uygulamamıza izin verir.

Yasanın gücü, kapsamının genişliğinden gelir. İşte tüm güzelliğiyle o yasa: Hepimiz, ana babamızın ya da onlara ait genetik bilgilerin değişikliğe uğramış soylarıyız. Ben annemin ve babamın soyundan geliyorum, ama onların aynısı değilim. Benim anne babam da, kendi anne babalarının değişikliğe uğramış soylarıydı; onlar da kendi anne babalarının. Buradaki değişikliğe uğrayan soy modeli, ailemizin soyunu belirler. Hem de o derece iyi belirler ki, sadece kan örnekleriyle bile aile soyunun çıkarılması mümkündür.

Daha önce hiç karşılaşmadığınız bir oda dolusu insanla yan yana bulunduğunuzu farz edin. Size basit bir görev verilmiş olsun: Bu odadakilerin her birinin ne kadar yakın akrabanız olduğunu bulacaksınız. Kimin uzaktan kuzeniniz, çok uzaktan kuzeniniz, yetmiş beşinci kuşaktan büyük büyük amcanız olduğunu nasıl bileceksiniz?

Bunun için, düşüncemize yön verecek ve varsaydığımız soyağacımızın doğruluğunu test etmemizi sağlayacak bir biyolojik mekanizmaya ihtiyacımız var. Bu mekanizmaya, biyoloji yasamızı düşünerek ulaşabiliriz. Soydaki değişikliğin nasıl gerçekleştiğini bilirsek biyolojik geçmişimizi aydınlatabiliriz, çünkü değişikliğe uğrayan soy bizim tespit edebileceğimiz bir işaret bırakır.

Mizah anlayışı olmayan, palyaçoya da hiç benzemeyen, çocuklu bir karı koca varsayalım. Oğullarından biri, sıkınca öten kırmızı kauçuk bir burunla doğmasına yol açan bir genetik mutasyona uğramış olsun. Bu çocuk büyüyor ve şanslı bir kadınla evleniyor. Mutasyonlu burun genini çocuklarına aktarıyor ve çocuklarının hepsinde sıkınca öten kırmızı kauçuk burun gelişiyor. Şimdi, çocuklarından birinin koca ayaklı olmasını sağ-



Palyaço soyağacı.

layan bir gen mutasyonuna uğradığını varsayalım. Bu mutasyon, bir *sonraki* kuşağa geçiyor ve bütün çocukları kendisine benziyor: Hepsinin sıkınca öten kırmızı kauçuk burunları ve kocaman, pofuduk ayakları var. Bir kuşak sonrasına bakalım. Bu çocuklardan birinde, yani baştaki çiftin büyük büyük torununda başka bir mutasyonla turuncu kıvırcık saç ortaya çıkıyor. Bu

mutasyon sonraki kuşağa geçtiği zaman, bütün çocuklar turuncu kıvırcık saçlı, sıkınca öten kırmızı kauçuk burunlu ve koca ayaklı oluyor. "Bu palyaço da kim?" diye sorduğunuzda, baştaki talihsiz çiftin büyük büyük torunlarını soruşturuyor olacaksınız.

Bu örnekle, çok önemli bir nokta açıklık kazanıyor. Değişikliğe uğrayan soylar, özelliklerinden yola çıkarak tespit edebileceğimiz bir soyağacı ya da bir soy oluşturur. Bu soy, bakar bakmaz fark edeceğimiz bir işaret taşır. Burada örnek aldığımız varsayımsal soy, tıpkı iç içe geçmiş matruşkalar gibi, grupların içinde gruplar oluşturur ve biz bu grupları, kendilerine özgü özelliklerinden ayırt ederiz. "Tam palyaço" olan büyük büyük torun grubu, sıkınca öten burnu ve kocaman ayakları olan bir kişinin soyundan gelmektedir. Bu kişi de, sıkınca öten burnu olan bir kişinin soyundan gelen "proto-palyaço" grubundandır. Bu "pre-proto-palyaço" ise, görünüşte palyaçoya benzemeyen baştaki çiftin soyundan gelmiştir.

Değişikliğe uğramış bu soy modeli, ben size bununla ilgili hiç bir şey söylemeden, sizin zaten bu palyaço soy ağacı hakkında kolaylıkla varsayımda bulunabilmenizi sağlar. Farklı kuşaklardan bir oda dolusu palyaçoyla bir araya geldiğinizde, akraba palyaçoların hepsinin, sıkınca öten burunlu grupta yer aldığını görürsünüz. Bunların bir alt grubunun turuncu saçları ve koca ayakları vardır. Bu alt grubun içinde de başka bir grup, yani tam palyaço olan grup yer alır. Önemli olan, bu grubu ayırt edebilmenizi sağlayan özelliklerdir: turuncu saç, sıkınca öten burun, kocaman ayaklar. Bu özellikler, palyaçoların farklı gruplarını - veya örnekte olduğu gibi farklı kuşaklarını- ayırt etmek için kullanacağınız kanıtlardır.

Bu palyaço ailesinin yerine, gerçek özellikleri -genetik mutasyonları ve bu mutasyonların vücutta kodladığı değişiklikleri- olan bir aileyi koyacak olarsak, biyolojik özelliklerine

bakarak tespit edebileceğimiz bir soy elde etmiş oluruz. Eğer soyda değişiklik bu şekilde gerçekleşiyorsa, o zaman soyağacımız da temel yapısında bir imza taşıyacaktır. Bu gerçek öyle güçlüdür ki, günümüzde yürütülen soyla ilgi pek çok projede görüldüğü gibi, sadece genetik verilerden yola çıkarak soyağaçlarını oluşturabiliriz. Kuşkusuz gerçek hayat, bizim basit varsayımsal örneğimizden çok daha karmaşıktır. Eğer bir ailede belirli özellikler çok farklı zamanlarda ortaya çıkıyorsa, bir özellik ve bu özelliğe yol açan genler arasındaki ilişki dolaysız değilse ya da özelliklerin genetik bir temeli yoksa ve beslenme veya başka çevresel koşulların değişmesi sonucunda ortaya çıkıyorsa, o ailenin soyağacını çıkarmak zor olabilir. İşin iyi tarafı, bir radyo dalgasının parazitlere rağmen tespit edilebilmesi gibi değişikliğe uğrayan soy modellerinin de, değişen koşullara rağmen genellikle tespit edilebilmesidir.

Peki, soylarımızın başladığı yer neresidir? Palyaçoların soyu, espri anlayışından yoksun çiftle mi başlıyor? Benim soyum ilk Shubinlerle mi başladı? Bu olacak şey değil. Öyleyse Ukrayna Yahudileri ya da kuzey İtalyalılarla mı başladı? İlk insanlarla başlamış olmasın? Ya da daha da geriye gidelim; bundan 3,8 milyar yıl önceki su birikintisindeki bir köpük tabakasına ve daha öncesine. Herkes, kendi soyunun geçmişte bir noktaya kadar uzandığı konusunda hemfikir; ama asıl mesele, bu noktanın ne kadar geride olduğudur.

Eğer soyumuz su birikintisindeki köpük tabakasına kadar uzanıyor ve bunu biyoloji yasamızı izleyerek gerçekleştiriyorsa, kanıtları bir araya getirip belirli tahminlerde bulunabiliriz. Buna göre yeryüzündeki tüm canlılık, rastgele bir canlı karışımı olmayıp palyaçolarda gördüğümüz gibi değişikliğe uğramış, soya özgü işareti taşıyor olmalıdır. Hatta jeolojik kayıtlar da rastgele bir yapı sergilemeyecek, yeni eklenenler görece genç kaya katmanlarında ortaya çıkacaktır. Tıpkı benim, aile soyağacında

büyükbabamdan sonra gelmem gibi, tüm canlıların soyağacı da belirli bir zaman aralığında yapı olarak benzerlikler taşıyacaktır.

Biyologların diğer canlılarla akrabalığımızı nasıl tek tek çıkardıklarını görmek için, sirkten çıkıp kitabın ilk bölümünde gezindiğimiz hayvanat bahçesine yeniden dönmemiz gerekiyor.

HAYVANAT BAHÇESİNDE (DAHA UZUN) BİR GEZİNTİ

Gördüğümüz gibi, vücudumuzun parçaları, biraraya gelişigüzel biçimde getirilmemiştir. Burada "gelişigüzel" kelimesini belli bir anlamda kullanıyor ve yürüyen, uçan, yüzen ya da sürünen diğer hayvanlara baktığımızda vücut yapımızın kesinlikle gelişigüzel biçimde oluşmadığını kastediyorum. Bizim yapımız, bazı hayvanlarla kısmen ortaktır, bazılarıyla ise değildir. Dünyadaki diğer canlılarla paylaştığımız ortak özelliklerimizin altında belli bir düzen yatar. İki kulağımız, iki gözümüz, bir kafamız, bir çift kolumuz ve bir çift bacağımız var. Yedi bacaklı ya da iki kafalı değiliz; tekerlerimiz de yok.

Hayvanat bahçesinde yapacağımız bir gezintide, diğer canlılarla aramızdaki bağlantılar hemen belli olur; hatta diğer canlıların çoğunu, palyaçoları gruplandırdığımız gibi gruplandırabileceğimizi görürüz. Sergilenen üç hayvandan başlayalım. Önce kutup ayıları. Kutup ayılarıyla paylaştığımız özellikleri sıralayarak uzun bir liste oluşturabiliriz. Başka pek çok şeyin yanında kıllar, süt bezleri, kol ve bacaklar, dört üye, bir boyun, iki göz vb. Sonra da kaplumbağalara geçelim. Benzerlikler olduğu kesindir, ama bu kez liste daha kısadır. Başka benzerliklerle beraber kaplumbağalarla ortak özelliklerimizi kol ve bacaklar, bir boyun ve iki göz olarak sıralayabiliriz. Ama kutup ayıları ve bizden farklı olarak kaplumbağalarda kıllar ve süt bezleri yoktur. Kaplumbağanın kabuğuna gelince, tıpkı kutup ayısının

beyaz kürkü gibi, o da kaplumbağaya özgü görünmektedir. Şimdi de Afrika kıtasına özgü balıkların sergilendiği bölümü ziyaret edelim. Buranın sakinleri de yine bize benzeyecektir, ama ortak özellikler, kaplumbağalarla olduğundan da azdır. Bizde olduğu gibi, balıkların da iki gözü vardır. Bizde olduğu gibi, balıkların da dört eklentisi vardır, ama bu eklentiler kol ve bacak değil, yüzgeç şeklindedir. Balıklarda, diğer pek çok özellik olmadığı gibi, kutup ayılarında ve bizde ortak olan kıllar ve süt bezleri de yoktur.

Palyaço örneğinde ortaya çıkan ve grup, alt-grup, alt-alt gruplardan oluşan matruşkalara benzemeye başladı, değil mi? Balık, kaplumbağa, kutup ayısı ve insan – hepsinin bazı ortak özellikleri (kafa, iki göz, iki kulak vb) var. Kaplumbağa, kutup ayısı ve insan bu özelliklerin hepsine sahip; ayrıca balıklarda olmayan özelliklere de, yani boyun kol ve bacaklara da. Kutup ayıları ve insanlar daha seçme bir grup oluşturur; bu grubun üyeleri, tüm bu özelliklerle birlikte kıllara ve süt bezlerine de sahiptir.

Hayvanat bahçesindeki gezintimizin daha anlaşılır olması için palyaço örneğinden yararlanalım. Palyaçolarda, gruplarda ortaya çıkan örüntü, değişikliğe uğrayan soyu yansıtıyordu. Bu, aynı zamanda, tam palyaço çocukların ortak akrabalarının, sadece sıkınca öten burnu olan çocuklarla ortak olan akrabalarından daha yakın zamanda yaşadığı anlamını da içerir. Bu mantıklı: Sıkınca öten burna sahip çocukların anne babası, tam palyaçoların büyük-büyük büyük atasıdır. Aynı yaklaşımı, hayvanat bahçesi gezintimizde karşılaştığımız gruplara da uygulayacak olursak, insanlarla kutup ayılarının ortak atası, insanlarla kaplumbağaların ortak atasından çok daha yakın tarihte yaşamış olmalıdır. Bu tahmin doğrudur: İlk memeli, ilk sürüngenden çok daha yakın bir tarihte görülür.

Burada asıl mesele, türlerin soyağaçlarını deşifre etmektir.

Ya da, biyoloji terimleriyle ifade edecek olursak, akrabalık ilişkilerinin örüntüsünü. Hatta bu ilişkilerden yola çıkarak, hayvanat bahçesi gezintimiz ışığında, *Tiktaalik* gibi bir fosili de bir yere yerleştirebiliriz. *Tiktaalik*, balık ile balığın karada yaşayan soyları arasındaki muhteşem bir halkadır; ama bizim gerçek atamız olma ihtimali çok uzaktır; olsa olsa atamızın bir kuzeni olabilir. Aklı başında hiçbir paleontolog "İnsanın Atası"nı keşfettiğini iddia etmez. Şöyle düşünelim: Yeryüzündeki herhangi bir mezarlıktan geçerken kendi gerçek atalarımdan birini keşfetmem ihtimali ne olabilir? Son derece düşük bir ihtimal. Keşfedeceğim şey, bu mezarlıklarda yatan herkesin (ister Çin'de, ister Botswana'da, ister İtalya'da olsun) benimle farklı derecelerde akraba olduğudur. Günümüz laboratuvarlarında kullanılan adli teşhis yöntemleriyle DNA'larını inceleyerek bunu anlayabilirim. O zaman, bu mezarlığın sakinlerinden bazılarının bana uzaktan, bazılarının da yakından akraba olduğunu görürüm. Böyle bir soyağacı kendi geçmişim, ailemin geçmişi hakkında çok şey söylerdi. Neden bazı hastalıklara yakalandığımı ve kendi biyolojimle ilgili başka gerçekleri anlamama da yardımcı olurdu. Türler arasındaki ilişkileri çözmeye çalışırken de aynı şey geçerlidir.

