

سرشناسه	شوپین، نیل. Shubin, Neil
عنوان و نام پدیدآور	ماهی درونی شما: سفری به تاریخ ۳/۵ میلیاردساله‌ی بدن انسان / نویسنده نیل شوپین؛ مترجم نیلوفر فشنگ‌ساز.
مشخصات نشر	تهران، خانه زیست‌شناسی، ۱۳۹۱
مشخصات ظاهری	۲۱۶ ص. : مصور (رنگی)، جدول (رنگی)، نمودار (رنگی)، ۱۴/۵×۲۱/۵ س. م.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۶۹۲۶-۰۳-۲
وضعیت فهرست نویسی	غیا
یادداشت	عنوان اصلی:
یادداشت	Your Inner Fish: a journey into the 3.5-billion-year history of the human body, 2009.
موضوع	واژه‌نامه
موضوع	کتابشناسی انسان - به زبان ساده
شناسه افزوده	انسان - تکامل - به زبان ساده
رده‌بندی کنگره	فشنگ‌ساز، نیلوفر، ۱۳۶۳ - مترجم
رده‌بندی دیوئی	۱۳۹۱: ۶ م ۹ ش / QM۲۶
شماره کتابشناسی ملی	۶۱۱
	۳۰۴۳۷۲۸



سازمان اسناد و کتابخانه ملی

ماهی درونی شما

نام کتاب:	ماهی درونی شما
مؤلف:	نیل شوپین
ترجمه:	نیلوفر فشنگ‌ساز
ویرایش و بازنگری علمی:	دکتر فرید سمسارها
ناشر:	خانه زیست‌شناسی
نوبت چاپ:	دوم / ۱۳۹۶
مروغین و صفحه‌آرایی:	جواد جعفریان
طراح و گرافیک:	امید عرفانی
چاپ / صحافی:	دفتر ملی نوید
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۶۹۲۶-۰۳-۲
شمارگان:	۲۰۰ نسخه

تلفن‌های مرکز پخش: ۶۶۴۶۰۲۸۷ - ۶۶۴۷۷۷۴۹ - ۶۶۴۸۴۲۶۳

فروش اینترنتی: www.hbio.ir

بدن شما از دید گاهی متفاوت

«با شور و شوق... به او [شوبین] پیوندید و بیاموزید که عاشق واقعیت اندام خودتان، یعنی یک ماهی تکامل یافته، شوید.»

DISCOVER

«مسئله‌ی حائز اهمیت این است که شوبین استدلالات خود را خلاقانه و مختصر بیان می‌کند و سؤال‌های ژرف درباره‌ی منشأ و تکامل انسان را کاملاً صریح، روان و شیرین در قالب طنز پاسخ می‌گوید.»

THE SAN DIEGO UNION-TRIBUNE

«دست‌های شوبین نتیجه‌ی تکامل باله‌ی ماهی است، که نمونه‌ای قدرتمند برای اثبات توانایی تکامل است؛ تلفیقی کاملاً استادانه.»

NEW SCIENTIST

«در تعاریف دل‌چسب ساختار اسکلت‌بندی، اعضا و دیگر اندام‌های داخلی بدن، شوبین یک راهنمای بی‌رقیب است.»

LOS ANGELES TIMES

جوایز و تمجیدات کتاب ماهی درونی شما اثر نیل شوبین

برنده‌ی جایزه‌ی Phi Beta Kappa در علم؛ در سال ۲۰۰۸

برنده‌ی جایزه‌ی بهترین کتاب علمی از Library Journal؛ در سال ۲۰۰۸

برنده‌ی جایزه‌ی بهترین کتاب از آکادمی ملی علوم آمریکا؛ در سال ۲۰۰۹

نامزد دریافت جایزه‌ی آکادمی سلطنتی علوم بریتانیا برای کتاب علمی؛ در سال ۲۰۰۹

«کتاب ماهی درونی شما را بخوانید و مطمئن باشید که دیگر هرگز نمی‌توانید به چشم‌های ماهی خیره شوید یا غذای دریایی بخورید، بدون آن‌که به این تکامل مشترک اندیشیده باشید... لوسی را ببینید، درباره‌ی تیکتالیک بیندیشید و وابستگی را احساس کنید.»

The Washington Post Book World

«اگر داروین زنده بود، قطعاً این کتاب، امروز به او تعلق داشت.»

The Telegraph (London)

«کتاب ماهی درونی شما درسی خارق‌العاده درباره‌ی تکامل آناتومی است، که به‌عمق واقعیت وجودی ما نفوذ می‌کند؛ گذشته‌ی ماهی درون‌مان را زیر و رو می‌کند تا حسی فراتر از هر راز و رمزی را بر ما آشکار سازد: حس درونی داروین - دوستی‌مان را.»

The New York Observer

«خارق‌العاده است!»

Santa Cruz Sentinel

«با اشتیاقی فراوان، وضوحی بی‌پایان و طنزی شیرین، نیل شوبین کتابی در دیرینه‌شناسی، ژنتیک کلاسیک، ژنومیکس و کالبدشناسی خلق کرده است که به‌راستی ممکن نیست آن را زمین بگذارید! هنگام بیان داستان این‌که چرا ما آن‌چه که هستیم به‌نظر می‌رسیم، شوبین فراتر از نمایش ماهی درونی‌مان رفته و دانشمند درون همه‌ی ما را بیدار می‌کند و به‌وجود می‌آورد.»

Pauline Chen, author of Final Exam

« با آغاز مطالعه‌ی فصل اول کاملاً شیفته‌ی ماهی درونی شما شدم... کتاب، هیجان کشف را با سخت‌گیری‌های لازم برای پژوهش آمیخته است تا یک مورد متقاعدکننده برای سیر تکامل ماهی به انسان فراهم کرده باشد.»

Don Johanson, director, Institute of Human Origins; discoverer of "Lucy"

« شگفت‌انگیز است...! شوبین با صراحت و لطافت نشان می‌دهد که حضور در عصر جدید اکتشاف در زیست‌شناسی تکاملی، می‌تواند چقدر جذاب باشد.»

Michael Novacek, author of Terra: Our 100-Million-Year-Old Ecosystem and the Threats Now Put It at Risk

« کتابی سرگرم‌کننده و اصیل. نیل شوبین با زیرکی، ماجراهای دیرینه‌شناسی را با علوم ساده تلفیق می‌کند تا ارتباطات عمیق میان کالبد بدن ما را با ماهی‌ها، خزندگان و دیگر موجودات آشکار سازد. دیگر هیچ‌وقت مانند گذشته به اندام خود نمی‌نگرید. امتحان کنید، بپذیرید و ماهی درونی شما را قدر بدانید!»

Sean Carroll, author of The Making of the Fittest and Endless Most Beautiful

«اگر گمان کرده‌اید که دیرینه‌شناسی فقط درباره‌ی پارک ژوراسیک و دایناسورهای گوشت‌خوار عربده‌کش است نگاهی به این کتاب روشنگر بیندازید! نیل شوبین ما را به ۳۷۵ میلیون سال قبل می‌برد: هنگامی که موجود عجیب ماهی‌مانندی در جریان‌های کم‌عمق شنا می‌کرد (یا می‌خزید)... وارد سیاحت هیجان‌انگیز دیرینه‌شناسی شوبین شوید و بیاموزید که چطور موجودات زنده - از جمله خود شما - به چیزی که اکنون هستند تبدیل شده‌اند.»

Richard Ellis, author of The Encyclopedia of the Sea

« در این کتاب ساده، دیرینه‌شناس عالی‌رتبه، نیل شوبین، به ما نشان می‌دهد که چطور تاریخ طولانی و جذاب ساختار بدن مان را کشف کنیم، در حالی که آن را با گزارش شیرینی از سفر علمی خود تلفیق می‌کند. این کتاب برای افرادی که می‌خواهند فراتر از چارچوب‌های موجود پیش بروند، کاملاً ایده‌آل است.»

Ian Tattersall, curator, the American Museum of Natural History and author of Becoming Human: Evolution and Human Uniqueness

نیل شوبین



نیل شوبین، استاد ممتاز سرویس رابرت آر. بنزلی در دانشکده‌ی زیست‌شناسی و آناتومی دانشگاه شیکاگو تدریس می‌کند؛ هم‌چنین او سمت معاونت رئیس دانشگاه را نیز عهده‌دار است. او دانش‌آموخته‌ی دانشگاه‌های کلمبیا، هاروارد و برکلی در کالیفرنیا است و اکنون در شیکاگو زندگی می‌کند.

مروری بر سوابق علمی نیل شوبین:

- ۱ - منتخب آکادمی ملی علوم آمریکا برای بهترین تدریس ۲۰۱۱
- ۲ - استاد برجسته‌ی سرویس رابرت آر. بنزلی ۲۰۰۸
- ۳ - معاون ریاست دانشکده، راهبردهای آکادمیک، بخش علوم زیست‌شناسی ۲۰۰۸
- ۴ - رئیس موزه‌ی تاریخ طبیعی فیلد ۲۰۰۸-۲۰۰۶
- ۵ - معاون ریاست دانشکده، شاخه‌ی علوم زیست‌شناسی دانشگاه شیکاگو ۲۰۰۸-۲۰۰۶
- ۶ - استاد سرویس رابرت آر. بنزلی، دانشگاه شیکاگو (۲۰۰۸-۲۰۰۶)
- ۷ - استاد کمیته‌ی زیست‌شناسی تکوین، دانشگاه شیکاگو ۲۰۰۶
- ۸ - معاون ریاست دانشکده‌ی آموزش علوم پایه، دانشکده‌ی پزشکی پریتزکر ۲۰۰۶-۲۰۰۳
- ۹ - استاد و رئیس بخش آناتومی و زیست‌شناسی موجودات زنده، استاد کمیته‌ی زیست‌شناسی تکامل دانشگاه شیکاگو ۲۰۰۶-۲۰۰۰
- ۱۰ - محقق همکار بخش زمین‌شناسی، موزه‌ی تاریخ طبیعی فیلد ۲۰۰۰
- ۱۱ - عضو هیئت علمی دانشگاه پنسیلوانیا ۱۹۹۸-۲۰۰۰
- ۱۲ - محقق همکار موزه‌ی تاریخ طبیعی آمریکا ۱۹۹۶-۲۰۰۰
- ۱۳ - استاد زیست‌شناسی دانشگاه پنسیلوانیا ۱۹۹۹-۲۰۰۰
- ۱۴ - دانشیار زیست‌شناسی دانشگاه پنسیلوانیا ۱۹۹۵-۱۹۹۹
- ۱۵ - استادیار دانشگاه پنسیلوانیا ۱۹۸۹-۱۹۹۵
- ۱۶ - مقطع فوق‌دکتر، دانشگاه کالیفرنیا در برکلی ۱۹۸۷-۱۹۸۹

برای آشنایی بیشتر، می‌توانید به آدرس اینترنتی او سری بزنید:

این کتاب برگرفته از رویدادی شگفت‌آور در زندگی من است. در آن زمان به‌علت سفرم، ارائه‌ی دوره‌ی کالبدشناسی انسان در دانشکده‌ی پزشکی دانشگاه شیکاگو را به‌پایان رساندم. آناتومی، دوره‌ی درسی است که در آن دانشجویان مضطرب سال اول پزشکی اجساد انسان را تشریح می‌کنند و به‌موازات آن، نام و ساختار بیشتر اندام‌ها، حفره‌ها، اعصاب و عروق بدن را می‌آموزند. در واقع این دوره، ورودی اصلی دانشجویان به‌دنیای پزشکی است و می‌توان آن را تجربه‌ای سازنده در مسیر پزشک‌شدن به‌شمار آورد. در نگاه اول، نمی‌توانید شغلی بدتر از آموزش به نسل بعدی پزشکان را تصور کنید؛ این شغل به‌هیچ‌وجه برای من مناسب نبود؛ من دیرینه‌شناسی هستم که بیشتر دوران زندگی حرفه‌ای خود را روی ماهی‌ها مطالعه کرده‌ام و به این نتیجه‌ی جالب رسیده‌ام که دیرینه‌شناس بودن مزیتی بزرگ در آموزش آناتومی انسان محسوب می‌شود. فکر می‌کنید چرا؟! به این علت که بهترین نقشه‌ی راهنما برای بدن انسان در بدن سایر جانداران واقع شده است. ساده‌ترین راه برای آموزش اعصاب مغز انسان به دانشجویان این است که به آن‌ها کوسه‌ها را نشان دهند. به‌راستی که آسان‌ترین نقشه‌ی راهنما برای بررسی اندام‌های انسان، نگریستن به ساختار ماهی است. خزندگان نیز، با ساختار مغزی‌شان، کمک قابل‌ملاحظه‌ای محسوب می‌شوند؛ چراکه بدن آن‌ها مدل ساده‌ای از بدن خودمان است!

در طول تابستان دومین سال هدایت تیم اکتشافی‌ام در شمالگان، من و همکارانم ماهی فسیل‌شده‌ای را کشف کردیم که به ما بینش قدرتمند جدیدی درباره‌ی یورش ماهی‌ها به خشکی، در بیش از ۳۷۵ میلیون سال پیش، بخشید. این اکتشاف به‌همراه دانش من درباره‌ی آناتومی انسان، به کشف رابطه‌ای ژرف و قابل‌توجه منجر شد که نتیجه‌ی آن در این کتاب بیان شده است.

پیدا کردن ماهی درونی شما!

من بیشتر تابستان‌های دوران بزرگسالی زندگی‌ام را در برف و بوران سپری کردم؛ جایی در نزدیکی مدار قطب شمال روی پرتگاه‌ها مشغول شکستن سنگ‌ها بودم. بیشتر اوقات، از سرمای بی‌اندازه‌ی آن‌جا دست‌ها و صورتم تاول می‌زدند و تصور می‌کردم فلج شده‌ام؛ با وجود همه‌ی این سختی‌ها، نداشتن دست‌آورد قابل قبول هم کاملاً معمول بود. البته گاهی اوقات، اگر بخت با من یار بود، استخوان‌های یک دیرینه‌ماهی را پیدا می‌کردم. هرچند در نظر بیشتر مردم این استخوان‌ها گنجینه‌ای مدفون در خاک به‌شمار نمی‌آمدند، برای من از هر جواهری ارزشمندتر بودند.

در واقع، استخوان‌های دیرینه‌ماهی به ما در کشف این راز، که واقعاً چه کسانی هستیم و چطور این شمال را به خود گرفته‌ایم، کمک می‌کنند. آن‌چه که تا به حال درباره‌ی بدن‌ها آموخته‌ایم حاصل کشفیات رخ داده در مکان‌های عجیب و دورافتاده‌ی دنیاست؛ از طبقه‌بندی فسیل^۱ خزندگان و ماهی‌های بدست‌آمده از دل صخره‌های سراسر جهان گرفته تا اطلاعات موجود در DNA همه‌ی جانداران زنده‌ی کره‌ی زمین. اما همه‌ی این‌ها نمی‌توانست مرا قانع کند که چطور باقی‌مانده‌ی استخوان‌های باستانی - و به همان میزان فسیل ماهی‌ها - سرنخ‌هایی از ساختار ابتدایی بدن ما را بدست می‌دهد؟!

غیرممکن است بتوانیم وقایعی که میلیون‌ها سال پیش و حتی در بسیاری موارد میلیاردها سال پیش، رخ داده است را، به‌تصویر بکشیم. متأسفانه هیچ شاهد عینی وجود نداشته؛ هیچ‌یک از ما در آن زمان نبودیم! به‌عبارتی دیگر هیچ زبان گویایی از آن دوران باقی نمانده است. از این هم بدتر، از جانوران بسیاری که در گذشته می‌زیستند نیز اثری نیست؛ همگی مرده‌اند و زمان بسیار طولانی از مدفون شدن‌شان می‌گذرد و به‌ندرت جزئی از بدن آن‌ها باقی مانده است. اگر بدانید که بیش از ۹۹ درصد همه‌ی گونه‌هایی که در گذشته‌های دور زیسته‌اند، اکنون از بین رفته‌اند و تنها کسر کوچکی از آن‌ها به‌شکل فسیل باقی مانده‌اند و این که حتی مقدار کمتری از این فسیل‌ها

1- Fossil

بقایای موجودات از دوران گذشته‌ی زمین، از قبیل اسکلت جانداران یا برگ گیاهان، که در صخره‌ها و پوسته‌ی زمین هم‌چون اثری منقوش، جاسازی و حفظ شده است.

تاکنون کشف شده است، آن گاه به این نتیجه می‌رسید که هر تلاشی برای بررسی گذشته‌مان، از همان ابتدا محکوم به شکست به‌نظر می‌رسد!

حفاری برای فسیل‌ها: مشاهده‌ی خودمان!

در یک بعدازظهر برفی از ماه ژوئیه (تیر)، درحالی که در عرض جغرافیایی حدود ۸۰ درجه‌ی شمال مشغول بررسی یکی از صخره‌های ۳۷۵ میلیون ساله در جزیره‌ی ^۱الزمیر^۱ بودم، یکی از ماهی‌های درونی‌مان را کشف کردم. قصد من و همکارانم از سفر به این منطقه‌ی متروکه از جهان، تلاش برای کشف یکی از مراحل کلیدی انتقال از ماهی‌ها به خشکی‌زیان بود. آن چه که از درون صخره نمایان شد، فسیل دهان یک ماهی بود، اما نه هر ماهی‌ای! یک ماهی با سری پهن و صاف هنگامی که ما سر پهن و صاف را مشاهده کردیم، متوجه شدیم به کشف متفاوتی دست یافته‌ایم. حدس می‌زدیم که اگر شمار بیشتری از این اسکلت را درون صخره پیدا کنیم، می‌توانیم مرحله‌ی نخستین تاریخچه‌ی تکاملی جمجمه، گردن و حتی دست و پا‌های انسان را آشکار کنیم!

باید اعتراف کنم که از نظر امنیت و رفاه شخصی، سوالی که از خود می‌پرسیدم این بود که چرا من در شمالگانم، نه در هاوایی؟! در واقع، من به دنبال پاسخی برای این سوال بودم که سر پهن و صاف چه رازی را در انتقال جهشی موجودات، از جانوران آبزی به خشکی‌زی آشکار می‌سازد؟ پاسخ این سوالات در این داستان نهفته است که ما چطور از کشف فسیل‌های بیشتر، به‌منظور فاش ساختن اسرار گذشته‌ی خودمان، استفاده کردیم.

فسیل‌ها یکی از نمونه‌های اساسی شواهدی‌اند که ما برای درک بهتر خودمان از آن‌ها بهره می‌گیریم (ژن‌ها و مراحل جنینی موارد دیگری‌اند که درباره‌ی آن‌ها، در فصل‌های بعدی صحبت خواهیم کرد). بسیاری از مردم این موضوع را نمی‌دانند که ما اغلب با دقتی حیرت‌آور به کشفیات فسیلی دست پیدا می‌کنیم. ما در خانه هم فعالیت‌های علمی‌مان را دنبال می‌کنیم تا شانس موفقیت خود در عرصه‌ی جستجو را به حداکثر برسانیم؛ (به این ترتیب مدام احتمال رویارویی با شانس را برای خود بیشتر می‌کنیم.)

دونایت د. آیزنهاور (Dwight D. Eisenhower) مشهور^۲، رابطه‌ی متناقض بین برنامه‌ریزی و شانس در جنگ را به بهترین شکل توصیف کرده است: «دریافته‌ام که در آماده‌شدن برای جنگ، برنامه‌ریزی ضروری است، اما نقشه‌ها بی‌فایده‌اند.» این سخن در دیرینه‌شناسی میدانی مخلص کلام است. ما برای رسیدن به محل فسیل‌ها انواع بسیاری از نقشه‌ها را آماده می‌کنیم. اما در عین حال، این امکان وجود دارد که همه‌ی نقشه‌های میدانی ما

1- Ellesmere

جزیره‌ای در قلمرو شمال غرب کانادا در اقیانوس شمالگان که گذرگاهی باریک آن را از جزیره‌ی گرینلند جدا می‌کند. ^۱الزمیر را نخستین بار در سال ۱۶۱۶ میلادی کاشف انگلیسی، ویلیام بافین، کاوش کرد.

۲- فرمانده ارتش آمریکا در جنگ جهانی دوم و در جنگ علیه آلمان.

به هم بخورد؛ زیرا واقعیت‌های موجود، می‌توانند حتی بهترین نقشه‌های سازمان‌دهی‌شده را هم تحت‌تأثیر قرار دهند.

با آگاهی از نکات قبل، ما برای یافتن پاسخ سؤالات علمی خاص، سفرهایی اکتشافی تدارک می‌بینیم. به این صورت که با استفاده از چندین ایده‌ی ساده، که درباره‌ی آن‌ها صحبت خواهیم کرد، پیش‌بینی می‌کنیم فسیل‌های مهم احتمالاً در کجا یافت می‌شوند. البته همان‌طور که گفتم این امکان هم وجود دارد که در ۱۰۰ درصد موارد هم موفق نباشیم، اما اغلب، تصادفاً موفق هم می‌شدیم که این فرایند کشف را جالب‌تر می‌کرد. مثل: یافتن فسیل پستانداران اولیه برای پاسخ‌گویی به پرسش درباره‌ی منشأ پستانداران یا فسیل نخستین قورباغه‌ها برای پاسخ به سؤالاتی درباره‌ی منشأ آن‌ها و همچنین برخی از نخستین جانوران چهارپا برای درک منشأ حیوانات خشکی‌زی.

کشف فسیل: امروزه دیرینه‌شناسان میدانی از بسیاری جهات، اوقات آسوده‌تری برای یافتن جایگاه‌های پیشرفت‌های جدید و جدید کشف فسیل نسبت به آن‌چه ما انجام می‌دادیم می‌گذرانند؛ چراکه ما درباره‌ی ساختار (اهک‌های سنگی). زمین‌شناسی مناطق محلی بیشتر می‌دانیم؛ در حقیقت باید سپاسگزار اکتشافات زمین‌شناسی، تحت‌نظر مقامات منطقه‌ای و شرکت‌های نفت و گاز باشیم. همچنین اینترنت امکان دسترسی سریع به نقشه‌ها، بررسی اطلاعات و عکس‌های هوایی را به ما داده است. من در مطالعاتم، حتی به امید یافتن مکان‌های فسیلی جدید، می‌توانستم از طریق لپ‌تاپم حیات خلوت منزل شما را هم بررسی کنم! برای تکمیل مطالب قبل باید بگویم که دستگاه‌های تصویربرداری و رادیوگرافی حتی می‌توانند فسیل‌ها را در میان برخی از انواع صخره‌ها نمایان کنند و به ما این امکان داده می‌شود که استخوان‌های نهفته در درون سنگ‌ها را به تصویر درآوریم.

با وجود چنین پیشرفت‌هایی و این که شکار فسیل‌های مهم نسبت به صد سال گذشته بیشتر شده است، دیرینه‌شناسان هنوز هم نیاز به بررسی و شناخت دقیق سنگ‌ها دارند و فسیل‌های درون سنگ‌ها غالباً باید به صورت دستی خارج شوند. استخوان موجود در فسیل‌ها می‌باید کشف و استخراج شود و تصمیمات متعددی درباره‌ی ماهیت آن‌ها گرفته شود و انجام همه‌ی این فرایندها به‌طور خودکار و غیردستی بسیار دشوار است؛ به‌علاوه، جستجوی فسیل از پشت صفحه‌ی مانیتور، هرگز به لذت‌بخشی حفاری واقعی برای دیرینه‌شناسان نیست.

شاخص‌های مهم آن‌چه که فرایند اکتشاف را مشکل می‌سازد این است که محیط‌های یافت فسیل بسیار نادرند. برای به حداکثر رساندن شانس موفقیت‌مان، همگرایی سه شاخص را دنبال می‌کنیم: اول این که مکان‌هایی را جستجو می‌کنیم که سنگ‌ها در بهترین دوره‌ی زمین‌شناسی خود باشند؛ دوم، سنگ‌های مورد جستجو بهترین نوع برای نگه‌داری فسیل‌ها باشند؛ و شاخص سوم این که طبعاً سنگ‌هایی از جنسی مناسب که قادر به حفظ فسیل بوده‌اند و سنگ‌هایی

که در سطح زمین رخنمون شده‌اند. در کنار این‌ها، عامل دیگری نیز وجود دارد: شانس و موفقیت‌های غیرمنتظره؛ که آن را با مثال توضیح می‌دهم.

این مثال یکی از بزرگ‌ترین تحولات تاریخ زندگی را به ما نشان خواهد داد: یورش ماهی‌ها به خشکی، میلیاردها سال، حیات تنها در آب وجود داشت؛ سپس در حدود ۳۶۵ میلیون سال پیش جانورانی در خشکی سکنی گزیدند. زندگی در این دو محیط با یکدیگر تفاوت‌های اساسی داشت. تنفس در آب به اندامی کاملاً متفاوت از تنفس در خشکی نیاز دارد؛ همین‌طور برای غذاخوردن، دفع کردن و حتی حرکت کردن. در حقیقت، لازم بود نوع کاملاً جدیدی از بدن به وجود بیاید. در نگاه نخست، شکاف بین دو محیط آبی و خشکی غیرقابل پوشش به نظر می‌آید؛ اما وقتی به شواهد می‌نگریم همه چیز دگرگون می‌شود؛ آن‌چه که غیرممکن به نظر می‌آید واقعاً اتفاق افتاده است!

طبقه‌بندی (زمانی) در جستجوی سنگ‌های دوره‌های مناسب، ما با حقیقتی جالب توجه روبه‌رو شدیم. فسیل‌های لایه‌های سنگی سنگ‌های دنیا، به صورت تصادفی در آن‌ها جای نگرفته‌اند؛ بلکه محل قرارگیری آن‌ها و آن‌چه در خود نهفته دارند، پیرو یک الگو و طبقه‌بندی است و ما می‌توانیم از این طبقه‌بندی برای طراحی سفرهای اکتشافی خود به بهترین نحو استفاده کنیم.

میلیاردها سال تغییر و تحول، لایه‌های متفاوت سنگی در زمین را روی یکدیگر قرار داده است. فرض اولیه اکتشافات ما، که آزمودن آن نیز آسان است، این است که سنگ‌های موجود در سطح از سنگ‌های لایه‌های زیرین جوان‌ترند؛ معمولاً این فرض برای مکان‌هایی درست است که چیدمان لایه‌ای کیک‌مانند، مشابه گردکنیون^۱ دارند.

1- Grand Canyon

تنگه‌ای در رودخانه‌ی کلرادو واقع در شمال غرب آریزونا، با عمقی بالغ بر ۱/۸۳ کیلومتر، عرضی بین ۶۴ تا ۲۹ کیلومتر و طولی بیش از ۴۰۰ کیلومتر است. دیوارهای فرسوده‌ی دره نزدیک به ۲ میلیارد سال دوره‌ی زمین‌شناختی را در خود ضبط کرده‌اند!



اما جابه‌جایی‌های پوسته‌ی زمین سبب ایجاد گسل‌هایی می‌شود که موقعیت لایه‌ها را تغییر می‌دهد؛ در واقع به این صورت است که سنگ‌های کهنه‌تر روی سنگ‌های جوان‌تر قرار می‌گیرند! خوشبختانه هنگامی که موقعیت این گسل‌ها شناخته شود می‌توانیم لایه‌های متوالی را بر اساس توالی اصلی‌شان شناسایی کنیم.

فسیل‌های درون این لایه‌های سنگی نیز از توالی برخوردارند؛ لایه‌های پایین‌تر گونه‌های کاملاً متفاوتی نسبت به لایه‌های بالاتر دارند.

ستون مرتفع سنگی اگر ما به‌فرض می‌توانستیم یک ستون مرتفع سنگی را که دربرگیرنده‌ی تاریخچه‌ی کامل با تاریخچه‌ای کامل از حیات است داشته باشیم، گستره‌ی شگفت‌آوری از فسیل‌ها را در آن می‌دیدیم؛ پایین‌ترین لایه‌ها تقریباً هیچ مدرک قابل‌مشاهده‌ای از حیات در خود ندارند. لایه‌های روی آن‌ها نشانه‌هایی از مجموعه‌ی گوناگونی از جانوران بی‌مهره، مرجان‌ها و فسیل‌هایی مشابه را دربرگرفته‌اند. لایه‌های بالاتر ممکن است جانوران دارای اسکلت و ساختارهای گوناگون مانند چشم‌ها را در خود داشته باشند. در بالای آن‌ها احتمالاً لایه‌هایی با فسیل نخستین جانوران دارای ستون فقرات وجود داشته باشد. برای یافتن لایه‌هایی که انسان‌های نخستین را در خود دارند باید باز هم به قسمت‌های بالاتر رفت!

البته یک ستون سنگی منفرد، که شامل مجموعه‌ی کل تاریخ حیات باشد، هرگز وجود نداشته است. بلکه، سنگ‌های هر منطقه از زمین تنها یک دوره‌ی کوتاه زمانی را نمایش می‌دهند. برای به‌دست‌آوردن تصویری کلی، باید قطعات مجزا را با مقایسه‌ی سنگ‌ها و فسیل‌های درونی‌شان، دقیقاً مثل درست‌کردن یک پازل بزرگ و پیچیده، کنار یکدیگر بچینیم.

جای تعجب نیست که ستون‌های سنگی فسیل‌دار حاوی توالی مشخصی از گونه‌های زیستی فسیل‌شده هستند. آن‌چه که کمتر مشهود است این است که ما می‌توانیم به کمک مقایسه‌ی فسیل‌های یافته‌شده با گونه‌هایی از جانوران زنده‌ی امروزی، پیش‌بینی‌های مفصلی درباره‌ی این که فسیل‌های هر لایه احتمالاً مربوط به چه جانوری‌اند انجام دهیم.

این اطلاعات به ما در پیش‌بینی فسیل‌هایی که ممکن است در لایه‌های مختلف سنگی کشف کنیم، کمک می‌کند. ما می‌توانیم از طریق مقایسه‌ی خودمان با حیوانات باغ‌وحش محلی یا اکواریم‌مان، توالی فسیلی موجود در سنگ‌های سراسر جهان را پیش‌بینی کنیم!

مشاهده‌ی موهبت‌ها چطور قدم‌زدن در باغ‌وحش به ما در پیش‌بینی این که سنگ‌های کدام مناطق را باید زنده؛ (آه‌کاری برای جستجو کنیم تا فسیل‌های با اهمیت را بیابیم، کمک می‌کند؟! باغ‌وحش تنوع بزرگی از درک مسیر تکامل جانوران را در خود دارد که از بسیاری جهات با یکدیگر متفاوت‌اند. اما بیایید روی نقاط تمایز آن‌ها تمرکز نکنیم؛ بلکه برای فائق‌آمدن بر مشکلاتی که برای ادامه‌ی پیش‌بینی‌های مان

وجود دارد، باید روی اشتراکات جانوران مختلف متمرکز شویم. سپس می‌توانیم از ویژگی‌هایی که در همه‌ی گونه‌ها مشترک است، برای شناسایی گروه‌هایی از جانوران با خصوصیات مشابه استفاده کنیم.

همه‌ی موجودات زنده می‌توانند مانند عروسک‌های تو در توی روسی^۱ مرتب شوند؛ گروه‌های کوچک‌تر جانوران، زیرمجموعه‌ی گروه‌های بزرگ‌تر آن‌ها هستند. وقتی این کار را انجام می‌دهیم، به کشفی بسیار بنیادی از طبیعت ناآشنا می‌آییم.

هر گونه‌ای از جانوران باغ‌وحش و آکواریوم یک سر و دو چشم دارند. به این گونه‌ها «هر چیز»^۲ بگویید! پس از آن‌ها یک زیرمجموعه از جانورانی با سر و دو چشم، به همراه اندام‌هایی مانند دست و پا قرار می‌گیرند. به این گونه‌های دارای اندام‌های حرکتی «هر چیز اندام‌دار»^۳ بگویید. یک زیرمجموعه از این جانداران سر و اندام‌دار، مغز بزرگی دارند و روی دو پای‌شان راه می‌روند و می‌توانند صحبت کنند. این زیرمجموعه ما انسان‌ها هستیم! البته ما از این طرز دسته‌بندی می‌توانیم برای ایجاد زیرمجموعه‌های بسیار زیاد دیگری نیز استفاده کنیم؛ اما حتی همین تقسیم‌بندی سه‌گانه قدرت پیش‌بینی دارد!

فسیل‌های موجود در میان سنگ‌های زمین عموماً از این قاعده پیروی می‌کنند و ما می‌توانیم از همین قاعده برای طراحی سفرهای اکتشافی‌مان بهره بگیریم. برای استفاده از مثال قبل باید گفت، نخستین عضو از گروه «هر چیز» جانورانی با سر و دو چشم هستند که در نمونه‌های فسیلی کشف شده‌اند و پیش از اولین «هر چیزهای اندام‌دار» قرار خواهند گرفت. به بیان دقیق‌تر، نخستین ماهی‌ها (عضو گروه «هر چیز») پیش از دوزیستان (گروه «هر چیز اندام‌دار») ظاهر شده‌اند. بدیهی است که، ما این طبقه‌بندی را با مشاهده‌ی گونه‌های بیشتری از جانوران و مشخصات مشترک در میان گروه‌های آن‌ها، به همان دقتی که سن واقعی سنگ‌های‌شان را تشخیص دادیم، سازمان‌دهی کردیم.

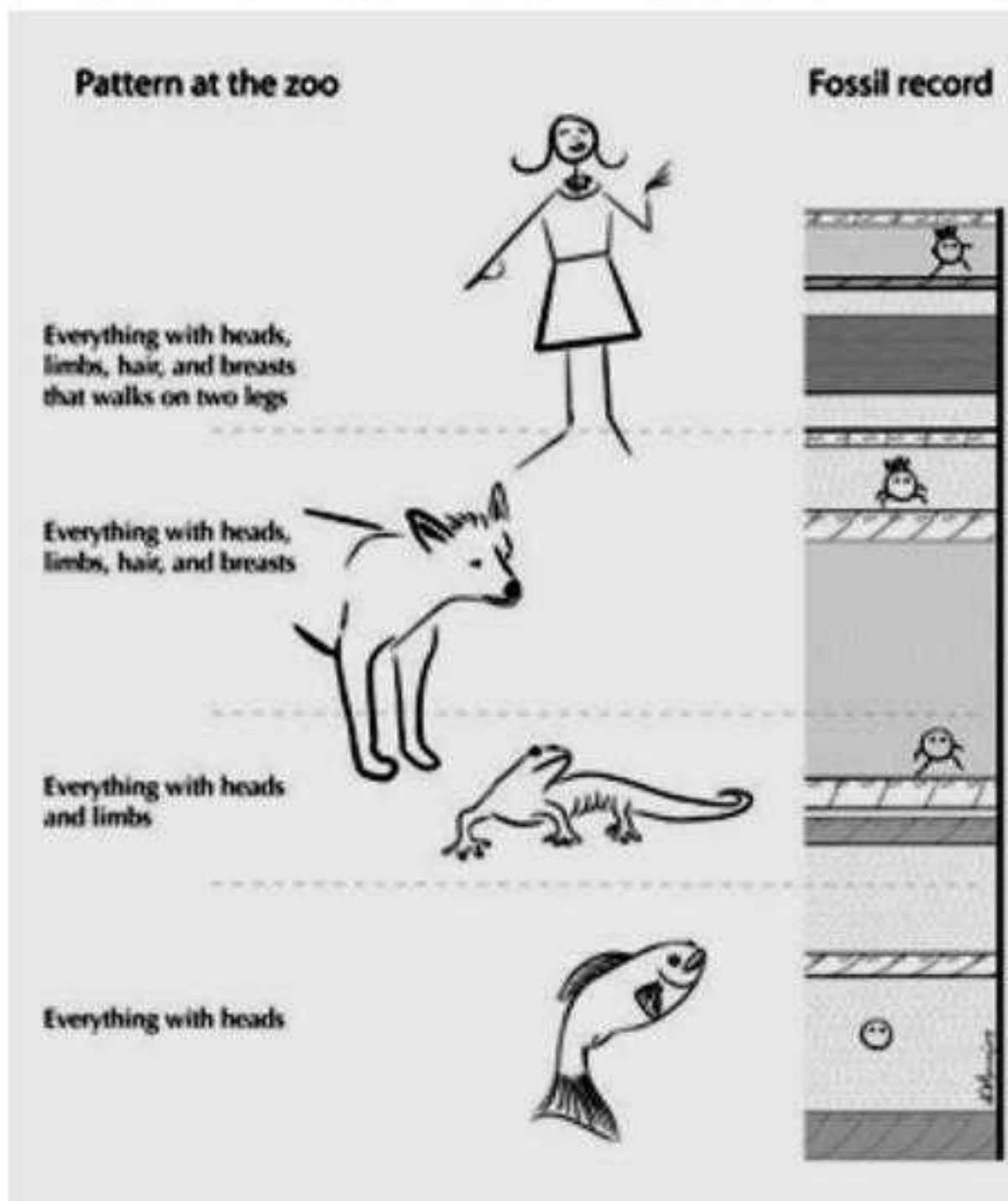
۱ - ماتروشکا یا عروسک‌های تودرتوی چوبی کوچک‌شونده‌ی روسی.



2- Everything

3- Everything with limbs

ما دقیقاً این نوع از تجزیه و تحلیل‌ها را با هزاران هزار ویژگی و گونه در آزمایشگاه‌های مان انجام می‌دهیم. حتی کوچک‌ترین قطعات استخوان‌بندی و آناتومی را با دقت بالایی مطالعه می‌کنیم و اغلب مقدار قابل توجهی از DNA را بررسی می‌کنیم. اطلاعات بسیار زیادی وجود دارد و ما برای دیدن گروه‌های محصور در گروه‌های دیگر به کامپیوترهای قدرتمندی نیاز داریم. این رویکرد بنیادین زیست‌شناسی است، زیرا به ما در داشتن فرضیه‌ای درباره‌ی این که چگونه جانوران به یکدیگر مرتبط شده‌اند، کمک می‌کند؛ به‌علاوه این که ما را در تصحیح گروه‌بندی موجودات زنده یاری می‌رساند چرا که صدها سال جمع‌آوری فسیل، کتابخانه‌ی بسیار وسیع یا کتابچه‌های عظیمی از ادوار زمین‌شناختی و حیات موجود در آن‌ها فراهم کرده است. اکنون ما قادر به شناسایی دوره‌های زمانی کلی‌ای هستیم که تغییرات اصلی در آن‌ها به‌وقوع پیوسته است. آیا شما علاقه‌مند به دانستن منشأ پستانداران هستید؟! به سنگ‌های دورانی مراجعه کنید که به آن مزوزوئیک^۱ می‌گویند؛ شیمی خاک به ما می‌گوید



ما با قدم‌زدن در باغ‌وحش کشف می‌کنیم که فسیل‌ها چطور در سنگ‌های سراسر جهان قرار گرفته‌اند!

سنگ‌های این دوران احتمالاً عمری بالغ بر ۲۱۰ میلیون سال دارند. آیا شما علاقه‌مند به دانستن منشأ پریمات‌ها^۲ هستید؟! به ستون سنگی بالاتر بیاوید، به دوره‌ی کرتاسه، زمانی که این سنگ‌ها حدوداً ۸۰ میلیون ساله‌اند.

ترتیب قرارگیری فسیل‌ها در سنگ‌های سراسر جهان شاهد قدرتمندی برای ارتباط ما با بقیه‌ی گونه‌های حیات است. اگر ما در حفاری سنگ‌های ۶۰۰ میلیون ساله، نخستین عروس‌دریایی را در کنار اسکلت موش خرمایی کوهی آمریکا بیابیم، مجبور می‌شویم همه‌ی اسناد علمی را بازنویسی کنیم! چرا که در این صورت آن موش خرمایی می‌باید پیش از نخستین پستاندار، جانور خزنده، ماهی و حتی پیش از اولین کرم در ثبت‌های فسیلی ظاهر شده باشد؟! به‌علاوه، این

1- Mesozoic

یکی از سه دوران در اُتردورلن پیرازیستی است که بین دوران پالئوزوئیک و سنوزوئیک قرار دارد و خود شامل سه دوره‌ی تریاس، ژوراسیک و کرتاسه است.

2- Primate. نخستین راسته‌ی پستانداران

موش خرمایی باستانی به ما می‌گوید بیشتر اطلاعاتی که راجع به تاریخچه‌ی زمین و زندگی در آن می‌دانیم، اشتباه است. با وجود بیش از ۱۵۰ سال جستجوی شکارچیان فسیل برای یافتن فسیل‌ها در هر یک از قاره‌های زمین و حتی در هر لایه‌ی سنگی، که گمان داشتن فسیل در آن برود، این مشاهده هرگز به‌وقوع نپیوسته است.

اجازه بدهید به مسئله‌ی خودمان بازگردیم، این که دیرینه‌ماهی چطور قادر به راه رفتن در خشکی شده بود؟ در گروه‌بندی ما، این جانوران جایی میان دسته‌ی «هر چیز» و «هر چیز اندام‌دار» قرار دارند.

ارتباط دیرینه‌ماهی ما دیرینه‌ماهی را به دانش‌مان از صخره‌ها و دوران‌های زمین‌شناسی آن‌ها ربط دهید؛ شواهد با دوره‌های زمین‌شناسی قدرتمندی وجود دارد که می‌گوید در دوره‌ی زیستی ۳۶۵ تا ۳۸۰ میلیون سال پیش، زمین یک دوره‌ی زمانی حساس و بحرانی را پشت سر گذاشته است. سنگ‌های جوان‌تر این محدوده‌ی زمانی، که حدوداً ۳۶۰ میلیون ساله‌اند، شامل گونه‌های متنوعی از جانوران فسیل‌شده‌اند که می‌توانیم دوزیست یا خزنده بودن آن‌ها را تشخیص بدهیم.

همکارم، خانم جنی کلاک (Jenny Clack) از دانشگاه کمبریج، پژوهشگران دیگر فسیل دوزیستان متعلق به سنگ‌های حدوداً ۳۶۵ میلیون ساله را در گرینلند شناسایی کرده‌اند. این جانوران با داشتن گردن، گوش و چهار پا نمی‌توانستند ماهی باشند! اما در سنگ‌های حدوداً ۳۸۵ میلیون ساله ما فسیل کاملی را یافتیم که دقیقاً ظاهری مشابه ماهی داشت. آن فسیل دارای باله، سری مخروطی و حتی پولک بود؛ از گردن نیز خبری نبود!

باتوجه به این اطلاعات، این موضوع چندان عجیب نیست که ما برای یافتن شواهد گذار جانداران از ماهی - به‌عنوان موجود آبزی - به جانوران ساکن خشکی، روی سنگ‌هایی با سن حدودی ۳۷۵ میلیون سال تمرکز کنیم.

در جستجوی سنگ ایده‌آل برای فسیل ما دوره‌ی زمانی را، که برای پژوهش‌هایمان نیاز داشتیم، شناسایی کردیم و لایه‌هایی از ستون سنگی زمین‌شناختی را، که برای جستجو در نظر داشتیم، یافتیم. اکنون چالش مهم، یافتن سنگ‌هایی است که تحت شرایط مستعدی برای نگه‌داری فسیل‌ها شکل گرفته باشند. سنگ‌ها در محیط‌های گوناگونی شکل می‌گیرند و این محیط اولیه، علائم مشخصی در لایه‌های سنگی باقی می‌گذارد. بیشتر سنگ‌های آتشفشانی از حیطة‌ی این مطالعه خارج بوده‌اند، تا جایی که ما می‌دانیم هیچ ماهی‌ای قادر به زندگی در مواد مذاب نیست! حتی اگر گونه‌ای ماهی وجود می‌داشت، استخوان‌های فسیل‌شده‌اش در چنان شرایط فوق‌گرمایی در بازالت^۱، ریولیت^۲، گرانیت^۳ و دیگر سنگ‌های آتشفشانی باقی نمی‌ماند. ما هم‌چنین می‌توانیم از سنگ‌های دگرگونی^۴ مانند شیست و سنگ مرمر، به این علت که از بدو

۱ - نوعی سنگ چخماق یا آتشفشانی سیاه

۲ - نوعی سنگ آتشفشانی دانه‌ریز.

۳ - یکی از محکم‌ترین سنگ‌ها که از گونه‌ی سنگ‌های آذرین درونی به حساب می‌آید.

شکل‌گیری اولیه دستخوش شرایط فوق‌گرمایی یا فشار شدید بوده‌اند، صرف‌نظر کنیم؛ هرچند که ممکن است فسیل‌های درون آن‌ها تا مدت زمان طولانی پیش از ناپدید شدن‌شان و محافظت شده باشند. سنگ ایده‌آل برای محافظت از فسیل‌ها، سنگ‌های رسوبی هستند: سنگ‌آهک، سنگ‌ماسه، سنگ گِل‌ولای ریزدانه و سنگ خاک‌رسی.