Ama böyle bir soyağacının asıl gücü, yapmamıza imkân tanıdığı tahminlerde yatar. En başta, daha fazla ortak özellik tespit ettikçe, tespit ettiğimiz bu özelliklerin genel şemaya uyması gerekir. Bir diğer deyişle, bu hayvanların vücutlarında tespit ettiğimiz hücre, DNA ve diğer yapı, doku ve molekül özelliklerinin, gezintimizde tespit ettiğimiz sınıflandırmaları desteklemesi gerekir. Tersine, bu sınıflandırmalarla bağdaşmayan özellikler bulduğumuzda, yaptığımız sınıflandırmaların yanlış olduğunu da kanıtlayabiliriz. Yani, eğer balıklarda ve insanlarda, kutup ayılarında görülmeyen ortak pek çok özellik varsa, şemamız hatalıdır ve yeniden gözden geçirilip değiştirilmesi ya da

hepten kaldırılıp atılması gerekir. Kanıtların belirsiz olduğu durumlarda, bu özelliklerin, soyağacının düzenini destekleyecek nitelikte olup olmadıklarını değerlendirmek için istatistiksel yöntemlere başvururuz. Belirsizlik olduğunda, doğruluğunu veya aksini kabul etmemizi sağlayacak kesin bir sonuca varıncaya dek, soyağacının düzeni geçici varsayım olarak alınır.

Bazı sınıflandırmalar öyle sağlamdır ki, bunları gerçek olarak kabul ederiz. Balık-kaplumbağa-kutup ayısı-insan sınıflandırmasını ele alalım. Bu sınıflandırma, yüzlerce genden gelen özelliklerle ve bu hayvanların neredeyse tüm anatomik, fizyolojik ve hücresel özellikleriyle desteklenmektedir. Balıktan-insana uzanan şema öyle sağlamdır ki, artık bunun için kanıt sıralamamız gerekmez; bunu yapmak, yerçekimi kuramını test etmek için bir topu elli kez yere bırakmaya benzer. Verdiğimiz biyolojik örnekte de aynı şey geçerlidir. Bu ilişkilerin aksini gösterecek güçlü bir kanıt bulmamız ihtimali, topu elli birinci kez yere bıraktığımızda havaya yükseldiğini görme ihtimaliyle aynı olurdu.

Şimdi bu kitabın başlangıcındaki meseleye dönebiliriz. Uzun zaman önce yaşamış hayvanlarla yakın zamanda yaşayanların genleri ve vücutları arasındaki ilişkiyi, emin olabileceğimiz şekilde nasıl kurabiliriz? Değişikliğe uğramış soyun işaretini ararız, özelliklerini çıkartırız, bulduğumuz kanıtları değerlendirir ve bizim sınıflandırmalarımızın fosil kaydında ne kadar temsil edildiğine bakarız. Günümüzde, hayvanat bahçesindeki gezintimizde yaptığımız analizi yapacak bilgisayarların ve DNA dizilerini çözen devasa laboratuvarların yardımıyla bu hiyerarşiyi test etme imkânına sahibiz. Bu, müthiş bir şeydir. Bugün, dünyanın her yerindeki yeni fosil alanlarına ulaşma imkânımız var. Vücudumuzun doğadaki yerini, artık hiç olmadığı kadar net görebiliyoruz.

Birinci Bölüm'den Onuncu Bölüm'e kadar, günümüzde yaşayan canlılarla, uzun zaman önce göçüp gitmiş canlılar

(tarihöncesinde yaşayan solucanlar, günümüzde yaşayan süngerler ve çeşitli türden balıklar) arasında, kökü çok derinlere dayanan benzerlikler olduğunu gösterdik. Şimdi, değişikliğe uğramış soy modeli bilgimiz ışığında, bütün bunların anlamını çözmeye başlayabiliriz. Sirkte ve hayvanat bahçesinde yeterince eğlendik. Artık ciddileşelim.

Vücudumuzun içinde, hayvanat bahçesindeki diğer canlılarla aramızda kurulmuş bağlantıların var olduğunu görmüştük. Bazı parçalarımız denizanasının parçalarına, bazıları solucanın, bazıları da balığınkilere benzer. Bunlar gelişigüzel benzerlikler değildir. Bazı parçalarımız diğer hayvanların hepsinde varken, bazıları sadece bize özgüdür. Bu özelliklerin hepsinde bir düzen olduğunu görmek gerçekten çok etkileyicidir. Yüzlerce DNA karakteri, sayılamayacak kadar çok anatomik ve gelişimsel özellik... Hepsi de, daha önce palyaçolarda gördüğümüzle mantığı izler.

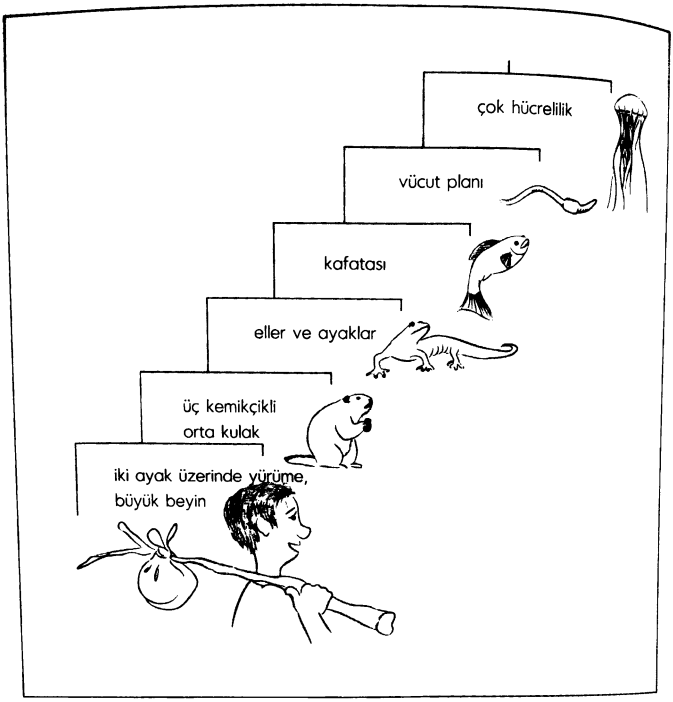
Şimdi, kitapta sözünü ettiğimiz bu özelliklerden bazıları üzerinde duralım ve bunların nasıl bir düzen izlediğini gösterelim.

Yeryüzündeki bütün başka canlılarla aramızda ortak olan, *pek çok hücreden* oluşmuş bir vücuttur. Bu gruba çok hücreli canlılar diyelim. Bu çok hücrelilik özelliği, placozoalardan denizanasına, şempanzelere kadar ortaktır.

Bu çok hücreli hayvanların bir alt grubunda, *bizde olduğu gibi bir vücut planı* vardır; bir ön-arka, üst-alt, sağ-sol ekseni bulunur. Taksonomi uzmanları bu gruba, "iki taraflı simetrik hayvanlar" anlamına gelen Bilateria adım verir. Böceklerden insanlara kadar tüm hayvanlar bu grupta yer alır.

Bizdeki gibi ön-arka, üst-alt, sağ-sol eksenli vücut planına sahip çok hücreli hayvanların bir alt grubu, ayrıca *kafatası ve omurga* da içerir. Bu canlılara da omurgalılar diyelim.

Bizdeki gibi ön-arka, üst-alt, sağ-sol eksenlerini ve kafatasını



İnsanın, denizanasına kadar uzanan soyağacı. Bu soyağacı, palyaçoların soyağacıyla aynı yapıdadır.

içeren vücut planına sahip çok hücreli hayvanların bir alt grubunda *el ve ayaklar* da vardır. Bu omurgalılara da tetrapodlar (dört üyeli hayvanlar) diyelim.

Bizdeki gibi ön-arka, üst-alt, sağ-sol eksenlerini, kafatasını, el ve ayakları içeren vücut planına sahip çok hücreli hayvanların bir alt grubunda, bir de *üç kemikçikli bir orta kulak* bulunur. Bu tetrapodlara da memeliler diyelim.

Bizdeki gibi ön-arka, üst-alt, sağ-sol eksenlerini, kafatasını, omurgayı, el ve ayakları, üç kemikçikli orta kulağı içeren vücut

planına sahip çok hücreli hayvanların bir alt grubunda, *iki ayak üzerinde yürüme özelliği ve çok büyük beyin* bulunur. Bu memelilere de insanlar diyelim.

Bu sınıflandırmaların gücü, dayandıkları kanıtlardan gelir. Yüzlerce genetik, embriyolojik ve anatomik özellik, bu sınıflandırmaları destekler. Bu düzenlenme de içimize bakışımızda bize önemli bir perspektif sunar.

Bu alıştırma soğan soymaya benzer; kabukları kat kat soydukça, geçmişin bir başka bir katmanıyla karşılaşırız. Önce, diğer memelilerin hepsiyle ortak olan özelliklerimizi görürüz. Derinlere gittikçe balıklarla, daha da derinlerde solucanlarla ortak özelliklerimizi fark ederiz. Ve bu böyle devam eder. Palyaçolarda yürüttüğümüz mantığı hatırlayacak olursak bunun anlamı, vücudumuzun içinde derin iz bırakmış bir değişikliğe uğramış soy örüntüsünün var olduğudur. Bu örüntü, jeoloji kayıtlarında kendini gösterir. En eski çok hücreli canlı fosili, 600 milyon yıldan daha öncesine aittir. Üç kemikçikli orta kulağı olan ilk fosil, 200 milyon yıldan daha gençtir. İki ayağı üzerinde yürüyen bir canlıya ait en eski fosil ise, yaklaşık 4 milyon yıllıktır. Bütün bu bulgular birer tesadüf mü, yoksa işlediğine her gün tanık olduğumuz bir biyoloji yasasımn yansımaları mı?

Carl Sagan bir zamanlar, yıldızlara bakmanın geçmişe bakmaya benzediğini söylemişti. Yıldızların ışığı, dünyamız oluşmadan çok önce çıktıkları bir yolculuktan sonra gözümüze ulaşır. İnsana bakmayı, tıpkı yıldızlara bakmaya benzetiyorum. Nasıl bakacağınızı bilirseniz, vücudumuz bir zaman kapsülüne dönüşür; açıldığında, gezegenimizin geçmişindeki önemli anları, tarihöncesi okyanusların, nehirlerin ve ormanların uzak geçmişini anlatır. Tarihöncesi atmosferde meydana gelen değişiklikleri, hücrelerin işbirliği yaparak vücutları oluşturmalarını sağlayan moleküllerde görürüz. Tarihöncesi nehirlerin doğal ortamı, bizim kol ve bacaklarımızın temel anatomisini şekillendir-

miştir. Renkli görüşe, koku duyusuna şekil veren de, tarihöncesi ormanlardaki ve düzlüklerdeki hayattır. Bu liste böyle uzar gider; bizi bugün etkilediği gibi gelecekte de etkileyecek olan mirasımızın geçmişini yansıtır.

GEÇMİŞİMİZ BİZİ NEDEN HASTA EDİYOR?

Dizim şişmiş ve greyfurt büyüklüğüne ulaşmıştı; cerrahi bölümünden bir arkadaşım da dizimi büküp burarak, bağlardan birinin ya da eklem kıkırdağının hasar görüp görmediğini anlamaya çalışıyordu. Bu muayeneden ve MRI tetkikinden sonra dizimde bir menisküs yırtığı olduğu anlaşıldı; muhtemelen yirmi beş yıl boyunca arazide kayaların ve taş yığınlarının üzerinde sırt çantasıyla gezinmemin bir sonucu olsa gerek. Dizinizi incittiyseniz, mutlaka üç yapıdan biri veya birkaçı hasar görmüştür: medial menisküs, medial kollateral bağ ya da ön çapraz bağ. Bu üç yapı öylesine sıklıkla hasar görür ki, doktorlar kendi aralarında bunlardan "mutsuz üçlü" diye söz ederler. Bunlar, içimizdeki balığın açtığı tuzakların kesin kanıtıdır: Balıklar, iki ayakları üzerinde yürümez.

İnsan olmanın bir bedeli vardır. Yaptığımız olağanüstü şeyler -konuşmak, düşünmek, ellerimizi kullanmak ve iki ayağımız üzerinde yürümek- için bir bedel öderiz. Bu, içimizdeki hayat ağacının doğurduğu kaçınılmaz bir sonuçtur.

Bir Volkswagen Kaplumbağa'yı, saatte iki yüz elli km hızla gidecek şekilde donatıp modifiye ettiğinizi varsayalım. 1933'te Adolf Hitler, Dr. Ferdinand Porsche'yi, bir galon benzinle altmış beş km yol kat edecek ve ortalama bir Alman ailesinin güvenle ulaşımını sağlayacak ucuz bir otomobil geliştirmekle görevlendirmişti. Sonuçta Vosvos Kaplumbağa ortaya çıktı. Otomobilin bu geçmişi, yani Hitler'in planı, günümüzde bu Kaplumbağa'da yapabileceğimiz değişiklikleri sınırlı kılar; motorunu ancak bir yere kadar, yani önemli sorunlar çıkıncaya

ve otomobil kendi sınırına dayanıncaya kadar güçlendirebiliriz.

Pek çok bakımdan biz insanlar da, modifiye Kaplumbağa'ya karşılık gelen modifiye balıklar gibiyiz. Bir balığın vücut planını alıp onu bir memeli olacak şekilde modifiye edelim, sonra bu memeliyi, konuşuncaya, düşününceye, parmaklarını ustaca kullanıncaya ve iki ayağı üzerinde yürüyünceye kadar güçlendirelim – işte sorunlara davetiye çıkaracak bir formül. Bir balığı, ödün vermeden ancak bir dereceye kadar modifiye edebiliriz. Kusursuz tasarlanmış bir dünyada -geçmişi olmayan bir dünyada- hemoroitten kansere kadar bir sürü dertle uğraşmak zorunda kalmazdık.

Geçmişimizin; atardamar, sinir ve toplardamarların dolambaçlı yolları ve büklümlerinde olduğu kadar açıkça görüldüğü başka hiç bir yer yoktur. Sinirleri takip edecek olursanız, organların etrafında tuhaf ilmekler çizdiklerini görürsünüz; belli bir yönde ilerlerken birden kıvrılır, yön değiştirir ve beklenmedik bir yerde sonlanıverirler. İnsanın geçmişinin çok ilginç yan ürünleri olan bu yön değişimleri, göreceğimiz gibi, bize sık sık sorun oluştururlar – hıçkırık ve fıtık gibi. Üstelik geçmişimizin, dönüp dolaşıp başımıza dert açtığı tek yanı da bu değildir.

Kökleri çok derinlere uzanan geçmişimiz, plazalarda, kayak merkezlerinde ya da tenis kortlarında değil, dönemine bağlı olarak tarihöncesi okyanuslarda, sığ nehirlerde ve çayırlarda geçmişti. Sekseni devirecek kadar yaşayacak, günde on saat popomuzun üzerinde oturacak, top kek yiyecek ya da futbol oynayacak şekilde tasarlanmadık. Geçmişimiz ile bugünkü hayatımız arasındaki bu kopukluk, vücutlarımızın belli bazı şekillerde "bozulmuş olduğuna" işaret eder.