در مقایسه با سنگ‌های آتشفشانی و دگرگونی، این سنگ‌ها در فرایندهای ملایم‌تری مثل فعالیت‌های رودخانه‌ای، دریاچه‌ای و دریایی شکل گرفته‌اند. نه تنها شانس زندگی جانوران در چنین محیط‌هایی بیشتر است، بلکه فرایندهای رسوبی، این سنگ‌ها را محیط‌های مناسب‌تری برای حفظ و نگهداری فسیل‌ها می‌کند. برای مثال، در اقیانوس یا دریاچه، ذرات دائماً در آب حل و در عمق آن ته‌نشین می‌شوند. با گذشت زمان، هم‌چنان که این ذرات انباشته می‌شدند، توسط لایه‌های جدید بالاتر فشرده شده‌اند. البته در طول یک دوره‌ی زمانی بسیار طولانی، تراکم تدریجی با فرایند شیمیایی صورت گرفته در سنگ‌ها همراه شده است. این بدان معنی است که هر اسکلتی که درون این سنگ‌ها باشد شانس زیادی برای فسیل شدن دارد. دقیقاً فرایند مشابهی در سنگ‌های رسوبی حاصل از جریان آب رودخانه‌ها اتفاق می‌افتد. یک قانون کلی در این رابطه وجود دارد که می‌گویید هر چقدر جریان آب رودخانه ملایم‌تر باشد، فسیل‌ها بهتر حفظ می‌شود.

هر سنگ، داستانی از زمین در دل خود دارد. هریک از سنگ‌های روی زمین داستانی برای گفتن دارند: داستان این که زمین، به‌عنوان اقلیمی شکل گرفته از سنگ‌های متفاوت، به چه صورت و در چه شرایطی بوده است. درون هر سنگ شواهدی از اقلیم و محیط گذشته وجود دارد که اغلب با وضعیت امروزی آن بسیار متفاوت است. در بعضی از موارد هم بین حال و گذشته نمی‌توان مرز مشخصی قائل شد. نمونه‌ی افراطی آن قله‌ی اورست است: در نزدیکی قله، در بلندای بیش از هشت کیلومتری، سنگ‌هایی از کف دریای باستانی وجود دارد! بروید به قسمت شمالی، تقریباً به‌سوی قدم‌گاه هیلاری^۱ معروف؛ در این‌جا شما می‌توانید صدف‌های حلزونی شکل فسیل‌شده را ببینید. به‌طور مشابه، دما در شمالگان - محل جستجوی ما - به منفی ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در زمستان می‌رسید؛ اما درون بعضی از سنگ‌های آن منطقه بقایای دلتای گرمسیری باستانی، گیاهان و ماهی‌هایی دیده می‌شد که تنها در شرایط مکانی حاره، تقریباً شبیه به آمازون، می‌توانستند رشد کنند! وجود گونه‌های گرمسیری در عرض‌ها و ارتفاعات دور، گواهی‌ست بر این که سیاره‌ی ما چقدر می‌تواند تغییر کند: ظهور و سقوط کوه‌ها، گرم و سرد شدن اقلیم و حرکت قاره‌ها. همان‌طور که ما به درک عظمت زمان و علل شگفت‌آور تغییرات سیاره‌مان می‌رسیم از این اطلاعات برای طراحی سفر اکتشافی جدیدمان برای شکار فسیل‌ها استفاده می‌کنیم.

اگر شناخت منشأ اندام‌هایی چون دست و پا در جانوران مورد توجه ما باشند، باید پژوهش‌های خود را روی سنگ‌هایی با قدمت حدودی ۳۷۵ تا ۳۸۵ میلیون سال، که در اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها و آبراهه‌ها شکل گرفته‌اند، محدود کنیم. سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های دگرگونی به‌عنوان یک احتمال حذف می‌شوند و تصویر ما برای جستجوی مکان‌های فسیلی بر نقاط خاصی متمرکزتر می‌شود.

با همه‌ی این‌ها ما تا این‌جا، تنها مقدار اندکی از راه را برای طراحی یک سفر اکتشافی جدید پیموده‌ایم. اگر سنگ‌های رسوبی احتمالی ما، که در دوره‌ی زمین‌شناختی مناسبی هم قرار دارند، در اعماق زمین مدفون شده باشند، یا با علف پوشیده شده باشند، یا زیر مراکز خرید و شهرها باشند، اصلاً خبر خوشایندی برای اکتشافات ما نیست؛ آن‌گاه چه باید کرد؟ یعنی ما کورکورانه حفاری کرده بودیم؟ همان‌طور که می‌توانید تصور کنید، احتمال موفقیت در حفر یک گودال مناسب برای یافتن فسیل، به اندازه‌ی پرتاب تیری در تاریکی، اندک است!

در جستجوی بهترین بهترین مکان‌ها برای جستجوی فسیل مناطقی‌اند که بتوانیم کیلومترها روی سنگ‌ها راه برویم تا **مکان برای یافتن** به نقطه‌ای برسیم که استخوان‌ها و فسیل‌ها در معرض هوای آزاد هستند. استخوان‌های فسیلی **سنگ‌های فسیلی** معمولاً سفت‌تر از سنگی‌اند که آن را احاطه کرده است بنابراین فرسایش در آن‌ها کمی کندتر رخ می‌دهد و طرح ظاهری برجسته‌ای را در سطح سنگ نمایان می‌کنند. به این ترتیب، ما بیشتر مایلیم روی بستر سنگ‌های عریانی قدم بزنیم که استخوان‌های نصفه‌ونیمه در سطح‌شان وجود داشته باشد، سپس آن قسمت را حفاری می‌کنیم.

پس این، فوت کوزه‌گری برای طراحی سفرهای اکتشافی جدید فسیل‌یابی است: یافتن سنگ‌هایی در دوره‌ی مناسب، با جنس مناسب (رسوبی) و نمایانی وجود فسیل در آن سنگ‌ها؛ در حقیقت این تخصص ماست. مکان‌های فسیلی ایده‌آل، جاهایی‌اند که پوشش خاکی و گیاهی اندکی دارند و خیلی کم در خطر تعرضات بشری قرار داشته‌اند. آیا این شگفت‌آور نیست که بخش مهم اکتشافات در مناطق بیابانی به‌وقوع می‌پیوندد؟! بیشتر اکتشافات فسیلی در صحرای گوبی^۱، صحرای بزرگ آفریقا، یوتای ایالات متحده و بیابان‌های شمالگان مانند گرینلند رخ می‌دهند.

این اطلاعات کاملاً منطقی به‌نظر می‌آیند، اما بخت و اقبال را نیز نباید دست‌کم گرفت. در واقع، این شانس غیرمترقبه بود که گروه ما، ردپای ماهی درونی‌مان را یافتند. اولین کشفیات مهم ما در بیابان رخ نداد، بلکه در کنار جاده‌ای، در مرکز ایالت پنسیلوانیا اتفاق افتاد؛ جایی که اکتشاف به‌سختی می‌توانست صورت پذیرد. باید اعتراف کنم که تنها علت جستجوی آن منطقه، کمبود منابع مالی بود!

کمبود منابع مالی و اکتشاف در گرینلند یا صحرای بزرگ آفریقا به‌هزینه و زمان بسیار زیادی نیاز دارد. در **جهت‌دهی مطالعات** مقابل، پروژه‌های محلی به کمک‌هزینه‌ی پژوهشی چندانی نیاز ندارند؛ برای این‌گونه **علمی** پروژه‌ها تنها پولی که نیاز است هزینه‌ی بنزین اتومبیل و عوارض جاده‌هاست. این‌ها

متغیرهای حساسی برای فارغ‌التحصیلان جوان یا تازه‌استادان حق‌التدریسی کالج به‌شمار می‌آیند.

وقتی اولین فعالیت حرفه‌ای خود را در فیلادلفیا آغاز کردم، چیزی که سبب جلب توجه‌ام شد سنگ‌هایی بود که مجموعاً به آن‌ها کاتسکیل فرمیشن پنسیلوانیا^۱ گفته می‌شد. روی این‌گونه از سنگ‌ها بیش از ۱۵۰ سال مطالعه‌ی وسیعی صورت گرفته بود. سن و تعلق‌شان به اواخر دوره‌ی دونین^۲ به‌خوبی شناخته شده بود. به‌علاوه، این سنگ‌ها برای حفظ نخستین جانوران دارای اندام‌های حرکتی و البته خویشان نزدیک‌شان کاملاً مناسب به‌نظر می‌رسیدند. برای فهم بهتر این موضوع، بهترین چیز داشتن تصویری از پنسیلوانیا در دوره‌ی دوئین^۳ است. تصویر امروزی فیلادلفیا، پیتزبروگ^۴ یا هاریسبروگ^۵ را از ذهن خود پاک کنید و به دلتای رود آمازون فکر کنید. این‌گونه تصور کنید که در قسمت شرقی ایالت، کوهستان‌هایی وجود داشت. جریانی پیوسته از رودخانه‌ها از شرق به غرب میان کوهستان‌ها امتداد داشته و در دریای بزرگی، که امروزه پیتزبرو نامیده می‌شود، به‌پایان می‌رسید.

شرایط برای کشف فسیل‌ها خوب به‌نظر می‌رسید به‌جز یک موضوع؛ مرکز ایالت پنسیلوانیا با شهرک‌ها، جنگل‌ها و کشتزارهایی پوشیده شده است. خیلی زود متوجه شدیم که گروه حمل‌ونقل پنسیلوانیا^۶ تصمیم به احداث جاده‌ی بزرگی گرفته است. در هنگام راه‌سازی انفجارهایی هم انجام می‌شد و پس از انفجار، سنگ‌ها پدیدار می‌شدند. اگر چه این نمایش همیشه به‌بهترین شکل صورت نمی‌گرفت، اما ما آن‌چه را که می‌توانستیم، برمی‌داشتیم. در واقع با اندکی دانش، می‌توانی آن‌چه را که در جستجوی هستی یابی!

شانس‌های دیگری نیز با من یار بودند؛ در سال ۱۹۹۳ تد دشر (Ted Daeschler) به پنسیلوانیا آمد تا در دوره‌ی دیرینه‌شناسی من شرکت کند. این همکاری، زندگی هر دوی ما را متحول ساخت. خلق و خوی متفاوت ما به‌خوبی هماهنگ شد؛ من فرد عجولی هستم و همیشه در ذهنم به مکان بعدی برای جستجو می‌اندیشم؛ اما تد شکیباست و می‌داند چه زمانی روی یک مکان متمرکز شود و آن‌جا را برای یافتن گنج فسیلی‌اش حفاری کند.

هاینرپتون؛ می‌هان من و تد به امید یافتن شواهد جدیدی درباره‌ی منشأ پیدایش اندام‌های حرکتی شروع به کاوش سنگ‌های دوره‌ی دونین در منطقه‌ی پنسیلوانیا کردیم. ما جستجوی‌مان را با حرکت به سوی هر جاده‌ی بزرگی در بخش شرقی ایالت آغاز کردیم. کمی بعد از شروع کاوش، در کمال تعجب، تد یک استخوان عجیب شانه پیدا کرد. ما نام جانوری را، که صاحب آن استخوان بود، هاینرپتون^۶ گذاشتیم؛ این کلمه برگردان یونانی «حیوان کوچک خزنده از هاینر» است. هاینر نزدیک‌ترین شهرک به پنسیلوانیاست. هاینرپتون شانه‌های بسیار قوی

1 Catskill Formation of Pennsylvania

2 Devonian دوره‌ی زمین‌شناسی بین حدوداً ۴۰۹ تا ۳۶۲ میلیون سال پیش که یکی از دوره‌های پالئوزوئیک است.

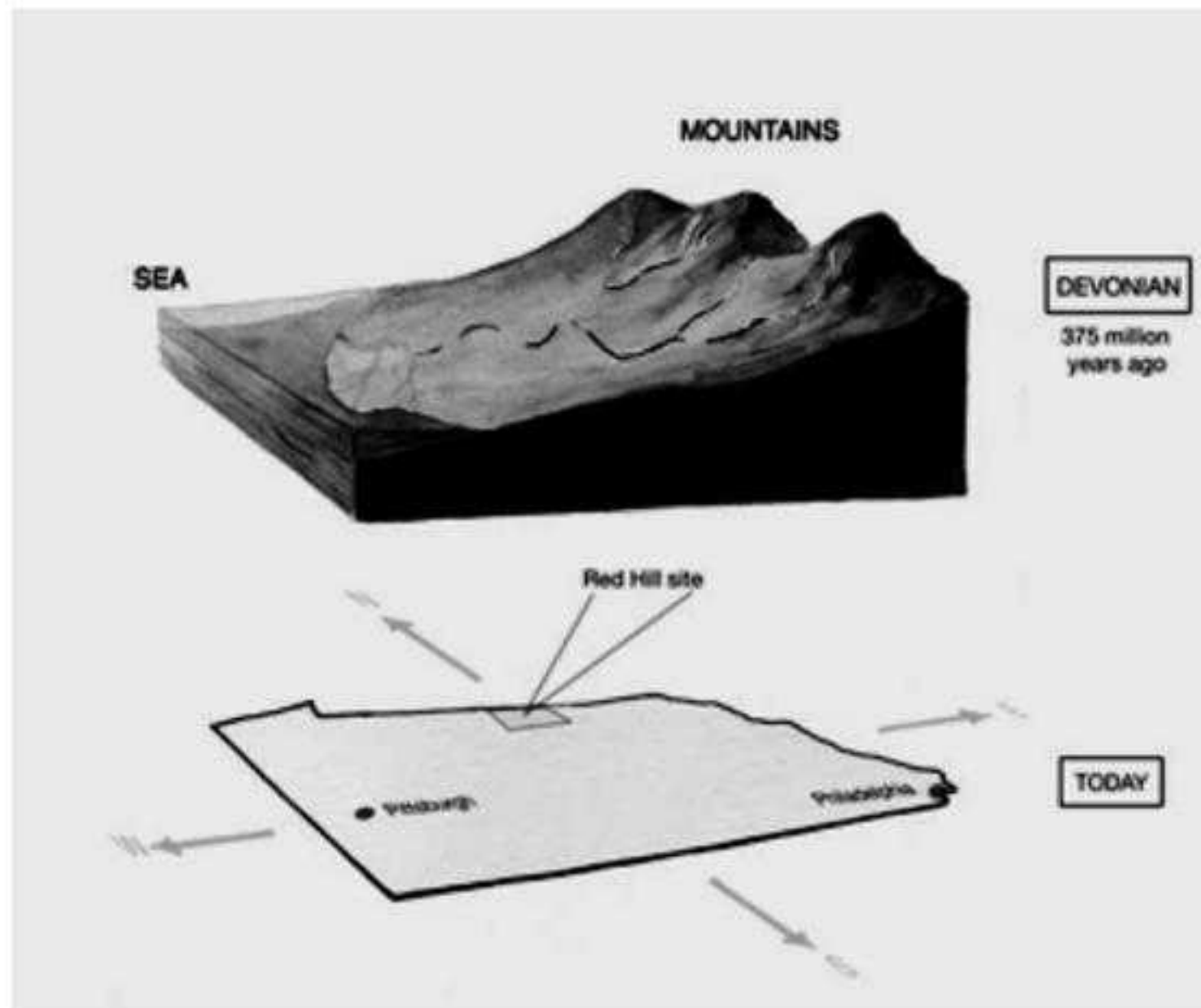
3 Pittsburgh شهری در غرب پنسیلوانیا.

4 Harrisburg مرکز ایالت فیلادلفیا.

5 Penn DOT

6 Hynerpeton

داشت که نشان می‌داد جانور احتمالاً اندام‌های فرعی بسیار قدرتمندی داشته است. متأسفانه، هرگز نتوانستیم تمام اسکلت این جانور را بیابیم. چراکه جستجو در آن منطقه بسیار محدود شده بود. چطور؟! شما حدس بزنید...! بله! با پوشش گیاهی، خانه‌ها و مراکز خرید موجود در ایالت!



در طول جاده‌های پنسیلوانیا، ما دلتای رودخانه‌ی باستانی را بررسی کردیم، که بسیار شبیه آمازون امروز است. ایالت پنسیلوانیا (پایین) همراه با توپوگرافی دوره‌ی دولین که در بالای آن است.

پس از کشف هاینرپتون و دیگر فسیل‌های این سنگ‌ها، من و تد با اشتیاق وافر هر ذره را برای بدست‌آوردن شکل بهتری از سنگ‌ها جستجو کردیم. اگر قرار بود تمام سرمایه‌گذاری‌های علمی ما بر اساس بازیابی قطعات و ذرات کوچک باشد، آن‌گاه تنها می‌توانستیم به سوالات محدودی پاسخ دهیم. به این ترتیب ما رویکرد تئوریک اصلی را در پیش گرفتیم و تنها سنگ‌های نمایان نواحی صحرایی را، که در دوره‌ی زمین‌شناختی مناسب و از گونه‌ی مناسب بودند، را بررسی کردیم؛ در واقع، ممکن نبود ما بزرگترین کشف زندگی حرفه‌ای خودمان را انجام بدهیم مگر این‌که اطلاعات موجود در کتاب درسی اصول مقدماتی زمین‌شناسی را در جستجوهای مان کاملاً لحاظ می‌کردیم!

فاتمه‌ی تردیدها در اصل، علت این که ما آلاسکا^۱ و یوکان^۲ را محل‌های بالقوه برای طراحی سفر اکتشافی جدیدی بررسی کردیم، تا حد زیادی این بود که اکتشافات مرتبط در آن محل را گروه‌های دیگر انجام داده بودند. گروه اکتشافی ما دچار تردیدها و بحث‌هایی درباره‌ی انتخاب مکان جدید فسیلی شده بود؛ اما ما به این بحث‌ها و استدلال‌ات درباره‌ی مفاهیم مبهم زمین‌شناسی پایان دادیم؛ چراکه ناگهان، یکی از اعضای گروه یک رساله‌ی زمین‌شناسی خوش‌یمن را از روی میز برداشت و شروع به مطالعه‌ی آن کرد؛ او متوجه شد حق با کدام‌یک از ما است. همه متوجه نموداری در آن کتاب شدیم؛ نموداری که ما را میخکوب کرد! زیرا آن شکل، هر آن‌چه را که ما به دنبالش بودیم نشان می‌داد. بحث‌ها پایان یافت و برنامه‌ریزی برای سفر اکتشافی جدید آغاز شد.

بر مبنای کشفیات روی داده‌ی قبلی در سنگ‌های اندکی جوان‌تر، ما معتقد بودیم که جریان آب‌های شیرین باستانی بهترین مکان برای شروع جستجوی ما خواهد بود. این نمودار به ما سه منطقه با سنگ‌های آب شیرین دوره‌ی دونین را نشان می‌داد که هریک دارای سیستم دلتای رودخانه‌ای بودند. منطقه‌ی اول، ساحل شرقی گرینلند بود. این‌جا وطن فسیل کشف‌شده‌ی جنی کلاک بود؛ جانور بسیار اولیه‌ی اندام‌داری که یکی از نخستین گونه‌های شناخته‌شده‌ی چهارپایان - تتراپودها^۳ - است. منطقه‌ی بعدی شمال شرقی آمریکا، وطن هاینرپتون، یعنی موقعیتی که ما در آن مشغول به جستجو بودیم؛ و منطقه‌ی پهناور و مناسب سوم که از شرق به غرب قطب شمال کانادا امتداد داشت. در شمالگان اثری از درخت، خاک یا شهر نیست؛ در آن‌جا شانس شناسایی سنگ‌هایی از دوره و گونه‌ی مناسب بالاست.

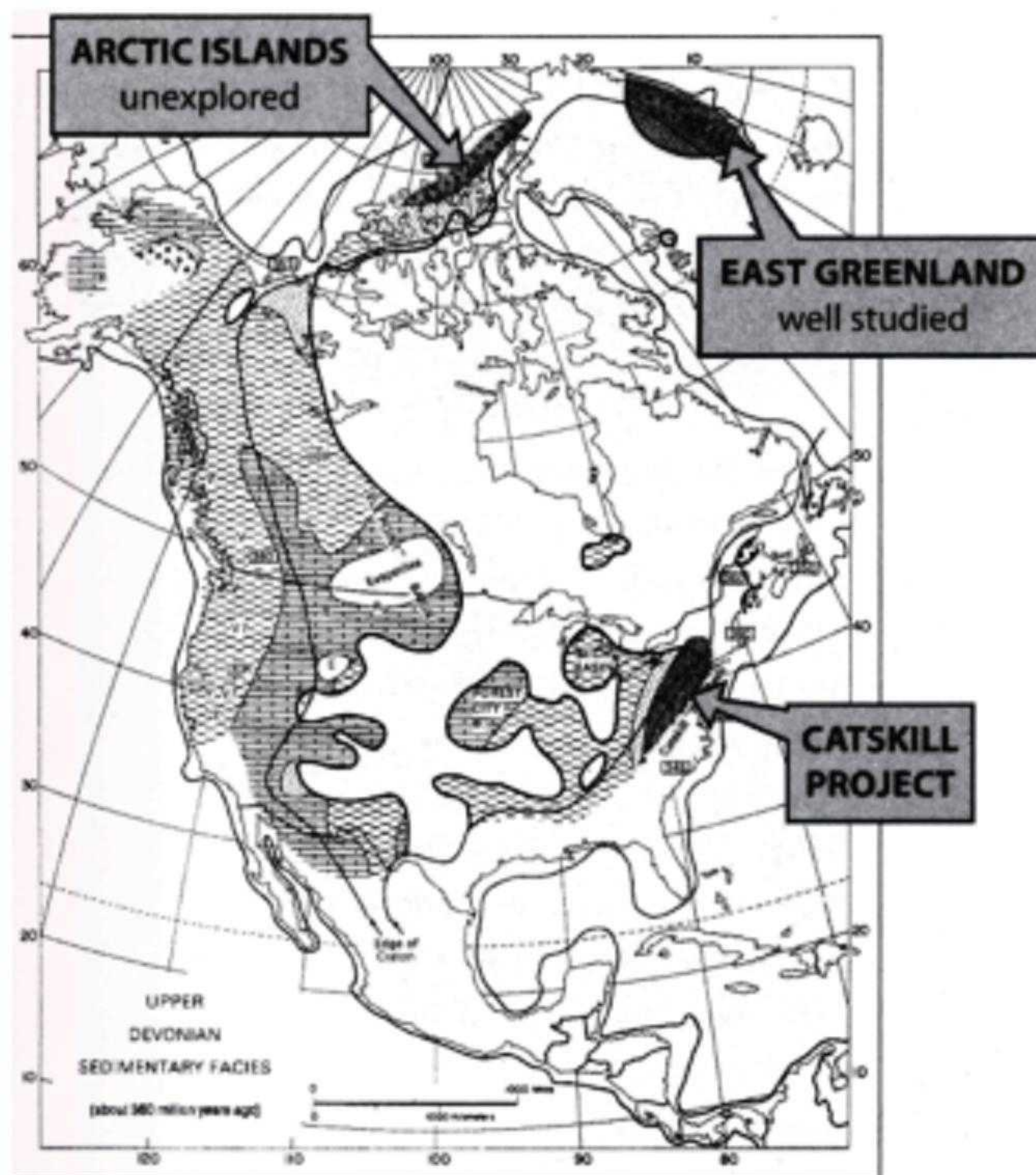
اکتشافات قطب شمال کانادا معروف بودند، به‌ویژه برای زمین‌شناسان و گیاه‌شناسان کانادایی که از آن‌ها نقشه‌برداری کرده‌اند. در واقع، آشتون امبری (Ashton Embry)، رهبر گروهی که بیشتر اکتشافات آن‌جا را انجام داده بود، اطلاعات زمین‌شناسی سنگ‌های کانادایی دوره‌ی دونین را در رساله‌ای شرح داده بود که از بسیاری جهات همانند اطلاعات زمین‌شناسی پنسیلوانیا به‌شمار می‌آمد. من و تد به‌محض خواندن این رساله آماده‌ی عزیمت شدیم. درس‌هایی که ما در بزرگ‌راه‌های پنسیلوانیا آموخته بودیم به ما در اکتشافات شمالگان کانادا کمک بسیاری کرد.

1- Alaska

2- Yukon کوچکترین و غربی‌ترین قلمرو از سه قلمرو فدرال کانادا است.

3- Tetrapod

نکته‌ی جالب‌توجه این است که سنگ‌های شمالگان حتی از طبقات فسیلی گرینلند و پنسیلوانیا هم قدیمی‌تر بودند. پس این منطقه معیارهای سه‌گانه‌ی ما را پوشش می‌داد: دوره، گونه و نمایانی. حتی بهتر از آن، این منطقه برای دیرینه‌شناسان استخوان‌های مهره‌داران هم ناشناخته بود؛ پس انتظار نمی‌رفت برای یافتن فسیل، جستجو شده باشد؛ منطقه‌ای بکر و مناسب!



نقشه‌ای که جستجو را به کمک آن آغاز کردیم. این نقشه از شمال آمریکا، به‌طور خلاصه آن‌چه را که ما در جستجوی بودیم، در اختیار ما قرار می‌داد. در این نقشه انواع متفاوتی از انعکاس سایه‌روشن‌ها، نشانه‌ی صخره‌های دوره‌ی دینین، خواه دریایی یا آب شیرین، مشخص شده‌اند. سه منطقه‌ای که زمینی دلتای رودخانه‌ای محسوب می‌شدند، در تصویر علامت‌گذاری شده است. شکل اصلاح‌شده‌ای از کتاب تکامل زمین؛ نوشته‌ی آر.ال. پاتن و ا.راج. دات (نیویورک: انتشارات مک‌گرو - هیل، ۱۹۸۸).
 کمی‌پردازی با اجازه از شرکت‌های مک‌گرو - هیل.

مهم‌دیت‌های چالش‌های جدید ما کاملاً از آن‌چه در پنسیلوانیا تجربه کرده بودیم، متفاوت بودند. ما برای جستجو در شمالگان جستجوی فسیل در طول بزرگ‌راه‌های پنسیلوانیا با خطر برخورد با کامیون‌های پرسرعت روبرو بودیم! درحالی که خطرات در شمالگان از نوع دیگری بودند. ما به‌راستی خطر مواجهه

با خرس‌های قطبی، پایان یافتن آذوقه یا درگیری با هوای بسیار سرد و خشک را به جان خریده بودیم. در ضمن نمی‌توانستیم بیش از مقدار مشخصی ساندویچ و آذوقه در اتومبیل خود قرار دهیم و به سمت بستر فسیلی حرکت کنیم. به این ترتیب دست‌کم باید برای گذراندن هر روز در زمین فسیلی، هشت روز برنامه‌ریزی می‌کردیم؟! چراکه آن صخره‌ها تنها از مسیر هوایی قابل دستیابی بودند و نزدیک‌ترین پایگاه ۴۰۲/۲۵ کیلومتر آن سوتر بود. ما تنها هنگامی می‌توانستیم پرواز کنیم که برای اعضای گروه‌مان مواد غذایی و تجهیزات کافی به‌علاوه‌ی یک حاشیه‌ی ایمنی مناسب تهیه کرده باشیم. مهم‌تر این‌که، محدودیت وزنی هواپیما بدان معنی بود که ما تنها قادر به حمل کسر کوچکی از فسیل‌های اکتشافی‌مان بودیم. به‌هم پیوستن این محدودیت‌ها با مدت زمان اندکی که هر سال برای فعالیت در شمالگان در اختیار داشتیم، منجر به ناامیدی بسیار جدید و دلهره‌آوری در ما می‌شد.

مشاور ارشد من، دکتر فاریش ای. جنکینز (Farish A. Jenkins)، از دانشگاه هاروارد نیز به گروه ما پیوست. فاریش سال‌های بسیاری هیئت‌های اعزامی به گرینلند را هدایت کرده بود و تجربه‌ی لازم برای به‌دوش کشیدن این مسئولیت را داشت. گروه ما کامل شد؛ سه نسل علمی: تد، دانشجوی سابقم؛ فاریش، مشاور ارشدم و خودم، که برای پیشروی به شمالگان آماده شدیم تا برای کشف شواهد انتقال جانوران از گونه‌های آبزی به گونه‌های خشکی‌زی تلاش کنیم.

برای دیرینه‌شناسی قطب شمال هیچ کتابچه‌ی راهنمای کاربردی‌ای وجود ندارد. ما مجموعه‌ای از توصیه‌ها و پیشنهادات درباره‌ی لباس، ادوات و تجهیزات لازم را از طرف دوستان و همکاران خود دریافت کردیم. هم‌چنین کتاب‌های بسیاری خواندیم. همه‌ی این‌ها باعث شد تا دریابیم، هیچ‌چیز نمی‌تواند ما را برای خود آن تجربه آماده کند. تا زمانی که برای اولین بار از هلیکوپتر خارج شدم و پا در آن سرزمین فراموش‌شده گذاشتم، هرگز شمالگان را تا به آن حد حس نکرده بودم. نخستین نگرانی ما درباره‌ی خرس‌های قطبی بود. نمی‌توانم به شما بگویم که چند مرتبه طبیعت اطراف و مناظر را برای دیدن نقاط متحرک سفید جستجو کرده بودم! این تشویش می‌توانست باعث دیدن چیزهای زیادی توسط شما شود. در هفته‌ی اول اقامت‌مان در شمالگان، یکی از اعضای گروه لکه‌ی سفید متحرکی را مشاهده کرد. به‌نظر یک خرس قطبی تقریباً در ۲۷۰ متری ما می‌آمد. ما درست مانند انسان‌هایی ناتوان و وحشت‌زده چهار دست و پا خود را به تفنگ‌ها، منورها و سوت‌های مان رساندیم تا این‌که متوجه شدیم خرس ذهنی ما تنها خرگوش قطبی کوچکی در فاصله‌ی تقریباً ۶۰ متری از ما بود! به‌علت نبودن درخت و خانه در قطب شمال، قضاوت درباره‌ی فاصله‌ها بسیار دشوار است.

قطب شمال مکانی بسیار وسیع و خالی است. جانوری که ما به‌دنبال فسیلش بودیم، درازایی در حدود ۱۲۲ سانتی‌متر داشت که ممکن بود در سنگ‌هایی پراکنده در محوطه‌ای به‌وسعت حدود ۱۵۰۰ کیلومتر قرار داشته باشد! به‌نوعی ما باید به‌دنبال گروهی از سنگ‌های کوچک، که از فسیل‌های ما محافظت کرده بودند، می‌گشتیم. داوران تصویب‌کننده‌ی طرح‌های تحقیقاتی می‌توانستند بسیار سختگیر و حتی بی‌ملاحظه باشند. آن‌ها همیشه

مشکلاتِ سر راه پروژه‌ها را پُررنگ نشان می‌دادند؛ به‌طور مثال داور تصویب‌کننده‌ی کمک‌هزینه‌ی یکی از نخستین طرح‌های شمالگان فاریش، سنگِ تمام گذاشت. این داور در خلاصه‌ی طرح او نوشت (باید اضافه کنم که نه از روی دل‌سوزی) اعجاب حاصل از یافتن یک فسیل جدید در شمالگان حتی بیشتر از یافتن یک سوزن در انباری از کاه است! ما برای یافتن سوزن مورد نظرمان [کشف فسیل] در مدت زمان بیش از شش سال، چهار سفر اکتشافی به جزیره‌ی الزمیر داشتیم که این برای دست‌یابی به یک شانس غیرمنتظره، زیاد هم بود!

کشف فسیل‌ها ما آن‌چه را که می‌خواستیم، با آزمون و خطا و درس‌گرفتن از این خطاها یافتیم. نخستین موقعیت فسیلی در موقعیت فسیلی ما در فصل اکتشافی سال ۱۹۹۹، جایی در مجرای خروجی بخش غربی شمالگان بود؛ جزیره‌ای به نام ملویل^۱. ما نمی‌دانستیم که در کناره‌ی اقیانوسی باستانی اردو زده بودیم. جایی که سنگ‌ها مملو از فسیل بودند و ما توانستیم به گونه‌های بسیار متفاوتی از فسیل ماهی‌ها دست یابیم.

مشکل این‌جا بود که به‌نظر می‌آمد همه‌ی فسیل‌ها مربوط به جانوران آب‌های عمیق بودند و نه آن نوعی که ما انتظار کشفش را داشتیم؛ یعنی در نه‌رها یا برکه‌هایی که جانوران ساکن خشکی در آن‌جا زندگی می‌کردند. با استفاده از تحلیل‌های زمین‌شناسی، که آشتون امبری در سال ۲۰۰۰ انجام داده بود، تصمیم گرفتیم ادامه‌ی اکتشافات را در شرق جزیره‌ی الزمیر دنبال کنیم، چراکه در آن‌جا صخره‌هایی حاوی رسوبات باستانی وجود داشت. برای ما کشف قطعاتی از استخوان‌های ماهی‌ها که اندازه‌ای بالغ بر یک‌چهارم فسیل‌های باقی‌مانده داشته باشند، زمان چندانی به طول نمی‌انجامید.

پیشرفت غیرمنتظره‌ی واقعی در پایان فصل اکتشاف، در سال ۲۰۰۰، به‌وقوع پیوست. درست پیش از شام بود، حدود یک هفته قبل از این‌که برای بازگشت به خانه برنامه‌ریزی کنیم. گروه به چادرهای‌شان بازگشته بودند، ما در ساعات اولیه‌ی فعالیت‌های شبانه‌مان بودیم؛ مشغول سازماندهی مجموعه‌ی آن روز، آماده‌سازی یادداشت‌های مربوطه و البته شروع به تهیه‌ی شام هم کرده بودیم! جیسون دانرز (Jason Downs) - که در آن زمان دانشجوی مشتاق کالج برای یادگیری دیرینه‌شناسی بود - به‌موقع به چادر بازنگشت و این باعث نگرانی ما شد. چراکه به‌طور معمول ما گروهی بیرون می‌رفتیم و اگر به‌صورت انفرادی کمپ را ترک می‌کردیم، زمان‌بندی دقیقی از این‌که چه زمانی بازخواهیم گشت، به بقیه‌ی گروه ارائه می‌دادیم. با وجود خرس‌های قطبی منطقه و یورش کولاک‌های وحشتناک، که به‌طور غیرمنتظره‌ای همه‌چیز را درمی‌نوردید، ما در تنهایی هیچ شانس برای زنده‌ماندن نداشتیم.

به‌خاطر می‌آورم که با گروه در چادر اصلی نشسته بودیم؛ نگرانی برای جیسون هر لحظه بیشتر می‌شد. به‌محض این‌که شروع به برنامه‌ریزی برای جستجوی او کردیم، دیدم که زیپ چادر باز شد. در نگاه اول تمام آن‌چه که دیدم، سر جیسون بود! چشمان او از شدت حیرت بیرون زده بودند و به‌سختی نفس می‌کشید. به‌محض این‌که وارد

چادر شد، فهمیدیم که با حمله‌ی غیرمنتظره‌ی خرس قطبی مواجه نیستیم؛ تفنگ ساچمه‌ای هنوز روی شانه‌هایش بود. علت تأخیر او مشخص شد؛ همان‌طور که دست لرزانش از درون جیب‌هایی پُر بیرون می‌آمد، مشتی پس از مشت دیگر استخوان را از هریک از جیب‌هایش خارج می‌کرد؛ جیب‌های کت، شلوار، پیراهن و کوله‌پشتی کوچکش پر از استخوان بودند! من تصور می‌کنم که اگر می‌توانست بدون کفش و جوراب مسیر را طی کند، آن دو را هم پر از استخوان‌های فسیلی می‌کرد! همه‌ی این استخوان‌های فسیلی کوچک در سطح زمین فسیلی نه چندان بزرگی - به اندازه‌ی پارکینگ یک ماشین جمع‌وجور - در حدود یک کیلومتری اردوگاه ما قرار داشتند. برای شام خوردن دیر نمی‌شد!

با روشنایی ۲۴ ساعته‌ی روزانه‌ی تابستان شمالگان، نباید نگران غروب خورشید می‌بودیم. به این ترتیب شکلات‌های تخته‌ای را برداشتیم و رهسپار موقعیت فسیلی جیسون شدیم. این موقعیت فسیلی در کنار تپه‌ای در میان دو رود زیبا، درون یک دره قرار داشت و هنگامی که جیسون آن‌جا را کشف کرد، با فرشی از فسیل



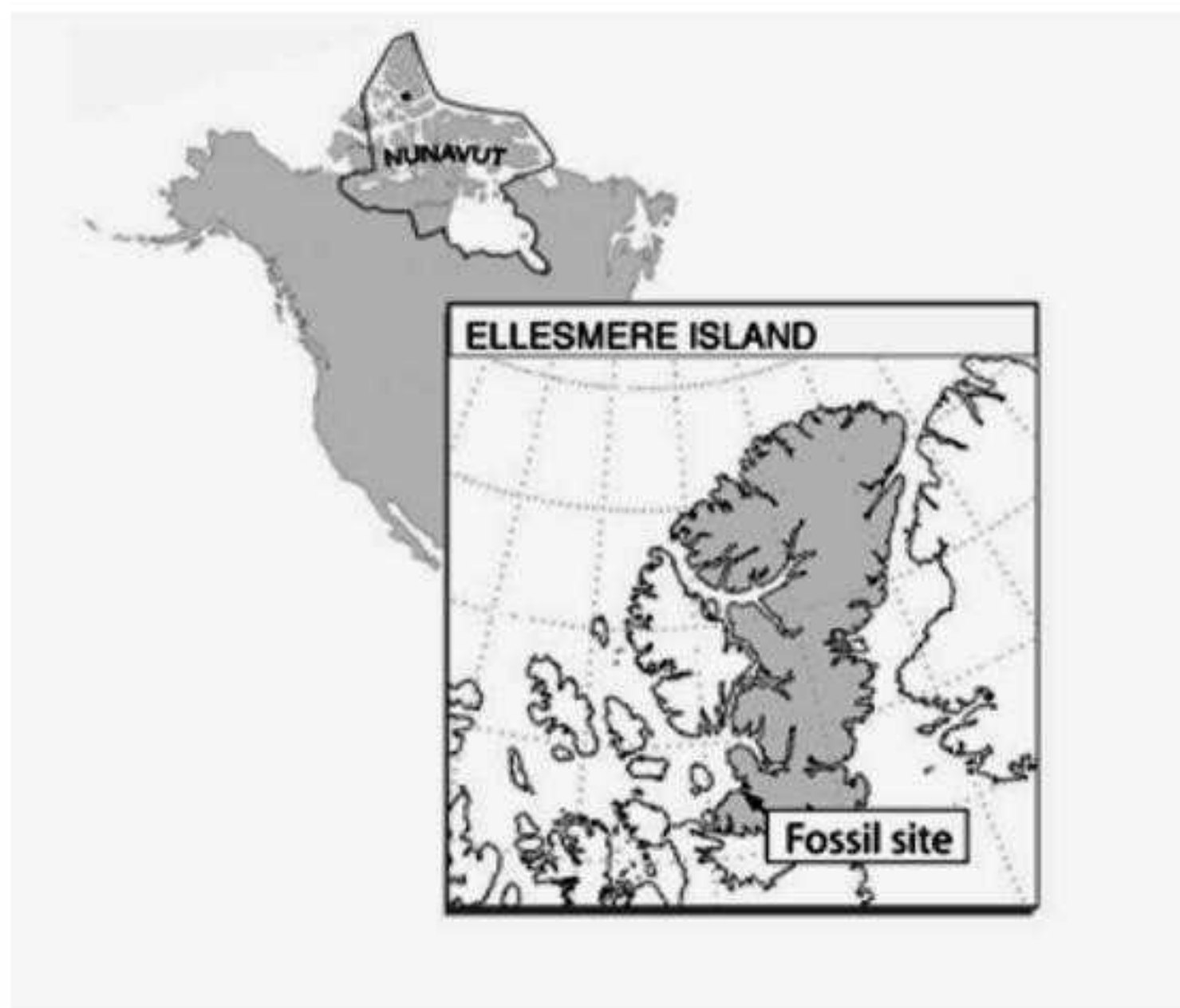
استخوان‌های ماهی پوشیده شده بود. چند ساعتی برای جمع‌آوری فسیل‌ها وقت صرف کردیم، تعداد زیادی عکس گرفتیم و البته برنامه‌ریزی ویژه‌ای برای ادامه‌ی کار انجام دادیم. این موقعیت به‌طور دقیقی هر آن‌چه که ما در جستجویش بودیم، در خود داشت. روز بعد با هدف جدیدی برگشتیم؛ کشف همان لایه‌ی سنگی که آن استخوان‌ها را می‌توانست در خود داشته باشد.



اردوگاه ما (تصویر بالا) که در این منظره‌ی پهناور به‌نظر ناچیز می‌آید، چادر تابستانی من (تصویر پایین) که چادر کوچکی است و معمولاً دور تا دور آن را با سنگ‌های درشت برای محافظت در برابر بادهای ۸۰ کیلومتر بر ساعتی احاطه می‌کردم. عکس‌ها از شوبین.

دستگاه‌دهای برنامه‌ی اصلی ما شناسایی منبع تکه‌استخوان‌های پراکنده‌ی جیسون - تنها امید ما برای شمالگان؛ موفقیت یافتن اسکلت‌های دست‌نخورده - بود. مشکل عمده‌ی محیط شمالگان این بود که هر یای...

زمستان دمای این منطقه به ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد زیر صفر می‌رسد و در تابستان، چون خورشید هرگز غروب نمی‌کند، دما تا نزدیک به ۳۰ درجه افزایش می‌یابد. نتیجه‌ی چرخه‌ی یخبستن و آب‌شدن، خردشدن سنگ‌ها و فسیل‌های سطح زمین است. هر زمستان آن‌ها سرد و منقبض می‌شدند و هر تابستان گرم و منبسط؛ هم‌چنان‌که در هر فصل و البته در طول هزاران سال دچار چنین وضعیتی می‌شدند، طبعاً استخوان‌ها نیز متلاشی می‌شدند. ما با توده‌ی درهم‌آمیخته‌ای از استخوان‌های پخش‌شده در سراسر تپه مواجه شدیم، اما نمی‌توانستیم هیچ لایه‌ی سنگی قابل مشاهده‌ای را به‌عنوان منبع آن‌ها شناسایی کنیم. چندین روز برای قراردادن تکه‌ها در کنار هم، حفر گودال‌های آزمایشی و مخصوصاً استفاده از چکش‌های زمین‌شناسی به‌عنوان وسیله‌ی مخصوص اکتشاف، برای یافتن این‌که در کجای صخره‌ها استخوان‌ها پدیدار می‌شوند، وقت صرف کردیم؛ پس از چهار روز، لایه را شناسایی کردیم و سرانجام اسکلتی را روی اسکلت فسیل یک ماهی کشف کردیم؛ در واقع یکی روی دیگری قرار داشت! ما برای شناسایی این ماهی‌ها، بخش‌هایی از دو تابستان کاری‌مان را صرف کردیم.



تصویر، محل اکتشافات ما را نشان می‌دهد: بخش جنوبی جزیره‌ی اِلِزمیر، در قلمرو نوناوت کانادا، در ۱۶۰۹ کیلومتری قطب شمال.

شکست دوباره: همه‌ی ماهی‌های شناسایی‌شده‌ی ما گونه‌های شناخته‌شده‌ای بودند که قبلاً در زمینی فسیلی از همین دوره‌ی زمین‌شناسی، در شرق اروپا جمع‌آوری شده بودند! به‌عبارتی، این ماهی‌ها خویشاوند نزدیک جانوران

خشکی نبودند! در سال ۲۰۰۴ ما تصمیم به تلاش دوباره‌ای گرفتیم؛ قضیه‌ی مرگ و زندگی بود. از آن‌جا که سفرهای اکتشافی قطب شمال بسیار گران و پرهزینه بودند و کشفیات آن‌جا هم چندان قابل ملاحظه به‌شمار نمی‌آمدند، اگر به آن‌چه که در جستجویش بودیم نمی‌رسیدیم، مجبور به ترک کار می‌شدیم.

یافتن ملقه‌ی همه‌چیز در چهار روز اول جولای ۲۰۰۴ تغییر کرد. من در انتهای یک معدن سنگ در حال مفقوده‌ی گذرا (آب جستجو و کندوکاو سنگ‌ها بودم. بیشتر از سنگ‌ها، یخ‌ها را می‌شکافتم. یخ را شکستم و به فشیکی چیزی دیدم که هرگز فراموش نخواهم کرد: تکه‌ای از یک فسیل که شبیه به آن را تا به آن روز در حفاری‌هایم ندیده بودم. این تکه‌های فسیلی ما را به یافتن فسیلی دیگر رهنمون ساخت که یخ‌ها آن را پوشانده بودند. آن‌ها شبیه یک دسته استخوان آرواره بودند؛ اگرچه بی‌شباهت با استخوان آرواره‌ی هر ماهی‌ای که تا به آن روز دیده بودم و به‌نظر می‌آمد که به تیره‌ای از جانوران سرپهن متعلق باشند.