Çektiğimiz hastalıkların hemen hepsinde, bir şekilde geçmişimizin payı vardır. İnceleyeceğimiz örnekler, içimizdeki hayat ağacının farklı dallarının -tarihöncesi insandan amfibi ve balıklara, sonunda da mikroplara kadar- peşimizi nasıl bir türlü

bırakmadığını göstermektedir. Bu örneklerden her biri, bizim belli bir mantıkla yaratılmadığımızın, çok karmaşık bir geçmişin ürünü olduğumuzun kanıtıdır.

AVCI TOPLAYICI GEÇMİŞİMİZ: OBEZİTE, KALP HASTALIKLARI VE HEMOROİT

Balık geçmişimizde, tarihöncesi okyanuslarda ve nehirlerde hareket eden avcılardık. Amfibi, sürüngen ve memeli olduğumuz daha yakın geçmişimizde, sürüngenlerden böceklere kadar her şeyi avlayan aktif canlılardık. Primat olduğumuz çok daha yakın geçmişimizde ise, meyve ve yapraklarla beslenen ve ağaçlarda yaşayan aktif hayvanlardık. İlk insanlar, önceleri aktif birer avcı toplayıcı, sonunda da çiftçi oldular. Tüm bu sıraladıklarımda ortak bir tema fark ettiniz mi? Ortak tema, "aktif" sözcüğüdür.

Sorun şu ki, çoğumuz günümüzü aktif ya da hareketli olmak dışında her şekilde geçirebiliyoruz. Şu anda, arkama yaslanmış oturuyor ve bu kitabı yazıyorum, pek çoğunuz da -koşu bandında okuma ustalığı gösterenler dışında- aynı şekilde oturmuş okuyorsunuz. Balıktan ilk insana kadar olan geçmişimiz, hiçbir şekilde bizi bu yeni düzene hazırlamış değildir. Günümüz ile geçmişimiz arasındaki bu zıtlık, modern yaşamın getirdiği pek çok hastalıkta imzasını bırakmıştır.

İnsanlarda, listenin başında yer alan ölüm nedenleri hangileridir? Liste başı on nedenden dört tanesi -kalp hastalıkları, şeker, obezite ve inme- bir tür genetik, muhtemelen de geçmişten kaynaklı temele sahiptir. Sorunun büyük bölümü, vücudumuzun aktif bir hayvana uygun biçimde inşa edilmiş olmasına rağmen, bizim patates gibi hareketsiz bir hayat sürmemizden kaynaklanır.

1962'de, antropolog James Neel, bu düşünceyi beslenme şeklimiz açısından ele almıştı. "Tutumlu genotip" hipotezi ola-

rak bilinen çalışmasıyla Neel, insan atalarımızın, bir bolluk-kıtlık hayatına adapte olduğunu iddia ediyordu. Avcı ve toplayıcı olan ilk insanların, avlarının bol olduğu, rahatça avlandıkları bolluk dönemleri olmuştu. Bu bolluk dönemleri, atalarımızın çok az yiyecekle idare ettiği kıtlık dönemleriyle kesintiye uğramıştı.

Neel, bu bolluk ve kıtlık döngüsünün, genlerimizde ve hastalıklarımızda işaretlerini bıraktığı varsayımını öne sürmüştü. Neel'ın iddiasına göre atalarımızın vücudu, bolluk dönemlerindeki kaynaklarını, kıtlık dönemlerinde kullanmak üzere saklıyordu. Bu koşullarda yağ depolamak çok yararlıydı. Yediğimiz besinlerden aldığımız enerji öyle bir biçimde bölüştürülür ki, bir bölümü sürdürmekte olduğumuz aktivitelerimizde kullanır, bir kısmım da daha sonra kullanılmak üzere, sözgelimi yağ olarak depolayarak saklarız. Enerjinin bu şekilde bölüştürülmesi bolluk-kıtlık dünyasında gayet iyi işlerken, bol yağlı yiyeceklerin 7 gün 24 saat tüketildiği bir ortamda sonuçları felakettir. Obezite ve obezitenin getirdiği hastalıklar (yaşa bağlı şeker, yüksek tansiyon ve kalp hastalıkları) olağan hale gelmiştir. Yağlı yiyeceklere tutkumuzu da bu tutumlu genotip hipoteziyle açıklayabiliriz. Çünkü yağlı yiyecekler, içerdikleri bol enerjiden ötürü, uzak geçmişimizde ayrıcalıklı bir üstünlük sağlamış olsa gerek.

Hareketsiz yaşam tarzımız bizi başka bakımlardan da olumsuz etkiler, çünkü dolaşım sistemimiz başlangıçta çok daha hareketli hayvanlarda ortaya çıkmıştır.

Kalbimiz kanı pompalar, kan atardamarlar yoluyla organlara taşınır ve toplardamarlarla tekrar kalbe döner. Atardamarlar bu pompaya daha yakın olduğundan, içlerindeki kan basıncı, toplardamarlarda olduğundan daha yüksektir. Bu durum, en başta, kanın, ayaklarımızdan kalbimize dönmesi açısından bir sorun oluşturabilir. Ayaklardaki kanın "yukarı", yani bacaklarımızdaki

toplardamarlardan karnımıza kadar çıkması gerekir. Eğer kan basıncı düşükse, yukarı kadar çıkamayabilir. Sonuçta, bu kanı yukarı hareket ettirecek iki özellik kazanmış durumdayız. Birincisi, kanın yukarı taşınmasına izin veren ve aşağı hareket etmesini önleyen minik kapakçıklardır. Öteki özellik de, bacak kaslarımızdır. Yürüdüğümüz zaman bacak kaslarımız kasılır, bu kasılma, kanın bacaklardaki toplardamarlardan yukarı pompalanmasına yarar. Tek yönlü kapakçıklar ve bacak kası pompaları sayesinde kan, ayaklarımızdan karnımıza kadar çıkar.

Bu sistem, yürümek, koşmak ve atlamak için bacaklarını kullanan hareketli bir hayvanda kusursuz bir şekilde işlerken; hareketsiz yaşayan bir canlıda iyi işlemez. Eğer bacaklar fazla kullanılmazsa, kaslar da kam toplardamarlardan yukarı pompalamayacaktır. Toplardamarlarda kan göllenecek olursa sorunlar ortaya çıkar, çünkü bu göllenme kapakçıkların bozulmasına neden olacaktır. Varisli bacaklarda olan, tam da budur. Kapakçıklar bozulunca kan toplardamarlarda göllenir; toplardamarlar giderek irileşir, şişer ve bacaklarımızda büklümlü yollar izler.

Kuşkusuz, toplardamarlardaki düzenlenme, kalça bölgesinde de sorunlara neden olur. Tır şoförleri ve uzun saatler boyunca oturanlar, hareketsiz yaşam tarzımızın başka bir bedeli olan hemoroide özellikle yatkındır. Bu süre boyunca kan, rektum civarındaki toplardamarlar ve boşluklarda göllenir. Kan göllendikçe, hemoroit gelişir; bu sıkıntı, vücudumuzun uzun süre oturacak, hele yumuşak yüzeylerde oturacak yapıda olmadığının bir hatırlatıcısıdır.

PRİMAT GEÇMİŞİMİZ: KONUŞMANIN BEDELİ

Konuşmanın büyük bir bedeli vardır: boğulma ve uyku apnesi, konuşabilmek uğruna yaşamak zorunda kaldığımız sorunların en başında gelir.

Konuşurken dil, gırtlak ve boğazımızın arkasındaki hareketleri kontrol ederek ses çıkarırız. Bu hareketlerin hepsi, bir memeli veya sürüngenin temel planının biraz modifiye edilmesiyle sağlanır. Üçüncü Bölüm'de gördüğümüz gibi insan gırtlağı, çoğunlukla, köpekbalığı veya balıkların solungaç çubuklarına karşılık gelen solungaç yayı kıkırdaklarından yapılmıştır. Son azı dişinden ses tellerinin hemen üzerine kadar uzanan boğaz bölgesi, açılıp kapanabilen esnek çeperlere sahiptir. Konuşurken, dilimizi hareket ettirerek, ağzımıza değişik şekiller vererek ve bu çeperin esnekliğini kontrol eden pek çok kası kasarak ses çıkarırız.

Uyku apnesi, konuşabilmek uğruna verilmiş, tehlikeli olabilecek bir ödünün sonucudur. Uyurken boğazımızdaki kaslar gevşer. Çoğu kişide bu durum bir sorun yaratmaz, ancak bazen solunum yolu uzun zaman aralıklarıyla kapanabilir ve bu durum çok tehlikeli olabilir; özellikle de kalp hastalığı olanlarda. Boğazımızdaki bu esnek yapı konuşma açısından çok yararlı olsa da, bizi, havayolunun tıkanmasından kaynaklanan bir çeşit uyku apnesine de yatkın hale getirir.

Bu tasarım uğruna verdiğimiz bir diğer ödün de boğulma riskiyle sonuçlanır. Ağzımız, hem nefes aldığımız soluk borusuna, hem de yemek borusuna açılır; bu yüzden yutmak, nefes almak ve konuşmak için aynı yolu kullanırız. Bu üç işlevin birbirine ters düştüğü de olur; mesela bir lokma yiyecek nefes borusuna kaçtığında.

BALIK VE İRİBAŞ GEÇMİŞİMİZ: HIÇKIRIK

Hıçkırık denen baş belasının kökleri, balıklarla ve kurbağa yavrularıyla ortak geçmişimize dayanır.

Hıçkırık tutması konusunda bir teselli olur mu bilmem ama diğer pek çok memeli de bizim gibi bu illeti çeker. Örneğin kedilerde, beyin sapındaki küçük bir doku parçasına elektrik

uyarımı verilmesiyle hıçkırık başlatılabilir. Beyin sapındaki bu kısmın, hıçkırık tuttuğunda ortaya çıkan karmaşık refleksi kontrol eden merkez olduğu sanılmaktadır.

Hıçkırık, göğüs duvarı, diyafram, boyun ve boğazdaki pek çok kasın ani kasılmasıyla herkeste aynı şekilde ortaya çıkan bir reflekstir. Soluk alıp vermeyi kontrol eden ana sinirlerden bir veya ikisinde meydana gelen bir spazm bu kasların kasılmasına, bu da çok ani bir soluk alma hareketine neden olur. Sonra, yaklaşık 35 milisaniye sonra, boğazımızın arka kısmındaki epiglotis havayolunun üstüne kapanır. Birden soluk alınmasının ardından, soluk borusu ağzının kısa süreliğine kapanmasıyla "hık" sesi duyulur.

Sorun şu ki, bu durumu tek bir hıçkırıkla pek atlatamayız. İlk beş on hıçkırıkta hıçkırığınız kesilecek olursa, hıçkırık nöbetini atlatma şansınız yüksek. Bu fırsatı kaçırırsanız nöbet daha bir 60 hıçkırık kadar devam eder. Karbondioksit solumak (kesekâğıdına nefes alıp vererek) ve göğüs duvarını germek (derin bir nefes alıp tutarak), bazılarımızda hıçkırığın erken kesilmesine yarayabilir; ama herkeste değil. Bazı patolojik hıçkırık nöbetlerinin son derece uzun sürdüğü olur. Bugüne kadar bir kişide kaydedilen kesintisiz en uzun hıçkırık nöbeti, 1922'den 1990'a kadar sürmüştür.

Hıçkırığa yatkınlığımız, geçmişimizin başka bir sonucudur. Burada iki noktanın üzerinde duralım. Birincisi, hıçkırığı başlatan sinirlerde spazma yol açan etkenin ne olduğu, ikincisi de, bu özel "hık" sesini, yani ani soluk alma hareketi ve epiglottis'in kapanmasını kontrol eden şeyin ne olduğudur. Sinir spazmı, balık geçmişimizin; hıçkırık da, iribaş gibi hayvanlarla ortak geçmişimizin bir sonucudur.

Önce, balık geçmişimiz üzerinde duralım. Beynimiz, bizim bilinçli çabamıza gerek duymadan soluk alıp verişimizi kontrol edebilir. Bu iş, büyük oranda beyin sapında, yani beyin ile

omurilik arasındaki bölgede gerçekleşir. Beyin sapı, soluk alıp vermede kullandığımız temel kaslara sinir uyarıları gönderir. Soluk alıp verme işlemi, belli bir düzen izler. Göğüs, diyafram ve boğazdaki kaslar, belirli bir sırayla kasılır. Bu nedenle, beyin sapının bu bölgesine "merkezi örüntü üreteci" (central pattern generator) adı verilmiştir. Bu bölge, sinir ve dolayısıyla da kas etkinleşmelerinin ritmik bir örüntü halinde ortaya çıkmasını sağlar. Beynimizde ve omuriliğimizde, yutkunma ve yürüme gibi başka ritmik davranışları kontrol eden böyle pek çok merkez vardır.

Asıl sorun, beyin sapının, başlangıçta balıklarda soluk alıp vermeyi kontrol etmiş, memelilerde de işlev görecek şekilde sonradan modifiye edilmiş olmasıdır. Köpekbalıklarında ve kemikli balıkların hepsinde, gırtlaklarındaki ve solungaçların etrafındaki ritmik kasılmayı kontrol eden bir beyin sapı bölgesi vardır. Bu kısımları kontrol eden sinirlerin hepsi, beyin sapının belli bir kısmından çıkar. Hatta bu düzenlenmeyi, fosil kaydındaki bazı ilkel balıklarda da görebiliriz. 400 milyon yıldan yaşlı kayalardan çıkarılan tarihöncesi *Ostrakoderm* fosillerinde, beyin ve kafa sinirlerinin izleri saklıdır. Tıpkı günümüzdeki balıklarda olduğu gibi, soluk alıp vermeyi kontrol eden bu sinirler, beyin sapından çıkar.

Balıklarda gayet iyi iş gören bu düzenlenme, memelilerin işine gelmez. Balıklarda, soluk alıp vermeyi kontrol eden bu sinirlerin, beyin sapının çok uzağına kadar ilerlemeleri gerekmez. Beyinlerinin bu kısmı, genellikle solungaçlarla ve boğaz bölgesiyle çevrilidir. Biz memelilerdeyse bir sorun vardır. Soluk alıp verişimiz, göğüs duvarındaki kaslar ve göğüs boşluğuyla karın boşluğunu birbirinden ayıran bir kas tabakası olan diyaframa tarafından kontrol edilir. Diyaframın kasılması soluk almayı kontrol eder. Diyaframı kontrol eden sinirler, tıpkı balıkta olduğu gibi boynumuza yakın olan beyin sapından çıkar. Vagus

siniri ve frenik sinir olarak adlandırılan bu sinirler, kafatası tabanından çıkar ve göğüs boşluğuna inerek buradan diyaframa ve göğsün solunumu kontrol eden kısımlarına ulaşır. Bu dolambaçlı yol bazı sorunlara yol açar; çünkü akılcı bir tasarım, bu sinirlerin boyundan değil, diyaframın yakınından çıkmasını gerektirirdi. Çünkü ne yazık ki, bu sinirlerden bir tanesine müdahale eden herhangi bir etken, o sinirin işlev görmesini tümüyle engeller ya da spazma yol açar.

Sinirlerimizin izlediği bu tuhaf güzergâh balıksı geçmişimizin ürünüyse, hıçkırık da muhtemelen, amfibi geçmişimizin ürünüdür. Hıçkırık, ani soluk almanın ardından glottis'in kapanması aşamalarını içermesi bakımından, solunum davranışlarımızın hiçbirine benzemez ve beyin sapındaki merkezi örüntü üretecinin kontrolündeymiş gibi görünmektedir: Bu bölge elektrik uyarısıyla harekete geçtiğinde hıçkırık başlar. Hıçkırığın, bu üretecin kontrolünde olması anlamlı görünüyor; çünkü hıçkırık da, tıpkı başka ritmik davranışlarda olduğu gibi kendine özgü bir olay sırası izler.

Hıçkırığın sorumlusu olan bu örüntü üretecinin, amfibidekiyle neredeyse tamamen aynı olduğu anlaşılmıştır. Üstelik söz konusu olan sadece herhangi bir amfibi değil, solumak için hem akciğerlerini, hem de solungaçlarını kullanan iribaşlardır. İribaşlar da solungaçlarıyla soluk alıp verirken bu üreteci kullanır. Bu durumda, ağızlarına, boğazlarına ve solungaçlarına su pompalamaları, ancak suyun akciğerlerine kaçmaması gerekir. Suyun akciğere kaçmasını önlemek için epiglottis'i kaparlar. Bunun için de, iribaşların beyin sapında, soluk alındıktan hemen sonra epiglottis'in hemen kapanmasını sağlayacak bir merkezi örüntü üreteci vardır. Sonuçta bu canlılar, uzun süreli bir hıçkırık sayesinde solungaçlarıyla soluyabilmektedirler.

Bizim hıçkırığımız ile iribaşların solungaçlı solunumu arasında öyle çok benzerlik vardır ki, çoğu kişi bu iki olayın tümüy

le aynı şey olduğunu iddia etmiştir. İribaşlardaki solungaçlı solunum, tıpkı bizdeki hıçkırıkta olduğu gibi karbondioksitle engellenebilir. Yine solungaçlı solunumu, göğüs duvarını gererek de durdurabiliriz; tıpkı derin soluk alıp soluğumuzu tuttuğumuzda hıçkırığımızı durdurabilmemiz gibi, göğüs duvarını esneterek de önleyebiliriz. Belki kurbağa yavrularını baş aşağı çevirip zorla bir bardak su içirerek solungaçlı solunumlarını engelleyebiliriz.

KÖPEKBALIĞI GEÇMİŞİMİZ: FITIK

Fıtığa yatkınlığımız, en azından kasığa yakın fıtığa yatkınlığımız, bir balık vücudunu alıp onu yavaş yavaş bir memeli vücuduna dönüştürmenin sonucudur.

Balıkların cinsiyet bezleri, göğüslerine doğru ve kalplerinin yakınına kadar uzanır. Memelilerde durum böyle değildir ve sorun da bu noktada ortaya çıkar. Gerçi yumurtalıklarımızın göğsümüzün içinde ve kalbimizin yakınında olmaması çok iyi bir şeydir (gerçi öyle olsaydı Bağlılık Yemini etmek farklı bir deneyim olabilirdi). Eğer cinsiyet bezlerimiz göğüs boşluğumuzda olsaydı, çocuk sahibi olamazdık.

Bir köpekbalığını ağzından kuyruğuna kadar yaralım. İlk karşılaşacağımız şey karaciğer olur; hem de epeyce yer tutan bir karaciğer. Köpekbalığının kocaman bir karaciğeri vardır. Bazı zoologlar, köpekbalığının batmadan suda durabilmesinde böyle iri bir karaciğere sahip olmasının payı olduğuna inanır. Karaciğeri kaldıracak olursanız, "göğüs" kısmında, kalbin yakınına kadar uzanan cinsiyet bezlerini görürsünüz. Bu düzen, balıkların çoğunda böyledir: Cinsiyet bezleri, vücudun önüne doğru yer alır.

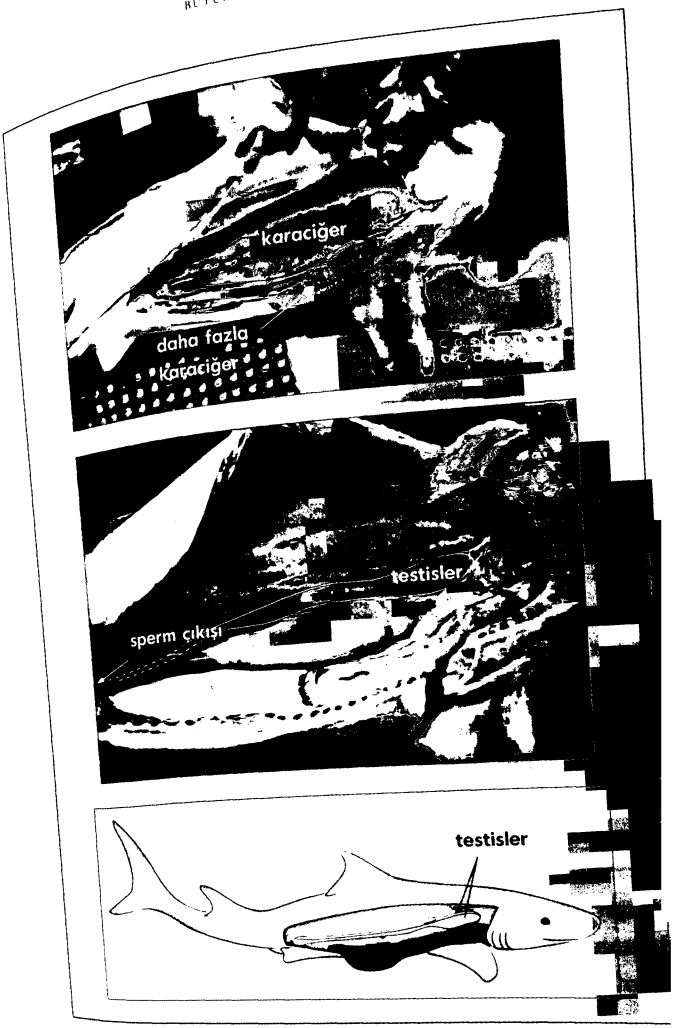
Bizde ve memelilerin çoğunda, böyle bir düzen bir felaket olurdu. Erkekler ömürleri boyunca sürekli sperm üretir. Spermler, üç aylık ömürleri boyunca düzgün gelişebilmeleri

için mutlaka doğru sıcaklığa ihtiyaç duyan mızmız minik hücrelerdir. Çok sıcak olursa sperm kusurlu oluşur; çok soğuk olursa ölür. Memelilerin erkeklerinde, sperm-yapan organın sıcaklığını kontrol eden minik bir organ bulunur: testis torbası. Hepimizin bildiği gibi, erkeklerde testisler bir torbanın içinde durur. Bu testis torbasının derisinin içinde de, sıcaklık değiştikçe uzayıp kısalan kaslar vardır. Bu kaslar sperm kordonunda da bulunur. Ve işte bildiğimiz soğuk duş etkisi: Testis torbası, soğukta küçülüp vücudun içine sokulur. Sıcaklık yükselip düştükçe torba da inip çıkar. Bütün bunlar, sağlıklı sperm üretimini en iyi düzeye getirmek içindir.

Asılı duran testis torbası aynı zamanda birçok memelide cinsel bir uyaran görevi de görür. Cinsiyet bezlerinin vücut duvarının dışında olmasının fizyolojik avantajları ile çiftleşme güvencesi sağlayan ender yararları dışında, uzak memeli atalarımız testis torbasına sahip olmakla sayısız avantaj yakalamışlardır.

Bu düzende sorun yaratan, spermleri penise taşıyan kanalların çok dolambaçlı oluşudur. Spermler testis torbası içindeki testislerden, sperm kordonu aracılığıyla ayrılır. Testis torbasından çıkan kordon, bele doğru ilerler, pelvisin üzerinde kıvrılarak yön değiştirir, sonra pelvisten geçerek penise, oradan da dışarı açılır. Bu karmaşık yol boyunca spermlere, bu kanala bağlı pek çok bezden gelen salgılar da eklenir.

Bu tuhaf güzergâhın gerekçesi, gelişimsel ve evrimsel geçmişimizde saklıdır. Bizim cinsiyet bezlerimizin gelişimi, köpekbalıklarındakiyle aynı yerde başlar: karaciğerimizin yakınında. Büyüyüp geliştikçe cinsiyet bezleri de aşağı kayar. Dişilerde yumurtalıklar, orta kesimden aşağı kayarak rahmin ve yumurta kanallarının (fallop tüpleri) yakınına iner. Böylece yumurtanın, döllenmek için uzun bir yol kat etmesine gerek kalmaz. Erkeklerde ise testisler daha da aşağı kayar.



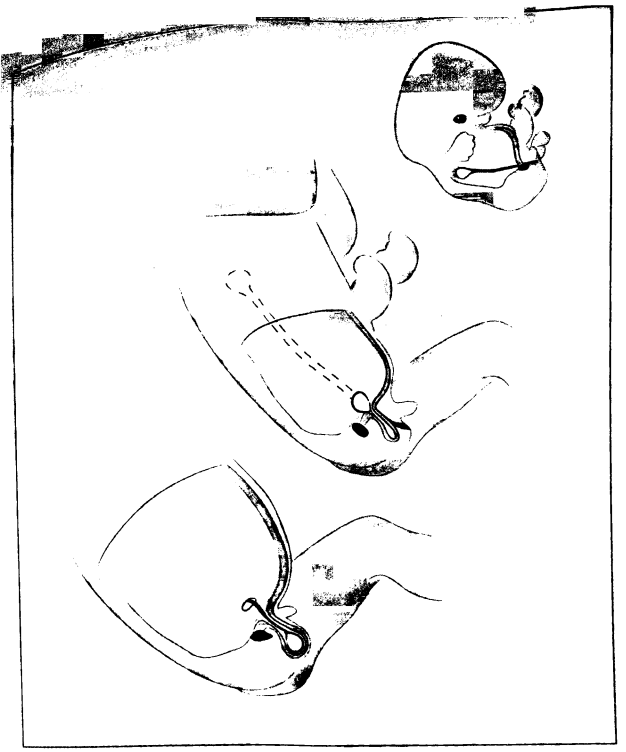
Bir köpekbalığını açıp içine bakacak olursak kocaman bir karaciğerle karşılaşırız (üstte). Karaciğeri biraz kenara ittiğimizde cinsiyet bezlerini görürüz; bunlar diğer ilkel canlılarda olduğu gibi kalbe görece yakın dururlar. Fotoğraflar, Dr. Steven Campana'nın (Kanada Köpekbalığı Araştırma Laboratuvarı) izniyle yayımlanmıştır.

Başta erkeklerde olmak üzere, cinsiyet bezlerinin aşağı kayması, karın duvarında zayıf bir nokta yaratır. Testislerin ve sperm kordonunun, testis torbasını oluşturmak üzere aşağı kaydığında ne olduğunu gözünüzde canlandırabilmek için, yumruğunuzu bir kauçuk tabakanın içine doğru ittiğinizi hayal edin. Bu örnekte, yumruğunuz testislerin, kolunuz da sperm kordonunun yerine geçer. Sorun şu ki, kolunuzun bulunduğu yerde zayıf bir bölge oluşturdunuz. Bu kauçuk tabakanın bir zamanlar bir çeperden ibaret olduğu bölgede, şimdi kolunuz ile kauçuk tabaka arasında bir şeylerin içine kaçabileceği bir boşluk yaratmış durumdasınız. İşte insanlarda kasık fıtığının pek çok türünde olan, esasen budur. Bu kasık fıtıklarının bir kısmı doğuştandır; testisler aşağı doğru indikçe bağırsağın bir kısmı da testislerle birlikte hareket eder. Kasık fıtığının başka bir türü de sonradan oluşanıdır. Karın kaslarımızı kastığımız zaman, bağırsaklarımız da karın duvarına doğru itilir. Karın duvarında bir zayıflık varsa, bağırsaklar karın boşluğundan kaçıp sperm kordonunun yanında sıkışıp kalabilir.

Dişiler, erkeklerden çok daha dayanıklıdır, özellikle vücutlarının bu kısmı bakımından. Dişilerin karmında böyle koca bir boru dolaşmadığı için, karın duvarları erkeklerinkinden çok daha güçlüdür. Gebelik ve doğum sırasında kadınların karın duvarına yüklenen muazzam basınç düşünülecek olursa, bu iyi bir şeydir. Karın duvarından geçen bir boruyla bu basınca dayanmak imkânsız olurdu. Erkeklerin fıtığa yatkınlığı, balık geçmişimizle memeli şimdiki zamanımız arasında yapılan bir takasın sonucudur.

MİKROORGANİZMA GEÇMİŞİMİZ: MİTOKONDRİ HASTALIKLARI

Vücudumuzun her bir hücresinde var olan mitokondriler inanılmaz şeyler yapar. En bariz görevleri oksijeni ve şekeri, hücre



Testislerin aşağı inmesi. Testisler büyürken, vücudun yukarısındaki 'ilkel' konumlarından aşağı kayar ve karın duvarının dış cebi sayılabilecek testis torbasına kadar inerler. Tüm bu süreç insanlarda, erkeklerin karın duvarının, kasık bölgesinde zayıf olmasına yol açar.

lerimizin kullanabileceği bir tür enerjiye dönüştürmektir. Diğer işlevleri arasında, karaciğerdeki toksinleri metabolize etmek ve hücrelerin işlevlerinin farklı süreçlerini düzenlemek yer alır. Mitokondrilerin varlığını, ancak bir şeyler ters gittiği zaman fark ederiz. Ne yazık ki mitokondrilerdeki işlev bozukluğunun yol açtığı hastalıklar sayılamayacak kadar çok ve karmaşıktır.