روز بعد، همکارم استیو گیتس (Steve Gates) مشغول جستجوی سنگ‌های بالای آن معدن بود. هنگامی که استیو اولین سنگی را که روی فسیل را پوشانده بود برداشت، پوزه‌ی جانوری، که مستقیماً به او نگاه می‌کرد، آشکار شد! همانند ماهی پوشیده از یخ من در پایین گودال، آن هم سر پهنی داشت. این کشف تازه و مهمی به‌شمار می‌آمد. اما برخلاف ماهی من، ماهی استیو فسیل خوبی داشت. ما به‌دقت اطراف آن را بررسی کردیم؛ با کمی شانس ممکن بود بقیه‌ی اسکلت به‌صورت سالم در صخره‌ها قرار داشته باشد. استیو مابقی تابستان را برای خارج کردن ذره‌ذره‌ی این فسیل از لابه‌لای سنگ‌ها صرف کرد؛ به این ترتیب ما می‌توانستیم اسکلت کامل را به آزمایشگاه بیاوریم تا آن را به‌دقت پاک کنیم. کار استادانه‌ی استیو با این نمونه، منجر به کشف یکی از عالی‌ترین فسیل‌های کشف‌شده به‌عنوان مدرکی گویا دال بر گذر جانوران از آب به خشکی تا به آن تاریخ شد.

نمونه‌هایی که ما به آزمایشگاه‌های خود آوردیم تخته‌سنگ‌های بزرگی بودند که فسیل، درون آن‌ها قرار داشت. طی بیش از دو ماه، ذره‌ذره سنگ را از فسیل زدودند؛ دست‌اندرکاران در آزمایشگاه اغلب این کار را به‌صورت دستی با ابزار آلات دندانسازی یا ابزارهای نوک‌تیز کوچک انجام می‌دادند. هر روز تکه‌ی جدیدی از کالبد فسیل جانور پدیدار می‌گشت. تقریباً هر زمانی که قطعه‌ی بزرگی آشکار می‌شد، ما به نکته‌ی تازه‌ای درباره‌ی منشأ پیدایش جانوران ساکن خشکی دست می‌یافتیم.

آن‌چه که در طول پاییز ۲۰۰۴ از دل آن سنگ‌ها پدیدار شد میان موجود زیبایی بود که حد واسط ماهی و جانوران خشکی‌زی به‌شمار می‌آمد. ماهی‌ها و جانوران ساکن خشکی از جهات بسیاری با یکدیگر تفاوت دارند؛ ماهی‌ها دارای سری مخروطی‌اند، درحالی‌که نخستین جانداران ساکن خشکی، تقریباً مشابه تمساح، سری پهن و مسطح، با چشمانی بالای آن دارند. ماهی‌ها گردن ندارند؛ شانه‌های آن‌ها با یک مجموعه‌ی استخوانی به سر متصل شده است. جانوران اولیه‌ی ساکن خشکی، مانند همه‌ی زادگان‌شان، دارای گردن بودند؛ به این معنی که سر آن‌ها به‌صورت مستقلی از شانه‌های‌شان قابلیت چرخش دارد.



فرایند اکتشاف فسیل یا تودهای سنگی که به اهستگی و در طول زمان از آن خارج شده، آغاز گشت. در این جا من فسیل را از آغاز سفرش از دل صحرا تا آزمایشگاه نشان دادم که به عنوان یک نمونه به دقت مهیا شده است؛ اسکلت یک جانور جدید. عکس بالا چپ از شوبین؛ سایر عکس ها از تد دشلر، آکادمی علوم طبیعی فیلادلفیا.

تفاوت بزرگ دیگری نیز وجود دارد. ماهی در تمام بدنش پولک دارد که در جانوران خشکی خبری از آن نیست. به علاوه ماهی ها باله دارند، در حالی که جانداران خشکی صاحب دست و پایی به همراه انگشت، پنجه، میج و قوزک هستند. ما می توانیم به این لیست ادامه بدهیم و فهرست بلندبالایی از تفاوت های ماهی ها و جانوران خشکی تهیه کنیم!

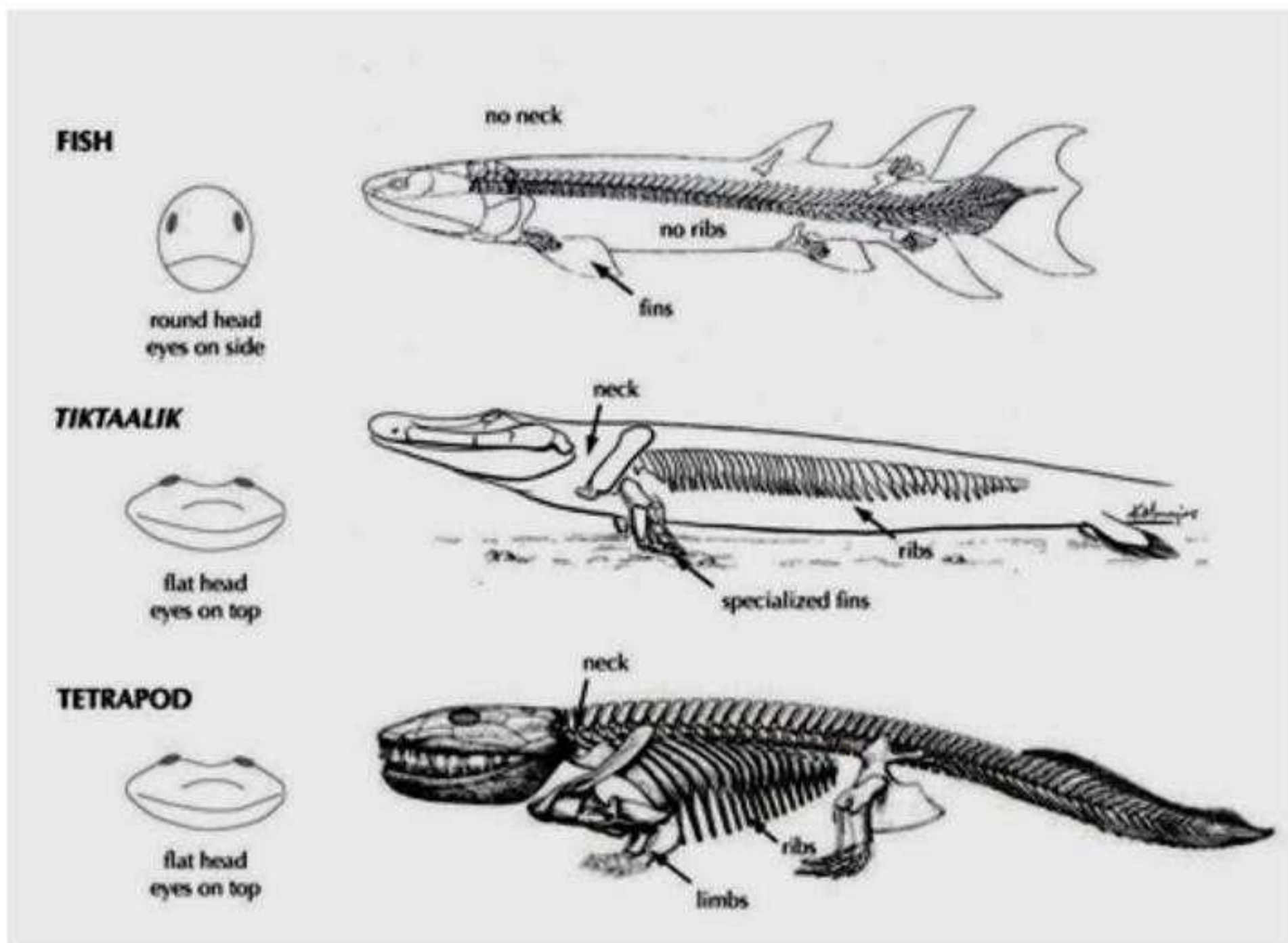
ویژگی های میان
موجود ما
اما جانور جدید ما مرز میان این دو گونه ای متفاوت جانوری را از میان برداشت. همانند ماهی ها، در پشتش پولک و باله هایی با بافت باله ای داشت، در عین حال، مشابه اولین خشکی زی، دارای گردن و سری مسطح هم بود! هنگامی که باله را بررسی کردیم، مشاهده کردیم که استخوان های آن به بخش فوقانی دست متصل است و ساعد، بخشی از میج است و مفصل هایی در آن جا قرار دارد: این یک ماهی با شانه، آرنج و میج مفصلی بود! اجزای باله دارای بافت های خاص درون باله و متصل به هم بودند. تمام ویژگی هایی که این جانور به طور مشترک با موجودات خشکی زی داشت، بسیار اولیه بود. برای مثال، ظاهر و برآمدگی های

گوناگون بالای استخوان بازو، همین‌طور شکل مجسمه و شانه، مشابه بخشی از ماهی‌ها و دوزیستان بودند.

شش سال برای کشف این فسیل زمان صرف شد و این فسیل محاسبات دیرینه‌شناسی را تأیید کرد: این فسیل نه تنها حلقه‌ی گمشده‌ی میان دو گونه‌ی متفاوت جانوری بود، بلکه آن را در دوره‌ی مناسبی از تاریخ زمین‌شناختی و در محیط مناسب باستانی هم کشف کرده بودیم. در واقع، ما پاسخ را در سنگ‌های ۳۷۵ میلیون ساله‌ی شکل‌گرفته در رودخانه‌های باستانی یافتیم.

نام‌گذاری برای هاندار پس از کشف این جانور، من، تد و فاریش صاحب‌امتیاز گذاشتن یک نام علمی و رسمی تازه شناخته‌شده روی آن بودیم. ما خواستار نامی بودیم که از طرفی نشان‌دهنده‌ی زادگاه ماهی در تیکتالیک^۱ قلمرو نونائوت^۲ شمالگان باشد و از طرف دیگر می‌خواستیم دین خود را به بومیان قطب شمال کانادا، به‌دلیل اجازه‌ی فعالیتی که به ما در منطقه‌ی خود داده بودند، ادا کنیم. بنابراین از انجمن ریش‌سفیدان نونائوت، که رسماً به‌عنوان بومیان Qaujimajatuqangit Katimajit شناخته می‌شوند، درخواست کردیم، نامی از زبان بومی خود برای این فسیل پیشنهاد کنند.

نگرانی آشکار من در این بود که نام منتخب کمیته‌ی آن‌ها آن نام علمی قابل‌تلفظ برای ما نباشد! تصاویری از فسیل را برای آن‌ها ارسال کردم و ریش‌سفیدان اینوئیت دو نام را پیشنهاد کردند، سیکساجیاک^۳ و تیکتالیک^۴. ما تیکتالیک را برگزیدیم؛ به‌خاطر سادگی در تلفظ برای غیر اینوکیتوت^۴ زبانان و به‌خاطر معنی بومی آن یعنی: «ماهی بزرگ آب‌های شیرین».



این شکل گویای همه چیز است. تیکتالیک میان موجودی در بین ماهی‌ها و خشکی‌زیان اولیه است.

تیکتالیک خبر مهم شماری از روزنامه‌ها در روز بعد از گزارش کشف در آوریل ۲۰۰۶ شد. از جمله تیتربزرگ در روزنامه‌هایی مانند نیویورک تایمز. این اتفاق دری به روی من گشود که مشابه هیچ‌یک از وقایع دیگر در زندگی معمولی‌ام نبود. زمانی که روزنامه‌ها و رسانه‌ها با وسعت زیادی خبر کشف فسیل را پوشش می‌دادند و وبلاگ‌ها، سرمقاله و بحث‌های جنجالی می‌گذاشتند، بهترین لحظات برای من در پیش‌دبستانی پسرم اتفاق افتاد!

تیکتالیک و بچه‌های پیش‌دبستانی! در میان جنجال مطبوعات، معلم پیش‌دبستانی پسرم از من درخواست کرد که فسیل را با خود به آنجا ببرم و آن را شرح بدهم! من هم به حالت وظیفه‌شناسانه‌ای ماکتی از تیکتالیک به کلاس ناتانائیل بردم و در مقابل هرج و مرج احتمالی در پیش، به خود قوت قلب می‌دادم.

مادامی که مشغول توضیح و توصیف این که چگونه فعالیت‌های ما در شمالگان منجر به کشف این فسیل شد بودم، بیست کودک چهار- پنج ساله‌ی پیش‌دبستانی، کاملاً آرام و متین رفتار می‌کردند. من به آن‌ها دندان‌های تیز جانور را نشان دادم؛ سپس پرسیدم که تصور می‌کنند این موجود چه چیزی باشد؟ دست‌ها بالا رفت. نخستین کودک گفت که تمساح یا سوسمار است. وقتی علت را جویا شدم، پاسخ داد که فسیل همانند سوسمار، سری مسطح با چشمانی در بالای سر دارد و نیز دارای دندان‌هایی بزرگ است. کودکان دیگر

شروع به بیان نظرهای مختلفشان کردند. یکی دیگر از کسانی را که دستش را بالا گرفته بود انتخاب کردم؛ او گفت: نه! این سوسمار نیست، ماهی است، چرا که پولک و باله دارد. درحالی که بقیه‌ی کودکان می‌گفتند: «ممکن است هر دو باشد». پیام تیکتالیک بسیار شفاف بود تا جایی که حتی کودکان پیش‌دبستانی می‌توانستند آن را درک کنند!

ما به‌خاطر اهدافمان، حتی خیلی عمیق‌تر به تیکتالیک می‌نگریم. این ماهی، تنها درباره‌ی ماهی‌بودن خود به ما اطلاعات نمی‌دهد؛ بلکه این جانور بخشی از خود ما را در خود دارد! جستجو برای این وابستگی، چیزی بود که مرا به‌سوی شمالگان، به‌عنوان اولین مکان جستجو، سوق داد.

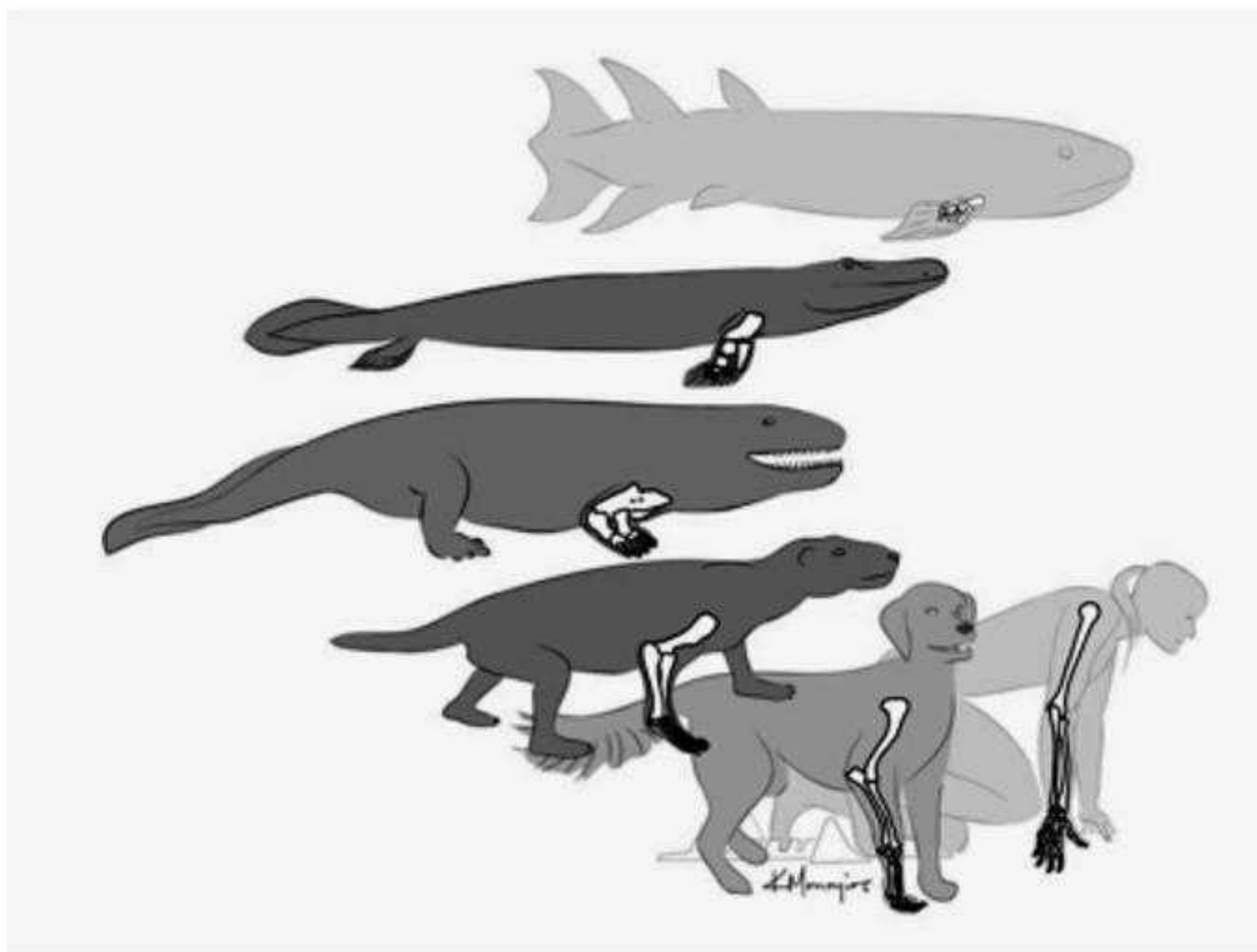
تیکتالیک ماهی نشانه‌هایی از انسان اولیه

چطور می‌توانم تا این حد مطمئن باشم که این فسیل چیزهایی راجع به بدن من برای گفتن دارد؟! راجع به گردن تیکتالیک تأمل کردم. همه‌ی ماهی‌های پیش از تیکتالیک دارای مجموعه‌ای استخوانی بودند که جمجمه را به شانه متصل می‌کرد، بنابراین هر زمانی که جانور بدنش را خم می‌کرد، سرش هم خم می‌شد. تیکتالیک متفاوت بود. سر از شانه کاملاً مجزا بود. این حالت در دوزیستان، خزندگان، پرندگان و پستانداران و طبعاً خود ما نیز وجود دارد. کل این تغییر را می‌توانیم با از دست‌دادن تعدادی استخوان کوچک در تیکتالیک مشاهده کنیم. من می‌توانم تجزیه و تحلیل مشابهی برای مچ‌ها، دنده‌ها، گوش‌ها و سایر بخش‌های اسکلت‌مان نیز انجام دهم؛ همه‌ی این ویژگی‌ها را می‌توان روی ماهی‌ای مانند تیکتالیک نمایش داد. این فسیل دقیقاً به‌همان میزان بخشی از تاریخچه‌ی ماست که فسیل متعلق به جنس انسان آفریقانی، *آسترالوپیتکوس آفارنسیس*^۱، همانند *لوسی*^۲ معروف است. *لوسی* را مشاهده کنید؛ می‌توانیم تاریخچه‌ی خودمان را، به‌عنوان نخستین راسته‌ی پستانداران خیلی پیشرفته‌ایم، درک کنیم. مشاهده‌ی تیکتالیک، در واقع مشاهده‌ی تاریخچه‌ی خودمان به‌عنوان ماهی است!

1- *Australopithecus afarensis*

گونه‌ای از سرده‌ی کپی‌های جنوبی‌اند که از ۳۹ تا ۲۹ میلیون سال پیش در روستای هادار Hadar در اتیوپی می‌زیستند. فسیل معروف *لوسی* متعلق به همین گونه است.

۲- Lucy فسیلی ۳/۲ میلیون ساله در اتیوپی که متعلق به یک کودک انسان نما است.



نمایش استخوان دست (از شانه تا نوک انگشتان) از ماهی تا انسان.

تا به این جا، چه چیزهایی آموخته‌ایم؟ جهان ما با دقت بسیار بالایی مرتب شده است، به طوری که می‌توانیم با قدم زدن در باغ وحش، گونه‌های فسیلی به جامانده در لایه‌های مختلفی از سنگ‌های جهان را پیش‌بینی کنیم. این پیش‌بینی‌ها به همراه اکتشافات فسیلی، به ما درباره‌ی وقایع تاریخ زندگی می‌گویند. مدارک این وقایع، درون بدن ما، باقی‌مانده و بخشی از ساختار کالبدشناسی ما است.

چیزی که بدان اشاره نکردم این است که ما هم‌چنین می‌توانیم تاریخ درون ژن‌های مان را از طریق DNA دنبال کنیم. این مدرک از گذشته‌ی ما، درون سنگ‌های جهان نیست؛ بلکه در تک‌تک سلول‌های بدن مان قرار دارد. ما برای بیان گزارش علمی خود یا در حقیقت گزارش ساخت بدن مان، هم از فسیل‌ها و هم از ژن‌ها استفاده کرده‌ایم.

بی تردید فراموش کردن تصاویر آزمایشگاه آناتومی دانشکده‌ی پزشکی برای من غیرممکن است. تصور کنید که قرار است ماه‌ها به اتاقی بروید و در آنجا بدن انسان را لایه‌به‌لایه، عضوبه‌عضو از هم تشریح کنید تا بتوانید ده‌ها هزار نام تازه و ساختار بدنی جدید را بیاموزید!

دنیای تفیل و دنیای واقعیت: تشابه یا تفاوت؟

ماه‌ها پیش از انجام اولین تشریح، با تلاش زیاد خودم را برای تصور این که چه چیزی خواهم دید، چه واکنشی از خود نشان خواهم داد و چه حسی خواهم داشت، آماده می‌ساختم. اما کم‌کم به این نتیجه رسیدم که دنیای تخیلی من به هیچ وجه نمی‌تواند مرا برای تجربه‌ی واقعی مهیا سازد. با وجود این، هنگامی که در آزمایشگاه برای اولین بار ملافه را از روی جسد برداشتم و با جسدی واقعی روبرو شدم، متوجه شدم به آن ترسناکی که تصور می‌کردم، نبود! ما آموزش خود را با تشریح قفسه‌ی سینه آغاز کردیم درحالی که سر، دست‌ها و پاها با گاز پانسمان حاوی مواد نگه‌دارنده پوشانده شده بودند. قفسه سینه را باز کردیم؛ بافت‌های آن خیلی شبیه بافت‌های انسان نبودند چرا که جسد با مواد نگه‌دارنده محافظت شده بود؛ جسد در هنگام برش خونریزی نداشت و پوست و اندام‌های درونی‌اش مثل لاستیک محکم بودند! به فکر من خطور کرد که این جسد، بیش از آن که شبیه انسان باشد، شبیه عروسک است!

چند هفته به همین منوال گذشت و ما اندام‌هایی از قفسه‌ی سینه و شکم را مشاهده و بررسی کردیم. من کم‌کم تصور می‌کردم که کاملاً حرفه‌ای شده‌ام؛ بیشتر اندام‌های داخلی را دیده‌ام و به‌خاطر این تجربه‌ها اعتمادبه‌نفسی خارق‌العاده در من ایجاد شده بود. من نخستین تشریح‌هایم را انجام داده و در دست‌به‌تیغ‌بردن هم برای خود متبحر شده بودم؛ کالبدشناسی بیشتر اندام‌های اصلی را آموختم و باید اعتراف کنم که همه‌ی این تجربیات بسیار بی‌احساس و ماشینی بودند!

اما هنگام بیرون آوردن دست جسد از گاز پانسمان این خوش‌خیالی، بی‌رحمانه درهم شکست! به محض این که من گاز پانسمان را از انگشتان جسد باز کردم - مفصل‌ها، سر انگشتان و ناخن‌ها را برای نخستین بار دیدم - احساسات پنهان‌شده‌ی خود را، که هفته‌ها مخفی نگاه داشته بودم، آشکارا بروز دادم. این جسد عروسک یا ماکت نبود؛ بلکه شخص زنده‌ای بوده که روزی از دست‌هایش برای جابه‌جا کردن چیزی یا نوازش فردی استفاده می‌کرده است.

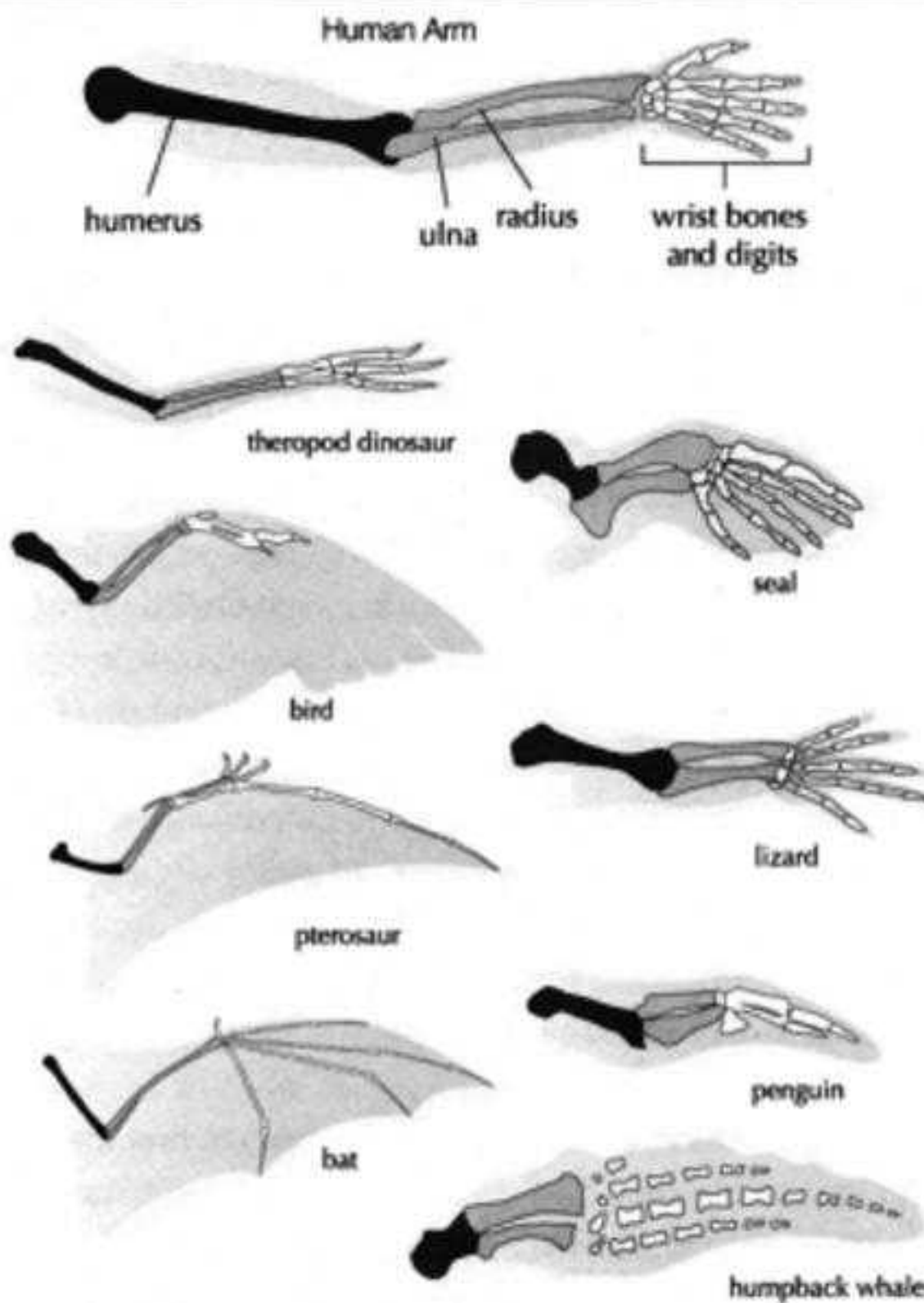
به ناگاه، این تمرین بی‌احساس تشریح برای من، به صورتی عمیق، احساسی و شخصی شد. تا آن لحظه، من بیش‌تر برای برقراری ارتباط با لاشه نداشتم. چراکه معده، کیسه صفرا و اندام‌های دیگر آن را دیده بودم؛ آخر کدام انسان عاقل و با احساسی می‌تواند تنها با دیدن یک کیسه صفرا ارتباطات انسانی را به تصویر بکشد؟!

دست و راز دست؛ این دست چیست که تمثیل کاملی از انسان است؟! در واقع پاسخ باید این باشد که، دست عضوی سرشار از **اطلاعات** رابط مرئی بین ما انسان‌هاست؛ این موضوع صحنه‌ایست بر این که ما چه کسانی هستیم و به چه چیزی می‌توانیم برسیم. توانایی ما برای فهمیدن، درست کردن و تبدیل افکارمان به واقعیت، درون این مجموعه از استخوان‌ها، عصب‌ها و رگ‌ها قرار گرفته است. اولین چیزی که هنگام مشاهده‌ی درون دست به ذهن خطور می‌کند، تراکم و غلظت موجود در آن است. گردی - برجستگی ماهیچه‌ای - پایین انگشت شست، شامل چهار ماهیچه‌ی متفاوت است.

با شست خود بازی کنید و دستتان را خم کنید: حداقل شش استخوان و ۱۰ ماهیچه‌ی مختلف به‌طور هماهنگ فعالیت می‌کنند. درون مج، حداقل هشت استخوان کوچک وجود دارد که هریک مجاور دیگری حرکت می‌کنند و در دو ردیف به موازات هم قرار دارند. مج دست خود را خم کنید؛ حالا شما از ماهیچه‌هایی استفاده کردید که از بازوی شما آغاز شده و به داخل تاندون‌ها امتداد یافته‌اند. سپس این ماهیچه‌ها از بازوی شما تا پایین دست ادامه پیدا می‌کنند. حتی ساده‌ترین حرکت‌ها هم نیازمند اثرات متقابل پیچیده‌ای است که میان بخش‌های زیادی در یک فضای کوچک متراکم رخ می‌دهد.

سازمان بدن؛ طراحی بحث ارتباط میان پیچیدگی و نژاد بشر از دیدگاه دست‌های انسان، مدت‌هاست که اشتیاق عجیبی در دانشمندان برای دانستن ایجاد کرده است. در سال ۱۸۲۲ میلادی جراح برجسته‌ی اسکاتلندی، سر چارلز بل (Sir Charles Bell)، کتاب کلاسیکی درباره‌ی آناتومی دست‌ها به نگارش درآورد. نام آن گویای همه‌چیز است: دست، مکانیسم و موهبت حیاتی آن به عنوان طرحی برجسته^۱؛ از دیدگاه بل ساختار دست «بی‌نقص» بود. چراکه در کنار پیچیدگی‌هایش، به‌طور ایده‌آلی برای نوع خاص زندگی ما سازمان‌دهی شده بود. به نظر او چنین طراحی کاملی، تنها می‌توانست منشائی الهی داشته باشد.

سر ریچارد اوئن (Sir Richard Owen)، متخصص بزرگ علم تشریح و یکی از پیشروان علمی آن زمان نیز در تکاپو برای الهی‌دانستن نظم خارق‌العاده‌ی درون بدن انسان بود. او خوش‌شانس بود که در نیمه‌های قرن نوزدهم آناتومیست شد؛ در روزگاری که هنوز گونه‌های جدیدی از جانوران برای کشف و شناسایی در نقاط دور دست زمین زندگی می‌کردند. هم‌زمان با کاوش بخش‌های بیشتر و بیشتری از جهان توسط غربی‌ها، همه‌ی گونه‌های عجیب جانوران به آزمایشگاه‌ها و موزه‌ها انتقال می‌یافتند. اوئن اولین گوریل را، که از سفر اکتشافی‌اش به



طرح مشترک برای تمامی اندام‌های حرکتی: یک استخوان به دو استخوان دیگر منتهی می‌شود، سپس استخوان‌های گوی‌مانند کوچک و پس از آن انگشتان دست یا پا.

استخوان‌های پای انسان هم کاملاً مشابه است: یک استخوان در بالا، دو استخوان در ادامه - درشت نی و نازک نی - چندین استخوان گوی‌مانند در مج پا و سپس پنج انگشت. در مقایسه‌ی این الگو با اسکلت‌های متنوع در سایر جانوران، اوئن کشف جالب‌توجهی کرد.

کشف جالب‌توجهی اوئن با تمرکز بر شباهت میان اسکلت جانوران مختلف در واقع نبوغ اوئن، تمرکز بر تفاوت اسکلت‌های مختلف نبود. بلکه کاملاً برعکس؛ آن‌چه که اوئن را در مجموعه‌ی سخنرانی‌ها و کتاب‌هایش مشهور کرد، تمرکز روی شباهت‌های استثنائی میان اسکلت‌های گوناگون، از قورباغه گرفته تا انسان، بود. تمامی جانوران دارای اندام‌های حرکتی‌اند؛ ممکن است این اندام بال، باله یا دست باشد، اما نکته‌ی مهم آن‌که همگی دارای طرحی مشترک‌اند؛ یک استخوان، بازو در دست یا ران در پا که در ادامه با دو

آفریقایی مرکزی باخود آورده بود، تشریح کرد او نام «دایناسور» را برای گونه‌ی جدیدی از جانور فسیل‌شده، که در صخره‌های انگلستان کشف شده بود، ابداع کرد. مطالعه روی این جانور عجیب تازه بینشی نو و متفاوت به او داد:

اوئن شروع به بررسی الگوهای مهم در هرچومرغ نمایان در تنوع زیستی کرد. او کشف کرد که بازوها و ران‌های مان، دست‌ها و پاهای مان، با طرح بزرگ‌تری مطابقت دارند و چیزی را دریافت که آناتومیست‌های پیش از او درک کرده بودند: این‌که در اسکلت بازوی انسان، طرح خاصی وجود دارد: یک استخوان در بالای بازو، دو استخوان در ساعد، دسته‌ای از ۹ استخوان کوچک در مچ‌ها و سپس مجموعه‌ای از پنج شاخه - انشعاب استخوانی - انگشتان را ساخته‌اند. الگوی

استخوان مفصل بندی می شود؛ سپس به گوی های کوچکی متصل می شوند، که به انگشتان دست یا پا وصل می شوند.

این طرح در عمق مفصل بندی همه ی اندام های حرکتی وجود دارد. در واقع طرح کلی در همه ی موجودات یکسان است و تفاوت میان آن ها، تنها در جزئیات است. فرض کنید می خواهید بال خفاش بسازید؛ انگشتان را بسیار دراز کنید؛ حالا یک اسب بسازید؟! انگشتان میانی دست و پا را باریک و انگشتان بیرونی را کم و حذف کنید. در مورد پای قورباغه چطور؟! استخوان ران را بکشید و چندین استخوان را با هم ترکیب کنید.

تفاوت های میان جانوران به علت تفاوت در شکل و اندازه ی استخوان ها، تعداد گوی های استخوانی و انگشتان دست و پا است. فارغ از تفاوت های اساسی در این که دست و پاها چه می کنند و به چه چیز شباهت دارند، الگوی اصلی همیشه وجود دارد (الگوی اوئن). برای اوئن، مشاهده و بررسی اندام های حرکتی، تازه آغاز راه بود؛ هنگامی که او جمجمه و ستون فقرات را بررسی کرد، در واقع با ملاحظه ی کل معماری بدن، موضوعات مشابهی کشف کرد؛ این که طراحی بنیادین مشابهی در اسکلت همه ی جانوران وجود دارد. قورباغه ها، خفاش ها، انسان ها و سوسمارها تنها در قالب مخصوص به خودشان با یکدیگر اختلاف دارند. به عقیده ی اوئن، این قالب، تدبیر آفریدگار بود.

داروین و تکمیل کمی پس از انتشار مشاهدات اوئن در رساله ی کلاسیک او، با نام در طبیعت اندام ها^۱، چارلز داروین (Charles Darwin) تفسیری برارزنده برای آن ارائه کرد. علت این که بال خفاش و بازوی انسان دارای الگوی اسکلتی مشترک اند این است که آن ها نیای مشترکی دارند. به همین صورت، علت مشابهی برای بازوی انسان و بال پرندگان، ران انسان و ران قورباغه - و هر موجود دیگری که واجد اندام های حرکتی است - وجود دارد.

اما تفاوت عمده ای میان تئوری اوئن و داروین وجود دارد و آن این که، تئوری داروین به ما اجازه ی پیش بینی های بسیار دقیقی می دهد؛ به دنبال نظریه ی داروین، ما انتظار داریم در طرح اوئن تاریخچه ای پیدا کنیم که در جاتورانی هم که اساساً هیچ نوع اندام حرکتی ندارند، آشکار شده باشد. پس ما باید کجا در جستجوی تاریخچه ی الگوی دست و پا باشیم؟! ما به ماهی و اسکلت باله های آن نگرستیم.

مشاهده ی ماهی

در زمان اوئن و داروین، تشابه میان باله ها با دست ها و پاها کاملاً بعید به نظر می آمد. تصور بر این بود که باله های ماهی هیچ شباهت مشهودی به دست و پا ندارند. به بیان دیگر، باله های ماهی تا حد زیادی شبیه صفحات عریضی اند که برای تماس با آب ساخته شده اند. نه دست و پاها و نه اندام های حرکتی هیچ جانور زنده ی دیگری چیزی شبیه به این ندارند. حتی وقتی شما بافت باله را، برای مشاهده ی اسکلت درونی تشریح می کنید، مقایسه ها چیزی را ساده تر نمی سازند.

شباهت باله ها با دست و پا؟.....

در بیشتر ماهی‌ها، چیزی برای مقایسه با طرح اوئن مبتنی بر «یک استخوان؛ دو استخوان؛ گوی‌های استخوانی متعدد و الگوهای انگشتان» وجود ندارد. همه‌ی اندام‌های حرکتی دارای یک استخوان بلند در پایه‌اند: استخوان بازو در بالای دست و استخوان ران در بالای پا. اما اسکلت ماهی به‌نظر کاملاً متفاوت می‌آید. پایه‌ی باله‌ی اغلب ماهی‌ها چهار استخوان یا بیشتر در خود دارد.

کشف ماهی شش‌دار: در نیمه‌های قرن ۱۹، آناتومیست‌ها شروع به کشف اسرار زندگی ماهی‌های مناطق جنوبی **لپیدوسیرن پارادوکسا** کره‌ی زمین کردند. یکی از نخستین رازها، ماهی ویژه‌ای بود که آناتومیستی آلمانی، که در آمریکای جنوبی کاوش می‌کرد، آن را کشف کرد. آن ماهی مشابه یک ماهی معمولی بود که باله و پولک داشت اما در پشت گلو کیسه‌های بزرگ رگ‌داری داشت، که همان شش‌های او بودند! در عین حال، پولک و باله هم داشت. آن ماهی، که باعث تعجب بسیار زیاد کاشفان خود شد، **لپیدوسیرن پارادوکسا**^۱، یعنی «دوزیست پولک‌دار متناقض»، نام گرفت.

خیلی زود، ماهی‌های شش‌دار دیگری در آفریقا و استرالیا کشف شدند. کاوشگران آفریقایی یکی از آن ماهی‌ها را برای اوئن آوردند. دانشمندان آناتومیستی چون توماس هاکسلی (Thomas Huxley) و کارل گگنباور (Carl Gegenbaur) معتقد بودند ماهی شش‌دار یک واسط ضروری میان دوزیستان و ماهی‌ها به‌شمار می‌آید. بومیان نیز ادعا می‌کردند که ماهی‌های شش‌دار طعم خوبی دارند!

کشف الگوی کوچکی در باله‌های این ماهی‌ها تأثیر ژرفی بر علم گذاشت. باله‌های ماهی شش‌دار در پایه خود یک استخوان منفرد دارد که به شانه متصل شده است. برای دانشمندان آناتومی، این قیاس کاملاً آشنا بود زیرا بازوی ما نیز یک استخوان منفرد دارد که به شانه متصل است! در مورد ماهی شش‌دار، ما شاهد ماهی‌ای هستیم که استخوان بازو و شش دارد. این ماهی شش‌دار مشابه هیچ ماهی دیگری نیست؛ موافقید؟!

سرنخ‌های تازه ۱) هم‌زمان با شناسایی تعدادی از این گونه‌های زنده در قرن ۱۹، سرنخ‌های تازه‌ای هم از **فسیل ماهی‌ها** منابع دیگر بدست آمد؛ همان‌طور که حدس زدید، این یافته‌های تازه به دیرینه‌ماهی‌ها مربوط بودند! یکی از نخستین فسیل‌های آن‌ها در رسوبات ۳۸۰ میلیون ساله در سواحل شبه جزیره‌ی گاسپی^۲ در کبک^۳ بدست آمد؛ این ماهی نامی با تلفظ دشوار به خود اختصاص داد: **یوستنوپترون**^۴.

این ماهی آمیزه‌ی شگفت‌آوری از ویژگی‌های ماهیان و دوزیستان را در خود داشت. مطابق الگوی اوئن، یوستنوپترون، بخش یک استخوان، دو استخوانی را داشت اما در باله‌اش، به این ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که

1- Lepidosiren Paradoxa

2- Gaspé

3- Quebec

4- Eusthenopteron

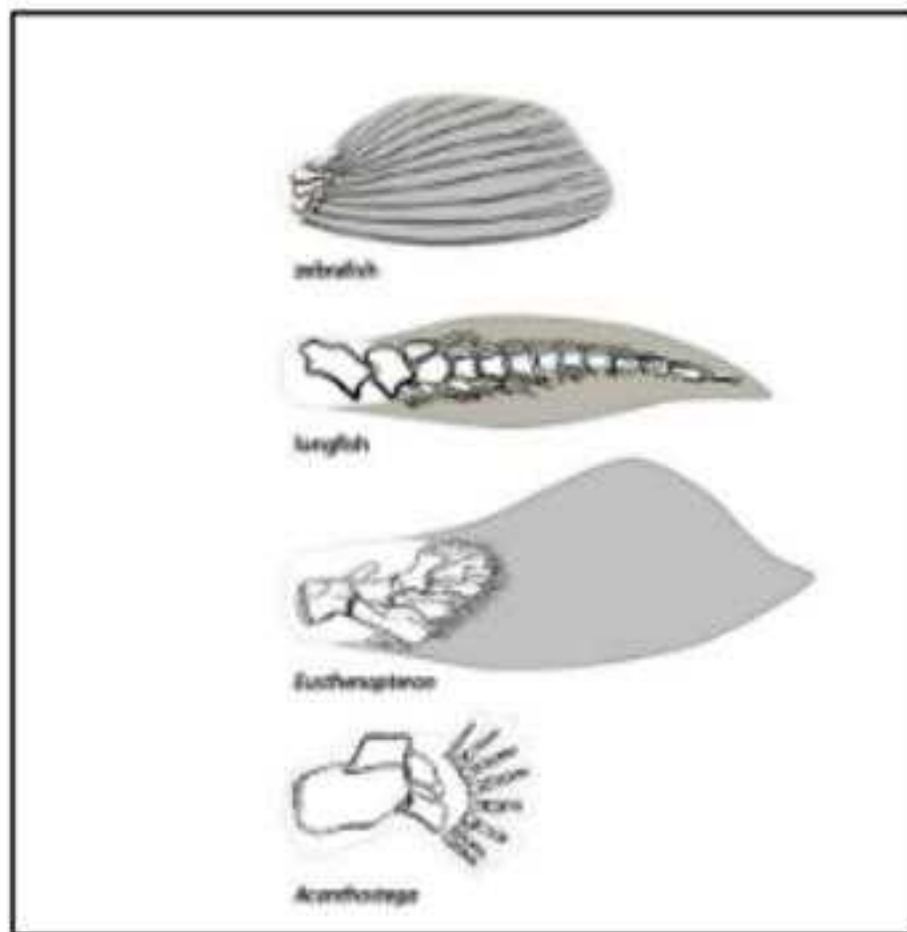
برخی از ماهی‌ها ساختاری مشابه الگوی اوئن در باله‌های‌شان دارند؛ در نتیجه نه تنها الگوی اصلی اوئن جنبه‌ی ماورایی نداشت بلکه برای خود تاریخچه‌ای دارد که در صخره‌های دوره‌ی دونین کشف شدند؛ در واقع، سنگ‌هایی با سنی در حدود ۳۹۰ تا ۳۶۰ میلیون سال، پرده از این راز برداشتند. این بینش عمیق، منجر به برنامه‌ریزی یک پژوهش همه‌جانبه‌ی جدید همراه با دستور کاری کاملاً تازه شد: ما باید منشأ شکل‌گیری انگستان دست و پا را جایی در سنگ‌های دوره‌ی دونین پیدا می‌کردیم!

حلقه‌ی مفقوده‌ی انتقال از ماهی‌ها به دوزیستان؛ توهم یا واقعیت؟
در طول دهه‌ی ۱۹۲۰، سنگ‌ها باعث شگفتی بیشتری شدند. دیرینه‌شناس جوان سوئدی، گونار سو سودربری (Gunnar Säve-Söderbergh)، فرصت فوق‌العاده‌ای برای کاوش ساحل شرقی گرینلند برای کشف فسیل یافته بود. آن منطقه سرزمینی کشف‌نشده به‌شمار می‌آمد. سو سودربری دریافته بود آن‌چه که به‌دنبالش است، بی‌شک در سنگ‌های دوره‌ی دونین ذخیره شده است. او یکی از بهترین دیرینه‌شناسان میدانی برای همه‌ی دوره‌ها به حساب می‌آمد؛ فردی که در طول دوران کوتاه حرفه‌ای خود، با روح بلند کاوشگری و توجه دقیق به جزئیات، فسیل‌های قابل ملاحظه‌ی بسیاری کشف کرد. (او پس از موفقیت‌های برجسته‌اش در سنین جوانی، متأسفانه به‌علت ابتلا به بیماری سل به‌طرز غم‌انگیزی درگذشت.) در جریان سفرهای اکتشافی بین سال‌های ۱۹۲۹ و ۱۹۳۴، گروه سو سودربری، آن‌چه را که در آن زمان حلقه‌ی مفقوده‌ی بزرگی به‌شمار می‌آمد، کشف کردند. روزنامه‌های سراسر جهان کشف او را فریاد زدند، سرمقاله‌ها اهمیت آن را تحلیل کردند و در کاریکاتورها به‌نمایش درآوردند. این فسیل‌ها در بررسی‌های انجام‌شده، قطعات درستی از آب درآمدند: آن‌ها سر و دم‌ی چون ماهی داشتند درحالی‌که واجد ساختار کاملی از یک اندام حرکتی هم بودند و استخوان‌های مهره‌شان به‌طرز عجیبی مشابه دوزیستان بود.

پس از درگذشت سو سودربری، این فسیل‌ها را اریک یارویک (Erik Jarvik)، همکار او، شرح داد. یارویک یکی از گونه‌های تازه را به احترام دوست و همکار خود/یکتیوستگا سودربری^۱ نامید.

اما در موضوع مورد مطالعه‌ی ما، ایکتیوستگا کمی ناامیدکننده به‌نظر می‌آمد. با وجود این‌که این فسیل، موجود حد واسط قابل توجهی، به‌خصوص در قسمت سر و پشتش بود، اما تقریباً هیچ چیز در مورد اندام‌هایی چون دست و پا برای گفتن نداشت؛ چراکه مشابه همه‌ی دوزیستان داری انگستان تکامل‌یافته‌ی دست و پا بود.

جانور دیگری نیز وجود داشت که وقتی سو سودربری خبر کشف آن را اعلام کرد، چندان مورد توجه قرار نگرفت اما چند دهه بعد دروازه‌ی دیدگاه‌های جدیدی را پیش روی پژوهشگران گشود. دومین جانور اندام‌دار تا سال ۱۹۸۸ معما باقی مانده بود تا زمانی که همکار دیرینه‌شناس من، جنی کلاک، به سایت فسیلی سو سودربری عزیمت کرد و در آنجا فسیل‌های بیشتری یافت؛ جانوری که تا پیش از دهه‌ی دوم قرن بیستم، بر



باله‌ی بیشتر ماهی‌ها مثل ماهی گورخری (اول)، از بافت باله‌ای و استخوان‌های بسیاری در پایه تشکیل شده است. ماهی شش‌دار (دوم) همه را مجذوب کرد چرا که همانند ماهی یک استخوان منفرد در پایه‌ی باله‌ی خود دارد. پوستپترو (سوم) نشان می‌دهد که فسیل‌ها چگونه شکاف بین این دو را پر کردند. این ماهی استخوان‌هایی دارد که با استخوان‌های بالایی و پایینی بازوی ما قابل قیاس است. آکانتوستگا (چهارم) علاوه بر این که الگوی استخوان بازو پوستپترون را دارد، دارای انگشتان کاملاً شکل گرفته و تمایز یافته است.

مبنای قطعات اندک یافت‌شده‌ی سو سودربری، آکانتوستگا گوناری^۱ نام گرفته بود، حالا همه‌ی اندام‌هایش همراه با انگشتان دست و پا آشکار شده بودند. اما این فسیل شگفتی بزرگی با خود داشت: جنی متوجه شد که شکل اندام حرکتی آن جانور، مثل باله‌ی شنا، تقریباً شبیه این اندام در فک (سگ دریایی) است.

در واقع، این موضوع باعث شد جنی پیشنهاد کند که اندام‌های حرکتی اولیه برای کمک به این جانور در شنا کردن بودند نه برای راه رفتن در خشکی. این موضوع نکته‌ای مهم به‌شمار می‌آمد، اما یک مسئله باقی می‌ماند: آکانتوستگا دارای شکل کاملی از انگشتان به‌همراه میج بود نه بافت باله‌ای؛ یعنی دارای اندام حرکتی، اگرچه از نوع بسیار بدوی آن بود. جستجو برای یافتن منشأ دست و پا، میج و قوزک هنوز به زمان بیشتری احتیاج داشت. این موضوعات و پیشرفت‌ها تا ۱۹۹۵ در همین مقدار باقی ماندند.

کشف انگشتان و میج در ماهی‌ها!

در سال ۱۹۹۵، هنگامی که من و تد دشر پس از رانندگی در سراسر پنسیلوانیای مرکزی به قصد یافتن محل‌های فسیلی جدید به‌سمت منزل تد در فیلادلفیا بازمی‌گشتیم، یک مسیر عبوری عالی در جاده‌ی ۱۵ شمالی ویلیام اسپرت پیدا کردیم؛ جایی که بخش حمل‌ونقل پنسیلوانیا صخره‌ی غول‌پیکری در ماسه‌سنگ‌های حدوداً ۳۶۵ میلیون ساله ساخته بود. آن‌ها دیوار را منفجر کرده و مقدار زیادی تخته‌سنگ در حاشیه‌ی بزرگراه باقی گذاشته بودند. این برای ما شکار فسیلی کامل و اساسی به‌شمار می‌آمد و باعث شد ما برای جستجوهای مان مدتی آن‌جا توقف کنیم و روی تخته‌سنگ‌ها سینه‌خیز برویم! بسیاری از آن‌ها کوچک‌تر از یک اجاق میکروویو بودند. برخی از این سنگ‌ها حاوی مقداری فسیل ماهی بودند؛ تصمیم گرفتیم تعداد کمی از آن‌ها را به خانه در فیلادلفیا بیاوریم.

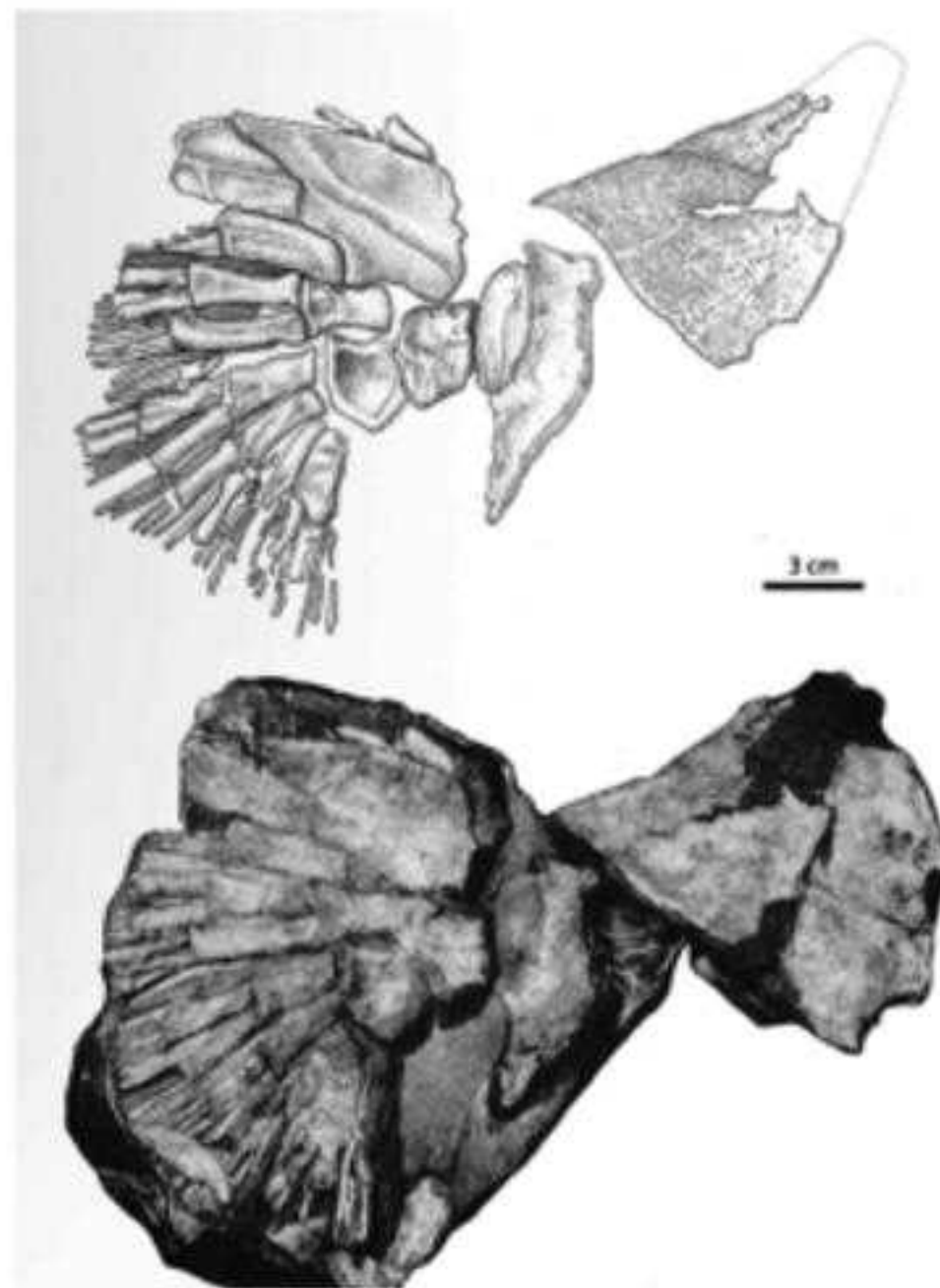
شانس؛ همراه
همیشگی دانشمند
مشتاق

به‌محض رسیدن به خانه‌ی تد، دختر چهار ساله‌ی او، دیزی، باعجله برای دیدن پدرش بیرون آمد و از ما درباره‌ی این که چه چیزی کشف کرده‌ایم، سؤال کرد. هنگامی که یکی از تخته‌سنگ‌ها را به دیزی نشان می‌دادیم، ناگهان

متوجه شدیم آن برجستگی روی سنگ تکه‌ای از باله‌ی یک ماهی بزرگ است. ما در زمین محل اکتشاف‌مان اصلاً متوجه آن نشده بودیم. همان‌طور که می‌دانستیم، این باله‌ی یک ماهی معمولی نبود؛ این فسیل به‌طور واضحی تعداد بسیاری استخوان در خود داشت. متخصصین آزمایشگاه برای خارج کردن آن فسیل از درون سنگ حدود یک ماه زمان صرف کردند و برای نخستین‌بار معلوم شد که آن ماهی مشابه الگوی لوئن بود. نزدیک‌ترین استخوان به بدن، یک استخوان منفرد بود؛ این استخوان خود به دو استخوان دیگر وصل می‌شد که کاملاً از باله متفاوت بود؛ زیرا این الگو به هشت زائده منتهی می‌شد. این برای هر بیننده‌ای، مانند یک ماهی انگشت‌دار بود!

باله‌ی فسیل ما مجموعه‌ی کاملی از بافت باله، پولک و حتی یک شانه‌ی ماهی‌مانند داشت، اما در اعماق آن استخوان‌هایی وجود داشت که کاملاً با استاندارد اندام‌هایی چون دست و پا برابری می‌کرد. متأسفانه، ما فقط یک باله‌ی منفرد را در اختیار داشتیم. در این مرحله تنها نیاز ما یافتن مکانی بود که بتوانیم کل بدن دست‌نخورده‌ی این جانور را در آن جا بیابیم؛ چراکه یک باله‌ی تنها هرگز نمی‌توانست مدرکی کافی برای پاسخ‌گویی به سؤالات ما باشد؛ سؤالاتی از قبیل این که این جانور از باله‌هایش برای چه کاری استفاده می‌کرده؟ و آیا باله‌های این ماهی استخوان‌ها و مفصل‌هایی داشته که همانند مفصل‌های ما عمل کرده باشند؟ پاسخ این سؤالات تنها با یافتن اسکلت کامل بدست می‌آمد که برای چنین کشفی، شاید مجبور می‌شدیم ۱۰ سال جستجو کنیم!

در مورد اطلاعات موجود در سنگ‌های یافته‌شده، اولین نفری که دریافت چه چیزی پیش روی ماست، من نبودم! بلکه اولین نفرات دو جوینده‌ی حرفه‌ای فسیل به نام‌های فرد مالیسون (Fred Mullison) و باب میسک



باله‌ی بحث برانگیز ما! متأسفانه ما فقط این نمونه‌ی تک را کشف کردیم.

(Bob Masek) بودند. آن‌ها از ابزار دندانپزشکی برای تراش سنگ‌هایی استفاده می‌کردند که ما در محل جستجو یافته بودیم. به این صورت، فسیل‌های درونی را آشکار کردیم. دانشمند جوینده‌ی فسیل برای تراشیدن تخته‌سنگی حاوی فسیل، مانند آن‌چه ما یافته بودیم و تبدیل آن به نمونه‌ی تحقیقاتی باکیفیت، اگر نگوییم به چندین سال، دست‌کم به چندین ماه زمان مفید نیاز دارد.

در جریان سفر اکتشافی سال ۲۰۰۴ به جزیره‌ی الزمیر، ما سه تکه‌سنگ حاوی فسیل، متعلق به دوره‌ی دونین، که هریک به اندازه‌ی یک چمدان متوسط بود یافتیم. هر سنگ دارای فسیل یک جانور با سر صاف بود؛ فسیل اول همان چیزی بود که من در عمق یخی یک معدن سنگی روباز یافتیم؛ دیگری، فسیل استیو و نمونه‌ی آخر که در هفته‌ی پایانی سفر اکتشافی‌مان کشف کردیم.

سیر در دنیای فسیل‌ها به مثابه سنگ‌هایی وجود داشت که بتوان آن‌ها را برای یافتن بقیه‌ی فسیل در آزمایشگاه جستجو کرد. ما سنگ‌ها را، برای انتقال به کشور، در محافظ مخصوص بسته‌بندی کردیم. شکافتن این نوع از محافظ‌های مخصوص در آزمایشگاه درست مثل سفر به اعماق زمان در گذشته است. ما را به یاد خاطرات گذشته می‌اندازد. بخش کوچکی از زندگی ما، که در دشت‌های بی‌درخت شمالگان سپری شد، درون آن‌ها بود؛ همان‌طور که گزارش‌های میدانی و نوشته‌های سریع و بدخط درباره‌ی آن فسیل، ما را به گذشته می‌برد. حتی وقتی این بسته‌ها را باز می‌کردیم، می‌توانستیم بوی تند را در آن‌ها حس کنیم...

فرد در فیلادلفیا و باب در شیکاگو، هم‌زمان مشغول تراشیدن تخته‌سنگ‌های مختلفی بودند. باب از یکی از این قطعه‌سنگ‌های قطبی، استخوان مخصوص کوچکی متعلق به باله‌ی بزرگ یک ماهی (که ما هنوز نام تیکتالیک را بر آن نگذاشته بودیم!) خارج کرد. آن‌چه که این جسم مکعب‌شکل استخوانی را متمایز از هر استخوان باله‌ی دیگری می‌کرد، وجود یک مفصل در انتهای آن بود که فضایی برای چهار استخوان دیگر داشت. این برآمدگی به‌طور عجیبی شبیه استخوان میج بود. اما آن باله در توده‌ی سنگی، که باب برای اثبات این مدعا آماده می‌کرد، بسیار به هم ریخته بود. قطعه‌ی بعدی از این شواهد، یک هفته بعد، از فیلادلفیا آمد. فرد، کار با ابزار



استخوان‌های باله‌ی جلویی تیکتالیک؛ یک ماهی با میج.

دندان‌پزشکی را به نهایت رساند و همه‌ی باله‌ی توده‌ی سنگی خود را آشکار کرد. در مکان مناسب، درست در انتهای استخوان‌های بازو، باله آن استخوان خاص را داشت و آن استخوان به چهار استخوان دیگر متصل بود. ما روی منشأ تکه‌ای از بدن خودمان درون این ماهی ۳۷۵ میلیون ساله خیره شده بودیم. یک ماهی با منج، پیش روی ما بود!

الگوی اوئن؛ باله و در طول ماه‌های آینده، ما توانستیم باقیمانده‌ی اجزای آن را نیز بیابیم. این اندام به‌نوعی باله دست دارای تشابه و به‌نوعی دست به‌شمار می‌آمد. ماهی ما بافت باله‌ای داشت، اما دارای نسخه‌ای ابتدایی و سافت‌تری بودند. اولیه از طرح اوئن نیز بود. یک استخوان، دو استخوان و توده‌های متعدد؛ درست همان‌طور که تئوری داروین پیش‌بینی کرده بود: ما توانستیم در دوره‌ی زمانی مناسب، در موقعیت مکانی مناسب، موجود حد واسطه میان دو گونه‌ی ظاهراً متفاوت جانوری را کشف کنیم.

یافتن آن باله تازه آغاز اکتشافات ما بود. جالب‌ترین قسمت موضوع برای من، تد و فاریش هنگامی بود که متوجه شدیم وظیفه‌ی باله چه بوده و یا اساساً چطور کار می‌کرده و حدس این که، چرا یک مفصل منج در ابتدای اندام به‌وجود آمده بود. راه‌حل این معما در استخوان‌ها و مفصل‌های فسیل قرار داشت.

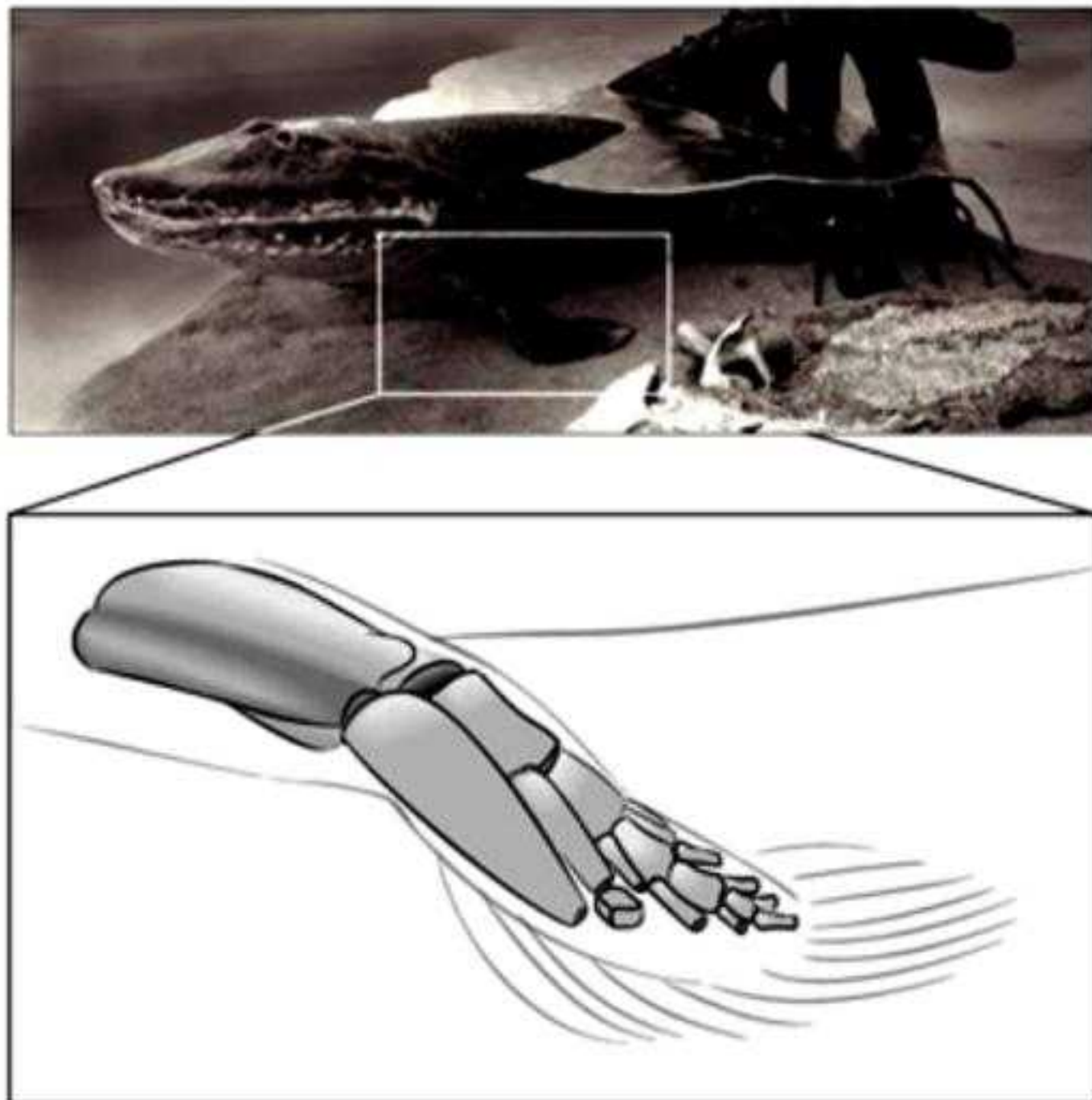
تیکتالیگ؛ ماهی هنگامی که باله‌ی تیکتالیگ را جدا کردیم، به موضوع بسیار جالب‌توجهی رسیدیم: تمام قسمت‌های مفصل، کاملاً محافظت شده بودند. تیکتالیگ دارای شانه، آرنج و منج بود و دقیقاً همان‌گونه استخوان‌هایی را داشت که استخوان‌های بالایی و پایینی در بازو و منج انسان را می‌سازد. زمانی که ما ساختار این مفصل‌ها را مطالعه می‌کردیم تا دریابیم که چطور یک استخوان در خلاف جهت دیگری حرکت می‌کند، متوجه شدیم تیکتالیگ برای عملکردی خارق‌العاده تکامل یافته بود: این جانور قادر به انجام حرکت شنا [حرکت ورزشی که برای تقویت عضلات دست انجام می‌دهیم] بوده است!

هنگامی که ما حرکت شنا انجام می‌دهیم، دست‌های مان روی زمین به‌صورت تراز واقع می‌شود، آرنج‌ها خم هستند و ما از نیروی ماهیچه‌های قفسه‌ی سینه برای حرکت به بالا و پایین استفاده می‌کنیم. بدن تیکتالیگ توانایی انجام همه‌ی این حرکات را داشته است! آرنج جانور درست مانند آرنج ما قادر به خم‌شدن بوده و منج طوری خم می‌شد که بتواند «کف دست» را برای ماهی درست کند و صاف روی زمین قرار بگیرد. تیکتالیگ احتمالاً پر از ماهیچه‌های قفسه‌ی سینه بوده. وقتی ما به شانه و سطح زیرین استخوان بازو، در نقطه‌ای که آن‌ها به هم متصل شده‌اند نگاه می‌کنیم، سرشانه‌های حجیم، عضلانی و علائمی را می‌بینیم که به ماهیچه‌های بزرگ سینه‌ای صدری متصل شده‌اند. تیکتالیگ می‌توانست «روی زمین بخوابد و بیست‌تا شنا برود!».

علت سازگاری‌های اصلاً چرا یک ماهی باید این حرکت خاص شنا را انجام بدهد؟ پاسخ این معما می‌تواند ما را در شناخت هرچه بهتر بقیه‌ی بدن جانور رهنمون سازد. با سری صاف، چشمانی در بالا و استخوان‌های دنده، تیکتالیگ احتمالاً برای این به‌وجود آمده بود که بتواند بستر رودخانه‌ها و

تالاب‌های کم‌عمق را زیرورو کند و حتی از لجن‌های حاشیه‌ی ساحل بالا بپرد! باله‌هایی با توانایی حمل بدن احتمالاً برای ماهی‌ای که نیاز داشت در همه‌ی این مکان‌ها مانور بدهد، بسیار سودمند بوده‌اند.

نکته‌ی مهم این است که این تعبیر با اطلاعات زمین‌شناسی مکانی که فسیل تیکتالیک در آن یافت شد، مطابقت داشت. ساختار لایه‌های سنگی و الگوی ریزدانه‌ها در سنگ‌ها، حاوی نشانه‌های قابل‌ملاحظه‌ای از ساختارهایی بودند که به‌وسیله‌ی جریان‌ات کم عمق محصور با مقدار زیادی رسوبات و طغیان‌های فصلی به‌وجود آمده بودند.



یک مدل با مقیاس کامل از بدن تیکتالیک (بالا) و ترسیمی از باله‌ی ماهی (پایین)، این همان باله‌ای است که در آن شانه، لرنج و میج لولیه شکل گرفته و ماهی را قادر به جست‌وخیز در خشکی کرده بود.

اما اصلاً به‌نظر شما، چرا و چگونه تیکتالیک باید در چنین محیط‌هایی زندگی کرده باشد؟! چه چیزی باعث خروج ماهی از آب یا سبب زندگی آن در کناره‌ی آب شد؟!

گریز از آب، راهکار در واقع، تمام ماهی‌های شناگر در این رودخانه‌های ۳۷۵ میلیون ساله گونه‌های شکارچی انتهای نیاکان ما بوده‌اند. بعضی از آن‌ها درازای حدود ۴/۵ متر داشتند، یعنی تقریباً دو برابر اندازه‌ی

بزرگ‌ترین تیکتالیک. معمول‌ترین گونه‌های ماهی‌هایی که ما در کنار تیکتالیک پیدا کردیم بیش از دو متر درازا داشتند و دارای سری به پهنای یک توپ بسکتبال، با دندان‌های تیزی به بزرگی میخ‌های راه‌آهن بودند! حالا شما تمایل دارید در چنین رودخانه‌های باستانی جالبی شنا کنید؟! این اغراق نیست اگر بگوییم چنین رودخانه‌هایی، دنیای ماهی‌های ماهی‌خوار است! راهبرد برای کامیابی در چنین محیطی کاملاً واضح بود: بزرگ شو، زره بیوش یا از آب دور شو! به نظر می‌رسد نیاکان ما راه سوم را انتخاب کرده و از نبرد و پیکار دوری جسته بودند!

اما این احتراز از کشاکش برای ما دستاوردهای بزرگی داشت. در حقیقت، ما می‌توانیم شکل ابتدایی‌تر بسیاری از ساختارهای اندام‌های حرکتی خود را در این گونه از ماهی‌ها ردیابی کنیم. میج خود را به جلو و عقب خم کنید. دست خود را باز و بسته کنید. هنگامی که این کار را انجام می‌دهید، شما از مفصلی استفاده کرده‌اید که نخستین بار در ماهی‌هایی مانند تیکتالیک نمایان شده بودند. پیش از آن، این مفصل وجود نداشتند. پس از آن هم، ما این مفصل را در اندام‌هایی چون دست و پا یافتیم.

تیکتالیک ملقه‌ی در گذر جانوران از تیکتالیک به دوزیستان و در ادامه به گونه‌های پستاندار، یک موضوع مفقوده‌ی اصلی گذر کاملاً روشن است: این که تیکتالیک نخستین جانوری بود که دارای استخوان‌هایی مانند استخوان‌های از آب به خشکی بالا و پایین بازوی ما، حتی فراتر از آن استخوان‌هایی مثل میج و کف دست ما، بوده و علاوه بر این استخوان‌ها، دارای پولک و بافت باله‌ای هم بوده است.

چه چیزی باعث ساخته شدن ما بر اساس الگوی یک استخوان، دو استخوان، توده‌های استخوانی متعدد و الگوی انگشتان اوئن شد و اوئن را واداشت که این طرح را به خالق نسبت بدهد؟ بعضی از ماهی‌ها، برای مثال ماهی شش‌دار، دارای یک استخوان در پایه‌اند. بعضی دیگر از ماهی‌ها مانند یوستنوپترون، ترتیب یک استخوان، دو استخوانی دارند. پس از آن‌ها، جانورانی مانند تیکتالیک قرار دارند، با یک استخوان، دو استخوان و توده‌های استخوانی متعدد. درون اندام‌های حرکتی ما تنها یک ماهی وجود ندارد بلکه یک اکورایوم کامل در آن هست. به این ترتیب، طرح اوئن در ماهی‌ها هم پیدا شده بود.

راه طولانی از شاید تیکتالیک قادر به انجام حرکت ویژه‌ی شنا بوده، اما بی‌تردید توانایی پرتاب توپ بیسبال، نواختن پیانو یا راه‌رفتن روی دوپا را نداشته است. مسیری طولانی از تیکتالیک تا انسان طی شده است. نکته‌ی بسیار مهم و شگفت‌آوری که وجود دارد این است که بیشتر استخوان‌های اصلی ما انسان‌ها، که برای انجام اعمالی نظیر راه‌رفتن، پرتاب کردن و قاپ‌زدن تعبیه شده‌اند، نخست در حیوانات ده‌ها تا صدها میلیون سال پیش پدیدار شده‌اند. نخستین تکه‌های استخوان بالای بازو یا پای ما در ماهی ۳۸۰ میلیون ساله‌ای مانند یوستنوپترون وجود داشته است. تیکتالیک به ما اولین مرحله‌ی تکامل میج، کف دست و انگشتان مان را نشان داد. نخستین انگشتان دست و پای واقعی، در دوزیستان ۳۶۵ میلیون ساله‌ای مانند اکانتوستگا دیده شده است. هم‌چنین پا در خزندگان که بیش از ۲۵۰ میلیون

سال از عمر آن‌ها گذشته است، دیده شد و تکامل یافت. سرانجام، مچ و استخوان‌های قوزک در دست و پای انسان، به تمام و کمال رسید. استخوان‌بندی پایه‌ی دست و پاهای ما، بیش از صدها میلیون سال پیش، ابتدا در ماهی‌ها و سپس دوزیستان و خزندگان پدیدار شده بودند.

اما تغییرات عمده‌ای که به ما توانایی استفاده از دست‌های مان و ایستادن روی پاهای مان را داده است، چه چیزهایی بوده‌اند؟ اصلاً این ابتکار چطور به‌وقوع پیوست؟! اجازه بدهید برای یافتن پاسخ این سؤال، دو مثال ساده از دست و پا را بررسی کنیم:

استفاده‌ی بهینه از دست با ایجاد شرایط لازم برای حرکت‌های جهت‌دار

ما انسان‌ها، همانند بسیاری دیگر از پستانداران، می‌توانیم انگشت شست‌مان را نسبت به آرنج بچرخانیم. این عمل ساده، در کارکرد روزانه‌ی دست‌های مان بسیار مهم است. تصور کنید بدون این که قادر به چرخاندن دست خود نسبت به آرنج باشید، بخواهید غذا بخورید، بنویسید یا این که تویی را پرتاب کنید! ما تنها به این علت قادر به انجام تمام این فعالیت‌ها هستیم که یک استخوان ساعدی، زندزبرین، در امتداد یک نقطه‌ی محوری در مفصل آرنج می‌چرخد. ساختار مفصل آرنج به‌طور حیرت‌آوری برای این نوع فعالیت‌ها طراحی شده است. در انتهای استخوان بالایی بازوی مان، استخوان بازو، به یک مفصل گوی‌مانند ختم می‌شود. نوک زندزبرین، که به آن‌جا متصل است، تشکیل یک کاسه‌ی زیبا می‌دهد که کاملاً با گوی تطبیق پیدا می‌کند. این مفصل گوی-کاسه‌ای، باعث حرکت گردشی دست‌های مان می‌شود، که به آن چرخش داخلی^۱ و چرخش خارجی^۲ می‌گویند. در کجا ما شاهد آغاز این قابلیت بودیم؟ در جانوری هم‌چون تیکتالیک. در این جانور، انتهای استخوان بازو، یک برآمدگی طولی شده تشکیل می‌دهد که با یک مفصل فنجان‌شکل با زندزبرین جفت می‌شوند.

هنگامی که تیکتالیک آرنج خود را خم می‌کرد، انتهای زندزبرینش می‌چرخید یا به‌کمک آرنج خم می‌شد. حالت ارتقایافته‌ی این توانایی در دوزیستان و خزندگان قابل‌مشاهده است. جایی که انتهای استخوان بازو درست مشابه دست‌های ما به یک گوی واقعی تبدیل می‌شود.

مرگت دست‌ها و پاها در خلاف جهت هم: (میل‌سازی رادرفتن)

با نگاهی به اندام‌های عقبی، یک ویژگی کلیدی می‌بینیم که به ما توانایی رادرفتن داده است؛ چیزی که ما در آن با بقیه‌ی پستانداران سهیم هستیم. برخلاف ماهی‌ها و دوزیستان، زانوها و آرنج‌های ما در دو جهت مخالف خم می‌شوند. این قابلیت مهم است: فرض کنید می‌خواهید با کاسه‌ی زانوی‌تان، که به پشت خم می‌شود، راه بروید (یعنی برعکس حالت طبیعی زانو). موقعیت بسیار متفاوتی (از آن‌چه که ما امروز هستیم) در ماهی‌ای مانند

یوستنوپترون وجود داشته؛ ناحیه‌ای معادل زانو و آرنج در آن‌ها در این جهت (در یک جهت و خلاف جهت زانوی ما) حرکت می‌کردند.

ما تکوین مان را با دست و پاهای کوچک جهت‌داری، که بسیار شبیه اندام‌های یوستنوپترون بود، آغاز کردیم. با آرنج‌ها و زانوهای که در یک جهت بودند! همان‌طور که در رحم رشد کردیم، زانوها و آرنج‌های مان چرخیدند تا حالتی که امروز می‌بینیم را به خود بگیرند.

راه رفتن روی دو پا و الگوی راه رفتن انسان روی دو پا، حرکت مفاصل ران، زانو، قوزک‌ها و استخوان‌های پا نشانه‌ها در تیکتالیک برای به‌جلوراندن بدن، مشابه الگوی ایستادن عمودی و برخلاف حالت دراز کشیده در تیکتالیک است! یک تفاوت بزرگ در موقعیت لگن وجود دارد. پاهای ما مثل آن‌چه در تمساح‌ها، دوزیستان یا ماهی‌ها دیده می‌شود، برای حرکت از پهلو طراحی نشده است، بلکه برای این که در پایین بدن مان باشند، طرح‌ریزی شده‌اند.

این دگرگونی در طرز ایستادن به‌علت تغییرات مفصل ران، حفره‌ی لگن خاصره و قسمت‌های بالایی پا به‌وجود آمده است؛ لگن خاصره‌ی ما همانند کاسه است؛ گودی کفل عمیق شده و استخوان ران به زانو رسیده، این ویژگی باعث شده که پاها در پایین بدن انسان واقع شوند نه در کنار بدن.

آیا حقایق تاریخی‌چهره‌ی باستانی ما گویای این واقعیت است که انسان موجودی خاص و منحصر به فرد در میان سایر موجودات زنده به‌شمار می‌آید؟ البته که نه! در واقع، دانستن اطلاعاتی راجع به منشأ ژرف پیدایش بشریت به واقعیت قابل توجه موجودیت ما اضافه می‌کند که: تمام قابلیت‌های خارق‌العاده‌ی ما، از اجزای پایه‌ای منشأ گرفته‌اند که در دیرینه‌ماهی و سایر جانوران تکامل یافته است. از بخش‌های مشترک، ساختمانی بی‌نظیر به‌وجود آمده است. نه تنها ما از بقیه جهان زنده جدا نیستیم، بلکه از استخوان‌های مان گرفته (و همان‌طور که به اختصار خواهیم دید) تا ژن‌های مان، بخشی از این کل هستیم.

حال با نگاهی به مطالب گذشته باید بگوییم، لحظه‌ای که من اول بار میج ماهی را مشاهده کردم، به‌همان میزان سرشار از هیجان شدم که برای اولین بار، شاهد انگشتان جسدی در آزمایشگاه آناتومی انسان بودم. در هر دو مورد، من رابطه‌ی عمیق میان انسان بودن خود و وجود سایر موجودات زنده را درک کردم.

در جولای ۲۰۰۴، هنگامی که من و همکارانم در شمالگان برای یافتن اولین تیکتالیک مشغول کاوش بودیم، رندی دان (Randi Dahn) یکی از پژوهشگران آزمایشگاه من، در بخش جنوبی شیکاگو، سخت مشغول آزمایش‌های ژنتیکی روی جنین کوسه‌ها و سفره‌ماهی‌ها^۱ - از غموزاده‌های ماهی‌های پهن برقی^۲ - بود، شاید شما پوشش مشکی کوچک کیسه‌مانندی - موسوم به کیسه‌ی پری‌دریایی^۳ - را، که محافظ تخم‌ها هستند، در سواحل دیده باشید.

درون این کیسه‌ها، زرده‌ای همراه با نطفه وجود دارد که به جنین سفره‌ماهی یا کوسه تبدیل می‌شود. در طول این سال‌ها، رندی صدها ساعت از وقت خود را برای آزمایش و پژوهش روی محتویات جنین درون این تخم‌ها صرف کرد؛ او اغلب تا نیمه‌های شب به مطالعه و آزمایش ادامه می‌داد. در طول تابستان مهم ۲۰۰۴، رندی طی یک آزمایش، مشتقی از ویتامین A را با ساختمان مولکولی ویژه، به تخم‌ها تزریق کرد. سپس اجازه داد آن‌ها به مدت چند ماه تکوین یابند و از تخم خارج شوند.

**رندی دان؛ پیشرو در
مطالعات ژنتیک
تکاملی**

- 1- Skates
- 2- Stingrays
- 3- Mermaid's purses



به نظر می‌آمد رندی شیوه‌ی عجیبی برای گذراندن بهترین قسمت سال انتخاب کرده بود: انجام آزمایش‌هایش! اجازه دهید این دانشمند جوان را با حرفه‌ی علمی امیدبخشش تنها بگذاریم. حالا سؤال این است که چرا کوسه‌ها؟ و چرا نوع خاصی از ویتامین A؟

دستکاری جنین برای درک بهتر این آزمایش‌ها، لازم است بازگردیم و ببینیم که قرار بود این آزمایش‌ها **سفره‌ماهی برای** چه چیزی را برای ما روشن سازند. آن‌چه ما واقعاً در این فصل به دست می‌آوریم شناخت **درک تأثیر DNA**. دستورالعمل مکتوب در DNA است که بدن ما را از یک تخم منفرد به وجود آورده. هنگامی که اسپرم درون تخمک تلقیح می‌یابد و تخم را می‌سازد، تخم لقاح یافته درون خود یک دست کوچک ندارد! بلکه دست، از اطلاعات درون همین سلول تک‌توتنها ساخته می‌شود.

این موضوع برای ما نکته‌ای بسیار ژرف در خود دارد: این آزمایش [دستکاری جنین سفره‌ماهی] روشی برای مقایسه‌ی استخوان‌های دست‌های ما با استخوان‌های باله‌ی ماهی است. اگر دستورالعمل ژنتیکی که دست‌های ما را می‌سازد را با دستورالعملی که باله‌های ماهی را می‌سازد مقایسه کنیم، به چه چیزی می‌رسیم؟ برای یافتن پاسخ این نوع سؤالات، درست مانند رندی، ما به تعقیب مجموعه‌ای از کشفیات خواهیم پرداخت که ما را از دست‌های مان، به باله‌های کوسه‌ها و حتی به بال‌های پرندگان می‌رساند.

محدودیت کار با همان‌طور که ملاحظه کردید، وقتی جانورانی را کشف می‌کنیم که نسخه‌های متفاوت و **فسیل‌ها؛ ضرورت** اغلب ساده‌تری از بدن ما را در بدن خود دارند، دریچه‌ی شگفت‌انگیزی از گذشته‌های دور **مطالعه روی DNA** مقابل چشمان مان گشوده می‌شود. با این حال، محدودیت بزرگی در کار با فسیل وجود دارد. ما قادر به انجام آزمایش روی جانورانی که مدت زیادی از مرگ‌شان می‌گذرد، نیستیم. این آزمایش‌ها، برای ما اهمیت بسیاری دارند، زیرا برای به دست آوردن نتایج بهتر، می‌توانیم برخی فاکتورها را دستکاری کنیم. به همین علت، آزمایشگاه من مستقیماً به دو بخش تقسیم می‌شود: یکی به پژوهش‌های فسیلی اختصاص یافته و دیگری پژوهشکده‌ای برای تحقیقات جنینی و DNA است. زندگی در آزمایشگاه من دیوانه‌کننده است: قفسه‌ی قفل‌شده‌ای که نمونه‌های تیکتالیک در آن هست، در کنار فریزری پر از نمونه‌های با ارزش DNA!

آزمایش روی DNA پتانسیل بالایی برای آشکارسازی ماهی درونی دارد. اگر ما قادر به انجام آزمایشی بودیم که در آن می‌توانستیم جنین ماهی را در معرض مواد شیمیایی مختلفی قرار دهیم و باعث تغییر در بدن ماهی شویم، مثلاً باله‌هایش را به دست تبدیل می‌کردیم یا می‌توانستیم نشان دهیم که ژن‌های سازنده‌ی باله‌ی ماهی واقعاً همان‌هایی هستند که دست‌های ما را ساخته‌اند، چه روی می‌داد؟!

معمای بزرگ: یک با یک معمای بزرگ شروع می‌کنیم: بدن ما از صدها گونه سلول متفاوت ساخته شده است. **DNA و هزاران نوع** این تنوع سلولی به بافت‌ها و اندام‌های ما شکل و عملکرد متفاوتی می‌دهد. سلول‌هایی که **سلول**.

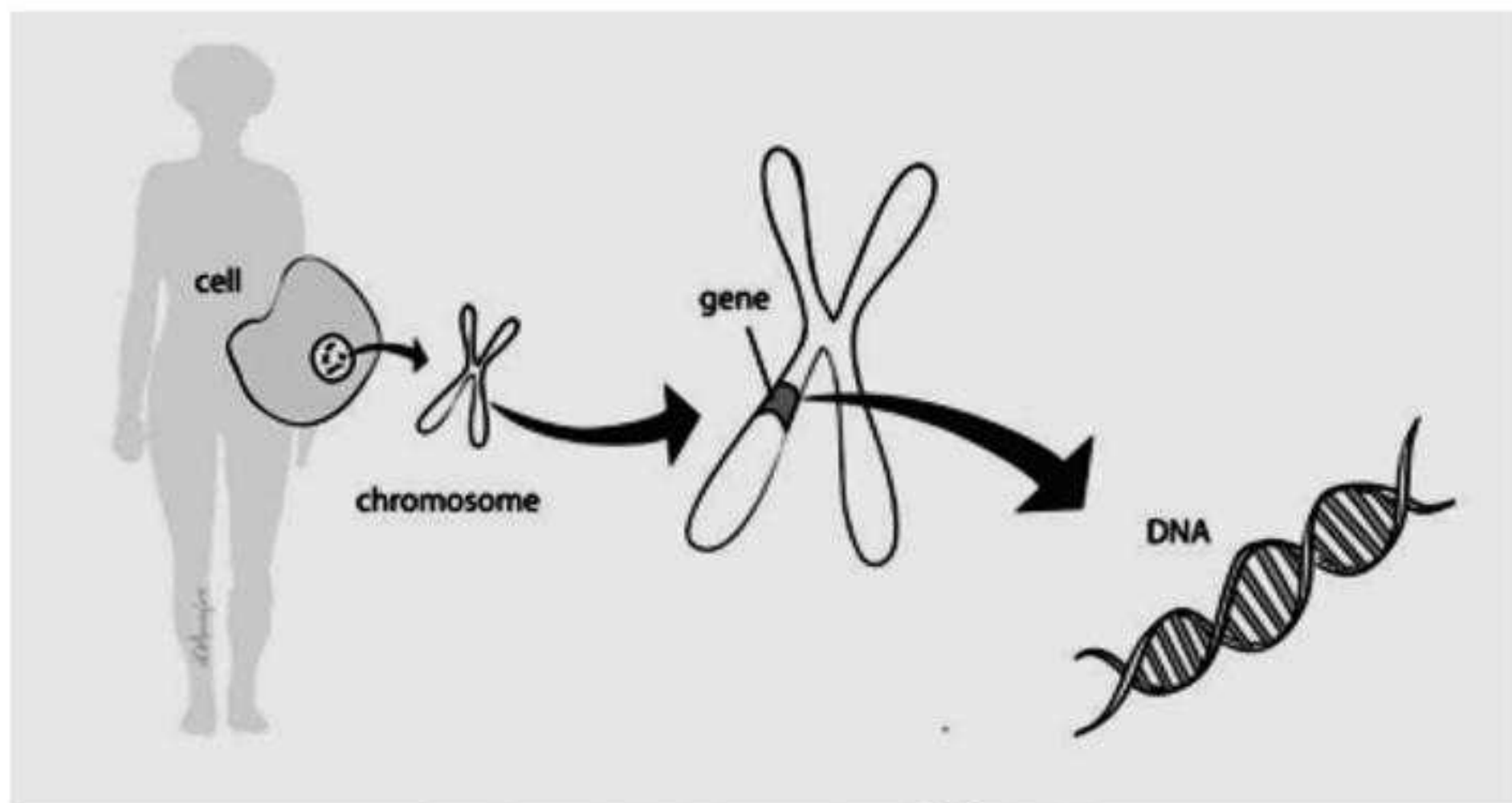
استخوان‌ها، اعصاب، روده‌ها و سایر اعضای ما را ساخته‌اند، در ظاهر و رفتار کاملاً متفاوت‌اند اما با وجود این همه تفاوت، شباهت جالبی بین تمام سلول‌های بدن ما وجود دارد: همه‌ی آن‌ها دقیقاً دارای یک نوع DNA مشابه‌اند. به نظر شما چطور ممکن است از یک نوع DNA، که شامل اطلاعات یکسانی برای ساخت بدن، بافت‌ها و اندام‌های ماست، سلول‌های بسیار متفاوتی چون ماهیچه، عصب و استخوان (با DNA مشابه هم) به وجود آیند؟!