Eğer oksijenin tüketildiği kimyasal reaksiyonlarda bir sorun çıkarsa, enerji üretimi zarar görebilir. Bu işlev bozukluğu, sözgelimi göz dokusu gibi sadece belirli dokularla sınırlı olabileceği gibi vücuttaki tüm sistemleri de etkileyebilir. İşlev bozukluğunun yerine ve şiddetine göre, halsizlikten ölüme kadar değişen sonuçlar ortaya çıkabilir.

Yaşamak için kullandığımız bu süreçlerin çoğu mitokondrilerimizin geçmişini yansıtır. Şekeri ve oksijeni, kullanılabilir enerjiye ve karbondioksite dönüştüren zincirleme kimyasal reaksiyonlar, bundan milyarlarca yıl önce ortaya çıkmıştır. Bugün halen çok çeşitli mikroplarda bu reaksiyonların versiyonlarını görüyoruz. Mitokondri, içerisinde bu bakteri geçmişini taşır: genetik yapısıyla ve hücresel mikro yapısıyla bakterilere benzeyen mitokondrilerin bir milyar yıl kadar önce başlangıçta serbest gezinen mikroplardan ortaya çıktığı yaygın olarak kabul görmektedir. Aslında mitokondrilerimizin enerji üreten mekanizması tümüyle, tarihöncesi bakteri türlerinden birinde ortaya çıkmıştır.

Mitokondri hastalıklarını incelerken bu bakteri geçmişinden yararlanılabilir – aslında, bu hastalıklar için en iyi deney modellerinden bazıları bakterilerin *kendisidir*. Bu, insan hücreleriyle yapmamızın mümkün olmadığı her tür deneyi bakterilerle yapabilmemiz açısından çok önemlidir. Bu konuda en çok ses getiren çalışmalardan birini İtalyan ve Alman bilimcilerin oluşturduğu bir ekip gerçekleştirmişti. İncelediklerı hastalık, doğuştan bu hastalığı taşıyan bebekleri ayrım gözetmeksizin öldüren bir hastalıktı. Kardiyoensefalomiyopati adı verilen bu hastalığa mitokondrinin normal metabolizma işlevini kesintiye uğratan genetik bir değişiklik neden olur. Avrupalı ekip, kardiyoensefalomiyopatili bir hastayı incelerken DNA'da şüpheli bir değişime işaret eden bir bölge tespit etti ve canlılık tarihi hakkında en azından bir şeyler bilen bir ekip olarak, *Paracoccus*

denitrificans adı verilen mikroba yöneldi. Bu mikroorganizma, genlerinin ve kimyasal süreçlerinin mitokondrilere çok benzemesi nedeniyle, genellikle "serbest yaşamlı mitokondri" olarak nitelendirilir. Avrupalı ekibin yaptığı, bu benzerliğin derecesini gözler önüne sermek oldu. Araştırmacılar, insan hastalarında gördükleri değişikliklerin aynısını bakteri genlerinde oluşturdular. Buldukları şey, kendi geçmişimizi anladığımız zaman çok anlam kazanıyor. İnsanlardaki bir mitokondri hastalığını, bir bakteride kısmen oluşturabilmiş, metabolizmada gözlenen değişikliklerin iki türde de neredeyse tümüyle aynı olduğunu ortaya çıkarmışlardı. Bu, kendi geçmişimizin milyarlarca yıllık kısmını kendi yararımıza kullanmak anlamına gelir.

Mikroplardan elde edilen örnekler benzersiz değildir. Tıp ve fizyoloji alanında son on üç yılda verilen Nobel Ödüllerine bakacak olursak, bu kitaba *İçimizdeki Sinek, İçimizdeki Solucan* ya da *İçimizdeki Maya* adını vermem gerekirdi. Sinekler üzerine yapılan öncü nitelikteki bir araştırma, insan ve diğer hayvanlarda "vücut yapan" bir dizi geni ortaya çıkarmasına bağlı olarak 1995 Nobel Tıp Ödülü'ne layık bulunmuştu. 2002 ve 2006 yıllarında tıp alanındaki Nobel Ödülleri, önemsiz görünen minik bir solucanı (*C. elegans*) inceleyerek insan genetiği ve sağlığı alanında önemli gelişmelere imza atan bilimcilere verildi. Aynı şekilde 2001'de, mayalarla (ekmek mayası dahil) ve denizkestaneleriyle yapılan ayrıntılı analizler, tüm hücrelerin bazı temel biyolojik özellikleriyle ilgili anlayışımızı geliştirmesinden ötürü, Nobel Tıp Ödülü'ne layık bulundu. Bunlar, pek bilinmeyen ve önemsiz canlılar üzerine yapılan gizemli ve anlaşılmaz keşifler değildir. Vücudumuzun nasıl çalıştığı, çektiğimiz hastalıkların nedenlerini anlayabilmemiz, daha sağlıklı ve uzun bir ömür sürebilmemize yarayacak araçlar geliştirebilmemiz için gereken bilgileri bize sağlayan, mayalar, sinekler, solucanlar ve hatta balıklarla ilgili bu keşiflerdir.

SONSÖZ

İki küçük çocuk babası olarak, hayvanat bahçelerinde, müzelerde ve akvaryumlarda bolca vakit geçiriyorum. Ziyaretçi konumunda olmak benim için tuhaf bir deneyim; çünkü yirmi otuz yıldır bu tür yerlerle içli dışlı yaşıyorum; ama müze koleksiyonlarında çalışan, hatta zaman zaman sergilerin hazırlanmasına yardımcı olan biri olarak. Bu aile gezintilerinde, mesleğimin, beni dünyamızın ve vücutlarımızın güzelliğine ve muhteşem karmaşıklığına aslında ne kadar duyarsızlaştırdığını fark ettim. Milyonlarca yıllık geçmişimiz ve tarihöncesinin tuhaf dünyaları üzerine dersler veriyorum ve bu yüzden de ilgim genellikle mesafeli ve analitik oldu. Şimdilerdeyse bilimi çocuklarımla birlikte keşfediyorum – bilim aşkına ilk kapıldığım türden yerlerde.

Geçenlerde, Chicago'daki Bilim ve Sanayi Müzesi'nde oğlumla beraberken, benim için çok özel bir an yaşadım. Oğlumun trenlere duyduğu tutkudan ve müzenin tam orta yerinde devasa bir demiryolu maketi olmasından ötürü son üç yıldır buraya sık sık gidiyorduk. Chicago'dan Seattle'a uzanan zorlu yolculuğu sergileyen lokomotif maketlerinin bulunduğu yerde geçirdiğim saatlerin hesabı yoktur. Tren tutkunları için adeta tapınak niteliğindeki bu bölüme yaptığımız haftalık birkaç ziyaretten sonra, Nathaniel'le birlikte -tren izleme seanslarımız ya da tam ölçekli traktörlere ve uçaklara zaman zaman yaptığımız saldırı-ziyaretlerine bağlı olarak- müzenin daha önce uğramadığımız köşelerinde gezindik. Müzenin arka tarafında, Henry Crown Uzay Merkezi'nde, tavana asılı gezegen maketle-

ri, ayrıca 1960'ların ve 1970'lerin uzay programından kalma eşyalarla birlikte sergilenen uzay kıyafetleri vardı. Müzenin bu arka bölümünde, ön taraftaki önemli sergilerle boy ölçüşemeyecek faso fiso şeylerin olacağını düşünüyordum. Sergilenenlerden biri, etrafında gezinebileceğiniz ve içerisine bakabileceğiniz, eski ve yıpranmış bir uzay kapsülüydü. Önemli bir şey olamayacak kadar ufaktı ve gelişigüzel donatılmış görünüyordu. Tuhaf derecede resmi bir levhası vardı ve ancak birkaç kez okuduktan sonra kafama dank etti: Bu kapsül Apollo 8'in orijinal Komuta Modülü'ydü; insanoğlunun Ay'a ilk seyahatini gerçekleştirip geri döndüğü, James Lovell, Frank Borman ve William Anders'i taşıyan gerçek uzay aracının ta kendisi. İlkokul üçüncü sınıftayken, Noel tatilimde gönderilişini izlediğim uzay aracı... Ve 38 yıl sonra burada oğlumla beraber, bu 'gerçek' araca bakıyordum. Hırpalandığı kesindi. Ay'a seyahati ve ardından yeryüzüne dönüşünün üzerinde açtığı izler gözle görülebiliyordu. Araç, Nathaniel'in hiç mi hiç ilgisini çekmemişti, bu yüzden onu yakaladım ve bunun ne olduğunu anlatmaya çalıştım. Ama konuşamadım; heyecan ve duygudan sesim öyle zor çıkıyordu ki, doğru dürüst tek kelime edemedim. Birkaç dakika sonra, tekrar sakinleşince oğluma insanoğlunun Ay'a yolculuk öyküsünü anlattım.

Ama neden nutkumun tutulup, neden öylesine duygulandığımın hikâyesini ona anlatabilmem için büyümesi gerek. Asıl hikâye, Apollo 8'in, kendi evrenimizi anlamak ve bilinebilir kılmak için bilimin gücünü temsil eden bir sembol oluşuydu. İnsanlar, bu uzay programının bilim ve siyaset boyutu üzerine boş tartışmalara girebilir, ama asıl gerçek bugün de, tıpkı 1968'de olduğu kadar açıktır: Apollo 8, bilimin büyük başarıya ulaşabilmesi için gereken iyimserliğin bir ürünüydü. Bilinmeyenin, şüphe, korku ya da boş inançlara kapılma kaynağı değil, soru sormaktan ve cevaplarını aramaktan vazgeçme

mek için bir motivasyon olması gerektiğinin örneğidir.

Uzay programı Ay'a bakışımızı nasıl değiştirdiyse, paleontoloji ve genetik bilimleri de kendimize bakışımızı değiştirmekte. Daha çok şey öğrendikçe, önceden uzak ve erişilmez görünen şeyleri anlamaya ve kavramaya başlarız. Bilimin, denizanası, solucan ve fare kadar birbirinden farklı canlıların iç mekanizmalarını ortaya çıkardığı bir keşif çağında yaşıyoruz. Artık bilimin en büyük gizemlerinden birini aydınlatacak ışığı görüyoruz: insanları diğer canlılardan ayıran genetik farklılıkları. Bu yeni ve güçlü bakış açısını, paleontolojideki en büyük keşiflerden bazılarının (yeni fosiller ve onları incelemede kullanılan yeni araçlar) son yirmi yapıldığı gerçeğiyle birleştirdiğimizde ortaya çıkan tablo şudur: Geçmişimizle ilgili gerçekleri, artık giderek daha büyük bir kesinlikle görmekteyiz. Milyarlarca yıllık değişime baktığımızda, canlılar tarihinde yeni ya da görünürde benzersiz olan her şey, sadece geri dönüştürülmüş, farklı biçimde bir araya getirilmiş, farklı bir amaç için kullanılmaya uyarlanmış ya da yeni kullanımlara göre değiştirilmiş eski şeylerin ta kendisidir. Bu, duyu organlarımızdan kafalarımıza kadar her bir parçamızın, aslında tüm vücut planımızın öyküsüdür.

Milyarlarca yıllık tarihin, bizim bugünkü hayatımız açısından anlamı nedir? Organlarımızın iç işleyişleri ve doğadaki yerimizle ilgili olarak yüz yüze olduğumuz temel soruların cevaplarını, vücudumuz ve zihnimizin, başka canlılarla ortak parçalarımızdan nasıl ortaya çıktığını anladığımızda bulacağız. İnsanlığımızın ve çektiğimiz birçok sıkıntının temellerini, gezegenimizde gelmiş geçmiş belki de en iddiasız canlıların içinde yerleşmiş bulmak kadar güzel ve derin, başka çok az şey olsa gerek.

BİRİNCİ BÖLÜM - İÇİMİZDEKİ BALIĞI BULMAK

Kitaptaki konuları daha detaylı araştırmak isteyenler için ilk elden ve ikinci elden kaynaklara yer verdim. Biyoloji ve jeoloji alanındaki belli başlı sorunların, paleontolojik keşif kazılarıyla anlatımı için, bkz. Mike Novacek'in *Dinosaurs of the Flaming Cliffs* (New York: Anchor, 1997), Andrew Knoll'un *Life on a Young Planet* (Princeton: Princeton University Press, 2002) ve John Long'un *Swimming in Stone* (Melbourne: Freemantle Press, 2006) adlı eserleri. Hepsinde, bilimsel analizlerin yanısıra alandaki keşiflerin açıklamalarına da yer verilmiştir.

Söz ettiğim karşılaştırma yöntemleri, hayvanat bahçesi gezintisinde kullandığım yöntemler de dahil, kladistik yöntemleridir. Henry Gee'nin *In Search of Deep Time* (New York: Free Press, 1999) adlı eseri, konuyla ilgili harika bir özettir. Aslında, kladistik karşılaştırmaların başlangıç noktası olan üç taksonlu açıklamanın bir versiyonunu sunuyorum. Editörlüğünü H.-P. Schultze ve L. Trueb'in üstlendiği *Origin of the Higher Groups of Tetrapods* (Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1991) adlı kitapta yer alan, Richard Forey ve ark.'nın "The Lungfish, the Coelacanth and the Cow Revisited" başlıklı yazısında bu alandaki temel kaynaklar iyi bir şekilde ele alınmıştır.

Fosil kayıtları ile bizim "hayvanat bahçesi gezintimiz" arasındaki bağlantıyı ele alan birkaç makale vardır. Bunlardan bazıları: Benton, M. J. ve Hitchin, R. (1997) Congruence between phylogenetic and stratigraphic data in the history of life, *Proceedings of the Royal Society of London*, B 264:885-890; Norell, M. A. ve Novacek, M. J. (1992) Congruence between superpositional and phylogenetic patterns: Comparing cladistic patterns with fossil records, *Cladistics* 8:319-337; Wagner, P. J. ve Sidor, C. (2000) Age rank/clade rank metrics-sampling, taxonomy, and the meaning of "stratigraphic consistency," *Systematic Biology* 49:463-479.

Kaya sütunu katmanları ve içindeki fosiller, Richard Fortey'in *Life: A Natural History of the First Four Billion Years of Life on Earth* (New York: Knopf, 1998) adlı eserinde çok güzel ve kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. R. Carroll'ın *Vertebrate Paleontology and Evolution* (San Francisco: W. H. Freeman, 1987) ve M. J. Benton'ın *Vertebrate Paleontology* (London: Blackwell, 2004) adlı eserleri, omurgalıların paleontolojisi hakkında başvurulabilecek kaynaklar arasındadır.

Tetrapodların kökeni için: Carl Zimmer, kolay okunan ve iyice araştırılmış *At the Water's Edge* (New York: Free Press, 1998) adlı çalışmasında alandaki son durumu gözden geçirmiştir. Jenny Clack'in Gaining Ground (Bloomington: Indiana University Press, 2002) çalışması bütün geçiş süreci hakkında eksiksiz bir metindir. Clack'in, bu geçişin kutsal kitabı sayılabilecek eseri, bir acemiyi kısa sürede uzman konumuna getirecek niteliktedir.

Tiktaalik'in anlatıldığı orijinal makalemiz *Nature* dergisinin 6 Nisan 2006 tarihli sayısında yayınlanmıştır. Referanslar: Daeschler ve ark. (2006) A Devonian tetrapod-like fish and the origin of the tetrapod body plan, Nature 757:757-763; Shubin ve ark. (2006) The pectoral fin of *Tiktaalik roseae* and the origin of the tetrapod limb, *Nature* 757:764-771. Aynı sayıda, Jenny Clack ve Per Ahlberg imzalı, çok ilginç ve kapsamlı bir yorum yazısı da vardı (*Nature* 757:747-749).

Geçmişimize ilişkin her şey, hatta bu kitabın yapısı bile görecelidir. Bu kitaba "İçimizdeki İnsan" adını verebilir ve bir balığın bakış açısından yazabilirdim. O kitabın yapısı da tuhaf biçimde benzer olurdu: vücut, beyin ve hücreler açısından paylaştığı özelliklerin tarihi. Gördüğümüz gibi, bütün canlıların, uzak geçmişlerinin bir parçası başka türlerle ortakken, diğer parçası kendine özgü ve benzersizdir.

İKİNCİ BÖLÜM - KAVRAMAYA BAŞLAMAK

Bir-kemik, iki-kemik, çok sayıda yuvarlak-kemik, parmaklar modelini fark eden ilk kişi kesinlikle Owen değildi. Bu örüntü 1600'lerde Vicq-d'Azyr, ayrıca Geoffroy St. Hilaire'in de

(1812) dünya görüşünün bir parçası olmuştu. Owen'ı farklı kılan, arketip kavramıydı. Buna göre vücut, doğaüstü, ilahi yolla organize edilmişti ve Yaratıcı'nın tasarımını yansıtıyordu. St. Hilaire ise bütün yapılarda gizli olan arketipin değil, vücutların oluşumunda belirleyici olan "oluşum yasaları"nın peşindeydi. Bu konular T. Appel, *The Cuvier-Geoffroy Debate: French Biology in the Decades Before Darwin* (New York: Oxford University Press, 1987), ve E. S. Russell, *Form and Function: A Contribution to the History of Morphology* (Chicago: University of Chicago Press, 1982) içinde güzel bir biçimde ele alınmaktadır.

Brian Hall'ın derlediği ve yeni yayımlanan bir kitap, üye çeşitliliği ve gelişimi hakkında bilgi edinmek için tek başına yeterli ve farklı türden üyeler hakkında bazı önemli makaleler içeriyor: Brian K. Hall, ed., *Fins into Limbs: Evolution, Development, and Transformation* (Chicago: University of Chicago Press, 2007). Yüzgeç ve üyelerin dönüşümünü daha kapsamlı araştırmak isteyenler için yararlı olabilecek kaynaklar arasında Shubin ve ark. (2006) The pectoral fin of *Tiktaalik roseae* and the origin of the tetrapod limb, *Nature* 757:764-771; Coates, M. I., Jeffery, J. E. ve Ruta, M. (2002) Fins to limbs: what the fossils say, *Evolution and Development* 4:390-412 sayılabilir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM - HÜNERLİ GENLER

Üye çeşitliliğinin gelişimsel biyolojisi, pek çok incelemede ve öncü makalede ele alınmıştır. Klasik kaynakçayı gözden geçirmek için Shubin, N. ve Alberch, R (1986) A morphogenetic approach to the origin and basic organization of the tetrapod limb, *Evolutionary Biology* 20:319-387; ve B. Goodwin, N. Holder ve C. Wylie tarafından derlenen *Development and Evolution*, (Cambridge, Eng.: Cambridge University Press, 1983) içinde yer alan (s. 99-121), J. R. Hinchliffe ve R. Griffiths'in "The Pre-chondrogenic Patterns in Tetrapod Limb Develoment and Their Phylogenetic Significance" başlıklı makalesine bakılabilir. Saunders'ın ve Zwilling'in deneyleri kla-

sikleşmiş durumda; öyle ki bunlardan en iyi birkaç tanesi şimdilerde gelişimsel biyoloji alanındaki önemli ders kitaplarına alınmıştır. Bunlardan bazıları S. Gilbert, *Developmental Biology* (8. baskı), (Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, 2006); L. Wolpert, J. Smith, T Jessell, F Lawrence, E. Robertson ve E. Meyerowitz, *Principles of Development* (Oxford, Eng.: Oxford University Press, 2006).

Üye modellerinin meydana gelişinde *Hızlı kirpi*'nin rolünün tanımlayan ilk makale için bkz. Riddle, R., Johnson, R. L., Laufer, E., Tabin, C. (1993) *Sonic hedgehog* mediates the polarizing activity of the ZPA, CW/75:1401-1416.

Randy'nin, köpekbalığı ve tırpana yüzgeçlerindeki *Hızlı* sinyaller üzerindeki çalışması Dahn, R., Davis, M., Pappano, W., Shubin, N. (2007) *Sonic hedgehog* function in chondrichthyan fins and the evolution of appendage patterning, *Nature* 445:311-314 içinde yer almaktadır. Üyelerin, en azından genetik açıdan kökenine ilişkin sonraki laboratuvar çalışmaları için bkz.: Davis, M., Dahn, R. ve Shubin, N. (2007) A limb autopodial-like pattern of *Hox* expression in a basal actinopterygian fish, *Nature* 447:473-476.

Sinekler, tavuklar ve insanların gelişimlerindeki hayret verici genetik benzerlikler, Shubin, N., Tabin, C, Carroll, S. (1997) Fossils, genes, and the evolution of animal limbs, *Nature* 388:639-648, ve Erwin, D ve Davidson, E. H. (2003) The last common bilaterian ancestor, *Development* 129:3021-3032 başlıklı makalelerde tartışılmaktadır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM - DİŞLER HER YERDE

Memelileri anlamada dişlerin önemi, alandaki yayınların çoğunda apaçık ortadadır. Diş yapısı, memelilerin ilk kayıtlarının anlaşılmasında özellikle önemli bir rol oynar. Z. Kielan-Jaworowska, R. L. Cifelli, ve Z. Luo, *Mammalsfrom the Age of Dinosaurs* (New York: Columbia University Press, 2004) ve J. A. Lillegraven, Z. Kielan-Jaworowska ve W. Clemens (derleyenler), *Mesozoic Mammals: The First Two-Thirds of Mammalian History* (Berkeley: University of California Press,

1979), s. 311'de kapsamlı incelemeler bulunmaktadır.

Farish'in Arizona'da bulduğu memeli, Jenkins, F. A., Jr., Crompton, A. W., Downs, W. R. (1983) Mesozoic mammals from Arizona: New evidence on mammalian evolution, *Science* 222:1233-1235'te incelenmektedir.

Nova Scotia'da bulduğumuz tritheledontlar Shubin, N, Crompton, A. W., Sues, H.-D. ve Olsen, P. (1991) New fossil evidence on the sister-group of mammals and early Mesozoic faunal distributions, *Science* 251:1063-1065'te anlatılmaktadır.

Dişlerin, kemiklerin ve kafataslarının kökeni, özellikle de evrimle ilgili olarak konodont hayvanlardan toplanan yeni bilgiler, Donoghue, P. ve Sansom I. (2002) Origin and early evolution of vertebrate skeletonization, *Microscopy Research and Technique* 59:352-372'de yer almaktadır. Konodontların evrimsel açıdan önemine ilişkin derinlemesine bir inceleme, Donoghue, P., Forey, P. ve Aldridge, R. (2000) Conodont affinity and chordate phylogeny, *Biological Reviews* 75:191-251'de bulunabilir.

BEŞİNCİ BÖLÜM - BAŞA GEÇMEK

Kafatasının yapısına, gelişimine ve evrimine ilişkin ayrıntıları inanılmaz kapsamlı ve ayrıntılı ele alan üç ciltlik bir çalışma vardır: *The Skull*, derleyenler James Hanken ve Brian Hall, (Chicago: University of Chicago Press, 1993). Bu çalışma, kafanın gelişimi ve yapısı üzerine klasikleşmiş kitaplardan birinin (G. R. de Beer, *The Development of the Vertebrate Skull* (Oxford, Eng.: Oxford University Press, 1937), birkaç yazar tarafından güncellenmiş halidir.

İnsanlarda kafanın gelişimi ve yapısı ile ilgili ayrıntılar insan anatomisi ve embriyoloji metinlerinde bulunabilir. Embriyoloji için bkz. K. Moore ve T.V.N. Persaud, *The Developing Human*, 7. baskı (Philadelphia: Elsevier, 2006). Buna eşlik eden anatomi ders kitabı ise: K. Moore ve A. F. Dalley, *Clinically Oriented Anatomy*, (Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2006).

Francis Maitland Balfour'un orijinal çalışması, Balfour, F.

M. (1874) A preliminary account of the development of the elasmobranch fishes, *Q. J. Microsc.* Sci. 14:323-364; F. M. Balfour, *A Monograph on the Development of Elasmobranch Fishes*, 4 cilt (London: Macmillan & Co., 1878); F. M. Balfour, *A Treatise on Comparative Embryology*, 2 cilt (London: Macmillan & Co., 1880-81); M. Foster ve A. Sedgwick, *The Works of Francis Maitland Balfour*, Michael Foster'ın tanıtıcı biyografisiyle birlikte, 4 cilt (London: Macmillan & Co., 1885) içinde özetlenmektedir. Yine, Oxford'dan, Edwin Goodrich'in karşılaştırmalı anatomi üzerine klasikleşmiş bir eseri: *Studies on the Structure and Development of Vertebrates* (London: Macmillan, 1930).

Balfour, Oken, Goethe, Huxley ve başkaları, kafanın bölümlenmesi (segmentasyonu) konusunu ele almışlardır. Omurgada önden arkaya gittikçe biçimleri değişen omurlarda olduğu gibi, kafanın da segmentli bir yapısı vardır. Bu konuyu biraz daha derinlemesine ele alan, hepsi de zengin kaynakçalı klasik ve yeni kaynaklardan bir seçkide şunlar yer alabilir: Olsson, L., Ericsson, R., Cerny, R. (2005) Vertebrate head development: Segmentation, novelties, and homology, *Theory in Biosciences* 124:145-163; Jollie, M. (1977) Segmentation of the vertebrate head, *American Zoologist* 17:323-333; Graham, A. (2001) The development and evolution of the pharyngeal arches, *Journal of Anatomy* 199:133-141.

Solungaç yayı oluşumunun genetik temeline ilişkin yeni bir inceleme, Kuratani, S. (2004) Evolution of the vertebrate jaw: comparative embryology and molecular developmental biology reveal the factors behind evolutionary novelty, *Journal of Anatomy* 205:335-347'de bulunmaktadır. Bir solungaç yayının, gen teknolojilerinden yararlanılarak deney yoluyla bir başka solungaç yayına dönüştürüldüğü örnekler arasında Baltzinger, M., Ori, M., Pasqualetti, M., Nardi, I., Riji, E (2005) *Hoxa2* knockdown in *Xenopus* results in hyoid to mandibular homeosis, *Developmental Dynamics* 234:858-867; Depew, M., Lufkin, T., Rubenstein, J. (2002) Specification of jaw subdivisions by *Dlx genes*, *Science* 298:381-385'te yer alır.

Kafatasları, kafalar ve ilkel balıklara ait ilk fosil kayıtlarına ilişkin kapsamlı, bol örnekli ve aydınlatıcı bir kaynak P. Janvier, *Early Vertebrates* (Oxford, Eng.: Oxford University Press, 1996) içinde yer almaktadır. 530 milyon yaşındaki solungaçlı kurtçuk *Haikouella*'nın anlatıldığı makale: Chen, J.-Y., Huang, D. Y., and Li, C. W. (1999) An early Cambrian craniate-like chordate, *Nature* 402:518-522.

ALTINCI BÖLÜM - KUSURSUZ VÜCUT PLANLARI

Vücut planlarının kökeni, kitap uzunluğunda pek çok çalışmaya konu olmuştur. Bunlar arasında, zengin kaynakçasıyla konuyu fevkalade kapsamlı ele alan J. Valentine, *On the Origin of Phyla* (Chicago: University of Chicago Press, 2004) başta sayılabilir.

Birkaç von Baer biyografisi bulunmaktadır. C. Gillespie'nin derlediği *Dictionary of Scientific Biography*, cilt 1 (New York: Scribners, 1970) içindeki Jane Oppenheimer, "Baer, Karl Ernst von", kısa bir biyografidir. Daha ayrıntılı çalışmalar için, *Autobiography of Dr. Karl Ernst von Baer* (1986; aslı Almanca yayınlandı, 2. baskı, 1886) başlıklı Jane Oppenheimer derlemesine bakınız. Ayrıca bkz. B. E. Raikov, *Karl Ernst von Baer, 1792-1876*, Rusça'dan çeviri (1968) ve Ludwig Stieda, *Karl Ernst von Baer*, 2. baskı (1886). Bu kaynakların hepsinde de, zengin bir kaynakça sunulmuştur. Ayrıca, von Baer yasalarına ilişkin bir tartışma yazısı için bkz. S. Gould, *Ontogeny and Phytogeny* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1977).