پاسخ این سؤالات در دانستن این نکته نهفته است که کدام قطعه از DNA (ژن)، چه زمانی در هر سلول روشن می‌شود. سلول پوست با سلول‌های عصبی تفاوت دارد، چراکه در این سلول‌ها، ژن‌های متفاوتی فعالیت دارند. زمانی که یک ژن روشن می‌شود، پروتئینی ساخته می‌شود که می‌تواند بر رفتار و عملکرد سلول اثرگذار باشد. بنابراین، برای درک این که چه چیزی سلول چشم را از سلول‌های استخوان دست متفاوت می‌کند، لازم است در مورد روشن و خاموش کننده‌های (سوئیچ‌های) ژنتیکی، که فعالیت ژن‌ها را در هر سلول و بافت کنترل می‌کنند، اطلاعاتی به دست بیاوریم.

روشن و خاموش کننده‌های ژنتیکی در این جا واقعیت مهمی وجود دارد: این سوئیچ‌های ژنتیکی به ساخت و سرهم کردن بدن ما کمک می‌کنند. در دوران جنینی، ما از یک سلول منفرد، که تمام DNA لازم برای ساخت بدن را در خود دارد، به وجود آمده‌ایم. نقشه‌ی این بدن، به طور کامل از دستورالعمل‌های موجود در این سلول میکروسکوپی منفرد بیرون می‌آید. برای تبدیل سلول تخم عادی به انسان کامل، با تریلیون‌ها سلول سازمان‌یافته‌ی صحیح و سالم، لازم است همه‌ی ژن‌ها دقیقاً در مراحل مناسبی از تکوین و رشد روشن و خاموش شوند. همانند یک قطعه‌ی موسیقی که از نت‌های جداگانه ساخته شده و با سازهای متعدد نواخته می‌شود، بدن ما نیز ملودی از ژن‌های جداگانه‌ای است که درون هر سلول، طی تکوین روشن و خاموش می‌شوند.

این اطلاعات برای پژوهشگران مزیت بزرگی به حساب می‌آیند. زیرا حال می‌توانیم فعالیت ژن‌های متفاوت را برای ارزیابی این که باعث بروز چه تغییراتی در شکل‌گیری اندام‌های جدید می‌شوند، مقایسه کنیم. مثلاً به دست آوردن دست و پا.

تفاوت دست و پا وقتی ما اثر کلی ژن‌های فعال در تکوین باله‌ی ماهی را با ژن‌های فعالی که باعث رشد دست انسان می‌شوند مقایسه می‌کنیم، می‌توانیم تفاوت‌های ژنتیکی بین باله و دست را فهرست کنیم. این مقایسه پاسخ‌های احتمالی درباره‌ی منشأ این تفاوت به ما می‌دهد؛ ممکن است در زمان پیدایش دست و پا، سوئیچ‌های ژنتیکی تغییر کرده باشند! به این ترتیب ما می‌توانیم به مطالعه‌ی این که این ژن‌ها در جنین چه فعالیتی دارند و چگونه ممکن است تغییر کرده



ژن‌ها قطعاتی از DNA هستند که درون هر یک از سلول‌های بدن ما وجود دارند.

باشند، بپردازیم؛ حتی می‌توانیم با دست‌کاری ژن‌ها، آزمایش‌هایی انجام بدهیم که چگونگی تغییر بدن‌مان را در پاسخ به شرایط و محرک‌های مختلف بررسی کنیم.

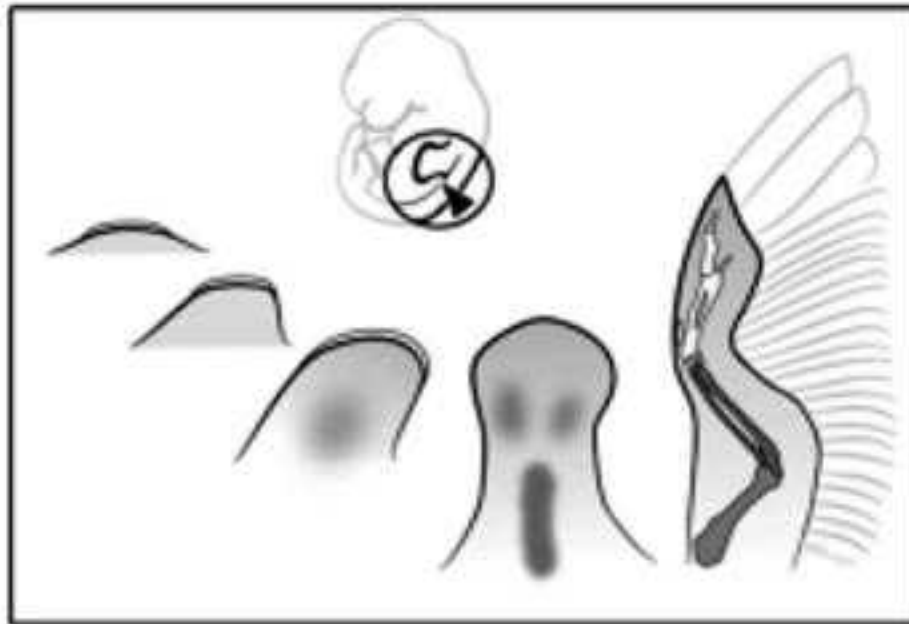
برای درک ژن‌های سازنده‌ی دست و پا، لازم است قسمتی از برنامه‌ای تلویزیونی مثل «صحنه‌ی جرم» را به‌یاد بیاوریم؛ درست مانند فیلم‌های بررسی صحنه‌ی جنایت، که از بدن شروع می‌کنند و به‌درون آن می‌روند و کالبدشکافی می‌کنند ما هم با مشاهده‌ی ساختار اندام‌های حرکتی‌مان شروع خواهیم کرد و به‌مرور بر قسمت‌های درونی‌تر مثل بافت‌ها، سلول‌ها و نهایتاً ژن‌های سازنده‌ی آن‌ها تمرکز می‌کنیم.

ساخت دست‌ها

دست‌ها و پاهاى ما سه بُعد دارند: رویه و کف، پهلوی از سمت انگشت کوچک و انگشت شست، پایه [سمت شانه و لگن] و نوک [سمت انتهای انگشتان]. استخوان‌های موجود در نوک انگشتان دست، با استخوان‌های شانه متفاوت‌اند. به‌همین صورت، دست در دو سمتش فرق دارد. انگشتان کوچک ما شکلی متفاوت از شست‌های‌مان گرفته‌اند. هدف نهایی بررسی گسترده‌ی ما این است که دریابیم کدام ژن‌ها باعث تفاوت میان استخوان‌های گوناگون در دست و پایمان می‌شوند و این که چه‌چیزی تکوین را، در این سه بُعد، کنترل می‌کند؟! به‌راستی کدام قسمت DNA، انگشت کوچک دست را از انگشت شست متفاوت می‌سازد؟ چه‌چیزی انگشتان ما را از استخوان‌های بازوی‌مان متمایز کرده است. چنان‌چه بتوانیم ژن‌هایی که چنین الگویی را کنترل می‌کنند بیابیم، در واقع به اسرار دستورالعمل ساخت بدن‌مان پی برده‌ایم.

زمان ویدیو: همه ی سوئیچ های ژنتیکی، که انگشتان دست، استخوان های بازو و انگشتان پا را درست می کنند، کار خود را در طول سه تا هشت هفته پس از لقاح و شکل گیری تخم انجام می دهند. دست و پا، هم چون جوانه های ظریفی از بدن جنین می رویند و تکوین خود را آغاز می کنند.

این جوانه ها بیش از دو هفته به رشد و نمو خود ادامه می دهند، تا جایی که نوک انگشتان کمی شکل تر شوند و شباهت بیشتری به دست واقعی پیدا می کنند. در هر دست، میلیون ها سلول وجود دارد که در نهایت تبدیل به استخوان، اعصاب و ماهیچه ها می شوند و ما تا پایان زندگی مان آن ها را همراه خواهیم داشت!



راحل تکوین یک عضو حرکتی؛ در این شکل بال پرند به نمایش درآمده است. تمام مراحل کلیدی تکوین اسکلت بال، درون تخم پرند اتفاق می افتد.

برای بررسی چگونگی ظهور این الگو، لازم است به جنین بنگریم و گاهی در تکوین آن دخالت کنیم تا ببینیم هنگامی که بعضی چیزها اشتباه می شوند، چه روی می دهد؛ به علاوه، لازم است با ایجاد جمعیت های جهش یافته تحت شرایط کنترل شده، به بررسی ساختارهای درونی انواع جهش یافته و ژن های آن ها بپردازیم. البته ما در مورد انسان نمی توانیم به این شکل مطالعه کنیم. چالش پیش روی پیشگامان این رشته، یافتن جانورانی بود که می توانستند دریچه ی مفیدی در رابطه با تکوین انسان ها بگشایند. در طول دهه ی ۱۹۳۰ تا ۱۹۴۰، جنین شناسان تجربی، که علاقه مند به پژوهش درباره ی اندام های حرکتی انسان بودند، با پیچیدگی های بسیاری مواجه بودند.

یافتن جنین مناسب پژوهشگران به موجودی نیاز داشتند که دارای اندام های حرکتی مشابهی باشد علاوه بر این، جنین چنین موجودی باید به طور نسبی بزرگ می بود تا بتوانند روی آن عمل جراحی انجام دهند. مهم تر از همه این که، آن جنین باید در محیطی محافظت شده رشد کند؛ در

پناهگاهی که آن را از ضربات و آسیب های محیطی حفظ کند؛ و آخر این که، این جنین حتماً باید در طول سال، فراوان در دسترس باشد. راه حل آشکار برای این نیاز علمی، در مغازه ی خواروبار فروشی محله ی شما هم هست: تخم مرغ!

1- Mutant

هرگونه تغییری که در ماده ی ژنتیکی رخ می دهد، جهش نام دارد. موتانت سلول یا جاندار است که تحت تأثیر جهش قرار گرفته

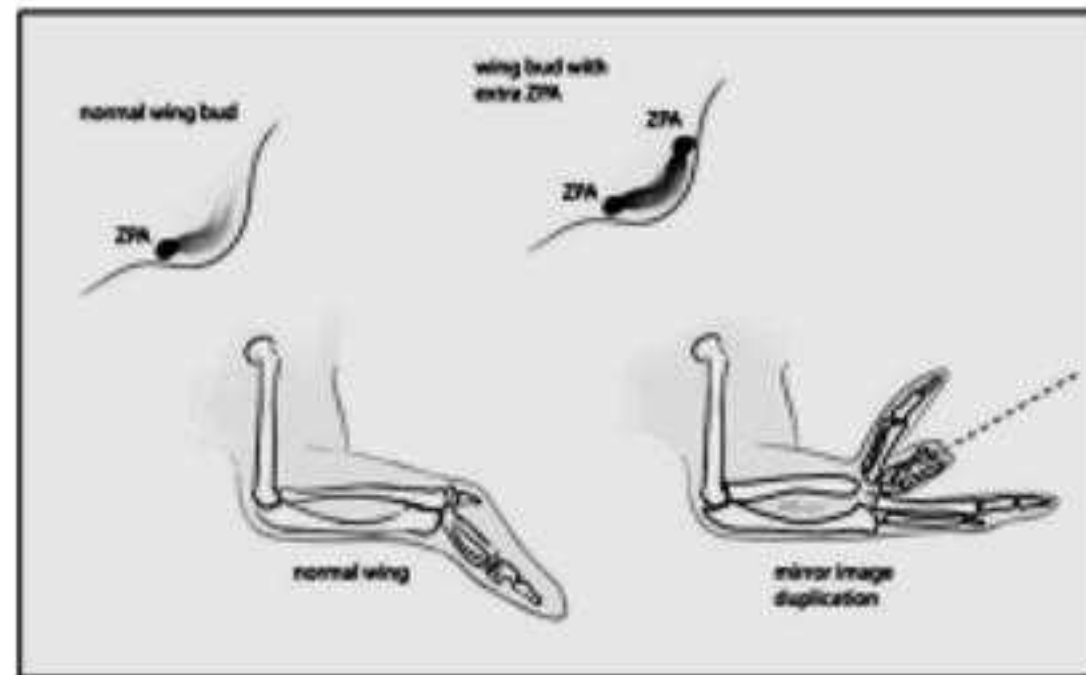
در بین سال‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ تعدادی از زیست‌شناسان، از جمله ادگار تسویلینگ (Edgar Zwilling) و جان ساندرز (John Sanders) آزمایش‌های فوق‌العاده خلاقانه‌ای روی تخم‌مرغ‌ها انجام دادند تا دریابند الگوی ساختار اسکلتی چگونه شکل می‌گیرد. این آزمایش‌ها آغاز دوره‌ای از آزمون و خطا بود. این دو پژوهشگر جنین‌ها را شکافته و بافت‌های مختلفی را جابه‌جا کردند تا دریابند این موضوع چه تأثیری روی تکوین جانور دارد. این رویه شامل اعمال جراحی بسیار ظریف - میکروسکوپی - و دست‌کاری تکه‌های بافت با ضخامتی کمتر از یک میلی‌متر بود. به این ترتیب، ساندرز و تسویلینگ با جابه‌جا کردن بافت‌های در حال تکوین، برخی از مکانیسم‌های کلیدی را، که اندام‌های حرکتی بسیار متفاوتی از قبیل بال پرنده، باله‌ی نهنگ و دست انسان را می‌سازد، کشف کردند.

آن‌ها دریافتند که دو قسمت کوچک از بافت به‌طور اساسی تکوین الگوی استخوانی بال‌ها را کاملاً کنترل می‌کند. بافت باریکی در قسمت انتهایی جوانه‌ی دست و پا وجود دارد که برای تکوین همه‌ی اندام‌های حرکتی ضروری است. با خارج کردن این بافت، رشد یک‌باره متوقف می‌شود. اگر آن را در اوایل دوره‌ی رشد برداریم، فقط شاهد رشد استخوان بازو یا حتی بخشی از آن خواهیم بود؛ اما اگر آن را اندکی دیرتر خارج کنیم نهایتاً شاهد بازو و ساعد هم هستیم. اگر این قطعه را از این هم دیرتر خارج کنیم، بازو تقریباً کامل شده و فقط انگشتان کوتاه و ناقص می‌شوند.

انگشتان آینده‌ای و آزمایش دیگری، توسط ماری گسلینگ (Mary Gasseling) در آزمایشگاه جان ساندرز انجام شد که منجر به یک دریافت تحقیقاتی قدرتمند و تازه گردید. آن‌ها مقدار ناچیزی از اثر بافت ویژه
تکه‌ی بافتی را، که منجر به پیدایش جهت انگشت کوچک در یک جوانه‌ی اندام حرکتی می‌شود، را برداشتند و آن را در اوایل تکوین دست، به سمت مخالف، دقیقاً زیر جایی که انگشت اول از آن‌جا ظاهر می‌شود، پیوند زدند و اجازه دادند پرنده رشد کند تا بال‌هایش شکل بگیرند. نتیجه تقریباً همه را شگفت‌زده کرد! بال به‌شکلی معمولی تکوین یافت اما دو سری کامل از انگشت هم داشت! الگوی انگشتان حتی از این هم جالب‌توجه‌تر بودند: آرایش انگشتان جدید، همانند تصویر آینه‌ای انگشتان عادی بود!

بدیهی‌ست که چیزی درون آن تکه از بافت، یعنی تعدادی مولکول یا ژن، قادر به هدایت تکوین الگوی انگشتان بودند. حاصل این پژوهش‌ها به‌وجود آمدن طوفانی از تحقیقات جدید بود و ما آموختیم که این اثر می‌تواند توسط انواع دیگری از بافت‌ها نیز تکرار شود. به‌عنوان مثال، به قسمت جوانه‌زده‌ی دست و پای جنین پرنده مقدار ناچیزی ویتامین A تزریق کنید، یا ساده‌تر عمل کنید و تنها ویتامین A را به داخل تخم تزریق و صبر کنید تا جنین رشد کند. اگر شما ویتامین A را با غلظت مناسب و در زمان مناسب به جنین برسانید، همان مضاعف‌شدن آینه‌ای که گسلینگ، ساندرز و تسویلینگ از آزمایش‌های پیوند بافت خود کشف کرده بودند را به‌دست خواهید آورد.

منطقه‌ی فعالیت این تکه‌های بافت را منطقه‌ی فعالیت قطبی کننده^۱ می‌نامند. ZPA تکه‌ای از بافت است که قطبی‌کننده یا ZPA سبب تفاوت میان سمت انگشت کوچک با سمت انگشت شست می‌شود. بدیهی‌ست که پرنده‌ها انگشت کوچک و انگشت شست ندارند. اصطلاحی که از آن برای عددگذاری انگشتان استفاده می‌کنیم، می‌گوید انگشت کوچک ما متناظر با انگشت پنجم جانوران دیگر و انگشت شست ما متناظر با انگشت اول آن‌هاست. ZPA از آن‌جاکه به‌طور مختلف در کنترل تشکیل انگشتان دست و پا نقش دارد، منطقه‌ی بسیار جالب‌توجهی است.



جابه‌جا کردن مقدار ناچیزی از بافتی که به آن ZPA می‌گویند، سبب مضاعف شدن انگشتان شد.

اما چگونه این کار را انجام می‌دهد؟! بعضی از پژوهشگران معتقدند سلول‌های درون ZPA مولکولی می‌سازند که در میان اندام‌های حرکتی پخش می‌شود و سلول‌ها را وادار به تبدیل شدن به انگشتان متفاوت می‌کنند.

مکانیسم عمل ZPA: پیشنهاد کلیدی این بود؛ غلظت این مولکول بی‌نام عامل اصلی این مشاهدات است؛ به این صورت که در قسمت نزدیک به ZPA، جایی که غلظت بالایی از این مولکول وجود دارد، سلول‌ها با ساختن یک انگشت کوچک به این محرک پاسخ می‌دهند. در سمت مقابل این دست در حال رشد، دورتر از ZPA، جایی که مولکول‌ها پراکندگی بیشتر و غلظت کمتری دارند، سلول‌ها با ساخت انگشت شست پاسخ می‌دهند. سلول‌های قرارگرفته در بین این دو، هریک بر اساس غلظت این مولکول، سازنده‌ی انگشتان دوم، سوم و چهارم هستند.

این ایده را می‌شد آزمایش کرد و همین‌طور هم شد؛ سال ۱۹۷۹، دنیس سامربل (Denis Summerbell) تکه‌ی فوق‌العاده کوچکی از فویل را بین ناحیه ZPA و بقیه‌ی دست قرار داد. او می‌خواست با این کار، مانع از پخش و انتشار هر نوع مولکولی از سمت ZPA به قسمت‌های دیگر شود. بدین ترتیب سامربل آن‌چه را، که برای سلول‌های دو سمت مانع اتفاق افتاد را، مطالعه کرد؛ سلول‌هایی که در سمت ZPA بودند، انگشتان را تشکیل دادند؛ اما سلول‌های قسمت مقابل اغلب انگشتی درست نکردند و اگر

انگشتی ساخته شد، بدشکل و ناقص بود. نتیجه واضح بود: چیزی از ZPA تولید می‌شد که به وجود آمدن و ریخت انگشتان را کنترل می‌کرد. در قدم بعدی، برای شناخت آن چیز، لازم بود که پژوهشگران به بررسی DNA بپردازند.

دستورالعمل DNA

این پروژه، به نسل جدیدی از دانشمندان محول شد. البته قسمت‌های نهایی آن تا دهه‌ی ۱۹۹۰، که تکنیک‌های جدید مولکولی ابداع شدند به طول انجامید؛ در این زمان بررسی‌های ژنتیکی برای درک عملکرد ZPA امکان‌پذیر شد.

به دنبال مولکول موفقیت اصلی در ۱۹۹۳، هنگامی که آزمایشگاه کلیف تابین (Cliff Tabin) در دانشگاه هاروارد شروع به شکار ژن‌های کنترل‌کننده‌ی ZPA کرد، به وقوع پیوست! نتیجه‌ی تلاش آن‌ها کشف مکانیسم‌هایی مولکولی بود که به ZPA توانایی ایجاد تفاوت بین انگشت کوچک و انگشت شست ما را می‌داد!

پیش از آن که این گروه، در اوایل دهه‌ی ۹۰، شروع به انجام این تحقیقات کنند، تعدادی آزمایش مشابه ما را به این سمت سوق داد که دریابیم علت همه‌ی این اتفاقات یک نوع مولکول خاص است. این تئوری بزرگی بود، اما هنوز هیچ کس نمی‌دانست این مولکول چیست! پژوهشگران مولکولی پس از مولکول دیگر پیشنهاد می‌کردند، اما هیچ یک پاسخ معما را نداد. سرانجام، آزمایشگاه تابین نظریه‌ی تازه‌ای ارائه کرد و آن نظریه با مطالب این کتاب بسیار مطابقت دارد. برای فهم این موضوع به مگس‌ها نگاهی بیاندازیم!

آزمایش‌های ژنتیکی دهه‌ی ۸۰ (۶۰)، الگوی شگفت‌آور فعالیت ژنی که بدن مگس میوه^۱ را از یک سلول منفرد تخم به وجود می‌آورد، آشکار ساخت. بدن مگس میوه به صورت سری در جلو و بال‌هایی در سمت پشتی، سازمان یافته است. تمام ژن‌ها در خلال تکوین مگس روشن و خاموش می‌شوند و این الگوی فعالیت ژنی، برای رشد بخش‌های مختلف بدن مگس به کار می‌رود. در آن زمان، تابین متوجه این موضوع نبود و دو آزمایشگاه دیگر به سرپرستی اندی مک‌ماتن (Andy MacMahon) و فیل اینگم (Phil Ingham) مستقل از هم به این ایده‌ی کلی یکسان رسیده بودند.

کشف ژن **فراپشت**: در سال‌های بعد، آن چه که آشکار بود موفقیت جالب توجه حاصل از تشریک مساعی میان **کالیدیای ZPA** این سه گروه آزمایشگاهی متفاوت بود. به این صورت که یکی از ژن‌های مگس میوه، توجه تابین، مک‌ماتن و اینگم را به خود جلب کرد. آن‌ها متوجه شدند ژنی که یک انتهای بدن مگس را می‌سازد به نظر با ژن‌های دیگر تفاوت دارد. ژنتیک‌دانان مگس میوه آن ژن را

۱- Fruit Fly

گونه‌ای از راسته‌ی دوبالان و رده‌ی حشرات که مدلی برای پژوهش‌های گسترده‌ی بیولوژیکی در مطالعات ژنتیک، فیزیولوژی، بیماری‌زایی میکروبی و تکامل حیات محسوب می‌شود.

خارپشت^۱ نامیدند. آیا عملکرد ژن خارپشت در بدن مگس برای این نیست که قسمتی از بدن را متفاوت از قسمت دیگر سازمان دهی کند؛ درست مشابه همان کاری که ZPA در متفاوت ساختن انگشت کوچک از انگشت شست انجام می دهد؟!

این سه آزمایشگاه همزمان رویکرد یکسانی را تعقیب کردند، به این صورت که به جستجوی ژن خارپشت در پرندوها، موش ها و ماهی ها پرداختند.

از آن جاکه این پژوهشگران ساختار ژن خارپشت مگس میوه را می شناختند، نقشه ای برای جستجو داشتند که در تمایز این ژن از سایر ژن های پرند به آن ها کمک می کرد. هر ژن توالی مشخصی دارد؛ به کمک تعدادی از ابزارهای مولکولی، این پژوهشگران می توانستند به جستجوی توالی ژن خارپشت در میان کل ژنوم پرند بپردازند. پس از آزمون و خطاهای بسیار، آن ها سرانجام ژن خارپشت پرند را کشف کردند.

همان طور که دیرینه شناسان باید گونه های جدید را نام گذاری کنند، متخصصان علم ژنتیک هم باید برای این ژن تازه نامی برمی گزیدند. علت انتخاب کلمه ی ژن خارپشت از سوی ژنتیک دانان کاشف آن، این بود که مگس های جهش یافته در این ژن دارای موهای سیخی می شدند که آن ها را به یاد خارپشت می انداخت! تابین، مک مائن و اینگم نسخه ی ژنی مربوط به پرند را خارپشت سونیک^۲ نامیدند؛ آن ها واژه ی سونیک^۳ را از یک بازی ویدئویی مربوط به کمپانی سگا اقتباس کردند!

حال به این سوال سرگرم کننده توجه کنید: ژن خارپشت سونیک دقیقاً در پیدایش دست و پا چه نقشی دارد؟! گروه تابین یک مولکول رنگی را، که به ژن می چسبید، به سلول ها اضافه کرد. این عمل باعث می شد آن ها بفهمند که ژن در کجای دست و پا فعال می شود. با تعجب بسیار زیاد، آن ها متوجه شدند که این ژن فقط در سلول های موجود در یک قسمت باریک در دست و پا فعالیت دارد؛ که همان ZPA است.

به این ترتیب مراحل بعدی آشکار شدند. الگوهای فعالیت ژن خارپشت سونیک در واقع به نوعی تقلید عملکرد بافت های ZPA بود. زمانی را که پژوهشگران دست و پا را با رتینوئیک اسید (فرم خاصی از ویتامین A) تیمار کردند به یاد می آورید؟! در حقیقت آن ها ZPA را در طرف مقابل در اندام حرکتی فعال کردند. حدس بزنید هنگامی که منشأ اندام حرکتی را با رتینوئیک اسید تیمار و محل فعالیت ژن خارپشت سونیک را ترسیم کردند، چه

1- Hedgehog

2- Sonic hedgehog

3- Sonic



اتفاقی افتاد؟! ژن خاریشت سونیک در هر دو طرف فعال شد - انگشت کوچک و انگشت شست - درست همانند ZPA که با رتینوئیک اسید تیمار شده بود.

ژن خاریشت در هر شناخت ساختار ژن خاریشت سونیک در پرنده به سایر پژوهشگران امکان داد که به موجود دست و پادار جستجوی این ژن در هر موجود دیگری، که دارای ساختار انگشت باشد، از قورباغه‌ها تا انسان بپردازند. همه‌ی جانوران دست و پادار ژن خاریشت سونیک دارند. در تک‌تک جانورانی که ما مطالعه‌شان کردیم، ژن خاریشت سونیک در بافت ZPA فعال بود. اگر ژن خاریشت سونیک، به‌موقع، در طول هشت هفته از دوره‌ی تکوین جنینی شما، به‌درستی عمل نکرده بود احتمالاً شما صاحب انگشتانی اضافه می‌شدید یا این‌که انگشت کوچک و انگشت شست شما هم‌شکل می‌شد! بعضی اوقات، زمانی که عملکرد ژن خاریشت سونیک دچار اختلال می‌شود، دست در نهایت شبیه پارویی پهن با ۱۲ انگشت می‌شود که همه یک‌شکل هستند!

اکنون می‌دانیم ژن خاریشت سونیک یکی از مجموعه‌ی ژن‌هایی است که با روشن و خاموش شدن در دوران مناسب، سبب به‌وجود آمدن دست‌های ما از شانه تا نوک انگشتان می‌شود. جالب‌توجه این‌که عملکرد آن در پرنده‌ها، قورباغه‌ها و موش‌ها نیز به همین شکل است. دستورالعمل DNA در انسان برای ایجاد استخوان بازو، ساعد، مچ و انگشتان با هر موجود دیگری، که اندام حرکتی دارد، تقریباً یکسان است.

تا کجا می‌توان ردپای خاریشت سونیک و قطعات دیگر DNA را، که سازنده‌ی دست‌ها و پاها هستند، دنبال کرد؟ آیا این قطعه‌ی ژنی در ساخت اسکلت باله‌ی ماهی‌ها هم دخالت می‌کند؟ یا این‌که مکانیسم شکل‌گیری دست‌های ما و باله‌های ماهی‌ها، کاملاً متفاوت‌اند؟ ما یک ماهی درونی را در آناتومی بازوها و دست‌های مان یافتیم؛ آیا در DNA سازنده‌ی این اندام‌ها هم شباهتی وجود دارد؟!

رندی دان با کیسه‌ی پری‌دریایی، که حاوی تخم‌ها بود، وارد می‌شود!...

به کوسه‌ها، دست بدهیم!

رندی با ایده‌ای ساده اما بسیار هوشمندانه وارد آزمایشگاه من شد: او جنین‌های سفره‌ماهی را دقیقاً به همان روشی که کلیف تابین تخم‌مرغ‌ها را تیمار کرده بود، تیمار کرد. هدف رندی این بود که همه‌ی آزمایش‌هایی را که پرنده‌شناسان روی تخم‌مرغ‌ها انجام داده‌اند، از تشریح‌های بافتی ساندرز و تسوپلینگ گرفته تا آزمایش‌های ژنی کلیف تابین، روی سفره‌ماهی‌ها پیاده کند.

سفره‌ماهی‌ها درون تخمی رشد می‌کنند که دارای نوعی پوسته‌ی محافظ است و محتویات نطفه در آن قرار دارد. هم‌چنین سفره‌ماهی‌ها دقیقاً مانند پرنده‌ها جنین بزرگی دارند. به‌علت وجود چنین ویژگی‌های مناسبی، می‌توانیم از تمام ابزارهای مولکولی آزمایشگاهی، که پژوهشگران برای مطالعه‌ی پرنده‌ها به‌کار بردند، در بررسی سفره‌ماهی‌ها

بهره ببریم. از مقایسه‌ی باله‌ی تکامل‌یافته‌ی کوسه با ساق پای پرنده چه چیزی می‌توانیم بیاموزیم؟ حتی جسورانه‌تر، چه چیزی راجع به خودمان می‌توانیم بفهمیم؟

همان‌طور که ساندز، تسویلینگ و تاین نشان دادند، پرنده‌ها به‌طور شگفت‌آوری نمود مناسبی برای اندام‌های خودمان به‌شمار می‌آیند. همه‌ی آن‌چه که در آزمایش‌های برش و پیوند بافت ساندز و تسویلینگ و آزمایش‌های مبتنی بر DNA تاین کشف شد را می‌توان به‌همان خوبی به اندام‌های حرکتی خودمان تعمیم بدهیم. ما ZPA و ژن‌های خارپشت سونیک داریم و این دو نقش عمده‌ای در تکوین ما دارند. همان‌طور که پیشتر دیدیم، درست عمل نکردن ZPA یا جهش در ژن خارپشت سونیک می‌تواند سبب بروز اختلال‌هایی در دست انسان شود.

رندی می‌خواست تعیین کند دستگاهی که دست‌های ما را ساخته، چقدر متفاوت از دیگر موجودات است. عمق وابستگی ما به منشأ حیات چگونه است؟ این که آیا دستورالعمل ساخت دست‌های ما چیز تازه‌ای است یا ریشه‌های کهنی در جانوران دیگر دارد؟ اگر چنین است، قدمت آن چقدر است؟

کوسه: ماندار مناسب کوسه‌ها و خویشان‌شان نخستین جانورانی‌اند که باله به‌همراه اسکلت درونی دارند. در حالت برای بررسی تشابه ایده‌آل، برای پاسخ‌گویی به سؤال رندی، ممکن است بخواهید فسیل ۴۰۰ میلیون ساله‌ی ساختار باله و دست. کوسه‌ای را به آزمایشگاه بیاورید، آن را تحلیل، و ساختار ژنتیکی‌اش را بررسی کنید. سپس تلاش خواهید کرد جنین‌های فسیل‌شده‌ی آن را دست‌کاری کنید تا متوجه شوید که آیا ژن خارپشت سونیک، در همان قسمت معمولی که امروزه در دست‌ها و پا‌های ما فعال است، در بدن کوسه نیز فعال بوده یا خیر؟!

آزمایش شگفت‌انگیزی خواهد بود، اما امری محال است. متأسفانه از فسیل با چنین قدمتی نمی‌توان DNA استخراج کرد و حتی اگر می‌شد، هرگز قادر به یافتن جنین‌های فسیل‌شده‌ی این جانور برای انجام آزمایش‌های مان نبودیم!

کوسه‌های زنده و خویشان‌شان بهترین گزینه‌ی بعدی به‌شمار می‌آیند. هیچ‌کس تا به حال، باله‌ی کوسه را با دست انسان اشتباه نگرفته است! شما نمی‌توانید برای دو گونه‌ی متفاوت، از اعضای فرعی بدن سؤال بپرسید. نه تنها کوسه‌ها و انسان‌ها به‌سختی خویشان‌ها را یکدیگر محسوب می‌شوند، بلکه ساختار اسکلتی اعضای فرعی بدن‌های‌شان کمترین شباهتی به یکدیگر ندارد. هیچ‌چیز درون باله‌ی کوسه حتی ابداً شبیه به الگوی یک استخوان، دو استخوان، توده‌های استخوانی متعدد، و انگشتان اوئن نیست. در عوض، استخوان‌های درونی باله، شکلی شبیه میله، کوتاه و بلند و هم‌چنین باریک و پهن، به خود گرفته‌اند. ما حتی به این‌ها هم استخوان می‌گوییم گرچه از غضروف ساخته شده‌اند. (کوسه‌ها و سفرماهی‌ها را ماهی‌های غضروفی می‌شناسیم چراکه اسکلت آن‌ها هرگز به استخوان سخت مبدل نمی‌شود.)

اگر بخواهیم دریابیم که آیا نقش ژن خارپشت سونیک در اندام‌های حرکتی، صرفاً منحصر به جانوران دارای اندام

حرکتی است، چرا نمونه‌هایی که از همه لحاظ متفاوت‌اند را برای بررسی انتخاب نکنیم؟ به‌علاوه، چرا گونه‌ی بسیار ابتدایی از ماهی زنده‌ای را که دارای هیچ عضو فرعی حرکتی متقارن، خواه باله یا دست و پا نیست را انتخاب نکنیم؟ کوسه‌ها به‌طور کامل با هر دوی این خواسته‌ها هم‌خوانی دارند.

حل مشکل اول ما ساده بود. ما به منبع مطمئنی از جنین‌های کوسه و سفره‌ماهی نیاز داشتیم. کوسه‌ها ثابت کردند که دست‌یافتن به قاعده‌ای مشخص درباره‌شان مشکل است، اما سفره‌ماهی‌ها و خویشان نزدیک آن‌ها این‌گونه نبودند. به این ترتیب ما پژوهش‌های خود را با کوسه‌ها آغاز کردیم و از سفره‌ماهی به‌عنوان منبع پشتیبان و کوسه‌های تحلیل‌رفته طی تکامل استفاده کردیم. ما تأمین‌کننده‌ای پیدا کردیم که هر ماه یا هر دو ماه یک‌بار، بسته‌ای حاوی ۲۰ تا ۳۰ عدد تخم کوسه با جنین‌های درون‌شان را برای ما می‌فرستاد. ما حقیقتاً این کالا را پرستش می‌کردیم چراکه هر ماه بی‌صبرانه منتظر رسیدن این بسته‌های با ارزش تخم و جنین کوسه بودیم!

کارکردن با گروه تابین و سایر پژوهشگران، سرنخ‌های مهمی برای آغاز تحقیقات رندی شد. از زمان شروع پژوهش‌های تابین در ۱۹۹۳، محققان ژن خاریشت سونیک را در گونه‌های متفاوتی از جانداران از ماهی گرفته تا انسان یافته بودند. با علم به ساختار ژن، رندی قادر بود همه‌ی DNA سفره‌ماهی و کوسه را برای یافتن ژن خاریشت سونیک جستجو کند و در مدت زمان کوتاهی رندی آن را یافت: ژن خاریشت سونیک کوسه!

اصلی‌ترین سؤالاتی که باید پاسخی برای آن‌ها ارائه می‌شد این‌ها بودند: ژن خاریشت سونیک در کجا فعال است؟ و مهم‌تر از آن این که کار آن دقیقاً چیست؟

رندی از تخم‌ها برای بررسی این که ژن خاریشت سونیک در هنگام تکوین سفره‌ماهی، کجا و کی فعال می‌شود، استفاده کرد. او ابتدا به بررسی این نکته پرداخت که آیا این ژن برای تکوین بافت باله‌ی سفره‌ماهی، دقیقاً در همان دوره‌ای روشن می‌شود که هنگام رشد بال پرنده‌ها روشن می‌شود؟! بله! همین‌طور بود.

سپس بررسی کرد که منطقه‌ی فعالیت این ژن، که در تکه‌ای از بافت قسمت انتهایی پشت باله قرار دارد، آیا مشابه همان منطقه‌ی فعال‌شدن در انگشت کوچک ما است؟! بله! پاسخ این سؤال هم مثبت بود.

حالا او آزمایش تیمار با ویتامین A را انجام داد و این لحظه‌ی بسیار بالارزشی بود. اگر اندام‌های حرکتی پرنده یا پستانداری را در معرض این ترکیب قرار دهید، قسمتی از بافتی را خواهید داشت که در آن ژن خاریشت سونیک در طرف مخالف فعال شده است و این نتیجه با هم‌تاسازی و مضاعف‌شدن استخوان‌ها همراه خواهد شد. رندی به تخم‌ها ویتامین A تزریق کرد و بیش از یک روز منتظر ماند، سپس بررسی کرد که آیا همانند آن‌چه در پرنده‌ها اتفاق می‌افتد، ویتامین A سبب فعال‌شدن ژن خاریشت سونیک در سمت مخالف اندام شده است یا خیر؟! باز هم بله! این اتفاق هم افتاد. حالا باید بیشتر منتظر می‌شدیم. متوجه شدیم که ژن خاریشت سونیک در دست‌های ما و باله‌های سفره‌ماهی‌ها و کوسه‌ها یکسان عمل می‌کند. اما تأثیر همه‌ی این چیزها در اسکلت چگونه خواهد بود؟ برای یافتن پاسخ مجبور شدیم دو ماه صبر کنیم.

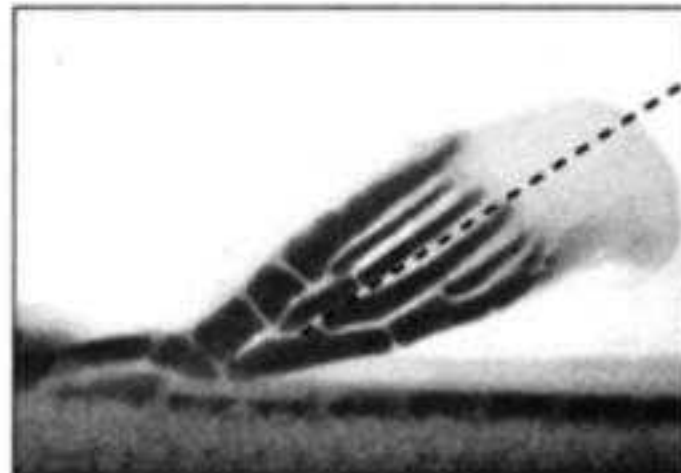
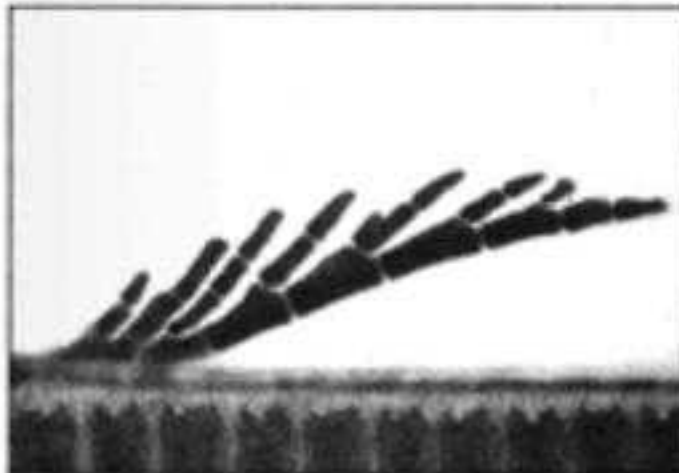
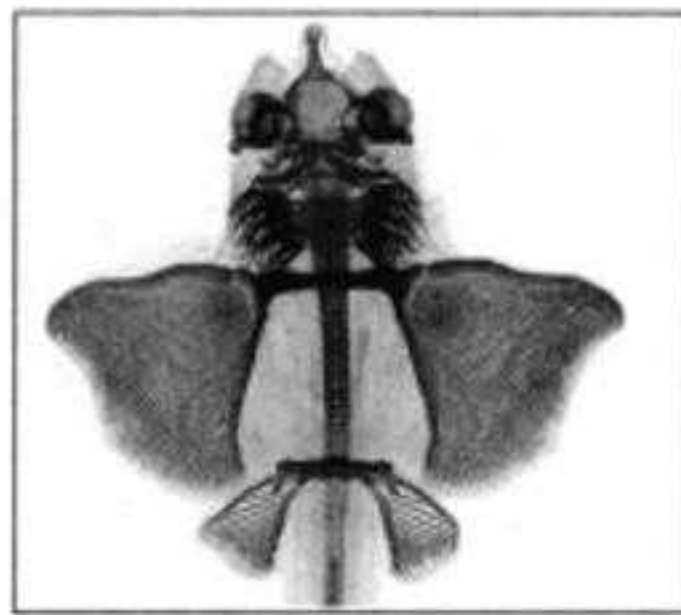
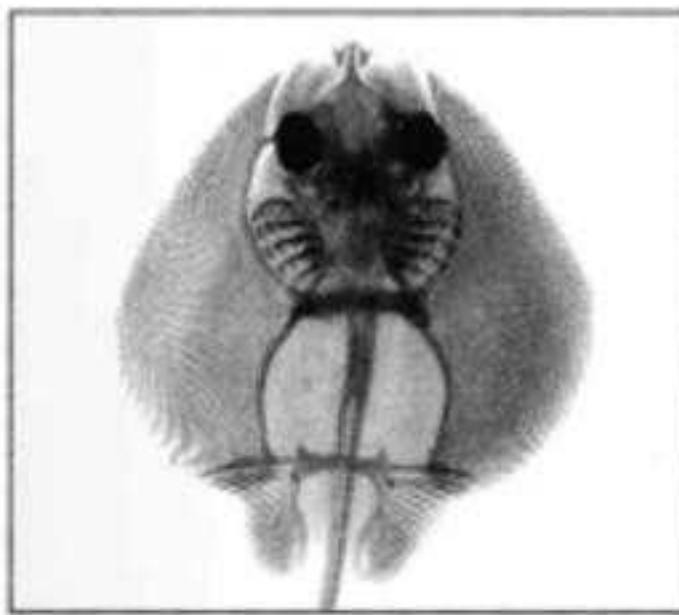
عملکرد یکسان آن جنین‌ها درون تخم‌های کدر تکوین می‌یافتند؛ فقط می‌توانستیم بگوییم که آیا جانور زنده فارپشت در همه‌ی است یا نه! آن‌چه که درون باله اتفاق می‌افتاد برای ما مشاهده‌پذیر نبود. دست‌آورد نهایی، جالداران! نمونه‌ی بسیار خوبی برای مشاهده‌ی شباهت میان ما، کوسه‌ها و سفره‌ماهی‌ها بود: تصویر آینه‌ای از باله.

باله‌های پشتی ساختارشان را در الگوی جلوبه‌پشت جالبی مضاعف کردند؛ همان الگویی که ما در آزمایش‌ها روی اندام‌های حرکتی دیده بودیم: دست‌ها و پاها ساختار خودشان را مضاعف می‌کردند. باله‌های کوسه، ساختار باله‌ی کوسه را مضاعف می‌کنند همان‌طور که در سفره‌ماهی این اتفاق افتاد. ژن خارپشت سونیک امروزه حتی در اسکلت اعضای فرعی متفاوت‌ترین گونه‌های یافته‌شده در سراسر زمین نیز تأثیر یکسانی دارد!

یکی از اثرات خارپشت سونیک، همان‌طور که به یاد می‌آورید، متفاوت ساختن انگشتان از یکدیگر است. همان‌طور که در مورد با ZPA شاهد بودیم، این‌که چه نوع انگشتی رشد کند به این بستگی دارد که آن انگشت چقدر با منبع تولیدکننده‌ی محصول ژن خارپشت سونیک فاصله دارد. باله‌ی یک سفره‌ماهی طبیعی بالغ، تعداد زیادی رشته‌ی اسکلتی دارد که همه‌ی آن‌ها به یکدیگر شبیه‌اند. آیا ما می‌توانیم این میله‌ها را، درست مثل انگشتان خودمان، از یکدیگر متمایز کنیم؟ رندی مهره‌ی کوچکی آغشته به پروتئین ساخته‌شده از ژن خارپشت سونیک را در میان این میله‌های اسکلتی همانند قرار داد. نکته‌ی اصلی آزمایش این بود که او از ژن خارپشت سونیک موش استفاده کرد! پس حالا ابتکاری واقعی داشتیم: جنین سفره‌ماهی با مهره‌ی کوچک درونش که پروتئین محصول ژن خارپشت سونیک موش به تدریج از آن به بیرون ترشح می‌شد. آیا ممکن بود پروتئین موش تأثیری روی کوسه یا سفره‌ماهی داشته باشد؟!

برای آزمایش‌هایی از این دست، دو نتیجه‌ی خیلی بزرگ وجود دارد. یکی این‌که هیچ اتفاقی نمی‌افتد. در مورد این آزمایش معنی‌اش این است که سفره‌ماهی تفاوت بسیاری با موش دارد و پروتئین‌های خارپشت سونیک موش، روی آن بی‌اثر است. پیامد بزرگ دیگر این‌که ممکن است نمونه‌ی بسیار خوبی از ماهی درونی ما ارائه کند؛ نتیجه این باشد که هریک از ریشه‌های قابل‌رشد استخوان متفاوت از بقیه تکوین یابند و در واقع این ثابت می‌کند که اثر ژن خارپشت سونیک در سفره‌ماهی مشابه اثری است که این ژن در بدن ما دارد. بیا بید فراموش نکنیم که رندی از پروتئین یک پستاندار استفاده کرد و معنایش این است که دستورالعمل ژنتیکی می‌تواند بسیار بسیار مشابه انسان باشد.

نتیجه‌ی شگفت‌آور این‌که نه تنها انتهای این اندام‌های میله‌مانند متفاوت از یکدیگر به نظر می‌رسیدند، بلکه پاسخ آن‌ها به خارپشت سونیک بیشتر از پاسخی بود که انگشتان به این محرک نشان می‌دادند! بر اساس این‌که هریک از آن‌ها چقدر به مهره‌ی آغشته به پروتئین ژن خارپشت سونیک نزدیک بودند، تکوین متفاوتی داشتند: اندام‌های میله‌مانند نزدیک‌تر با شکلی متفاوت از دورترها رشد کردند.



باله‌های معمولی (سمت چپ) و باله‌های تیمارشده با محرک توسط رندی (سمت راست). باله‌های تیمارشده، همانندسازی و مضاعف‌شدن متقارن از خود نشان دادند درست مانند آن‌چه که در بال پرندما اتفاق افتاد. عکس‌ها از رندی دان، دانشگاه شیکاگو.

مهمترین نکته‌ی آزمایش این بود: این پروتئین موشی بود که این عمل را بسیار اثربخش در سفره‌ماهی انجام داد. کشف رندی دان: «ماهی درونی» ای که رندی کشف کرد یک تک‌استخوان نبود، یا حتی بخشی از یک اسکلت؛ بلکه عملکرد آن‌های کشف ارزشمند رندی در حقیقت محرک‌های زیستی بود که منجر به ساخت باله‌ها می‌شدند. آزمایشی مشابه باستانی در پس از آزمایش دیگر، روی جانورانی کاملاً متفاوت مثل موش‌ها، کوسه‌ها و مگس‌ها به ما نشان داد درس‌های ژن خاریشت سونیک بسیار عمومی و قابل تعمیم‌اند. همه‌ی اعضای فرعی، چه باله باشند چه دست و پا، تماماً توسط انواع مشابهی از ژن‌ها ساخته می‌شوند. این موضوع برای مسئله‌ای که ما در دو فصل اول در جستجوی آن بودیم — گذر از باله‌ی ماهی به دست و پا — چه معنایی دارد؟ معنایش این است که این انتقال تکاملی بزرگ، نیاز به DNA جدید اولیه‌ای نداشته؛ بلکه بیشتر مبتنی بر استفاده از ژن‌های باستانی بوده است؛ همانند ژن‌های مسئول در تکوین باله‌ی کوسه، اما این بار در مسیر جدیدی برای ساخت اندام‌های حرکتی دست و پا همراه با انگشتان!

باید اذعان کرد که امتیاز ژرف‌تری هم در آزمایش‌های انجام‌شده روی دست‌ها، پاها و باله‌ها وجود دارد؛ آزمایشگاه تابین با استفاده از آزمایشاتی که روی مگس انجام شد، سعی کرد ژنی در پرندما بیابد که به ما درباره‌ی حلقه‌های مفقوده‌ی پیدایش بشر بگویند. رندی از یافته‌های آزمایشگاه تابین استفاده کرد تا به ما چیزی راجع به ارتباطمان با سفره‌ماهی‌ها بگوید. «مگس درونی» به یافتن «پرندمای درونی» منجر شد و در نهایت به رندی برای کشف «سفره‌ماهی درونی» کمک کرد. می‌بینید! وابستگی میان جانوران زنده، پیوند ژرف‌تری پیدا می‌کند...

در کلاس آناتومی، دندان‌ها اهمیت چندانی ندارند. برای آن‌ها فقط پنج دقیقه زمان صرف می‌کنیم و دندان‌ها، در فهرست اندام‌های موردعلاقه برای تشریح، به‌ندرت جزو پنج مورد اول‌اند! - البته هر فردی فهرست خود را دارد! - در حالی که همین دندان‌های کوچک نقطه‌ی اتصال مهم ما با بقیه‌ی اجزای حیات به‌شمار می‌آیند، به‌طوری‌که شناخت بدن، بدون شناخت دندان‌ها، تقریباً غیرممکن است. از طرفی دندان‌ها برای من هم اهمیت ویژه‌ای دارند، چراکه برای نخستین‌بار در جستجوی آن‌ها بود که آموختم چطور فسیل‌ها را بیابم و سفری اکتشافی به‌راه بیندازم.

کار دندان‌ها این است که تکه‌های بزرگ غذا را به تکه‌های کوچک‌تر تقسیم کنند. دندان‌ها، با قرار گرفتن روی استخوان فک متحرک، قادر به خرد و آسیا کردن غذا شدند. دهان جانوران از حد مشخصی بزرگ‌تر نیست اما دندان‌ها آن‌ها را قادر به بلع چیزهایی می‌کند که گاهی از دهان‌شان بسیار بزرگ‌تر است. این موضوع به‌ویژه درباره‌ی جانورانی که دست یا پنجه ندارند، اهمیت به‌سزایی دارد چراکه می‌توانند به‌کمک آن‌ها طعمه‌ی خود را پیش از عمل بلع، به‌دام اندازند و تکه‌پاره کنند. درست است که ماهی‌های بزرگ‌تر ماهی‌های کوچک‌تر را می‌بلعند، اما دندان‌ها می‌توانند عدالت را طور دیگری برقرار کنند: اگر ماهی‌های کوچک‌تر دندان‌های خوبی داشته باشند، می‌توانند ماهی‌های بزرگ‌تر را بچوند و از دندان‌های‌شان برای خراشیدن فلس‌ها، تغذیه از اجزا و همه‌ی گوشت بدن آن‌ها بهره ببرند!

با مشاهده‌ی دندان‌ها می‌توان اطلاعات بسیاری درباره‌ی پیچیدگی‌های هر جانور به‌دست آورد. برآمدگی‌ها، فرورفتگی‌ها و لبه‌های دندان‌ها، اغلب بازتابی از رژیم غذایی جانوران است. گوشت‌خوارانی نظیر گربه‌سانان، دندان‌های آسیای تیغه‌مانندی برای بریدن گوشت دارند؛ درحالی‌که گیاه‌خواران، دهانی با دندان‌های صاف دارند که آن‌ها را قادر به آسیاکردن برگ‌ها و دانه‌ها می‌کند.

ارزش و اهمیت اطلاعاتی دندان‌ها هیچ‌گاه در تاریخ آناتومی نادیده گرفته نشد. کالبدشناس فرانسوی ژورژ کوویه (Georges Cuvier) ادعای اغراق‌آمیزی داشت؛ او می‌گفت قادر است تنها از روی دندان، اسکلت کامل یک جانور را بازسازی کند! این بیان تا حدی اغراق‌آمیز، اما کلیت آن درست است؛ دندان‌ها، دریچه‌ای روشن به سبک زندگی جانوران هستند.

دهان انسان‌ها بازگوکننده‌ی این واقعیت است که ما جزء همه‌چیزخواران^۱ هستیم، چراکه چندین نوع دندان داریم. دندان‌های جلویی، یا دندان‌های پیشین، به‌صورت تیغه‌های یک‌دست کشیده‌ای هستند که مختص بریدن‌اند. دندان‌های پسین یا آسیای بزرگ، تخت‌تر بوده و دارای الگوی متمایزی‌اند که به آن‌ها امکان خردکردن بافت‌های گیاهی و جانوری می‌دهد. دندان‌های آسیای کوچک در میانه، عملکردی بینابین دندان‌های پیشین و آسیای پسین دارند.

جالب‌توجه‌ترین موضوع درباره‌ی دهان ما دقت و ظرافت دندان‌ها در جویدن خوراکی‌ها است. دهان خود را باز و بسته کنید: دندان‌های شما همیشه به یک‌شکل روی هم قرار می‌گیرند، دندان‌های بالا و پایین به‌دقت روی یکدیگر سوار می‌شوند. به‌علت جفت‌شدن بسیار خوب برآمدگی‌ها، فرورفتگی‌ها و لبه‌های دندان‌های بالا و پایین، ما قادر به خردکردن خوراکی‌ها با بالاترین کارایی هستیم. در واقع، عدم مطابقت بین دندان‌های بالایی و پایینی ممکن است دندان‌های ما را بشکند و دندان‌پزشکان را ثروتمند کند!

سفت‌ترین قسمت بدن ما و اطلاعات با ارزش آن

فسیل‌شناسان دریافته‌اند که دندان‌ها به‌طور شگفت‌انگیزی حاوی اطلاعات باارزشی هستند. دندان‌ها سخت‌ترین قسمت بدن ما هستند، چراکه مینای دندان حاوی مقدار زیادی هیدروکسی‌آپاتیت^۲ - حتی بیش از آن‌چه که در استخوان‌ها به‌کار رفته - است. به‌علت سختی و مقاومت بالا، دندان‌ها اغلب بهترین قسمت باقی‌مانده‌ی جانورانی‌اند که پس از گذشت دوره‌های زمانی بسیار طولانی، فسیل‌شان را می‌یابیم. این که دندان‌ها راهنمای بسیار خوبی برای پی‌بردن به رژیم غذایی جانوران‌اند، شانس بزرگ به حساب می‌آید چراکه فسیل‌های یافته‌شده، تصویر روشنی از چگونگی به‌وجودآمدن روش‌های متفاوت تغذیه به ما می‌دهند. این نکته به‌ویژه در تاریخ پستانداران به‌خوبی صدق می‌کند: درحالی‌که بسیاری از خزندگان دندان‌های مشابهی دارند، دندان‌های پستانداران کاملاً از یکدیگر متمایزند. مبحث پستانداران در درس دیرینه‌شناسی اغلب به دانشجویان احساس حضور در مطب دندان‌پزشکی را می‌دهد!

خزندگان امروزی - تمساح‌ها، مارمولک‌ها، مارها - بیشتر دندان‌هایی را، که دهان پستانداران را تا به این اندازه منحصربه‌فرد کرده، ندارند. برای نمونه همه‌ی تمام دندان‌های تمساح، شکل تیغه‌مانند یکسانی دارند؛ تنها تفاوت میان آن‌ها این است که تعدادی بزرگ و بقیه کوچک‌اند. هم‌چنین در خزندگان جفت‌شدگی دقیق دندان‌های بالا و پایین، آن‌گونه که در پستانداران دیده می‌شود، وجود ندارد. علاوه بر آن، درحالی‌که ما پستانداران تنها یک‌مرتبه در

۱ - دسته‌ای از جانداران که همه‌ی انواع گوشت سفید و قرمز از جمله ماهی، مرغ، گاو و گوسفند را همراه با میوه‌ها و سبزیجات مصرف می‌کند.

2- Hydroxyapatite

بافت‌های سخت پستانداران یعنی استخوان، عاج و مینای دندان ترکیباتی متشکل از ذرات معدنی و انواع مواد آلی هم‌چون پروتئین‌ها و آب دارند. فاز معدنی استخوان و دندان به‌طور عمده از طبقه‌ی خاصی از کلسیم‌فسفات‌ها به نام هیدروکسی‌آپاتیت تشکیل یافته است. فرمول شیمیایی هیدروکسی‌آپاتیت $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ است.

طول زندگی دندان‌های مان جایگزین می‌شوند، خزندگان، در کل دوران حیات‌شان، هربار که دندانی را از دست می‌دهند، جای آن دندان تازه‌ای رشد می‌کند!

شاهدی از الگوی یک تکه‌ی بسیار ابتدایی از ما - نحوه‌ی دقیق جویدن به روش ما پستانداران - در نمونه‌های فسیلی مربوط به ۲۲۵ تا ۱۹۵ میلیون سال پیش، در حفاری‌های جای‌جای جهان ظاهر شد. ابتدا در صخره‌های قدیمی‌تر، تعدادی خزنده یافتیم که ظاهراً شبیه سگ بودند؛ روی چهارپا راه می‌رفتند، مجموعه‌های بزرگی داشتند و بسیاری از آن‌ها دندان‌های تیزی داشتند؛ شباهت‌ها به همین جا ختم می‌شد و، برخلاف سگ‌ها، این خزندگان آرواره‌ای متشکل از تعداد زیادی استخوان داشتند و دندان‌های‌شان هم به‌خوبی روی هم قرار نمی‌گرفت؛ هم‌چنین، درست مثل خزندگان، دندان‌های‌شان مدام جایگزین می‌شدند؛ یعنی در طول زندگی‌شان، دندان‌های جدید درمی‌آوردند!

سپس، در ادامه‌ی بررسی‌ها، به صخره‌های بالاتر یا به‌عبارتی به دوران جدیدتری رسیدیم و شاهد چیزی کاملاً متفاوت بودیم: ظهور پستاندار. استخوان‌های آرواره کوچک‌تر شده و به نزدیکی گوش رسیده بود. می‌توانستیم نخستین مدرک برای جفت‌شدگی دقیق دندان‌های بالا و پایین را در این‌جا ببینیم. شکل آرواره‌ها هم تغییر یافته بودند: آن‌چه که در فک خزندگان پایه‌ای ساده بود - ریشه‌ی دندان‌ها - در پستاندارن شبیه به بومرنگ شده بود. به‌علاوه، در این دوره، دندان‌ها تنها یک‌مرتبه در طول زندگی جایگزین می‌شدند؛ درست مثل ما! همه‌ی این تغییرات را می‌توانیم در فسیل‌های جمع‌آوری‌شده، به‌ویژه از زمین‌های فسیلی مشخص در اروپا، آفریقای جنوبی و چین دنبال کنیم و ببابیم.

به‌همه‌دآمدن در صخره‌های حدوداً ۲۰۰ میلیون سال پیش، فسیل جانوران جونده‌ی موش‌مانندی مثل **پستانداران اولیه** مورگانوکدون^۱ و اُزوسترودون^۲ وجود دارد که در جانورانی در مرحله‌ی شروع گذار به پستانداران به‌نظر می‌رسند؛ این جانوران، که از موش کوچک‌ترند، قسمت مهمی از ما را درون خود دارند! عکس‌ها نمی‌توانند نشان بدهند که این پستانداران اولیه، تا چه‌اندازه شگفت‌انگیزند. هنگامی که خود من برای نخستین‌بار فسیل این جانوران را مشاهده کردم، بسیار هیجان‌زده شدم.

من وارد دوره‌ی تحصیلات تکمیلی در هاروارد شدم و تحصیل و پژوهش در زمینه‌ی پستانداران اولیه را آغاز کردم. آن‌جا را به‌علت حضور فاریش آ. جنکینز - همان فردی که در فصل اول راجع به او صحبت کردم - انتخاب کردم. او رهبری‌کننده‌ی سفرهای اکتشافی به غرب آمریکا در هاروارد بود. در واقع، فاریش مدام صخره‌ها را برای یافتن نشانه‌هایی از چگونگی تکوین توانایی‌های متمایز جویدن در پستانداران جستجو می‌کرد؛ کار فاریش و گروهش اکتشاف واقعی بود؛ آن‌ها به‌دنبال محل‌های ویژه و جایگاه‌های جدید

1- Morganucodon

2- Eozostrodon

می گشتند و معمولاً به سراغ زمین های کشف شده توسط گروه های دیگر نمی رفتند. فاریش گروهی مستعد از جستجوگران فسیل، شامل هیأتی از موزهی جانورشناسی تطبیقی هاروارد و تعدادی از پژوهشگران مستقل را گرد هم آورده بود.

رئیس های گروهش، بیل امرال (Bill Amaral)، چاک شاف (Chuck Schaff) و ویل دلونز (Will Downs) بودند. این سه پژوهشگر، آشناکنندگان من با دنیای دیرینه شناسی بودند.

فاریش و گروهش، نقشه های زمین شناسی و عکس های هوایی را برای انتخاب منطقه ی احتمالی، که ممکن بود نخستین پستانداران را در آن جا بیابند، بررسی کرده بودند. به این ترتیب، هر تابستان، آن ها سوار بر کامیون های شان عازم صحراهایی در وایومینگ^۱، آریزونا و یوتا^۲ می شدند. پیش از آن که من در سال ۱۹۸۳ به آن ها بپیوندم، شماری از فسیل های ارزشمند و جدید پستانداران و هم چنین زمین های فسیلی را یافته بودند. قدرت محاسبه و پیش بینی شان مرا بهت زده می کرد: گروه فاریش به سادگی با مطالعه ی تعدادی مقاله و کتاب علمی توانستند مکان های محتمل و غیرمحتمل برای کشف نخستین پستانداران را شناسایی کنند!

ورود من به دیرینه شناسی میدانی زمانی شروع شد که جستجو را با چاک و بیل در صحرای آریزونا آغاز کردم. در ابتدا، هر گونه اقدامی به نظرم کاملاً شانسی و تصادفی می آمد. در واقع، من انتظار انجام نوعی عملیات شناسایی منظم و هماهنگ را، درست مانند آن چه که در عملیات نظامی انجام می شود، داشتم؛ اما چیزی که شاهدش بودم، کاملاً خلاف انتظارم بود؛ گروه روی قسمتی از صخره های خاص فرود می آمدند و به جستجوی قطعات استخوانی در سطح سنگ ها در تمام جهات ممکن می پرداختند، همین!

در چند هفته ی نخست اکتشافات، مرا تنها گذاشتند؛ من هم رهسپار جستجوی فسیل شده بودم و مدام هر صخره ای که می دیدم، را برای یافتن تکه های استخوانی در سطحش، جستجو می کردم. در پایان هر روز به خانه برمی گشتیم تا یافته های ارزشمندان را به بقیه ی گروه نشان بدهیم. چاک معمولاً چندین کیف مملو از استخوان داشت. بیل نیز کارنامه ی پرکاری به همراه داشت که اغلب در آن تعدادی جمجمه ی کوچک یا غنایم مشابه دیگر به چشم می خورد. اما من هیچ! توشه ی خالی من، یادآوری غم انگیزی بر این واقعیت بود که راهی بسیار طولانی برای یادگیری در پیش دارم.

چند هفته پس از نخستین جستجوها، فکر کردم که کاوش به همراه چاک ایده ی بهتری باشد! به نظر می رسد این چاک است که هر روز صاحب پرترین کیسه است، بنابراین چرا نباید از تجربه ی متخصصی مثل او استفاده می کردم. چاک از جستجو با من خوشحال بود و زندگی حرفه ای طولانی خود را در دیرینه شناسی میدانی مفصل شرح می داد. او یک تگزاسی تمام عیار بود که پیشرفت حرفه ای اش در بروکلین رخ داده بود؛ چکمه هایی کابویی، ارزش های غربی و لهجه ی نیویورکی! در حالی که مرا با داستان هایی از سفرهای اکتشافی خود خوشحال و شادمان

۱- Wyoming از ایالت های غربی آمریکا است.

۲- Utah از ایالت های جنوب غربی آمریکا است.

می کرد، من تجربه هایش را فروتنانه هم چون دانشجویی می آموختم. در ابتدا، چاک به همه ی صخره ها توجه نمی کرد و زمانی که یکی از آن ها را برای جستجو انتخاب می کرد، ابتدا علت این انتخاب را متوجه نمی شدم! قسمت خجالت آور قضیه این بود که من همان تکه زمینی را، که چاک جستجو می کرد، می گشتم اما جز سنگ های خشک کف بیابان چیزی نمی دیدم؛ اما چاک دندان، فسیل، آرواره و حتی تکه هایی از جمجمه می یافت!

اگر از نمای هوایی این بیابان را مشاهده می کردید، دو نفر را می دیدید که به تنهایی، مدام، در وسط پهنه ای به نظر نامحدود، جایی که دورنمایش تپه های گردو خاکی سبز و قرمز ماسه ای بودند و زمین سنگلاخی تا برای کیلومترها امتداد داشت، به این سو و آن سو می روند! من و چاک در آن زمین به خرده سنگ ها و دامنه های سنگلاخی کف بیابان خیره می شدیم. فسیل هایی که می یافتیم، بسیار کوچک بودند و طولی بیشتر از چند سانتی متر نداشتند؛ البته ناحیه ی جستجوی ما هم بسیار کوچک بود.

فضای صمیمی و خودمانی بین من و چاک در تقابل فاحشی با دورنمای صحرای بی کران پیش روی ما بود. حس می کردم که گویی یار و همراه من در جستجوهایم تنها انسان موجود در کل این سیاره است و تمام هستی، در تکه ای سنگ خلاصه شده!

با وجود سؤالات متعددی که من در بیشتر اوقات پیاده روی با پرسیدن آن ها چاک را به ستوه می آوردم، او در برابر من فوق العاده شکیبا و صبور بود. من از او می خواستم دقیقاً توضیح بدهد که چگونه می توان استخوان ها را یافت و چاک مدام به من می گفت: «به دنبال چیزی متفاوت باش». چیزی که بافت استخوانی داشته باشد نه بافت صخره ای، چیزی که مانند برق دندان بدرخشد؛ چیزی که همانند قسمتی از استخوان باشد، نه مانند ریگ و سنگ. به نظر ساده می آمد، اما من نتوانستم متوجه آن چه که او می گفت بشوم. تا جایی که می توانستم می کوشیدم، اما کماکان هر روز دست خالی به خانه برمی گشتم؛ با این تفاوت که حالا، حتی بیش تر از قبل، خجالت می کشیدم چرا که چاک همان سنگ هایی را جستجو می کرد که من جستجو می کردم، اما او یکی پس از دیگری با کیسه هایی پُر به خانه برمی گشت و من...!

تا این که یک روز، درخشش نخستین تکه دندان را زیر نور آفتاب بیابان دیدم. آن دندان روی تکه سنگی در میان شن و ماسه های بیابان نشسته بود. اما یافتن آن بسیار ساده بود. مینا درخشندگی خاصی داشت که صخره ها نداشتند؛ قبلاً هرگز چنین چیزی ندیده بودم. واقعه ی بسیار خوبی بود، اما باید بگویم این طور هم نبود که من هر روز چیزهایی مشابه آن را مشاهده کنم!

آن چه که این یار متوجه آن شدم، تفاوت بین استخوان و صخره بود. دندان ها درخشیدند و موقعی که درخشش آن ها را دیدم، متوجه برآمدگی شان هم شدم. اندازه ی این دندان فقط در حدود یک سکه ی ده سنتی بود، که شامل پایه های دندان نمی شد. این دندان برای من باشکوه تر از اسکلت بزرگ ترین دایناسور در سرسرای همه ی موزه های جهان بود!

پس از آن، ناگهان کف بیابان به چشم من با استخوان فرش شد؛ جایی که من قبلاً فقط صخره می دیدم، حالا پر بود از تکه های کوچکی از فسیل که می توانستم آن ها را در هر جایی مشاهده کنم. گویی عینک خاصی به چشمم

زده باشم و نورافکنی داخل همه‌ی تکه‌استخوان‌ها را روشن کرده باشد! دقیقاً در نزدیکی دندان‌ها، بخش‌های کوچکی از دیگر استخوان‌ها بود و پس از آن باز هم دندان‌های بیشتر. من یک آرواره می‌دیدیم که در معرض هوا در سطح قرار داشت و قطعه‌قطعه شده بود. حالا دیگر من هر شب با کیسه‌های پُر کوچکم به خانه برمی‌گشتم!

فیلدین (اشم) نهایتاً حالا می‌توانستم خودم به‌تنهایی استخوان‌ها را ببینم. آن‌چه که قبلاً تلاشی کاملاً اتفاقی بود حالا بسیار مرتب و برنامه‌ریزی شده به‌نظر می‌رسید؛ قوانین حقیقی ناگفته‌ای در این باره وجود داشت. قانون شماره‌ی یک: به‌سوی سنگ‌هایی که به‌نظر پربار می‌آیند بروید و بر مبنای هر آن‌چه که از عکس‌های تحقیقاتی، علائم دیداری و نیز تجارب پیشین خود کسب کرده‌اید، اقدام کنید. قانون شماره‌ی دو: دنیای‌مروی جاپای فرد دیگری نباشید؛ به‌عبارتی ردپای جستجوگران دیگر را تعقیب نکنید؛ زمین‌های جدید را بگردید (البته چاک رُوفانه به من اجازه می‌داد این قانون را نقض کنم!) قانون شماره‌ی سه: اگر منطقه‌ی مطلوب شما را فرد دیگری کاوش می‌کند، منطقه‌ی مناسب دیگری پیدا کنید یا زمین‌هایی با احتمال کمتر یافتن فسیل را جستجو کنید؛ حق تقدم با فردی است که اول آمده!

طی این مدت، شروع به یادگیری ویژگی‌های ظاهری استخوان‌های متنوع کردم. استخوان‌های دراز، استخوان‌های آرواره و قسمت‌هایی از جمجمه. اگر تنها یک‌مرتبه این چیزها را ببینید و بیاموزید، توانایی کشف آن‌ها را هرگز از دست نمی‌دهید؛ درست مثل ماهی‌گیر ماهری که با نگاه کردن به آب می‌تواند ماهی را در آن تشخیص بدهد، یک جستجوگر فسیل نیز از کاتالوگ‌ها و تصاویر تحقیقاتی به‌گونه‌ای می‌تواند استفاده کند که به‌نظرش می‌رسد، فسیل‌ها در حال بیرون‌پریدن از داخل صخره‌ها هستند!

من در ادامه، با تمرین و ممارست، شناخت دیداری خود را از این که استخوان‌های فسیل در صخره‌های مختلف و شرایط روشنایی متفاوت چگونه‌اند، به‌دست آوردم. اکتشاف فسیل در نور صبح‌گاهی خورشید، با اکتشاف آن در بعدازظهر بسیار متفاوت است؛ که این به‌علت مسیر حرکت نور در راستای زمین است.

بیست سال بعد متوجه شدم که برای یافتن فسیل‌ها در مکان‌های جدید تحقیقم، از دوره‌ی تریاسه^۱ در کشور مراکش گرفته تا دوره‌ی دونین در جزیره‌ی الزمیر، می‌باید از همان الگوی تجربیات قبلی تبعیت کنم و سعی در تکرار آن‌ها داشته باشم. در چند روز نخست، یافتن فسیل‌ها دشوارتر بود؛ تقریباً همان‌طور که آن روزها، بیست سال پیش، با چاک در آریزونا تلاش می‌کردم؛ اما تفاوتش با آن زمان در این بود که اطمینان داشتم نقشه‌ی جستجو نهایتاً منجر به موفقیت خواهد شد!

هدف همه‌ی اکتشافاتی که با چاک انجام می‌دادم یافتن محلی با استخوان‌های کافی برای علامت‌گذاری لایه‌های غنی از فسیلی بود که می‌توانستیم آشکار سازیم. زمانی که من به تیم اکتشافی پیوستم، گروه فاریش

چنین منطقه‌ای را کشف کرده بودند؛ صخره‌ای یکپارچه به‌درازای حدوداً سی متر که اسکلت‌های فراوانی از جانوران کوچک را در خود داشت.

معدن فسیلی فاریش در گل‌ولای سنگ‌های رسوبی بسیار ریزدانه واقع شده بود. فوت‌وفن کار در آن منطقه، در فهم این نکته بود که باید می‌دانستیم فسیل‌ها از درون لایه‌ی نازکی با ضخامتی حدود یک میلی‌متر به‌دست می‌آمدند. اگر بتوانید این لایه را آشکار کنید، شانس بزرگی برای مشاهده‌ی استخوان‌ها پیدا می‌کنید. آن‌ها باریک و سیاه‌اند و درازایی در حدود یک یا دو سانتی‌متر دارند. بنابراین تقریباً شبیه به لکه‌های سیاه رنگی‌اند که درون صخره‌های قهوه‌ای قرار دارند. فسیل جانوران کوچکی که ما پیدا کردیم شامل قورباغه‌ها (برخی از گونه‌های ابتدایی آن‌ها)، دوزیستان بدون پا، سوسمارها، خزندگان دیگر و مهم‌تر از همه برخی از پستانداران اولیه بودند.

نکته‌ی کلیدی در این اکتشافات آن بود که می‌دانستیم پستانداران اولیه کوچک بودند؛ بسیار کوچک و دندان‌های آن‌ها درازایی بیش از دو میلی‌متر نداشته است. پس برای کشف آن‌ها باید بسیار دقیق و البته خوش‌شانس بود. اگر دندان آن‌ها را خرده‌سنگ یا حتی با چند دانه شن و ماسه پوشانده باشد، هرگز متوجه‌اش نخواهید شد.

این پستانداران اولیه به‌راستی مرا شیفته‌ی خود کردند. در جستجوهایم برای یافتن آن‌ها، ابتدا لایه‌ی فسیلی را آشکار می‌کردم، سپس کل آن سطح را با لنز دستی خود، که بزرگ‌نمایی ۱۰ داشت، بررسی می‌کردم. هر آن‌چه زیر دست‌ها و اطرافم بود با چشم‌ها و لنز دستی‌ام با فاصله‌ی شش سانتی‌متر از سطح زمین به‌دقت موشکافی می‌کردم. بدین ترتیب چنان مجذوب می‌شدم که معمولاً فراموش می‌کردم کجا می‌روم و تصادفاً به زمین همسایه‌ام تجاوز می‌کردم و از مرزهای محدوده‌ی خودم عبور می‌کردم؛ نتیجه‌ی این خطا هم این می‌شد که مقداری خاک و کلوخ، به‌عنوان تذکری جدی، با سرم برخورد می‌کرد تا فقط در محدوده‌ی خودم به جستجو و اکتشاف بپردازم. البته بعضی اوقات هم تیرم به هدف می‌خورد و برای بار نخست، وابستگی عمیقی را مشاهده می‌کردم: دندان‌ها شبیه تیغه‌های کوچکی با نوک‌هایی تیز و ریشه بودند. نوک‌تیز در این دندان‌ها اطلاعات بسیار ویژه‌ای را آشکار می‌کرد. هر دندان دارای الگوی مشخصی از سائیدگی، در جایی که دندان‌های بالا و پایین بر هم منطبق می‌شدند، بود. به این ترتیب، من به برخی از اولین شواهد الگوی دقیق جویدن خودمان تنها در یک پستاندار بسیار کوچک ۱۹۰ میلیون ساله دست یافته بودم.

انرژی عجیبی در آن روزهای حفاری و اکتشاف جاری بود، چیزی که من هرگز فراموش نخواهم کرد. این‌جا، درون صخره‌های شکسته و خس‌وخاشاک، هدفی را دنبال می‌کردم که قدرت تغییر مسیر فکری بشریت را داشت. باور کنار هم قراردادن این فعالیت‌های کودکانه - حتی اگر فروتنی باشد - و یکی از بزرگ‌ترین آمال روشنفکرانه‌ی بشر هرگز در من از بین نرفته بود. تلاش می‌کردم آن را هر زمانی که مکان جدیدی را حفاری می‌کردم، به خودم خاطرنشان کنم.

با فرارسیدن پاییز و بازگشت به دانشکده، من گروه اکتشافی معروف و کوچک خود را تشکیل دادم. چراکه می‌خواستم گروه اکتشافی خود را رهبری کنم. اما به علت فقدان همیشگی منابع برای انجام هر کار بزرگی، من به تنهایی رهسپار کاوش صخره‌های ۲۰۰ میلیون ساله در ایالت کنتیکت^۱ شدم.

مطالعه‌های انجام‌شده در قرن نوزدهم، شماری از فسیل‌های مهم کشف‌شده را گزارش می‌کردند. احساس می‌کردم اگر در همان صخره‌ها، با لنزدستی و شانس شگفت‌انگیزم، پستانداران نخستین را جستجو کنم، مقدار زیادی از این دست فسیل‌ها خواهم یافت. به این ترتیب، یک مینی‌ون اجاره کردم، کیف‌های جمع‌آوری فسیل‌ها را برداشتم و به‌راه افتادم. آن‌جا بود که درس دیگری آموختم: من هیچ نیافتم! بنابراین به مباحث علمی مربوطه، یا به تعبیر دقیق‌تر، کتابخانه‌ی دانشکده‌ی زمین‌شناسی، برگشتم!

فهمیدم به مکانی با صخره‌های به‌خوبی نمایان ۲۰۰ میلیون ساله نیاز دارم: در کنتیکت تنها بریدگی‌های جاده‌ای وجود داشتند. چنین جایی می‌توانست در امتداد ساحل باشد؛ جایی که موج‌ها سطح شکسته‌شده‌ی صخره‌ها را برای مشاهده و جستجو آماده کرده باشند. بررسی نقشه، انتخاب من را روشن کرد: در نوا اسکوشیا^۲، صخره‌های دوران تریاسه و ژوراسیک (با حدود ۲۰۰ میلیون سال سن) در امتداد سطح قرار گرفته‌اند. در پایان، برای تکمیل مطالب پیشین باید بگویم، مطبوعات گردشگری درباره‌ی منطقه تبلیغ می‌کردند که این‌جا منطقه‌ای جزرومدی در جهان است که گاهی اوقات این جریان‌ها تا بیش از ۱۵ متر جابجایی دارند؛ نمی‌توانستم خوش‌شانسی خودم را باور کنم!

با فردی که متخصص این صخره‌ها بود و اطلاعات بسیاری داشت تماس گرفتم؛ پُل لولسن (Paul Olsen). فردی که به‌تازگی تدریس در دانشگاه کلمبیا را آغاز کرده بود. اگرچه من پیش از گفتگو با پُل، به چشم‌انداز اکتشاف فسیل در آن منطقه علاقه‌مند شده بودم، پس از گفتگو با او کاملاً به‌وجود آمدم. او شرحی تمام‌عیار راجع به دانش زمین‌شناختی آن منطقه برای یافتن پستانداران و خزندگان کوچک به من داد: رودخانه‌ها و ریگ‌های روان باستانی، قابلیت خوبی برای محافظت از استخوان‌های کوچک دارند. حتی بهتر از آن، او چند استخوان دایناسور و جای‌پا در امتداد شهرک پارسبرو^۳ و نوا اسکوشیا پیدا کرده بود.

من و پُل به این برنامه اندیشیدیم که هر دو به پارسبرو رفته و ساحل آن‌جا را برای یافتن فسیل‌های کوچک کاوش کنیم. این نهایت سخاوت پُل بود زیرا او در آن منطقه حق آب و گل داشت و هیچ مسئولیتی برای کمک به من نداشت، چه برسد به این‌که با من بیاید و همراهم کار کند!

من با فاریش درباره‌ی با نقشه‌ی تازه‌ام رایزنی کردم؛ او نه‌تنها به من کمک مالی کرد، بلکه پیشنهاد به‌کارگیری چند متخصص در امر یافتن فسیل را به من داد؛ پیل و چاک. همراه داشتن پول کافی و متخصصانی چون پیل،

1- Connecticut

2- Nova Scotia

3- Parrasboro

یکی از ایالت‌های نیوانگلند در شمال شرقی آمریکا.

یکی از استان‌های کشور کانادا، واقع در ساحل جنوب شرقی کشور.

یکی از شهرک‌های استان نوا اسکوشیا.

چاک و پُل اولسن در کنار منطقه‌ای بسیار خوب برای جستجو و البته چشم‌اندازی زیبا؛ چه چیز بیشتری می‌توانستم بخواهم؟!

آن تابستان، اولین سفر اکتشافی خود را به‌راه انداختم. بدین ترتیب من به همراه گروه‌م، بیل و چاک سوار استیشن کرایه‌ای مان شدیم و به سمت سواحل نوا اسکوشیا حرکت کردیم. نکته‌ی خنده‌دار این سفر من بودم! درحالی‌که سال‌های تجارب علمی چاک و بیل بیش از سن من بود، من رهبر گروه بودم؛ البته رهبری من فقط اسمی بود و بیشتر هنگام پرداخت صورت‌حساب شام!

صخره‌های نوا اسکوشیا به صورت تخته‌سنگ‌های ماسه‌ای کاملاً نارنجی‌رنگ و یک‌دست در امتداد خلیج فانیدی قابل مشاهده بودند. جریان جزرومد هر روز حدود ۸۰۰ متر پیش می‌آمد و به عقب برمی‌گشت و این بستر سنگ‌های نارنجی مسطح بزرگ را آشکار می‌ساخت.

هنوز زمان چندانی از شروع جستجوهای ما برای کشف استخوان در نواحی مختلف نگذشته بود که رگه‌های کوچک سفید از استخوان، در امتداد صخره‌ها، نمایان شدند. پُل رد فسیل‌ها را در همه‌جا پیدا کرد، حتی در مناطق مسطحی که به علت جزرومد روزانه به وجود آمده بودند.

1- Bay of Fundy

در سواحل اقیانوس اطلس در آمریکای شمالی بین استان‌های کانادایی نیوبرانزویک و نوا اسکوشیا واقع است. این خلیج دارای یکی از بالاترین کشندها (جریان‌های جزر و مدی) است و در جولای ۲۰۰۹ یکی از عجایب طبیعت نام گرفت.





پُل اولسن رد فسیل‌ها را در جلگه‌های جزرومدی نوا اسکوشیا پیدا کرد. در هنگام مدهای شدید آب حتی تا صخره‌های سمت چپ بالا (مشخص شده با فلش) می‌آمد. اگر ما سفرمان را اشتباه برنامه‌ریزی کرده بودیم، ممکن بود ساعت‌ها وقت خود را در آن‌جا بگذرانیم و چیزی هم به‌دست نیاوریم. عکس از شوین

من به‌همراه چاک، بیل و پُل دو هفته‌ای را در نوا اسکوشیا برای حفاری سپری کردیم و توانستیم قطعات کوچک و بخش‌هایی از استخوان‌هایی که بیرون صخره‌ها گیر کرده بودند را بیابیم. بیل در گروه آماده‌سازی فسیل بود و مدام به من اخطار می‌داد که خاک را زیاد از استخوان‌ها نزدایم برای این‌که تا اندازه‌ای سالم بمانند و استخوان‌ها را طوری خارج کنم که تا حدی با ماسه‌سنگ پوشیده شده باشند؛ به این ترتیب او می‌توانست استخوان‌ها را بهتر زیر میکروسکوپ بررسی کند. ما همه‌ی این کارها را به‌دقت انجام می‌دادیم، اما باید بپذیریم آن‌چه که با خود به خانه آوردیم، خیلی هم امیدوارکننده نبود؛ تنها چند جعبه کفش مملو از سنگ‌ها و تکه‌های کوچک استخوان. زمانی که به‌سمت خانه رانندگی می‌کردیم، من به این فکر کردم که اگرچه چیز زیادی نیافتیم، اما این خود تجربه‌ی فوق‌العاده‌ای بود. پس از آن، من یک هفته به تعطیلات رفتم، چاک و بیل هم به آزمایشگاه برگشتند.

زمانی که به بوستون برگشتم، چاک و بیل برای صرف ناهار بیرون رفته بودند. بعضی از همکاران، که در حال بازدید از موزه بودند، متوجه حضور من شدند و ضمن احوال‌پرسی گرم به من تبریک گفتند و به تمجید از من پرداختند؛ با من درست مثل قهرمانی فاتح رفتار می‌شد، اما واقعاً نمی‌دانستم چرا؟! رفتار آن‌ها برای من مثل یک شوخی عجیب بود، انگار می‌خواستند مرا ترغیب به انجام کار بزرگی کنند! آن‌ها به من گفتند که به آزمایشگاه بیل برویم تا آن غنیمتی که به‌دست آورده بودم را ببینیم! نمی‌دانستم باید چه‌فکری کنم؛ برای همین با آن‌ها به‌راه افتادم.

کشف شکفت‌آور ماه
نیمه‌فرزاده-نیمه
پستاندارا

زیر میکروسکوپ بیل، آرواره‌ی بسیار کوچکی بود که طولی بیش از ۱/۵ سانتی‌متر نداشت. روی آن چند دندان بسیار ریز قرار داشت. بدون شک آرواره، متعلق به یک خزنده بود چراکه دندان‌ها تنها یک ریشه در پایه داشتند. درحالی که دندان‌های پستانداران ریشه‌های بیشتری دارد.

اما روی آن دندان‌ها، برجستگی و فرورفتگی و لبه‌های زیادی وجود داشت که می‌توانستیم آن‌ها را با چشم غیرمسلح هم ببینیم. مشاهده‌ی دندان زیر میکروسکوپ برای من شگفتی بزرگ‌تری بود: روی برجستگی دندان‌ها، کمی سائیدگی دیده می‌شد؛ یعنی این خرنده، دارای قابلیت جفت‌شدگی دندان‌ها بوده است. به بیان دیگر فسیل من به نوعی نیمه‌خرنده - نیمه‌پستاندار بود!

بیل، بدون اطلاع من، یکی از قطعه‌سنگ‌ها را شکافته و رگه‌ای از استخوان را مشاهده کرده بود، سپس آن را با استفاده از سوزن برای مشاهده زیر میکروسکوپ آماده کرده بود. هیچ‌یک از ما این موضوع را در میدان فسیلی متوجه نشده بود، اما گروه اکتشافی ما به موفقیت بزرگی نائل شد، که همه‌ی آن را مدیون بیل بودیم.

در آن تابستان چه چیزهایی آموختیم؟! اول این که به دقت، به حرف‌های چاک و بیل گوش کنم! دوم، بسیاری از بزرگ‌ترین اکتشافات، در دست‌های متخصصین فسیل‌ها (آماده‌کنندگان فسیل‌ها) اتفاق می‌افتند نه در زمین‌ها و میادین فسیلی. هنگامی که این جریان به نتیجه‌ی مطلوب رسید، من بزرگ‌ترین درس‌هایم را درباره‌ی فعالیت‌های اکتشافی در زمین‌های فسیلی فراگرفتم.

خرنده‌ی کشف‌شده به دست بیل، یک تریتلدونت^۱ بود؛ این جانور به همان میزانی که در نوا اسکوشیا شناخته شده بود، در آفریقای جنوبی هم دیده شده بود؛ تریتلدونت‌ها جانوران بسیار نادری بودند. به این ترتیب، ما تصمیم گرفتیم که تابستان آینده هم برای کشف تعداد بیشتری از آن‌ها به نوا اسکوشیا برگردیم. من مجبور بودم کل زمستان را در انتظار بمانم. اگر رفتن به سفر اکتشافی در آن زمستان یخبندان امکان‌پذیر بود حتماً این کار را انجام می‌دادم!

در تابستان ۱۹۸۵، ما به همان زمین فسیلی، که تریتلدونت را پیدا کرده بودیم، برگشتیم. این بستر فسیلی دقیقاً در سطح ساحل قرار داشت، جایی که چندین سال قبل، تکه‌ی کوچکی از صخره‌های نزدیک دریا، در آن سقوط کرده بود. ما باید بازدیدهای روزانه‌مان را دقیقاً به این صورت زمان‌بندی می‌کردیم: محل جستجو در زمان مدهای شدید غیرقابل دسترس بود زیرا آب اطراف مکان بررسی ما بسیار بالا می‌آمد. من هرگز آن روز مهیج را از یاد نمی‌برم؛ هنگامی که ما همان محل سال گذشته را برای پیدا کردن تکه‌ای کوچک از صخره‌ی نارنجی روشن‌مان دور زدیم، این تجربه از آن جهت اهمیت داشت که الان دیگر در دسترس نبود؛ ما بیشتر آن منطقه را در سال گذشته کاوش کرده بودیم. آن منطقه در زمستان گذشته دچار فرسایش شده و محل فسیلی دوست‌داشتنی ما، که تریتلدونت‌های زیبایی در خود داشت، در اثر جذرومد از بین رفته بود!

خبر خوب، البته اگر می‌شد این نام را روی آن گذاشت، این بود که هنوز مقدار کمی ماسه‌سنگ و صخره‌ی نارنجی‌رنگ در امتداد ساحل برای کاوش باقی مانده بود. بیشتر ساحل، به خصوص مناطقی که ما مجبور بودیم هر روز صبح جستجو کنیم، از بازالت ۲۰۰ میلیون ساله‌ی جریان گدازه تشکیل شده بود. یقین داشتیم در آن جا فسیلی یافت نخواهد شد، چراکه بدیهی بود آن صخره‌ها، با دمای فوق‌العاده بالایی که داشتند، هرگز نمی‌توانستند محافظ

استخوان‌های فسیلی باشند. ما بیش از پنج روز زمان برای کاوش سایت فسیلی جزرومدی و صخره‌های ماسه‌سنگی اطراف آن سپری کردیم و مطلقاً چیزی نیافتیم!