Spemann ve Mangold'un deneyleri embriyoloji ders kitaplarında işlenmektedir: S. Gilbert, *Developmental Biology*, 8. baskı (Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, 2006). De Robertis, E. M. (2006) Spemann's organizer and self regulation in amphibian embryos, *Nature Reviews* 7:296-302 ve De Robertis, E. M. ve Arecheaga, J. The Spemann Organizer: 75 years on, *International Journal of Developmental Biology* 45 (özel sayı) başlıklı makalelerde, Düzenleyici (Organizer) gen, modern genetik perspektifinden ele alınmıştır.

Sean Carroll'ın yeni kitabı *Endless Forms Most Beautiful* (New York: Norton, 2004), *Hox* genleri ve evrim hakkındaki

muazzam bir kaynakçaya erişmek için en iyi başlangıç noktasıdır. Erwin, D. ve Davidson, E. H. (2002) The last common bilaterian ancestor, *Development* 129:3021-3032'de, iki taraflı simetrik hayvanların ortak atasının anlaşılabilmesi için genlerin sunduğu imkânlara ilişkin bir inceleme ve yorum bulunmaktadır.

Bazı araştırmacılar, insansı[anthropod] vücut planından, insan vücut planına hızlı bir genetik "takla"yla geçildiğini savunmaktadır. Bu görüş, De Robertis, E. ve Sasai, Y. (1996) A common plan for dorsoventral patterning in Bilateria, *Nature* 380:37-40 içinde tartışılmıştır. T. Appel, *The Cuvier-Ceoffroy Debate: French Biology in the Decades Before Darwin* (New York: Oxford University Press, 1987) adlı eserde, St. Hilaire'in görüşleri ve karşılaştırmalı anatominin ilk yıllarında cereyan eden tartışmalar, tarihsel perspektifle ele alınmıştır. Meşe palamudu kurtçuklarından elde edilen veriler bu modele pek uymaz ve bu veriler bazı taksonlarda, gen etkinliği ve eksen özelliği arasındaki haritanın evrilmiş olabileceğini düşündürür. Bu çalışma için bkz. Lowe, C. J. ve ark. (2006) Dorsoventral patterning in hemichordates: insights into early chordate evolution, PLoS Biol çevrimiçi erişim: http://dx.doi.org/journal.0040291.

Vücut eksenlerini belirleyen genlerin evrimi Martindale, M. Q. (2005) The evolution of metazoan axial properties, *Nature Reviews Genetics* 6:917-927'de incelenmiştir. Knidlilerdeki (denizanası, denizşakayığı ve akrabaları) vücut planı genleri ise bir dizi öncü makalede ele alınmıştır: Martindale, M. Q., Finnerty, J. R., Henry, J. (2002) The Radiata and the evolutionary origins of the bilaterian body plan, *Molecular Phylogenetics and Evolution* 24:358-365; Matus, D Q., Pang, K., Marlow, H., Dunn, C, Thomsen, G., Martindale, M. (2006) Molecular evidence for deep evolutionary roots of bilaterality in animal development, Proceedings of the National Academy of Sciences 103, 11195-11200; Chourrout, D. ve ark. (2006) Minimal protohox cluster inferred from bilaterian and cnidarian *Hox* complements, Nature 442:684-687; Martindale, M., Pang, K., Finnerty, J. (2004) Investigating the origins of triploblasty:

"mesodermal" gene expression in a diploblastic animal, the sea anemone *Nemostella vectensis* (phylum, Cnidaria; class, Anthozoa), *Development* 131, 2463-2474; Finnerty, J., Pang, K., Burton, P., Paulson, D, Martindale, M. Q. (2004) Deep origins for bilateral symmetry: *Hox* and *Dpp* expression in a sea anemone, *Science* 304:1335-1337.

YEDİNCİ BÖLÜM - VÜCUT GELİŞTİRME SERÜVENİ

Vücutların kökenleri ve evrimi, üç önemli makalede incelenmiş, genetik, jeoloji ve ekolojiyi kapsayan bütünleyici bir perspektiften sunulmuştur: King, N. (2004) The unicellular ancestry of animal development, *Developmental Cell* 7:313-325; Knoll, A. H. ve Carroll, S. B. (1999) Early animal evolution: Emerging views from comparative biology and geology, *Science* 284:2129-2137; Brooke, N. M. ve Holland, P. (2003) The evolution of multicellularity and early animal genomes, *Current Opinion in Genetics and Development* 13:599-603. Her üç makale de, sağlam referanslara dayanmanın yanısıra, ele alınan konulara ilişkin kapsamlı ve açıklayıcı birer giriş bölümü içermektedir.

Vücutların ve diğer bazı biyolojik düzenlenme biçimlerinin ortaya çıkışına ilişkin ilgi çekici çalışmalar için, bkz. L. W. Buss, *The Evolution of Individuality* (Princeton: Princeton University Press, 2006) ve J. Maynard Smith ve E. Szathmary, *The Major Transitions in Evolution* (New York: Oxford University Press, 1998).

Ediacara dönemi hayvanlarınm hikâyesi, referanslarıyla birlikte, Richard Fortey'nin *Life: A Natural History of the First Four Billion Years of Life on Earth* (New York: Knopf, 1998), ve Andrew Knoll'ün Life on a Young Planet (Princeton: Princeton University Press, 2002) kitaplarında anlatılmaktadır.

Vücutsuz canlılardan "proto-vücut"lu canlıların elde edildiği deney, Boraas, M. E., Seale, D. B., Boxhorn, J. (1998) Phagotrophy by a flagellate selects for colonial prey: A possible origin of multicellularity, *Evolutionary Ecology* 12:153-164'te anlatılmaktadır.

SEKİZİNCİ BÖLÜM - KOKU ALMA

Utah Üniversitesi'nin "Learn.Genetics" (Genetik Öğrenin) adlı web sitesinde, mutfakta uygulanabilecek son derece basit bir yöntemle DNA elde edilmesi anlatılıyor. Şu adresten erişilebilir: http://learn.genetics.utah.edu/units/activities/extraction/

Koku genlerinin veya daha doğru şekliyle koku reseptörü genlerinin evrimiyle ilgili geniş bir kaynakça bulunmaktadır. Buck ve Axel'in bu konuda ufuk açan makalesi, Buck, L. ve Axel, R. (1991) A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for odor recognition, *Cell* 65:175-181'dir.

Koku geninin evrimi, Young, B. ve Trask, B. J. (2002) The sense of smell: genomics of vertebrate odorant receptors, *Human Molecular Genetics* 11:1153-1160; Mombaerts, P. (1999) Molecular biology of odorant receptors in vertebrates, *Annual Reviews of Neuroscience* 22:487-509 makalelerinde karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

Çenesiz balıklardaki koku reseptörü genleri Freitag, J., Beck, A., Ludwig, G., von Buchholtz, L., Breer, H. (1999) On the origin of the olfactory receptor family: receptor genes of the jawless fish (*Lampetra fluviatilis*), Gene 226:165-174'te ele alınmıştır. Sucul ve karasal canlılar arasında koku reseptörü genleri açısından ortaya çıkan farklılıklar, Freitag, J., Ludwig, G., Andreini, I., Rossler, P., Breer, H. (1998) Olfactory receptors in aquatic and terrestrial vertebrates, Journal of Comparative Physiology A 183:635-650'de tanımlanmaktadır.

İnsandaki koku reseptörü evrimi üzerine yazılmış makalelerden burada seçtiklerim, metinde tartışılan konuları yansıtmaktadır: Gilad, Y., Man, O., Lancet, D. (2003) Human specific loss of olfactory receptor genes, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100:3324-3327; Gilad, Y, Man, O. ve Glusman, G. (2005) A comparison of the human and chimpanzee olfactory receptor gene repertoires, *Genome Research* 15:224-230; Menashe, I., Man, O., Lancet, D., Gilad, Y (2003) Different noses for different people, *Nature Genetics* 34:143-

144; Gilad, Y, Wiebe, V., Przeworski, M., Lancet, D., Paabo, S. (2003) Loss of olfactory receptor genes coincides with the acquisition of full trichromatic vision in primates, *PLOS Biology* çevrimiçi erişim: http://dx.doi.org/journal.pbio.0020005.

Gen kopyalanmasını, yeni genetik varyasyonların oluşmasında önemli bir kaynak olarak gören görüş, Ohno'nun kırk yıl önceki yenilikçi çalışmasına dayanır: S. Ohno, *Evolution by Gene Duplication* (New York: Springer-Verlag, 1970). Hem opsinlerin hem de koku reseptörü genlerinin tartışıldığı, konuya ilişkin yeni bir inceleme Taylor, J. ve Raes, J. (2004) Duplication and divergence: the evolution of new genes and old ideas, *Annual Reviews of Genetics* 38:615-643'te bulunmaktadır.

DOKUZUNCU BÖLÜM - GÖRME

Opsin genlerinin gözlerin evrimindeki rolü, son yıllarda birçok makalede ele alınmıştır. Opsin geni evriminin sonuçları ve genin temel biyolojisiyle ilgili incelemelerden bazıları şunlardır: Nathans, J. (1999) The evolution and physiology of human color vision: insights from molecular genetic studies of visual pigments, *Neuron* 24:299-312; Dominy, N, Svenning, J. C, Li, W. H. (2003) Historical contingency in the evolution of primate color *Vision, Journal of Human Evolution* 44:25-45; Tan, Y, Yoder, A., Yamashita, N, Li, W. H. (2005) Evidence from opsin genes rejects nocturnality in ancestral primates, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102:14712-14716; Yokoyama, S. (1996) Molecular evolution of retinal and nonretinal opsins, Genes to Cells 1:787-794; Dulai, K., von Dornum, M., Mollon, J., Hunt, D M. (1999) The evolution of trichromatic color vision by opsin gene duplication in New World and Old World primates, *Genome* 9:629-638.

Detlev Arendt ve Joachim Wittbrodt'un fotoreseptör dokular üzerine çalışması, ilk olarak birincil kaynakça makalelelerinde bildirilmiştir: Arendt, D, Tessmar-Raible, K., Synman, H., Dorresteijn, A., Wittbrodt, J. (2004) Ciliary photoreceptors

with a vertebrate-type opsin in an invertebrate brain, *Science* 306:869-871. Yazıyla birlikte, konuyla ilgili bir değerlendirmeye de yer verilmiştir: Pennisi, E. (2004) Worm's light-sensing proteins suggest eye's single origin, *Science* 306:796-797. Arendt'in daha önceki bir incelemesiyse, keşfi yorumlamada yararlandığı daha geniş çerçeveyi oluşturur: Arendt, D. (2003) The evolution of eyes and photoreceptor cell types, *International Journal of Developmental Biology* 47:563-571. Bu konuya ilişkin başka görüşler, Plachetzki, D. C, Serb, J. M., Oakley, T. H. (2005) New insights into photoreceptor evolution, *Trends in Ecology and Evolution* 20:465-467'de bulunabilir. Yine, Arendt ve Wittbrodt'un çalışması üzerine başka bir görüş de, *Science* dergisinin sonraki bir sayısında, gözlerin kökeninin tarihöncesi çok uzak bir geçmişe dayandığı ve evrim ağacımızın çok derinlerine kadar uzandığı görüşüne bir yorumla karşılık veren Bernd Fritzsch ve Joram Piatigorsky'den gelmiştir. Bu metin, *Science* (2005) 308:1113-1114'te bulunabilir.

Walter Gehring'in *Pax 6* geni ve bu genin gözün evriminde oynadığı rol üzerine yaptığı çalışmayla ilgili olarak, yazarın kendisinin yaptığı bir değerlendirme: Gehring, W. (2005) New perspectives on eye development and the evolution of eyes and photoreceptors, *Journal of Heredity* 96:171-184.

Korunmuş olan göz oluşumu genleriyle, göz organlarının evrimi arasında kurulabilecek faklı ilişkilerle ilgili makaleler arasında Oakley, T (2003) The eye as a replicating and diverging modular developmental unit, *Trends in Ecology and Evolution* 18:623-627 ve Nilsson D.-E. (2004) Eye evolution: a question of genetic promiscuity, *Current Opinion in Neurobiology* 14:407-414 sayılabilir.

Bizim gözlerimizde bulunan mercek proteinleri ile larva dönemindeki tulumlularda (tunicata) bulunanları arasındaki ilişki, Shimeld, S., Purkiss, A. G, Dirks, R.P.H., Bateman, O., Slingsby, C, Lubsen, N (2005) Urochordate by-crystallin and the evolutionary origin of the vertebrate eye lens, *Current Biology* 15:1684-1689'da tartışılmıştır.

ONUNCU BÖLÜM - KULAKLAR

İç kulak evriminin genetiği Beisel, K. W. ve Fritzsch, B. (2004) Keeping sensory cells and evolving neurons to connect them to the brain: molecular conservation and novelties in vertebrate ear development, *Brain Behavior and Evolution* 64:182-197'de tartışılmaktadır. Kulak gelişimi ve bunun ardındaki genler ise Represa, J., Frenz, D A., Van de Water, T (2000) Genetic patterning of embryonic ear development, *Acta Otolaryngolica* 120:5-10'da ele alınmaktadır.

Hiyomandibula'nın üzengi kemiğine dönüşümü, ilkel balıkların evrimi veya karada yaşayan hayvanların kökeni hakkında kapsamlı, kitap uzunluğunda çalışmalarda incelenmektedir: J. Clack, *Gaining Ground* (Bloomington: Indiana University Press, 2002); P. Janvier, *Early Vertebrates* (Oxford, Eng.: Oxford University Press, 1996). Bu konu, örneğin Clack, J. A. (1989) Discovery of the earliest known tetrapod stapes, *Nature* 342:425–427; Brazeau, M. ve Ahlberg, P. (2005) Tetrapod-like middle ear architecture in a Devonian fish, *Nature* 439:318-321 gibi yakın tarihli araştırma makalelerinde de tartışılmaktadır.

Memeli orta kulağının kökeni, P. Bowler, *Life's Spendid Journey* (Chicago: University of Chicago Press, 1996) adlı kitapta bir bilim tarihçisinin bakış açısından ele alınmıştır. Önemli birincil kaynaklardan bazıları şunlardır: Reichert, C. (1837) Uber die Visceralbogen der Wirbeltiere im allgemeinen und deren Metamorphosen bei den Vogeln und Saugetieren, *Arch. Anat. Physiol. Wiss. Med.* 1837:120-222; Gaupp, E. (1911) Beitrage zur Kenntnis des Unterkiefers der Wirbeltiere I. Der Processus anterior (Folii) des Hammers der Sauger und das Goniale der Nichtsauger, *Anatomischer Anzeiger*, 39:97-135; Gaupp, E. (1911) Beitrage zur Kenntnis des Unterkiefers der Wirbeltiere II. Die Zusammensetzung des Unterkiefers der Quadrupeden, *Anatomischer Anzeiger*, 39:433-473; Gaupp, E. (1911) Beitrage zur Kenntnis des Unterkiefers der Wirbeltiere III. Das Probleme der Entstehung eines "sekundaren" Kiefergelenkes bei den Saugern, *Anatomischer Anzeiger*,

39:609-666; Gregory, W. K. (1913) Critique of recent work on the morphology of the vertebrate skull, especially in relation to the origin of mammals, *Journal of Morphology*, 24:1-42.

Memeli çenesinin, çiğnemenin ve üç kemikçikli orta kulağın kökeniyle ilgili olarak kaynakçadaki başlıca çalışmalar arasında, Crompton, A. W. (1963) The evolution of the mammalian jaw, *Evolution* 17:431-439; Crompton, A. W. ve Parker, P. (1978) Evolution of the mammalian masticatory apparatus, *American Scientist* 66:192-201; Hopson, J. (1966) The origin of the mammalian middle ear, *American Zoologist* 6:437-450; Allin, E. (1975) Evolution of the mammalian *tax*, *Journal of Morphology* 147:403-438 sayılabilir.

Pax 2 ve *Pax* 6'nın evrimsel kökeni ve gözlerle kulakların kutu denizanası ile evrimsel bağlantısı Piatigorsky, J. ve Kozmik, Z. (2004) Cubozoan jellyfish: an evo/devo model for eyes and other sensory systems, *International Journal for Developmental Biology* 48:719-729'da tartışılmaktadır.

Duyu reseptörü moleküllerinin bakterilerdeki farklı moleküllerle bağlantısı Kung, C. (2005) A possible unifying principle for mechanosensation, *Nature* 436:647-654'te tartışılmaktadır.

ON BİRİNCİ BÖLÜM - BÜTÜN BUNLARIN ANLAMI

Filogenetik taksonomi yöntemleri çok sayıda kaynakta ele alınmıştır. Willi Hennig'in, aslı Almanca yayınlanan (*Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik* [Berlin: Deutscher Zentralverlag, 1950]) ve İngilizce'ye ancak on yılı aşkın bir süreden sonra çevrilen (*Phylogenetic Systematics*, çevirenler: D. D. Davis ve R. Zangerl [Urbana: University of Illinois Press, 1966]) klasik eseri, bu konudaki önemli öncü makaleler arasında yer alır.

Bu bölümün temelini oluşturan filogenetik rekonstrüksiyon yöntemleri P. Forey (editör), *Cladistics: A Practical Course in Systematics* (Oxford: Clarendon Press, 1992); D. Hillis, C. Moritz ve B. Mable (editörler), *Molecular Systematics* (Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, 1996); R. DeSalle, G.

Girbet ve W Wheeler, *Molecular Systematics and Evolution: Theory and Practice* (Basel: BirkhauserVerlag, 2002) içinde ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

Benzer özelliklerin birbirinden bağımsız evrimleşmesi olgusu, M. Sanderson ve L. Hufford, *Homoplasy: The Recurrence of Similarity in Evolution* (San Diego: Academic Press, 1996) içinde kapsamlı biçimde ele alınmaktadır.

Hayat ağacını ve yaşayan canlılar arasındaki ilişki hakkında farklı varsayımlar görmek için http://tolweb.org/tree/ adresini ziyaret edebilirsiniz.

Evrimsel geçmişimizin tıbbi sonuçları olduğu görüşü, iyi yazılmış yeni birkaç kitabın konusudur. Kapsamlı ve bol referansla sunulan çalışmalar için bkz. N. Boaz, *Evolving Health: The Origins of Illness and How the Modern World Is Making Us Sick* (New York: Wiley, 2002); D. Mindell, *The Evolving World: Evolution in Everyday Life* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2006); R. M. Nesse ve G. C. Williams, *Why We Get Sick: The New Science of Darwinian Medicine* (New York: Vintage, 1996); W R. Trevathan, E. O. Smith ve J. J. McKenna, *Evolutionary Medicine* (New York: Oxford University Press, 1999).

Apne örneğini, Chicago Üniversitesi'nin Anatomi Bölümü başkanı Nino Ramirez ile yaptığım görüşmelerden yola çıkarak verdim. Hıçkırık örneği ise, C ve ark.'ın (2003) A phylogenetic hypothesis for the origin of hiccoughs, *Bioessays* 25:182-188 çalışmasından ortaya çıktı. Mitokondriyal kardiyoensefalomiyopati çalışmasında kullanılan insan-bakteri gen değiştirme yöntemi ilk olarak S. Lucioli ve ark. (2006) Introducing a novel human mtDNA mutation into the *Paracoccus denitriticans* COX 1 gene explains functional deficits in a patient, *Neurogenetics* 7:51-57 makalesinde ele alınmıştır.

ÇEVRİMİÇİ KAYNAKLAR

Doğru bilgi taşıyan ve sık sık güncellenen bazı web siteleri ve blog sayfaları:.

http://www.ucmp.berkeley.edu/ Berkeley'deki California

Üniversitesi'nde bulunan Paleontoloji Müzesi tarafından hazırlanmış, paleontoloji ve evrimle ilgili en iyi çevrimiçi kaynaklardan biri. Sürekli olarak güncellenip gözden geçirilmekte.

http://www.scienceblogs.com/loom/ Carl Zimmer'e ait bir blog sayfasıdır; evrim konusundaki bilgi ve tartışmaları içeren titiz, güncel ve iyi yazılmış bir kaynak.

http://www.scienceblogs.com/pharyngula/ Bu, erişime açık, aydınlatıcı ve güncel blog sayfası, gelişimsel biyoloji profesörü P. Z. Myers tarafından yazılıyor. Bu zengin bilgi kaynağı izlenmeye değer.

Hem Zimmer'in hem de Myers'in blogu, en son keşifler hakkındaki bilgi ve yorumlar için de izlenmeye değer çok sayıda mükemmel blog barındıran http://www.scienceblogs.com adresinde yayınlanmaktadır. Sitede, bu kitabın konusuyla ilgili bloglar arasında Afarensis, Tetrapod Zoology, Evolving Thoughts ve Gene Expression da bulunmaktadır.

http://www.tolweb.org/tree/ Hayat Ağacı (Tree of Life) Projesi, bütün canlı grupları arasındaki ilişkiler üzerine, düzenli olarak güncellenen ve güvenilir bir çalışmadır. Berkeley'deki UCMP sayfasında olduğu gibi, burada da evrim ağaçlarının nasıl hazırlandığı ve yorumlandığı hakkında öğretici kaynaklar bulunmaktadır.

TEŞEKKÜR

Aksi belirtilenler dışında bütün çizimler Bayan Kalliopi Monoyios (www.kalliopimonoyios.com) tarafından yapılmıştır. Kapi, metni taslağından okudu ve metni geliştirmekle kalmayıp metne uygun düşecek çizimleri tasarladı. Bu kadar çok yeteneği olan biriyle çalıştığım için gerçekten çok şanslıyım. Scott Rawlins (Arcadia Üniversitesi), İkinci Bölüm'deki güzel Sauripterus çizimini kullanmamıza içtenlikle izin verdi. Ted Daeschler (Philadelphia Doğa Bilimleri Akademisi), büyük bir nezaketle bize, muhteşem Tiktaalik "C" örneğinin nefis fotoğraflarını verdi. Konodont diş dizisi çizimlerini kullanma izni verdikleri için Phillip Donoghue ve Mark Purnell'e (Leicester Üniversitesi), Tiktaalik arayışını başlatan kitap çizimlerini kullanma izni verdiği için McGraw-Hill'e ve köpekbalığı organlarının resimleri için Kanada Köpekbalığı Araştırma Laboratuvarı'ndan Steven Campana'ya teşekkür ediyorum.

Öğrenebilmemiz için vücutlarını bağışlayan kişilere anatomi öğrencileri olarak, büyük bir gönül borcumuz vardır. Gerçek bir vücuttan bir şeyler öğrenebilme imkânına sahip olmak büyük bir ayrıcalıktır. Laboratuvarda uzun saatler çalışırken, vücutlarını bağışlamakla, size bu tecrübeyi de bağışlayan kişilerle aranızda derin bir yakınlık hissedersiniz. Bu kitabı yazarken yine o yakınlığı hissettim.

Burada öne sürdüğüm görüşlerin kökleri, yaptığım araştırmalarda ve ders verdiğim sınıflarda doğdu. Sayılamayacak kadar çok çalışma arkadaşımın ve öğrencimin -lisans öğrencileri, tıp öğrencileri, lisansüstü ve doktora öğrencileri- bu sayfalarda yer alan düşüncelerde payı vardır.

Yıllar boyu birlikte çalıştığım meslektaşlarıma çok büyük şükran borçluyum. Ted Daeschler, Farish A. Jenkins, Jr., Fred Mullison, Paul Olsen, William Amaral, Jason Downs ve Chuck Schaff... Bu kişilerin hepsi burada anlattığım hikayeler içinde bir şekilde yer alırlar. Burada andığım kişiler olmasaydı, ne istediğimi içinden çekip alacağım bir deneyim deposuna sahip olabilecek, ne de bu maceradan bu kadar keyif alabilecektim. Chicago Üniversitesi'ndeki laboratuvar ekibim de -Randall Dahn, Marcus Davis, Adam Franssen, Andrew Gillis, Christian Kammerer, Kalliopi Monoyios ve Becky Shearman- düşüncelerime destek oldu ve yazdığım sırada laboratuvardaki masamı boş bırakmamı hoş gördüler.

Gereken bilgileri sağlamak için zaman ayıran ve müsvedde taslak üzerinde yorumlarını esirgemeyen meslektaşlarım arasında Kamla Ahluwalia, Sean Carroll, Michael Coates, Randall Dahn, Marcus Davis, Anna DiRienzo, Andrew Gillis, Lance Grande, Elizabeth Grove, Nicholas Hatsopoulos, Robert Ho, Betty Katsaros, Michael LaBarbera, Chris Lowe, Daniel Margoliash, Kalliopi Monoyios, Jonathan Pritchard, Vicky Prince, Cliff Ragsdale, Nino Ramirez, Callum Ross, Avi Stopper, Cliff Tabin ve John Zeller'i sayabilirim. Haytham Abu-Zayd birçok idari konuda yardımcı oldu. Harvard-MIT Sağlık Bilimleri ve Teknoloji programındaki anatomi öğretmenlerim, hocalarım Farish A. Jenkins, Jr. ve Lee Gehrke ise, bende yirmi yıldır sönmeyen bu ilgiyi uyandırdılar.

Sean Carroll ve Carl Zimmer, projenin başlangıcında önemli tavsiyelerde bulundular ve projenin sonuna kadar fikirleriyle destek oldular.

Wellfleet Halk Kütüphanesi (Wellfleet, Massachusetts), bana, çalışmaya çekilebileceğim konforlu bir yer tahsis etti; kitabın önemli kısımlarını orada yazdım. Berlin'de bulunan American Academy'deki kısa görevim sayesinde katıldığım çev-

renin, kitabın metnini tamamlarken çok önemli katkıları oldu.

İki patronum, Dr. James Madara (CEO, Chicago Üniversitesi Tıp Merkezi, Sağlık İşleri Başkan Yardımcısı, Dekan ve Biyolojik Bilimler Bölümü ve Pritzker Tıp Fakültesi'nde Sara ve Harold Thompson Seçkin Hizmet Profesörü) ve John McCarter, Jr. (CEO, Field Museum), bu projeyi ve projenin dayandığı araştırmayı desteklediler. Böylesine anlayışlı ve sevecen liderlerle birlikte çalışmak gerçekten bir zevkti.

Chicago Üniversitesi'nde ders verecek ve orada, Pritzker Tıp Fakültesi önde gelenleriyle etkileşimde bulunma fırsatını yakalayacak kadar şanshydım. Dekanlar Holly Humphrey ve Halina Bruckner bir paleontoloğu ekiplerine sıcakkanlılıkla kabul ettiler. Onlarla birlikteyken temel tıp eğitiminin zorluklarını ve önemini kavradım.

Bilimsel keşiflere, uygulamalara ve bilinmeyene ulaşmaya kendini adamış, eşsiz bir grup insanla birlikte çalışma fırsatı bulduğum Chicago'daki Field Museum ile bağlantı kurmak büyük bir zevkti. Field Museum'daki meslektaşlarıma, Elizabeth Babcock, Joseph Brennan, Sheila Cawley, Jim Croft, Lance Grande, Melissa Hilton, Ed Horner, Debra Moskovits, Laura Sadler, Sean VanDerziel ve Diane White'a teşekkür ederim. Field Museum'daki Mütevelli Heyeti Bilim Komitesi önderleri yetkilileri James L. Alexander ve Adele S. Simmons'a, kendilerinden gördüğüm destek, yardım ve teşvik için minnettarım.

Düşüncemi bir projeye dönüştürmemde bana yardım eden ve süreç boyunca tavsiyelerini esirgemeyen temsilcim Katinka Matson'a minnettarım. Editörüm Marty Asher ile birlikte çalıştığım için çok şanslıyım. Sabırlı bir öğretmen gibi, tavsiyeleriyle zaman ayırarak ve yüreklendirerek bu süreçte bana destek oldu. Zachary Wagman da, ayırdığı zamanla, keskin yayıncı dikkati ve isabetli tavsiyeleriyle bu projeye sayısız yoldan katkıda bulundu. Dan Frank, hikâyeyi farklı şekillerde düşünmemi sağ-

layan zekice önerilerde bulundu. Jolanta Benal metni tashih etti ve muazzam katkıda bulundu. Dar bir zaman aralığındaki özveriyle çalışan Ellen Feldman, Kristen Bearse ve yayım ekibine minnettarım.

Annem ve babam, Gloria ve Seymour Shubin, ben daha başlamadan önce bir kitap yazacağımı hep biliyorlardı. İçimde onların bana duyduğu inanç olmasaydı kâğıda tek bir sözcük bile dökebileceğimden emin değilim.

Eşim Michele Seidl ve çocuklarımız Nathaniel ve Hannah, iki yıl boyunca evde hep balıkla -hem Tiktaalik'le hem de kitapla- yaşadılar. Michele bu metnin her taslağını okudu ve yorumda bulundu, yazmakla geçirdiğim uzun hafta sonlarında yokluğumu anlayışla karşıladı. Her şeyi mümkün kılan, onun sabrı ve sevgisi oldu.