پیشرفت چشمگیر ما زمانی حاصل شد که یک شب رئیس باشگاه محلی لاینز^۱ به کمپ گروه ما آمد تا نظر ما را درباره‌ی با مسابقه‌ی زیبایی محلی و تاج‌گذاری بانوی شایسته در هفته‌ی پارسبرو جویا شود. ساکنان این شهر کوچک اغلب این وظیفه‌ی سنگین را به عهده‌ی بازدیدکنندگان می‌گذاشتند؛ از آن‌جا که در زمان این رویداد، به‌طور معمول، احتمال درگیری دسته‌جمعی بالا می‌رفت، داوران هر سال معمولاً از اهالی کبک بودند که امسال حضور نداشتند و من و گروهم به جای آن‌ها دعوت شدیم!

داوری درباره‌ی مسابقه‌ی زیبایی و بحث و نتیجه‌گیری آن تا دیروقت به‌طول انجامید؛ این باعث شد جزرومدهای صبح فردا را از یاد ببریم و در اطراف صخره‌ای بازالتی به‌دام بیافتیم! حدوداً دو ساعت، در دماغه‌ای کوچک با عرضی حدود ۱۵ متر گیر کرده بودیم! صخره، آتشفشانی بود و از نوعی نبود که بخواهیم برای یافتن فسیل آن را جستجو کنیم. برای خروج از آن منطقه، از روی سنگ‌ها می‌پریدیم تا وقتی که خسته شدیم و ناچار به بررسی صخره‌ها پرداختیم؛ ممکن بود مواد معدنی یا کریستال‌های جالبی پیدا کنیم.

بیل در گوشه‌ای ناپدید شد و من برخی از بازالت‌های پیش رویم را بررسی می‌کردم. پس از حدود ۱۵ دقیقه، اسم خودم را شنیدم! هرگز صدای گرفته‌ی بیل را فراموش نمی‌کنم: «نیل، شاید بخواهی نگاهی به این‌جا بیندازی!» هنگامی که آن گوشه را دور زدم، هیجان عجیبی در چشمان بیل می‌دیدم و متوجه صخره‌ی مقابل پای او شدم. صخره‌ای برآمده حاوی قطعات سفید رنگ کوچک؛ هزاران استخوان فسیل آن‌جا بود!

این دقیقاً همان چیزی بود که ما به‌دنبالش بودیم؛ زمین فسیلی پر از استخوان‌های کوچک. متوجه شدم که آن صخره‌های آتشفشانی، کاملاً هم آتشفشانی نبودند؛ رگه‌هایی از ماسه‌سنگ از میان تخته‌سنگ‌ها عبور کرده بود. ترکیبی از جریان روان گل‌ولای بسیار قدیمی و مواد مذاب آتشفشانی، صخره‌های آن‌جا را ساخته بودند و فسیل‌ها درون این گل‌ولای کهن به‌دام افتاده بودند.

ما چندین تن از این صخره‌ها را به خانه آوردیم. درون آن‌ها بیشتر تریتلدونت بود و تعدادی کروکودیل اولیه، و در بقیه هم خزندگان شبیه سوسمار وجود داشت. در واقع، این تریتلدونت‌ها برای ما در حکم جواهرات زیرخاکی بودند؛ چراکه گونه‌هایی از خزندگان را به‌نمایش می‌گذاشتند که دارای الگوی جویدن پستانداران هم بودند.

پستانداران اولیه، درست مانند آن‌هایی که گروه فاریش در آریزونا کشف کرده بودند، طرح بسیار دقیقی از گازگرفتن داشتند. سائیدگی‌ها در تیغه‌ی دندان‌های بالا دقیقاً با تصویر آینه‌ای این سائیدگی‌ها در دندان‌های پایین جفت می‌شد. الگوهای سائیدگی به‌قدری خوب بودند که می‌شد گونه‌های متفاوت پستانداران اولیه را از روی همین الگوها و جفت‌شدگی دندان‌ها از یکدیگر تشخیص داد. الگوی هلالی نوک دندان و جویدن پستاندارانی که فاریش در آریزونا یافت، از پستانداران هم‌دوره‌شان در شمال آمریکا، اروپا یا چین متفاوت بود. حتی اگر این فسیل‌ها را با

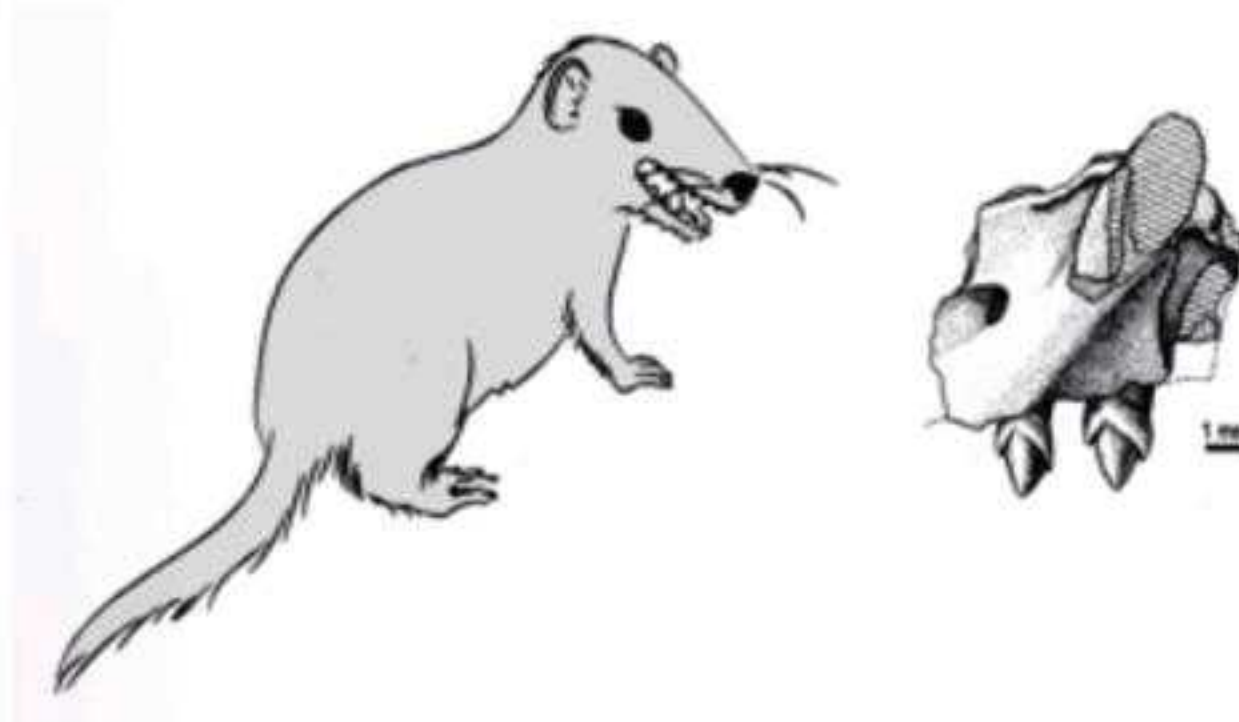
خزندگان زنده هم مقایسه کنیم، تصور می‌کنم که باز هم منشأ تغذیه‌ی پستانداران هم‌چون راز بزرگی باقی می‌ماند.

همان‌طور که اشاره کردم، در تماس‌ها و مارمولک‌ها هیچ‌نوع الگوی انطباق و جفت‌شدگی دندان‌ها دیده نمی‌شود. مقطع زمانی بعدی، همان جایی است که جانورانی مانند تریتلدونت پا به عرصه‌ی وجود گذاشتند. وقتی که در زمان به عقب می‌رویم و به صخره‌هایی با سن حدودی ۱۰ میلیون سال پیرتر از آن‌ها می‌رسیم، مانند سنگ‌های نوا اسکوشیا، تریتلدونت‌هایی با الگوی اولیه‌ی جویدن می‌یابیم.

در تریتلدونت‌ها، برآمدگی‌های منفرد دندان‌ها به‌طور دقیقی مانند آن‌چه که در پستانداران رخ می‌دهد، روی هم جفت نمی‌شوند و در عوض، تمام سطح داخلی دندان‌های بالا با حرکت در خلاف جهت سطح خارجی دندان‌های پایین برش می‌خورند؛ تقریباً مانند قیچی. البته، بروز تغییرات در جفت‌شدگی دندان‌ها، به یکباره و بدون پیش زمینه رخ نداده است. دانستن این نکته نباید باعث تعجب شود که نخستین جانورانی که الگوی جویدن پستانداران را از خود نشان دادند، ویژگی‌های پستانداری از قبیل آرواره‌ی کوچک‌تر، جمجمه و اسکلت را به‌نمایش گذاشتند.

از آن‌جا که دندان‌ها در فسیل‌های به‌دست‌آمده خیلی خوب حفظ شده‌اند، ما اطلاعات مفصلی درباره‌ی الگوهای اصلی جویدن و توانایی، که به‌مرور زمان برای استفاده از رژیم‌های غذایی جدید به‌وجود آمده‌اند، داریم. بخش وسیعی از داستان پستانداران مربوط به قضیه‌ی مسیرهای تازه در مراحل هضم و جذب غذاست. پس از مواجهه با تریتلدونت‌ها در فسیل‌های به‌دست‌آمده، ما به‌سرعت همه‌نوع از گونه‌های پستانداران جدیدتر با انواع تازه‌ای از دندان‌ها و هم‌چنین راه‌های جدید جفت‌شدگی دندان‌ها و نحوه‌ی استفاده از آن‌ها را مشاهده کردیم. پستانداران چونده‌ی کوچکی با نوع جدیدی از ردیف‌های دندانی را در صخره‌های حدوداً ۱۵۰ میلیون ساله یافتیم، که راه را برای به‌وجودآمدن ما هموار کرده بودند.

آن‌چه که باعث خاص‌بودن این جانوران شده، پیچیدگی‌های موجود در دهان‌شان بود: فک، مجموعه‌ی متفاوتی از دندان‌ها را در خود داشت. دهان، نوعی تقسیم کار را توسعه داد. دندان‌های پیشین برای قطعه‌قطعه کردن غذا تخصصی شده بودند، دندان‌های نیش بیشتر برای سوراخ کردن و دندان‌های آسیا در منتهی‌الیه عقب دهان برای بریدن، خرد کردن و خمیری کردن غذا به کار می‌رفتند. این پستانداران کوچک، که به موش‌ها شبیه‌اند، بخش اساسی از تاریخچه‌ی درون ما را در خود دارند. اگر شما به این موضوع تردید دارید، تصور کنید بدون دندان‌های پیشین می‌خواهید سیب بخورید، یا حتی بدتر از آن، چطور هویج بزرگی را بدون دندان‌های آسیا می‌خورید؟! توانایی استفاده‌ی ما از رژیم‌های غذایی متنوع، از میوه و گوشت گرفته تا کیک، فقط به این علت است که در نیاکان پستاندار بسیار دور ما دهانی با انواع متفاوتی از دندان‌ها، که می‌توانستند به‌خوبی با هم جفت شوند، تکوین یافت؛ و بله، مراحل ابتدایی این تغییرات در تریتلدونت‌ها و خویشاوندان باستانی دیگر ما دیده شده است: لبه‌ی تیغه‌ای و هلالی دندان‌های جلو طرح متفاوتی از دندان‌های عقبی دارند.



یک تریتلodont و قسمتی از فک بالایی آن در نوا اسکوشیا. تصویر تکه‌ی آرواره از لازلو بسوی

دندان‌ها و استخوان‌ها - اندام سخت

همه چیز را درباره‌ی دندان گفتیم به غیر از آن چه که باعث خاص شدن دندان‌ها در میان اندام‌ها شده است: سخت بودن دندان‌ها. دندان‌ها مجبور بودند سخت تر از تکه‌های غذایی خورده شده باشند تا بتوانند آن‌ها را خرد کنند؛ تصور کنید که بخواهید استیک را با اسفنج بپزید!

در بسیاری از موارد، دندان‌ها به سختی صخره‌ها هستند و علتش این است که درون خود مولکول‌هایی کریستالی دارند. این مولکول‌ها با نام هیدروکسی آپاتیت شناخته می‌شوند و زیربنای ساختار سلولی و مولکولی دندان‌ها و استخوان‌ها از این ماده اشباع است و باعث می‌شود آن‌ها در مقابل خمیدگی، فشردگی و دیگر تنش‌ها مقاوم باشند.

دندان‌ها فوق‌العاده سخت‌اند و این به علت لایه‌ی بیرونی آن‌ها یعنی میناست، که دارای هیدروکسی آپاتیتی به مراتب غنی‌تر از هر ساختار دیگری در بدن، از جمله استخوان‌ها، هستند. این میناست که به دندان‌ها سفیدی و درخشانی می‌بخشد، البته، مینا تنها یکی از لایه‌هایی است که دندان‌های ما را می‌سازند. لایه‌های درونی، از قبیل عاج دندان، نیز از هیدروکسی آپاتیت پر شده است.

جانوران بسیاری مانند صدف‌ها یا خرچنگ‌های دریایی نیز بافت‌های سخت دارند؛ اما آن‌ها هیدروکسی آپاتیت ندارند. سختی این دو جانور به علت مواد دیگری مانند کربنات کلسیم^۱ یا کیتین^۲ است. همچنین، برخلاف ما، این جانوران اسکلت خارجی^۱ دارند که بدن‌شان را پوشانده است؛ درحالی که سختی ما درون ما قرار دارد!

1- Calcium carbonate

ماده‌ی سفیدرنگی که به وفور، در ترکیب صخره‌های سراسر جهان یافت می‌شود. مهم‌ترین کانی‌های آن آراگونیت، سنگ‌آهک، ماربل و تراورتن است.

2- Chitin

ماده‌ی سازنده‌ی اصلی دیواره‌ی سلولی قارچ‌ها، اسکلت خارجی بندپایانی چون خرچنگ‌ها و حشرات، نرم‌تنان و سرپایان، از جمله ماهی مرکب و هشت‌پا است.

نشان ویژه‌ی سختی ما، که با دندان‌های درون دهان و استخوان‌های درون بدن‌مان مشخص می‌شود، بخش ضروری جواب سؤال «ما کیستیم؟!» است. ما قادر به خوردن، حرکت به اطراف، تنفس، حتی متابولیسم مواد معدنی مشخصی هستیم و این به علت بافت‌های هیدروکسی‌آپاتیت‌مان است. برای داشتن این قابلیت‌ها، باید از نیای مشترک‌مان با ماهی‌ها سپاسگزار باشیم!

هر ماهی، دوزیست، خزنده، پرنده و پستاندار در کره‌ی زمین شبیه به ما است؛ تمام آن‌ها، ساختارهایی متشکل از هیدروکسی‌آپاتیت دارند. اما این ساختارهای مشترک از کجا آمده‌اند؟!

یک مسئله‌ی مهم و منطقی را نباید فراموش کرد؛ با دانستن این که کی، کجا و چطور استخوان‌ها و دندان‌های سخت به وجود آمده‌اند، می‌توانیم علت حضور آن‌ها را نیز درک کنیم. آیا این بافت‌ها برای حمایت جانوران در برابر محیط‌شان بوده‌اند؟ آیا برای کمک به آن‌ها در حرکت کردن‌شان بوده‌اند؟ پاسخ به این سؤالات در فسیل‌های اکتشافی از صخره‌های حدوداً ۵۰۰ میلیون ساله نهفته است.

برخی از معمول‌ترین فسیل‌های ۵۰۰ تا ۲۵۰ میلیون ساله در اقیانوس‌های بسیار کهن کونودونت^۲ هستند. کریستین پاندر (Christian Pander) زیست‌شناس روسی، کونودونت را در دهه‌ی ۱۸۳۰ کشف کرد؛ درباره‌ی او در فصل‌های بعد نیز صحبت خواهد شد. کونودونت‌ها ارگانسیم صدفی کوچکی با زائده‌های نوک‌تیز در سطح خارجی‌شان هستند. پس از دوران پاندر، کونودونت‌ها در همه‌ی قاره‌ها کشف شدند؛ آن‌ها تقریباً همه‌جا هستند، به طوری که سنگی نیست که شما بشکافید بدون آن که شمار زیادی از آن‌ها را بیابید. امروزه صدها گونه از کونودونت‌ها شناخته شده‌اند.

تا مدت‌ها کونودونت‌ها معما به شمار می‌آمدند: دانشمندان راجع به این که آن‌ها جانور، گیاه یا مواد معدنی هستند اتفاق نظر نداشتند. به نظر می‌آمد هر فردی برای خود تئوری خاصی دارد. ادعاهایی وجود داشت که می‌گفت کونودونت‌ها بخشی از صدف‌ها، اسفنج‌ها، استخوان‌های ستون فقرات و حتی کرم‌ها هستند!

این گمانه‌زنی‌ها زمانی پایان یافت که همه‌ی جانوران در نمونه‌های فسیلی به نمایش درآمدند. نخستین نمونه از کونودونت را، که همه‌چیز آن با عقل جور درمی‌آمد، یکی از استادان دیرینه‌شناسی در زیرزمین دانشگاه ادینبرو کاوش کرد؛ آن‌جا سنگی بود که چیزی شبیه به لامپری^۳ درون آن وجود داشت.

۱ - اسکلت خارجی یکی از انواع استخوان‌بندی بدن است که ضمن استحکام‌دادن به بدن ممکن است سخت یا قابل ارتجاع باشد.

2- Conodont

3- Lamprey



شاید از کلاس زیست‌شناسی لامپری را به یاد بیاورید، آن‌ها ماهی‌های بسیار بدوی بدون آرواره هستند. لامپری با چسبیدن به دیگر ماهی‌ها و تغذیه از مایعات بدن آن‌ها زندگی می‌کند. در آن سنگ، در مقابل اثر لامپری، فسیل‌های کوچکی هم قرار گرفته بود که بسیار آشنا به نظر می‌رسید؛ بلکه کونودونت‌ها! به تدریج، سایر فسیل‌های لامپری‌مانند از صخره‌هایی در جنوب آفریقا و بعدها، در غرب آمریکا به دست آمدند. فسیل همه‌ی این جانوران یک ویژگی استثنائی داشت: دهان آن‌ها تماماً از کونودونت‌ها تشکیل شده بود! نتیجه کاملاً روشن شد: کونودونت‌ها همان دندان‌ها بودند و نه هر نوع دندانی؛ آن‌ها دندان‌های دیرینه‌ماهی بدون آرواره بودند.

در حقیقت، بیش از ۱۵۰ سال ما دندان‌ها را در ثبت‌های فسیلی در اختیار داشتیم، بدون آن که بدانیم چه هستند! علت این امر در چگونگی حفظ فسیل‌ها بود. تکه‌های سخت، از قبیل دندان‌ها، به سادگی به شکل فسیل محفوظ می‌مانند؛ اما اندام‌های نرم، مانند ماهیچه‌ها، پوست، شکم و روده، عموماً بدون فسیل شدن در طول زمان از بین می‌روند. در موزه‌ها، قفسه‌هایی مملو از فسیل اسکلت‌ها، پوسته‌های سخت و دندان داریم اما در عوض، از فسیل مجاری گوارشی و مغز بسیار کم به دست آمده است. هنگامی هم که به ندرت نشانه‌ای از بافت نرم کشف می‌کنیم، تنها باقی‌مانده‌ی یک قالب یا اثر را می‌بینیم. نمونه‌های فسیلی ما با دندان‌های کونودونت در قفسه‌ها نشسته بودند و ۱۵۰ سال طول کشید تا بدن آن‌ها را کشف کنیم. نکته‌ی جالب‌توجه دیگری درباره‌ی بدن‌های کونودونت وجود دارد و آن این که بدن‌شان فاقد هرگونه استخوان سختی است؛ در واقع، کونودونت‌ها جانورانی نرم‌تن با دندان‌های سخت بودند!

استخوان و دندان؛
تقدم و تأخر.

سال‌های متمادی، دیرینه‌شناسان درباره‌ی این موضوع که چرا در نخستین گام به سمت تکامل، اسکلت‌های سخت حاوی هیدروکسی‌آپاتیت به وجود آمدند، بحث می‌کردند. برای دیرینه‌شناسانی که معتقد بودند استخوان‌ها نخستین بار با تشکیل آرواره، ستون فقرات یا پوشش زرهی صدف‌مانند به وجود آمده‌اند، کونودونت‌ها مثال نقض به شمار می‌آمدند؛ در آن‌ها، نخستین قسمت حاوی هیدروکسی‌آپاتیت در بدن‌شان دندان‌ها بودند. استخوان‌های سخت برای حفاظت از جانوران به وجود نیامدند، بلکه برای تغذیه‌ی آن‌ها پدیدار شدند! با این توصیف، جهان «ماهی، ماهی بخور»^۱ به طور جدی آغاز شد. در ابتدا، ماهی بزرگ ماهی کوچک را خورد؛ سپس مسابقه‌ای تسلیحاتی شروع شد و شکل جنگ به خود گرفت. ماهی‌های کوچک پوشش زرهی برای خود ایجاد کردند؛ ماهی‌های بزرگ برای شکستن این پوشش زرهی، آرواره‌های بزرگ‌تری به دست آوردند و به همین ترتیب داستان ادامه یافت. دندان‌ها و استخوان‌ها، در رقابت مدام برای حیات، تغییر کرده‌اند.

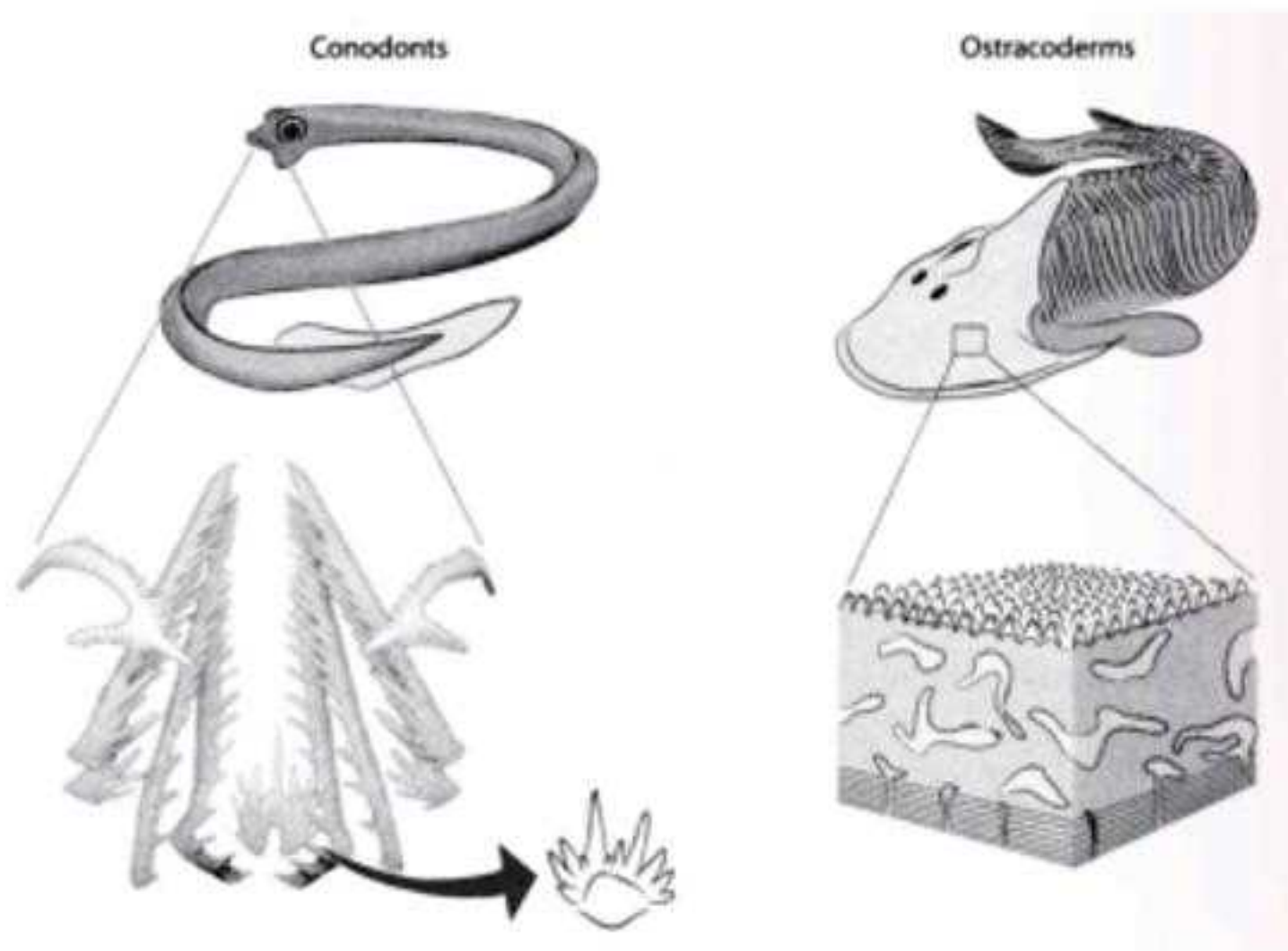
هنگامی که نخستین جانوران با مجموعه‌های استخوانی را در نظر می‌گیریم، موضوع جالب‌تر هم می‌شود. همین‌طور که در زمان به پیش می‌رویم و از نخستین جانوران کونودونت اولیه عبور می‌کنیم، متوجه می‌شویم که نخستین اسکلت‌هایی که سر استخوانی داشتند، چه شکلی بودند. آن‌ها به ماهی‌های ۵۰۰ میلیون ساله‌ای موسوم

به استراکودرم^۱ تعلق داشتند؛ فسیل این ماهی‌ها در صخره‌های سراسر زمین، از شمالگان گرفته تا بولیوی، یافت شدند. این ماهی‌ها شبیه همبرگری با دنباله‌ی گوشتی بودند!

ناحیه‌ی سر استراکودرم، مانند قرصی بزرگ است که با سپری استخوانی پوشیده شده باشد؛ تقریباً چیزی شبیه به زره. اگر من یکی از کشوهای موزه‌ام را باز کنم و یکی از آن‌ها را به شما نشان بدهم، شما بی‌درنگ متوجه چیز عجیبی خواهید شد: اسکلت سر استراکودرم، براق و درخشان، خیلی شبیه به دندان‌های ما یا فلس‌های ماهی است!

یکی از لذت‌های دانشمند بودن این است که طبیعت، توانایی خاصی در متحیر ساختن و غافل گیر کردن شما دارد! ما اکنون در استراکودرم‌ها، گروهی از ماهی‌های بدون آرواره‌ی باستانی، شاهد نمونه‌ای درجه‌یک از همین نوع غافل‌گیری هستیم!

استراکودرم‌ها جزو نخستین جانوران دارای سر استخوانی‌اند که اگر استخوان جمجمه‌شان را باز کنید، آن را در پلاستیک قرار دهید و زیر میکروسکوپ بشکنید، فقط شاهد بافتی کهنه و قدیمی نخواهید بود، بلکه عملاً بافتی مشابه بافت دندان‌ها در آن می‌بینید! لایه‌ای از مینا و حتی از بافت نرم دندان نیز وجود دارد. کل پوشش محافظ از هزاران دندان ریز درهم‌آمیخته تشکیل شده بود. این جمجمه‌ی استخوانی یکی از قدیمی‌ترین ثبت‌های فسیلی‌ست که کاملاً از دندان‌های کوچک تشکیل شده. دندان‌ها در اصل برای گاز گرفتن جانوران به‌وجود آمدند؛ سپس، نسخه‌ای از دندان‌ها در مسیر تازه‌ای برای محافظت از آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت.



کونودونت (چپ) و استراکودرم (راست). کونودونت‌ها در اصل به‌صورت منفرد کشف شدند. سپس، همان‌طور که سایر حیوانات شناخته شدند ما دریافتیم که بسیاری از آن‌ها با یکدیگر مانند ردیف دندان در دهان این ماهی نرم‌تن بدون آرواره عمل می‌کنند. سر استراکودرم‌ها یک محافظ استخوانی پوشیده شده است. لایه‌های میکروسکوپی این پوشش هم‌چون ساختار دندان‌مانند ریزی درست شده است. بازسازی از دکتر مارک پرل، دانشگاه لیستر و دکتر فیلیپ دانو دانشگاه بریستل.

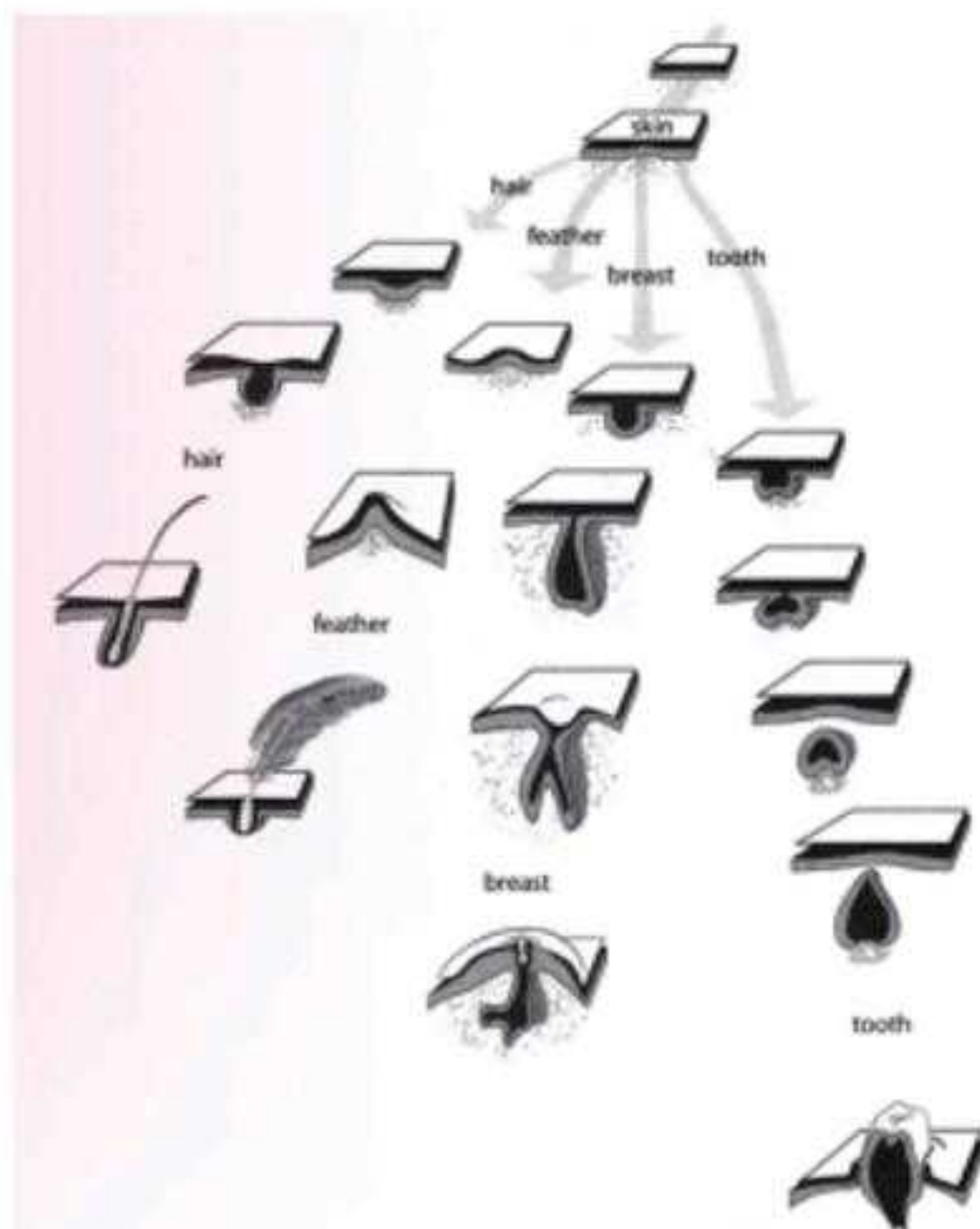
دندان‌ها، غدد و پر و بال

دندان‌ها نه تنها منادی مسیری کاملاً تازه برای زندگی بودند، بلکه آشکارکننده‌ی منشأ شیوه‌ی کاملاً جدیدی برای ساخت اندام‌ها هم بودند. دندان‌ها طی اندرکنش دو لایه از بافت پوست در حال تکوین ما ایجاد می‌شوند.

توضیح این مکانیسم به این صورت است که دو لایه به یکدیگر نزدیک و سلول‌ها تقسیم می‌شوند، لایه‌ها تغییر شکل می‌دهند و پروتئین‌هایی را می‌سازند؛ لایه‌ی خارجی، پیش‌ساز مولکولی مینا را ترشح می‌کند و لایه‌ی داخلی، مواد تشکیل‌دهنده‌ی عاج و مغز درونی دندان را می‌سازد. با گذشت زمان، ساختار دندان برای ساخت الگوهای برآمدگی و فرورفتگی، که منجر به تمایز گونه‌ها می‌شود، بهینه‌سازی شده‌اند.

کلید تکوین دندان‌ها اندرکنش بین این دو لایه‌ی بافتی است: صفحه‌ی سلولی خارجی و لایه‌ی سلولی سست داخلی، که سبب می‌شود بافت پیچ‌وتاب بخورد و هر دو لایه را برای ترشح مواد لازم ساخت دندان، آماده سازد. این فرایند منجر به تکوین همه‌ی ساختارهای موجود در پوست شد: پولک، مو، پر و بال، غدد عرق و حتی پستان‌ها. در همه‌ی آن‌ها، دو لایه کنار هم قرار می‌گیرند، پیچ‌وتاب می‌خورند و پروتئین ترشح می‌کنند. در واقع، باتری‌های روشن و خاموش‌کننده‌ی (سوئیچ‌های) اصلی ژنتیکی فعال در این فرایندها، در هریک از بافت‌های یادشده (مو، پر، پولک، ...) تا حد زیادی مشابه هم‌اند.

تکوین مشابه دندان
و سایر ساختارهای
موجود در پوست: مو،
پر و بال و پولک!



دندان‌ها، پستان‌ها، پر و بال و مو همه در اثر فعل و انفعالات میان لایه‌های پوست ایجاد شدند

این قضیه مشابه راه‌اندازی کارخانه‌ای جدید یا فرایند مونتاژ و سرهم‌سازی است؛ زمانی که تزریق پلاستیکی اختراع شده بود، در ساختن همه‌چیز، از اجزای ماشین گرفته تا یویو، استفاده می‌شد! دندان‌ها هم از همین قاعده تبعیت می‌کردند. هنگامی که فرایندی که منجر به ساخت دندان‌ها بود آغاز شد، به نحوی بهینه و اصلاح شد که منجر به ساخت اندام‌های گوناگون و متنوع با منشأ بافت پوست شود. این قضیه را به بهترین شکل در استراکودرم‌ها مشاهده کردیم. پرنده‌ها، خزندگان و انسان‌ها نمونه‌های فوق‌العاده پیشرفته‌ای از این الگو و فرایند هستند. اگر از ابتدا دندان نداشتیم هرگز پولک، پر و بال، و پستان هم نمی‌توانستیم داشته باشیم! ابزار رشددهنده‌ای که دندان‌ها را ساختند، بار دیگر به منظور ساخت دیگر ساختارهای

مهم پوستی به کار رفتند؛ اگر ملموس تر بگوییم، اندام‌هایی مثل دندان‌ها، بال‌ها و پستان‌ها با وجود این همه تفاوت، به واسطه‌ی تاریخ، پیوند جدانشدنی جالبی با یکدیگر دارند.

زمینه‌ی اصلی چهار فصل نخست این بود که چطور قادر به تعقیب اندام‌های مشابه در جانوران متفاوت هستیم. در فصل اول دریافتیم که می‌توانیم نسخه‌های اندام‌های مان را در صخره‌های باستانی پیش‌بینی و کشف کنیم. در فصل دوم متوجه شدیم چطور می‌توانیم بدون هیچ استثنایی استخوان‌های مشابه را از ماهی تا انسان دنبال کنیم. در فصل سوم نشان دادیم که چطور آن بخش ارثی بدن ما - DNA و دستورالعمل‌های ژنتیکی که اندام‌ها را می‌سازند - می‌توانند در جانوران بسیار متفاوت دنبال شوند. اکنون، در دندان‌ها، پستان، و پر و بال زمینه‌ی مشترکی یافتیم. فرایندهای زیست‌شناختی، که این اندام‌های متفاوت را ساخته‌اند، نسخه‌هایی از یک اصل اولیه‌اند. وقتی متوجه شباهت عمیق میان اندام‌ها و بدن‌های متفاوت می‌شویم، تازه درک می‌کنیم که ساکنان متعدد دنیای ما تنها در ظاهر با یکدیگر تفاوت دارند!



دو شب پیش از امتحان پایان ترم درس آناتومی ام بود که تا حدود ساعت دو بامداد هنوز در آزمایشگاه بودم و اسامی اعصاب جمجمه‌ای را به خاطر می‌سپردم. ۱۲ عصب جمجمه‌ای وجود دارد و هر انشعاب آن در سراسر جمجمه با پیچ‌وتاب عجیبی قرار می‌گیرد. برای مطالعه‌ی آن‌ها، ما جمجمه را از پیشانی تا چانه به دو بخش تقسیم می‌کنیم و البته برخی از استخوان‌های گونه را نیز با اره باز می‌کنیم. به این ترتیب، در هر دست من نیمی از جمجمه قرار داشت و من به جستجوی مسیرهای پیچ‌درپیچ عصب‌هایی که از مغز به داخل ماهیچه‌ها و اندام‌های حسی گوناگون کشیده شده‌اند، پرداختم.

اعصاب شگفت‌آور
عصب سه قلو
عصب صورت

دو تا از اعصاب جمجمه‌ای مرا به‌وجود آوردند، عصب سه قلو و عصب صورت. الگوی پیچیده‌ی آن‌ها به قسمت بسیار ساده‌ای ختم می‌شد! بسیار مضحک بود که من سر انسان را از این زاویه می‌دیدم، این طرز نگاه از مشاهده‌ی وضعیت ساده‌تری در کوسه‌ها منشأ می‌گرفت. البته دست‌آورد من در چنین نگاهی، چندان هم نوآورانه نبود؛ آناتومیست‌های مقایسه‌ای این موضوع را بیش از یک قرن بود که می‌دانستند!

فشار ناشی از نزدیکی امتحان باعث می‌شد که فراموش کنم کجایم. یک لحظه به اطرافم نگاهی انداختم، نیمه‌شب بود و من در آزمایشگاه تنها بودم. در حقیقت، من میان ۲۵ جسد انسان پیچیده‌شده در ملافه محاصره شده بودم! برای اولین و آخرین بار در زندگی‌ام، دچار حمله‌ی عصبی شدم. چنان مضطرب بودم که موهای بدنم سیخ شدند. پاهایم وظیفه‌ی طبیعی خود را انجام دادند و من در مدت یک ثانویه خود را نفس‌زنان در ایستگاه اتوبوس یافتم! نیازی به گفتن نیست که احساس عجیبی داشتم. به خاطر می‌آورم که به خود می‌گفتم: «شوبین! تو خیلی غرق کار و درس شده‌ای». این خیالات خیلی به‌طول نینجامید؛ در همین بین متوجه شدم کلید در خانه را در آزمایشگاه جا گذاشته‌ام!

آن‌چه که مرا چنین مجذوب کرده بود این بود که آناتومی سر، عمیقاً مسحورکننده و به‌واقع زیباست. یکی از لذت‌های علم این است که در زمان مناسب متوجه الگویی می‌شویم که نظم ذاتی چیزی را، که ابتدا کاملاً آشفته و بی‌نظم به‌نظر می‌رسید، آشکار می‌سازد. آشفته‌گی و بی‌نظمی قسمتی از یک طرح ساده می‌شود و شما در حال مشاهده‌ی عمق پدیده‌ای برای یافتن جوهره‌ی آن هستید. این فصل درباره‌ی با همان جوهره‌ی درون «سر» خودمان و البته درون «سر» ماهی‌ها است!

آشوب^۱ درون سر

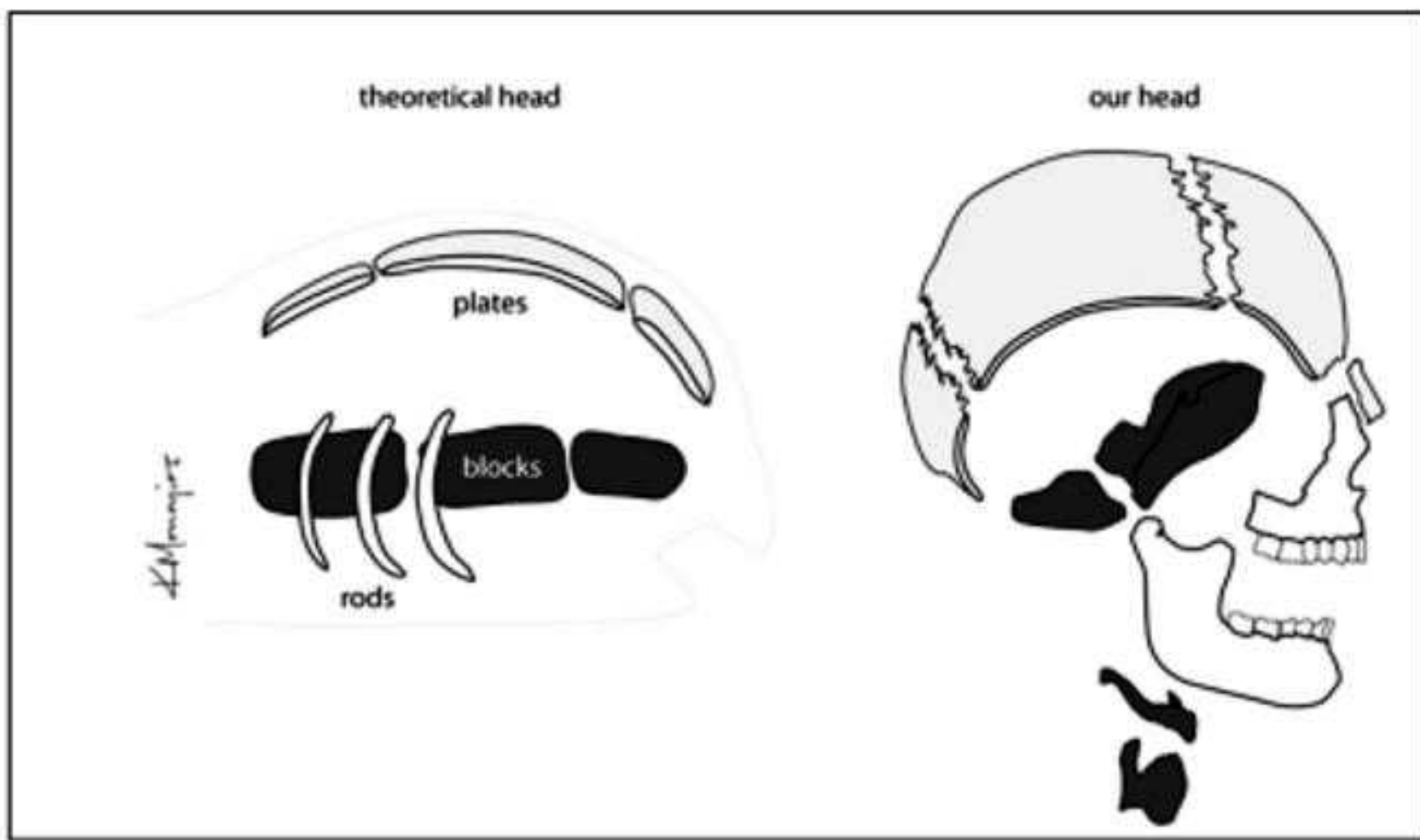
آناتومی سر؛ نظم در از آن جاکه، برخلاف بقیه‌ی قسمت‌های بدن، بافت‌های سر درون جعبه‌ای استخوانی محفوظ‌اند، آناتومی سر پیچیده و مشاهده‌ی آن نیز دشوار است. مجبوریم رگ‌ها و اندام‌ها را از میان گونه، پیشانی و جمجمه مشاهده کنیم. بدین ترتیب با باز کردن سر، با انبوهی از آن‌چه که بی‌شبهت به تور درهم‌تنیده‌ی ماهی‌گیری نیست، مواجه می‌شویم. رگ‌ها و عصب‌ها، هم‌چنان که در سراسر جمجمه منتشر می‌شوند، حلقه‌ها و پیچش‌های عجیبی ایجاد می‌کنند. هزاران انشعاب عصبی، ماهیچه‌ای و استخوانی درون این جعبه‌ی کوچک قرار دارد. در نظر اول، کل ساختار توده‌ای گیج‌کننده و آشفته به نظر می‌رسد.

جمجمه‌ی ما از سه بخش اصلی تشکیل شده است: صفحات استخوانی، ساختارهای نگه‌دارنده و میله‌ها. صفحات استخوانی، مغز ما را احاطه کرده‌اند [استخوان‌های جمجمه]. بالای سر خود را به آهستگی لمس کنید؛ آن‌ها را احساس خواهید کرد. این صفحات بزرگ، درست مشابه قطعات یک پازل، با هم جور شده‌اند و بیشتر کاسه‌ی سر ما را تشکیل داده‌اند. هنگام تولد، این صفحات از هم فاصله دارند؛ فضاها یا خالی میان آن‌ها، قسمت نرمه‌ی سر، در نوزادان قابل مشاهده است و برخی اوقات بافت زیرین مغزی آن‌ها را می‌لرزاند. همان‌طور که بزرگ می‌شویم، استخوان‌ها تکوین می‌یابند و زمانی که به دو سالگی می‌رسیم، دیگر به هم متصل شده‌اند.

بخش دیگری از جمجمه‌ی ما در قسمت زیرین مغز قرار دارد و سطح نگه‌دارنده‌ی مغز را شکل می‌دهد. برخلاف استخوان‌های عریض بالای جمجمه، این استخوان‌ها مشابه بلوک‌های پیچیده‌ای هستند و رگ‌ها و انشعابات عصبی بسیاری از میان آن‌ها عبور می‌کند. استخوان نوع سوم، آرواره‌ها، برخی از استخوان‌های درون گوش‌ها و گلو‌ی‌مان را می‌سازند؛ این استخوان‌ها شبیه میله‌هایی تکوین می‌یابند که در نهایت از یکدیگر جدا می‌شوند و تغییر شکل می‌دهند تا ما را در جویدن، شنیدن و قورت‌دادن یاری کنند.

داخل جمجمه، فضاها و قسمت‌هایی وجود دارد که اندام‌های متفاوتی را در خود جا داده است. بدیهی‌ست که مغز بیشترین حجم جمجمه را اشغال می‌کند. دیگر فضاها درون جمجمه شامل چشم‌ها، قسمت‌هایی از گوش‌ها و ساختار بینی است. بیشتر چالش‌ها در درک آناتومی سر، به علت نداشتن تصوّر سه بعدی از این فضاها و اندام‌ها به وجود می‌آید.

ماهیچه‌هایی به استخوان‌ها و اندام‌های درون سر متصل است که برای گازگرفتن، حرف زدن و حرکت دادن چشم‌ها و کل سر از آن‌ها استفاده می‌کنیم. ۱۲ عصب خارج شده از مغز، که به مناطق متفاوتی از سر می‌روند، این ماهیچه‌ها را پشتیبانی می‌کنند؛ این‌ها، همان عصب‌های جمجمه‌ای معروف‌اند که باعث ترس دانشجویان آناتومی و پزشکی می‌شوند!



صفحات استخوانی جمجمه، ساختارهای نگه‌دارنده‌ی مغز و میله‌ها؛ شمایی از جمجمه‌ها. هریک از استخوان‌های درون سر ما به یکی از این سه قسمت منتهی می‌شوند.

تنوع اعصاب جمجمه‌ای

کلید درک رموز اساسی سر، این است که عصب‌های جمجمه‌ای را چیزی بیش از آشفستگی و شلوغی ببینیم. البته، بیشتر آن‌ها واقعاً ساده‌اند. ساده‌ترین عصب‌های جمجمه‌ای تنها یک عملکرد دارند و به یک اندام یا یک ماهیچه متصل می‌شوند. عصب جمجمه‌ای، که به ساختار بینی ما رفته - عصب بویایی - یک وظیفه دارد: اطلاعات را از بافت بویایی به مغز می‌رساند. همچنین، برخی از عصب‌ها که به چشم‌ها و گوش‌های ما رفته‌اند به همین سادگی‌اند: عصب بینایی با دیدن مرتبط است؛ عصب شنوایی برای شنیدن به کار می‌رود. چهار عصب جمجمه‌ای دیگر، تنها در خدمت ماهیچه‌ها هستند - برای مثال به حرکت درآوردن چشم‌ها درون حلقه یا حرکت سر روی گردن به اطراف.

اما چهار تا از عصب‌های جمجمه‌ای دهه‌هاست که دانشجویان پزشکی را به دردسر انداخته‌اند؛ البته این دردسر علت قانع‌کننده‌ای هم دارد: عملکرد این چهار عصب بسیار پیچیده است و برای انجام وظیفه مسیر پیچ‌درپیچی را در سر دنبال می‌کنند؛ عصب سه‌قلو و عصب صورت شایسته‌ی توجه ویژه‌ای هستند. هر دو از مغز خارج می‌شوند و به شبکه‌ی گیج‌کننده‌ای از انشعابات تفکیک می‌شوند؛ بسیار شبیه شبکه‌ی سیم‌های داخل تلویزیون و رادیو. یک انشعاب از عصب سه‌قلو یا صورت، هم اطلاعات مربوط به /حساس و هم اطلاعات مرتبط با حرکت را منتقل می‌کند. رشته‌های مجزا و منفرد اعصاب حسی و حرکتی، که از بخش‌های مختلفی در مغز منشأ می‌گیرند، در رشته‌ی اصلی یکی می‌شوند (آن‌چه که نهایتاً ما به آن‌ها عصب سه‌قلو یا عصب صورت می‌گوییم) سپس دوباره تفکیک می‌شوند و انشعاباتی را به همه‌ی سر می‌فرستند.

وظایف عصب سه انشعاب‌های عصب سه‌قلو دو وظیفه‌ی اصلی به‌عهده دارند: ماهیچه‌ها را کنترل می‌کنند و

اطلاعات حسی را از بیشتر قسمت‌های صورت به مغز باز می‌گردانند. ماهیچه‌های کنترل‌شونده با عصب سه‌قلو شامل ماهیچه‌های مسئول جویدن و ماهیچه‌های کوچک در اعماق گوش‌اند. همچنین عصب سه‌قلو عصب اصلی برای حس در صورت است. علت این که ضربه به صورت بیش از احساس دردی ساده ایجاد می‌کند، همین است که عصب سه‌قلو، اطلاعات حسی را از پوست صورت به مغز می‌رساند.

هم‌چنین دندان‌پزشک شما انشعابات عصب سه‌قلوی شما را به‌خوبی می‌شناسد. انشعابات گوناگونی به ریشه‌ی دندان‌ها می‌رود؛ آمپول بی‌حسی دندان، که در امتداد یکی از این انشعابات زده می‌شود، قسمت‌های مختلفی از ردیف دندان‌های ما را بی‌حس می‌کند.

وظایف عصب صورت عصب صورت ماهیچه‌ها را کنترل و اطلاعات حسی را تقویت می‌کند. این عصب، همان‌طور که از نام آن پیداست، عصب اصلی برای کنترل ماهیچه‌های حالت‌دهنده‌ی صورت است. ما از این ماهیچه‌های کوچک برای لب‌خند زدن، اخم کردن، بالا و پایین بردن ابروها، حرکت دادن پره‌های بینی و کارهای بسیار دیگری استفاده می‌کنیم. آن‌ها نام‌های جالبی دارند. یکی از ماهیچه‌های اصلی که ما برای اخم کردن از آن استفاده می‌کنیم - همان ماهیچه‌ای که گوشه‌ی دهان‌مان را پایین می‌آورد - به ماهیچه‌ی پایین‌آورنده‌ی گوشه‌ی لب موسوم است. نام جالب دیگر به ماهیچه‌ای تعلق دارد که ما در حین نگرانی، به کمکش پیشانی‌مان را چین‌دار می‌کنیم تعلق دارد به آن ماهیچه‌ی /خیم یا چین‌دهنده‌ی بالای ابرو می‌گویند. پره‌های بینی خود را تکان بدهید؛ شما از نازالیس^۱ خود استفاده کردید.

هریک از این ماهیچه‌ها را، مشابه بسیاری دیگر از ماهیچه‌های حالت‌دهنده‌ی صورت، انشعابات از عصب صورت کنترل می‌کنند. حالاتی از قبیل لب‌خند نافرم یا پلک‌های افسرده‌ی افتاده، نشان از اشکالی در این عصب، در طرفی از صورت فرد، است.

شما احتمالاً الان متوجه می‌شوید که چرا شب امتحان پایان‌ترم تا دیر هنگام بیدار ماندم و به مطالعه‌ی آن عصب‌ها پرداختم! هیچ‌چیز در مورد آن به‌نظر قابل درک نمی‌آمد. برای مثال، هم عصب‌های صورت و هم سه‌قلو انشعابات بسیار کوچکی به ماهیچه‌های درون گوش‌مان ارسال می‌کنند. چرا دو عصب مختلف، که قسمت‌های کاملاً متفاوت از صورت و گوش را تحریک می‌کنند، انشعابات را به ماهیچه‌های گوش، که در همسایگی هم‌اند، ارسال می‌کنند؟ حتی گیج‌کننده‌تر، عصب سه‌قلو و صورت انشعابات را به صورت و آرواره‌ی ما می‌فرستند و در این بین یکدیگر را هم قطع می‌کنند. چرا؟! با چنین عملکردهای عجیب و مسیرهای پیچ‌درپیچ، به‌نظر می‌رسد نظم و منطقی در ساختارشان وجود نداشته باشد؛ عجیب‌تر این که این اعصاب چگونه با صفحات استخوانی، ساختارهای نگه‌دارنده‌ی مغز و میله‌هایی که جمجمه‌ی ما را تشکیل می‌دهند، پیوند یافته‌اند؟!

تشابه دیوار و سر؛ هر دو تاریخچه‌ای از وقایع متوالی را نشان می‌دهند.

در حین تفکر راجع به این عصب‌ها، اولین روزهایم در شیکاگو، در سال ۲۰۰۱ را به‌خاطر آوردم. مکانی به‌عنوان آزمایشگاه تحقیقاتی، در ساختمانی به‌قدمت صد سال، در اختیارم گذاشته شد، درحالی‌که آن‌جا نیاز به سیم‌کشی، لوله‌کشی و سیستم تهویه‌ی جدید داشت. به‌یاد می‌آورم روزی که پیمان‌کاران دیوار را شکافتند تا به قسمت‌های داخلی دسترسی یابند؛ واکنش آن‌ها نسبت به لوله‌کشی و سیم‌کشی داخل دیوار، بسیار شبیه به واکنش من هنگام تشریح سر یک انسان، هنگامی که برای نخستین بار عصب‌های صورت و سه قلو را دیدم، بود! سیم‌ها، کابل‌ها و لوله‌های درون دیوارها شلوغ و درهم‌تنیده بودند. هیچ عقل سلیمی نباید این طراحی را، با کابل‌ها و لوله‌هایی که حلقه‌ها و پیچ‌های عجیبی دارند و در سراسر ساختمان امتداد یافته‌اند، طراحی کرده باشد!

نکته‌ی اصلی دقیقاً همین‌جاست. ساختمان محل آزمایشگاه من در سال ۱۸۹۶ ساخته شده و تأسیسات ساختمانی آن بازتابی از طراحی قدیمی بود که بارها بهینه‌سازی و اصلاح شده بود. اگر شما می‌خواهید سیم‌کشی و لوله‌کشی آن ساختمان را تصور کنید باید تاریخچه‌ی آن را بدانید و این‌که چگونه برای هر نسل تازه‌ای از پژوهشگران، بازسازی شده است. هم‌چنین سر هم تاریخچه‌ای طولانی دارد و این تاریخچه پیچیدگی‌های عصب‌هایی نظیر صورت و سه‌قلو را توضیح می‌دهد.

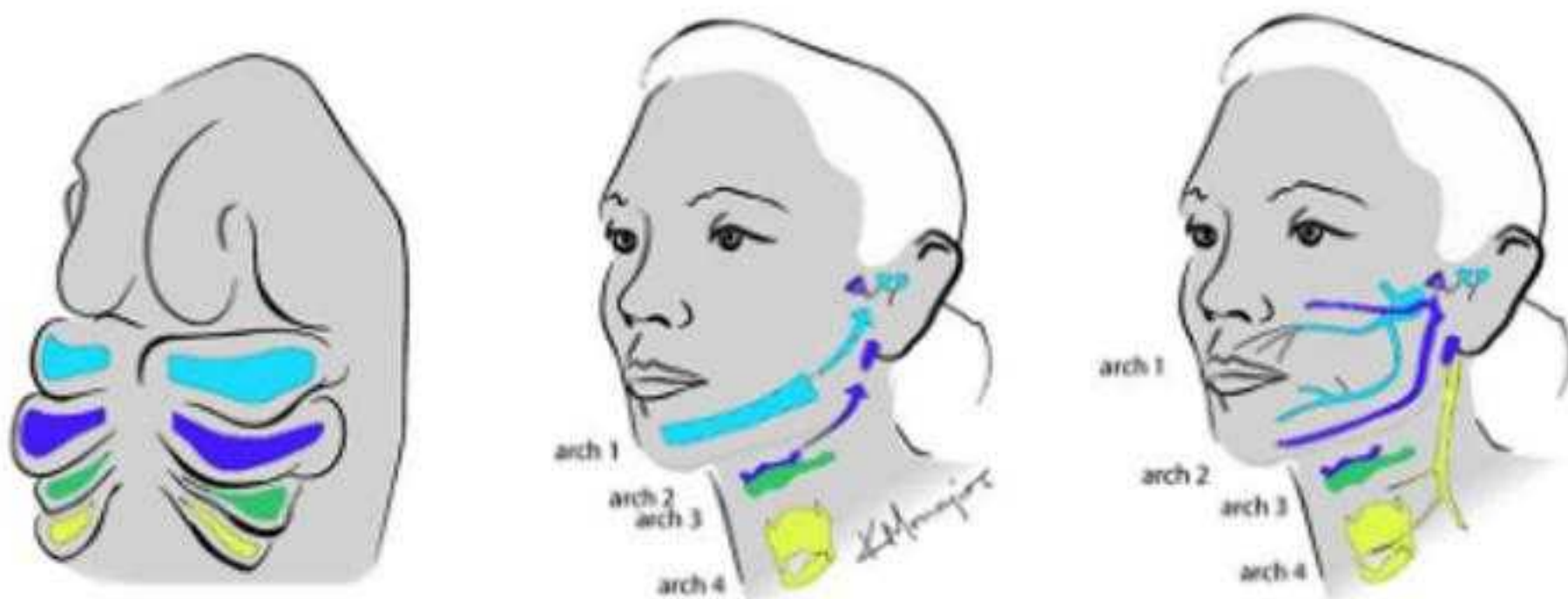
داستان این تاریخچه برای ما، با بررسی تخم‌های لقاح‌یافته آغاز می‌شود.

ماهیت جنین‌ها

تکوین سر در جنین انسان.

زندگی هیچ موجودی با پیدایش سر آغاز نشده است؛ اسپرم و تخمک با هم ترکیب می‌شوند تا سلولی منفرد بسازند. به فاصله‌ی سه هفته پس از زمان تلقیح، یک سلول منفرد به یک توده‌ی سلولی تبدیل می‌شود. سپس سلول‌ها منظرهای شبیه کندوی زنبور پیدا می‌کنند، در ادامه به چیز مبهم لوله‌مانندی مبدل می‌شوند که شامل انواع گوناگونی از بافت‌ها است. در خلال بیست‌وسومین و بیست‌وهشتمین روز پس از لقاح، انتهای جلویی لوله ضخیم می‌شود و در بالای تنه، چین‌خوردگی پیدا می‌کند؛ به این ترتیب، به‌نظر می‌رسد که جنین در رحم در موقعیت طبیعی قرار گرفته است. در این مرحله، سر شبیه کرم‌ای بزرگ است. شکل‌گیری این کره، کلید اساسی در شکل‌گیری و سازمان‌دهی اولیه‌ی آن است.

چهار برآمدگی بسیار کوچک در اطراف قسمتی، که قرار است گلو باشد، رشد می‌کند. حدوداً در طول هفته‌ی سوم، ما شاهد دوتای اول هستیم؛ دوتای دیگر هم چهار روز بعد پدیدار می‌شوند. هر برآمدگی در سطح کاملاً کوچک به‌نظر می‌رسد؛ حبابی ساده، که از برآمدگی کناری‌اش با یک چین‌خوردگی جزئی جدا شده است. وقتی شما آن‌چه را که درباره‌ی حباب‌ها و چین‌خوردگی‌ها روی می‌دهد دنبال می‌کنید، متوجه نظم و زیبایی سر، از جمله عصب‌های سه قلو و صورت، می‌شوید.



اگر ما کمان‌های آهشی را از دوران جنینی تا بلوغ دنبال کنیم، در حقیقت می‌توانیم منشأ فک، گوش‌ها، حنجره و گلو را تعقیب کنیم. استخوان‌ها، ماهیچه‌ها، عصب‌ها و رگ‌ها، همه درون این کمان آهشی تکوین می‌یابند.

برخی سلول‌های درون هر جناب، که به کمان‌ها موسوم‌اند، بافت استخوانی و بقیه ماهیچه‌ها و رگ‌های خونی را شکل خواهند داد. ترکیب پیچیده‌ای از سلول‌ها درون هر کمان وجود دارد: برخی سلول‌ها دقیقاً همان‌جا تقسیم می‌شوند درحالی‌که بقیه، مسیر طولانی را برای ورود به کمان طی می‌کنند. وقتی که سلول‌های درون هر کمان را بر حسب این‌که در هنگام بلوغ به چه چیزی تبدیل می‌شوند شناسایی می‌کنیم، کم‌کم مسائل شروع به روشن شدن می‌کنند.

در نهایت، بافت‌های کمانی اول، فک بالایی و پایینی، دو استخوان کوچک گوش (چکشی و سندان) و همه‌ی رگ‌ها و ماهیچه‌هایی را، که آن‌ها را تغذیه می‌کنند، شکل می‌دهد. دومین کمان، سومین استخوان کوچک گوش (استخوان رکابی)، یک استخوان کوچک حلق و بیشتر ماهیچه‌هایی را، که حالات چهره را کنترل می‌کنند تشکیل می‌دهد و سومین کمان، استخوان‌ها، ماهیچه‌ها و عصب‌های عمیق‌تر در گلو را می‌سازد که ما از آن‌ها برای بلعیدن استفاده می‌کنیم. سرانجام، چهارمین کمان، عمیق‌ترین قسمت حلق ما را ایجاد می‌کند که شامل بخش‌هایی از حنجره، ماهیچه‌ها و رگ‌هایی می‌شود که در اطرافش هستند و به عملکرد آن کمک می‌کنند.

تکوین کمان‌های
سر و دندان‌های
مهم‌ود در دهان
بلین

اگر شما خود را به اندازه‌ی سر یک سوزن کوچک می‌کردید و به‌درون دهان جنین در حال تکوین سفر می‌کردید می‌توانستید چهار دندان را ببینید که با هریک از برآمدگی‌ها معادل‌اند؛ همانند کمان‌های خارجی، سلول‌های روی این دندان‌ها، ساختارهای مهمی را شکل می‌دهند. یکی از این چهار دندان طویل می‌شوند و در نتیجه شیپور استاش و تعداد دیگری از ساختارهای درون گوش را تشکیل می‌دهد. دومین دندان حفره‌ای ایجاد می‌کند که لوزه‌های ما را در خود جای می‌دهد. سومین و چهارمین آن‌ها مسئول تشکیل غدد مهمی مثل پاراتیروئید، تیموس و تیروئید هستند.

آنچه که من به شما نشان دادم یکی از شگردهای مهم برای درک پیچیده‌ترین‌های مسائل مجموعه‌ای و بخش عمده‌ی سر است.

علت انشعابات وقتی به عصب سه‌قلو فکر می‌کنید، به نخستین کمان فکر کرده‌اید. عصب صورت، دومین **پیچیده‌ی عصب** کمان است. علت این که عصب سه‌قلو هم به فک‌ها و هم به گوش‌ها رفته این است که تمام ساختارهایی که این عصب آن‌ها را پشتیبانی می‌کند در اصل در کمان اول تکوین یافته‌اند. همین موضوع در رابطه با عصب صورت و کمان دوم صدق می‌کند. چه عمل مشترکی بین ماهیچه‌های حالت‌دهنده‌ی چهره با ماهیچه‌های درون گوش وجود دارد که عصب صورت آن را پشتیبانی می‌کند؟ این‌ها همه مشتقات کمان دوم هستند، با نگاهی به عصب‌های کمان‌های سوم و چهارم، متوجه می‌شویم مسیرهای پیچیده‌ی همه‌ی آن‌ها به این حقیقت مربوط می‌شود که آن‌ها ساختارهایی را، که از کمان‌های مربوط به خودشان به وجود می‌آیند، را کنترل می‌کنند. در میان عصب‌های کمان سوم و چهارم، عصب زبانی - حلقی و عصب ریوی - معدی از الگوی مشابهی پیروی می‌کنند؛ به طوری که هریک به ساختارهایی می‌روند که از کمان مرتبط با خودشان تکوین یافته‌اند.

این طرح و الگو بنیادی سر به ما کمک می‌کند تا یکی از تئوری‌های غیرواقعی و مشکوک در آناتومی را درک کنیم. داستان این گونه است که سال ۱۸۲۰، هنگامی که یوهان گوته (Johann Goethe) در گورستان یهودی ونیز^۱ قدم می‌زد، ناگهان متوجه اسکلت متلاشی‌شده‌ی یک قوچ شد. مهره‌های حیوان به وضوح دیده می‌شدند و در بالای آن‌ها مجموعه‌ای آسیب‌دیده قرار داشت. گوته، در چشم بر هم زدنی، با دیدن شکستگی‌های مجموعه آن را شبیه به ستون مهره‌ای آشفته و درهم تصور کرد! پس از آن، او به طرح مهمی اشاره کرد: سر، از مهره‌هایی که با یکدیگر ادغام شده و برای نگه‌داشتن سر و اندام‌های حسی ما تغییر یافته‌اند، تشکیل شده است. این نگرش، طرز فکری انقلابی بود، زیرا سر و بدن را دو نسخه‌ی متفاوت از یک طرح بنیادین می‌دانست. این اندیشه در اوایل قرن نوزدهم بسیار رایج شد؛ زیرا از آن زمان به بعد، بقیه‌ی افراد، که در میان آن‌ها می‌توان به لورنس اوکن (Lorenz Oken) اشاره کرد، نیز اندیشه‌ی یکسانی در موضوعات مشابه داشتند.

پیکر بندی گوته و اوکن هر دو به گنج باارزشی رسیده بودند، گرچه در آن دوران متوجه آن نشدند. بدن **قطعه‌قطعه‌ی بدن** ما بخش‌بندی شده و این الگو در ستون فقرات ما به وضوح دیده می‌شود. هریک از مهره‌های ستون فقرات واحدهایی‌اند که قسمتی از بدن ما را نمایش می‌دهند. سازمان‌دهی دستگاه عصبی ما نیز بخش‌بندی است و شباهت بسیاری با الگوی مهره‌ها دارد. رشته‌های عصبی برای پشتیبانی بدن از نخاع خارج می‌شوند.

این پیکربندی قطعه‌قطعه هنگامی که شما به سطوح مختلف نخاع، که با هر یک از بخش‌های بدن در ارتباط است، نگاه می‌کنید کاملاً واضح است. برای نمونه، ماهیچه‌های پاهای ما را عصب‌های موجود در قسمت‌های

پایین تر طناب عصبی هدایت و تأمین می کنند، در حالی که عصب های پشتیبان دست های ما در قسمت های بالاتر آن قرار دارند. ممکن است سر این طور به نظر نرسد، اما آن نیز واجد طرح قطعه قطعه ای بسیار عمیقی است! کمان های ما قطعات و بخش های استخوان ها، ماهیچه ها، رگ ها و عصب ها را تعیین می کند. اگر به انسان بالغ نگاه کنید، این طرح را نخواهید دید. فقط در جنین شاهد آن هستیم.

جمجمه ای ما همه ی شواهد مبتنی بر قطعه قطعه بودن خود را هنگام گذر از مرحله ی جنینی به بلوغ از دست می دهد. استخوان های صفحه مانند جمجمه ای ما، که توسط کمان های آبششی، ماهیچه ها، عصب ها و رگ های ویژه شکل گرفته و تمام آن ها طرح قطعه بندی ساده تری در مراحل اولیه داشته اند، برای ساخت سر دوران بلوغ ما از نو طراحی شده اند.

داشتن اطلاعاتی درباره ی تکوین، در پیش بینی محل نقص در کودکانی که با مشکلات مادرزادی معینی به دنیا می آیند، کمک می کند. برای نمونه، کودکانی که با سندروم کمان اول متولد می شوند دارای فک بسیار کوچک و گوش هایی بدون عملکرد صحیح - فاقد استخوان چکشی و سندان - هستند. در اصل قطعات گم شده ساختارهایی اند که معمولاً از کمان اول به وجود می آیند.

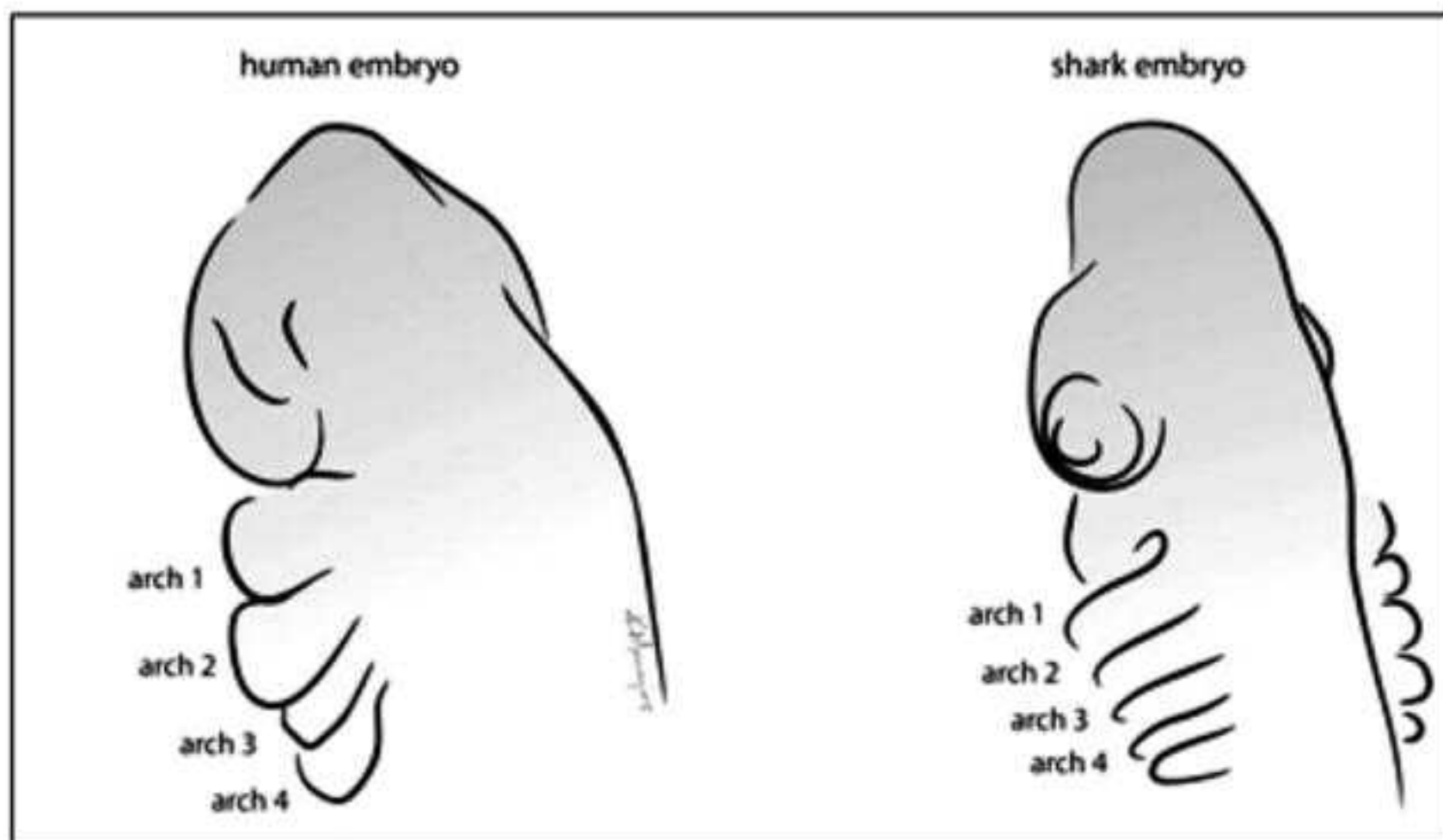
کمان ها نقشه ی راهنما برای بخش قابل توجهی از قسمت اصلی جمجمه اند؛ از پیچیده ترین عصب های جمجمه ای گرفته تا ماهیچه ها، رگ ها، استخوان ها و غدد درونی مان. کمان ها همچنین برای موارد دیگری نیز راهنما هستند: پیوند عمیق ما با کوسه ها!

کوسه ی درونی ما

لطیفه ی خیلی مشهوری درباره ی وکلا وجود دارد که می گوید آن ها نوع خاصی از کوسه های بسیار گرسنه اند! حین تدریس دوره ی جنین شناسی، هنگام شنیدن یکی از همین جک های رایج تکراری، به یاد آوردم که این لطیفه شامل همه ی ما می شود. ما همه کوسه های اصلاح شده هستیم؛ یا بامزه تر از آن، یک وکیل درون هریک از ما وجود دارد!

شباهت کمان های	همان طوری که شاهد بودیم، بیشتر اسرار درون سر در کمان ها واقع است؛ فرورفتگی هایی
سر ما و شکاف	که به نوعی نقشه ی راهنمای اعصاب پیچیده ی جمجمه ای و کلید ساختارهای درونی سر
آبششی ما می ها و	به شمار می روند. این برآمدگی ها و فرورفتگی های به نظر ناچیز تخیلات آناتومیست ها را ۱۵۰
کوسه ها	سال اسیر خود کرده بود، چرا که بسیار شبیه شکاف آبششی نواحی گلو در ماهی ها و کوسه ها
	هستند.

جنین ماهی ها نیز چنین برآمدگی ها و فرورفتگی هایی دارند. در ماهی ها، فرورفتگی ها نهایتاً باز می شوند تا فضای بین آبشش ها را، همان قسمتی که آب در آن جا جریان دارد، بسازند. در ما، این فرورفتگی ها مسدود می شوند. در موارد غیر عادی، شکاف آبششی نمی تواند بسته شود و باز باقی می ماند؛ درست مانند یک کیف یا کیسه ی کوچک.



تاجیهی آبششی در انسان و کوسه‌ی در حال تکوین، انسان و کوسه در مراحل اولیه رشد، کاملاً شبیه به یکدیگرند.

به عنوان مثال کیسه‌ی تنفسی، اغلب کیسه‌ای بی خطر مملو از آب است که در کیسه‌ی گشادی درون گردن شکل می‌گیرد؛ این کیسه به علت نقص کمان سوم یا چهارم در بسته شدن به وجود آمده است. به ندرت، کودکانی با بقایای قابل مشاهده‌ی یک کمان آبششی غضروفی باستانی به دنیا می‌آیند! میله‌ی کوچکی که نشان‌دهنده‌ی میله‌ای آبششی از کمان سوم است. در چنین مواقعی همکاران جراح من، روی یک ماهی درونی جراحی می‌کنند که متأسفانه بازگشته است که ما را گاز بگیرد!

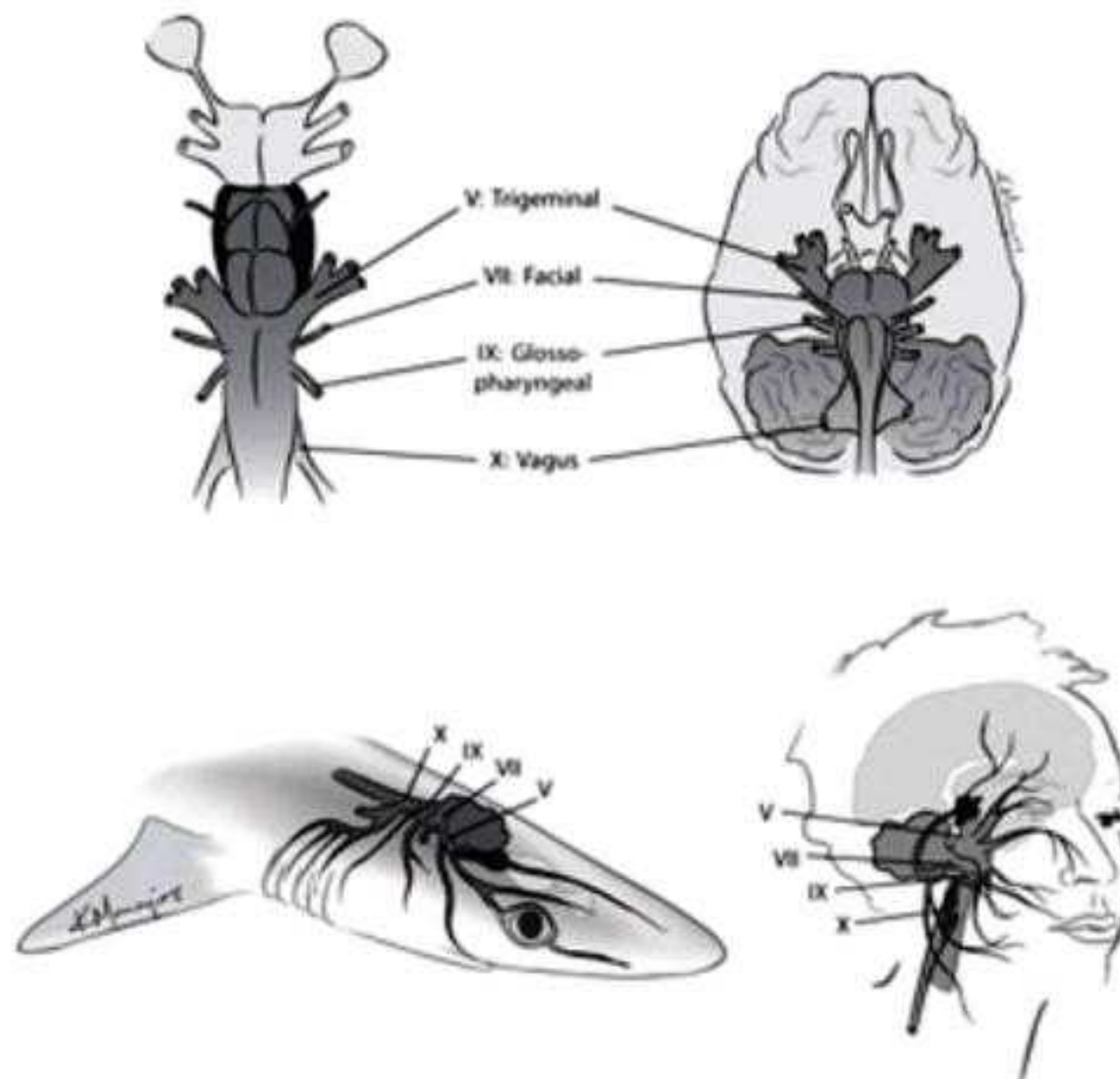
تکوین سر در همه‌ی جانوران، از کوسه تا انسان، در این چهار کمان مشترک است. تفاوت داستان در این است که درون هر کمان چه اتفاقی می‌افتد. اکنون ما می‌توانیم مقایسه‌ی نقطه به نقطه‌ای بین سر خودمان و سر کوسه‌ها انجام دهیم.

به کمان اول در انسان و کوسه بنگرید؛ وضعیت یکسانی می‌بینید: فک‌ها. تفاوت اصلی این است که کمان اول انسان برخی از استخوان‌های گوش را هم ایجاد می‌کند، در حالی که در کوسه‌ها شاهد آن نیستیم. شگفت‌آور نیست که عصب جمجمه‌ای، که فک‌های انسان و کوسه را تغذیه می‌کند، همان عصب کمان اول یا عصب سه قلو است.

سلول‌های درون کمان دوم آبششی تقسیم می‌شوند، تغییر می‌یابند و رشد می‌کنند تا تبدیل به میله‌ای از جنس غضروف و ماهیچه شوند. در انسان، میله‌ی غضروفی تجزیه می‌شود تا یکی از سه استخوان گوش میانی ما (استخوان رکابی) و استخوان‌های کوچک دیگر در پایه‌ی سر و گلو را بسازد. یکی از این استخوان‌ها، که به آن استخوان لامی^۱ می‌گویند، در عمل بلع به ما کمک می‌کند. قورت بدهید، به موزیک گوش کنید و از ساختارهایی که از کمان دوم شما تشکیل شده‌اند، سپاسگزار باشید!

در کوسه‌ها، میله‌ی کمان دوم تجزیه می‌شود تا دو استخوانی را، فک‌ها را نگه می‌دارند، شکل بدهد: استخوان پایینی که با استخوان لامی ما مقایسه می‌شود و استخوان بالایی که فک بالایی را حمایت می‌کند. اگر شما تا به حال کوسه‌ی سفید بزرگی را که در تلاش برای بلعیدن یا تکه‌تکه کردن طعمه‌ی خود است دیده باشید - مثل غواصی که داخل قفسی به نظاره‌ی کوسه نشسته است - احتمالاً متوجه شده‌اید هم‌چنان که کوسه طعمه را گاز می‌گیرد، فک بالایی قادر به انقباض و انقباض است. استخوان بالایی کمان دوم قسمتی از سیستم اهرمی استخوان‌هایی است که می‌چرخد تا بلع را امکان‌پذیر سازد. استخوان بالایی از جهت دیگری هم جالب‌توجه است: این استخوان قابل‌قیاس با یکی از استخوان‌ها در گوش میانی ما است: استخوان رکابی. استخوانی که فک بالا و پایین کوسه را نگه می‌دارد به ما در عمل بلع و شنیدن کمک می‌کند!

در رابطه با کمان‌های سوم و چهارم دریافتیم که بسیاری از ساختارهایی که ما برای صحبت کردن و بلع از آن‌ها استفاده می‌کنیم، در کوسه‌ها بخشی از بافت‌هایی هستند که آبشش‌ها را پشتیبانی می‌کنند. ماهیچه‌ها و عصب‌های مجموعه‌ای، که ما برای صحبت کردن و بلعیدن از آن‌ها استفاده می‌کنیم، در ماهی‌ها و کوسه‌ها تبدیل به دستگاه تنفسی شده‌اند! ممکن است سر ما در ظاهر به‌طورز باورنکردنی پیچیده به‌نظر آید، اما در واقع از طرحی ساده و ظریف ساخته شده است. یک الگوی مشترک برای همه‌ی مجموعه‌های روی زمین، خواه متعلق به کوسه باشد یا ماهی استخوان‌دار یا سمندر یا



در نگاه نخست، عصب‌های مجموعه‌ای ما (پایین، راست) متفاوت از عصب‌های مجموعه‌ای در کوسه‌ها به‌نظر می‌رسند (پایین، چپ). اما اگر دقیق‌تر بنگریم متوجه شباهتی عمیق بین آن دو می‌شوید. به‌طور بالقوه، همه‌ی عصب‌های ما در کوسه‌ها وجود دارند. شباهت‌ها باز هم عمیق‌تر می‌شوند: عصب‌های چهارم در کوسه‌ها و اسلن‌ها ساختار یکسانی را پشتیبانی می‌کنند؛ حتی آن‌ها با ترکیب مشابهی از مغز خارج می‌شوند (بالا، راست و چپ).

انسان، وجود دارد، این کشف، زمانی که آناتومیست‌ها جنین‌های انواع مختلفی از گونه‌ها را زیر میکروسکوپ مشاهده می‌کردند، دست‌آوردی عمده برای علم آناتومی قرن نوزدهم به‌شمار می‌آمد. اول‌بار در سال ۱۸۷۲، آناتومیست فرانسوی، میتلند بلفو (Maitland Balfour)، در آکسفورد، هنگامی که به‌بررسی کوسه‌ها، برآمدگی‌های کمان‌های آبششی و ساختارهای درونی آن‌ها می‌پرداخت، طرح بنیادی سر را مشاهده کرد. متأسفانه، او درحالی‌که تازه در دهه‌ی سوم زندگی‌اش بود در یک سانحه‌ی کوهنوردی در آلپ سوئیس جان باخت.

ژن‌های کمان آبششی

در طول سه هفته‌ی اول پس از لقاح تخمک و تشکیل تخم، همه‌ی ژن‌ها در کمان‌های ششی و همه‌ی بافت‌هایی که در آینده مغز ما خواهند شد روشن و خاموش می‌شوند. این ژن‌ها سلول‌ها را به‌سمت ساخت قسمت‌های مختلفی از سر ما سوق می‌دهند. فکر می‌کنم هر منطقه از سر ما دست‌آورد یک آدرس ژنتیکی ویژه است که آن را متمایز می‌سازد. تغییر و دستکاری این آدرس‌های ژنتیکی ما را قادر می‌کند انواع ساختارهایی که در آن‌جا تکوین می‌یابند را دست‌کاری کنیم.

به عنوان مثال، ژنی معروف به اُ تی ایکس^۱ در منطقه‌ی جلویی، جایی که نخستین کمان آبششی شکل می‌گیرد، فعال است. پشت آن، به‌سمت پشت سر، شماری از ژن‌های موسوم به هاکس^۲ فعالند. هر کمان آبششی ترکیب متفاوتی از ژن فعال هاکس را در خود دارد. با این اطلاعات می‌توانیم نقشه‌ی ژنتیکی کمان‌های آبششی‌مان و ترکیب ژن‌های فعال در ساخت هریک را بدانیم.

حالا می‌توانیم آزمایش‌های جالبی انجام بدهیم: آدرس ژنتیکی یک کمان آبششی را به دیگری تغییر بدهیم. جنین قورباغه‌ای را بردارید، برخی ژن‌ها را خاموش کنید، سیگنال‌های ژنتیکی اولین و دومین کمان را مشابه یکدیگر کنید؛ در نهایت به قورباغه‌ای با دو آرواره دست خواهید یافت: آرواره‌ی پایینی در محل استخوان لامی تکوین می‌یابد. این عمل نشان‌دهنده‌ی قدرت آدرس‌های ژنتیکی در ساختن کمان‌های آبششی ما است. آدرس را عوض کنید؛ این عمل منجر به تغییر ساختارهایی در کمان خواهد شد. قدرت این رویکرد این است که حالا ما قادریم آزمایش‌هایی را روی طرح اولیه انجام بدهیم: می‌توانیم با تغییر در فعالیت ژن‌های درونی، ماهیت کمان‌های آبششی را دست‌کاری ژنتیکی کنیم.

ردیابی سر: از موجودات شگفت‌انگیز بدون سر تا اجداد دارای سر ما

چرا روی قورباغه‌ها و کوسه‌ماهی‌ها مکت کردیم؟! چرا مقایسه‌ی خود را به جانوران دیگر مثل حشرات و کرم‌ها بسط ندادیم؟! حتی سؤال اساسی‌تر این‌که، چرا ما این کار را روی جانورانی که جمجمه و به‌تبع آن عصب‌های جمجمه‌ای ندارند، انجام نمی‌دهیم؟! در اصل هیچ‌یک از آن‌ها حتی استخوان هم ندارند. هنگامی که بررسی

1- Otx

2- Hox

ماهی‌ها را رها می‌کنیم تا به بررسی کرم‌ها بپردازیم، به دنیای جانوران بسیار نرم و بدون سر می‌رسیم. هرچند اگر با دقت آن‌ها را نظاره کنیم، تکه‌هایی از خودمان، درون همین موجودات هم واقع شده است!

بعضی از ما اساتید، که به دانشجویان دوره‌ی لیسانس آناتومی مقایسه‌ای تدریس می‌کنیم، معمولاً درس را با نمایش اسلایدهایی از آمفیوکسوس^۱ آغاز می‌کنیم. هر سپتامبر، صدها اسلاید آمفیوکسوس روی صفحه‌نمایش‌ها در سالن‌های سخنرانی در دانشگاه‌هایی از ایالت مین گرفته تا کالیفرنیا به نمایش گذاشته می‌شوند. اما چرا؟! دسته‌بندی ساده‌ی جانوران به مهره‌داران و بی‌مهرگان را به‌خاطر می‌آورید!

چرا آمفیوکسوس؟ آمفیوکسوس یک کرم است؛ یک بی‌مهره، که در بسیاری از خصوصیات با جانوران دارای ستون فقرات از قبیل ماهی‌ها، دوزیستان و پستانداران مشترک است. آمفیوکسوس ستون فقرات ندارد اما مشابه بسیاری از جانوران دارای ستون فقرات، یک طناب عصبی در امتداد پشت خود دارد. به علاوه، میله‌ای که در امتداد بدن جانور است به موازات طناب عصبی آن کشیده شده.

به این میله نوتوکورد^۲ می‌گویند، که با ماده‌ای ژلاتین‌مانندی پر شده است و موجب پشتیبانی و استحکام بدن می‌شود. به همان میزان، شاهد نوتوکورد در جنین انسان نیز هستیم. اما برخلاف غضروف آمفیوکسوس، غضروف ما تفکیک می‌شود و نهایتاً بخشی از دیسک‌های مابین مهره‌ها می‌شود. فشار واردشده به عصب‌ها یا یک مهره - به علت انجام حرکتی بیش از توان - می‌تواند دیسک و ماده‌ای ژلاتینی را، که زمانی نوتوکورد بوده، آشکارا دچار عارضه و در نهایت گسیختگی و قطع کند. وقتی دیسک ما آسیب می‌بیند، قسمت بسیار کهنی از طرح بدن ما صدمه دیده است.

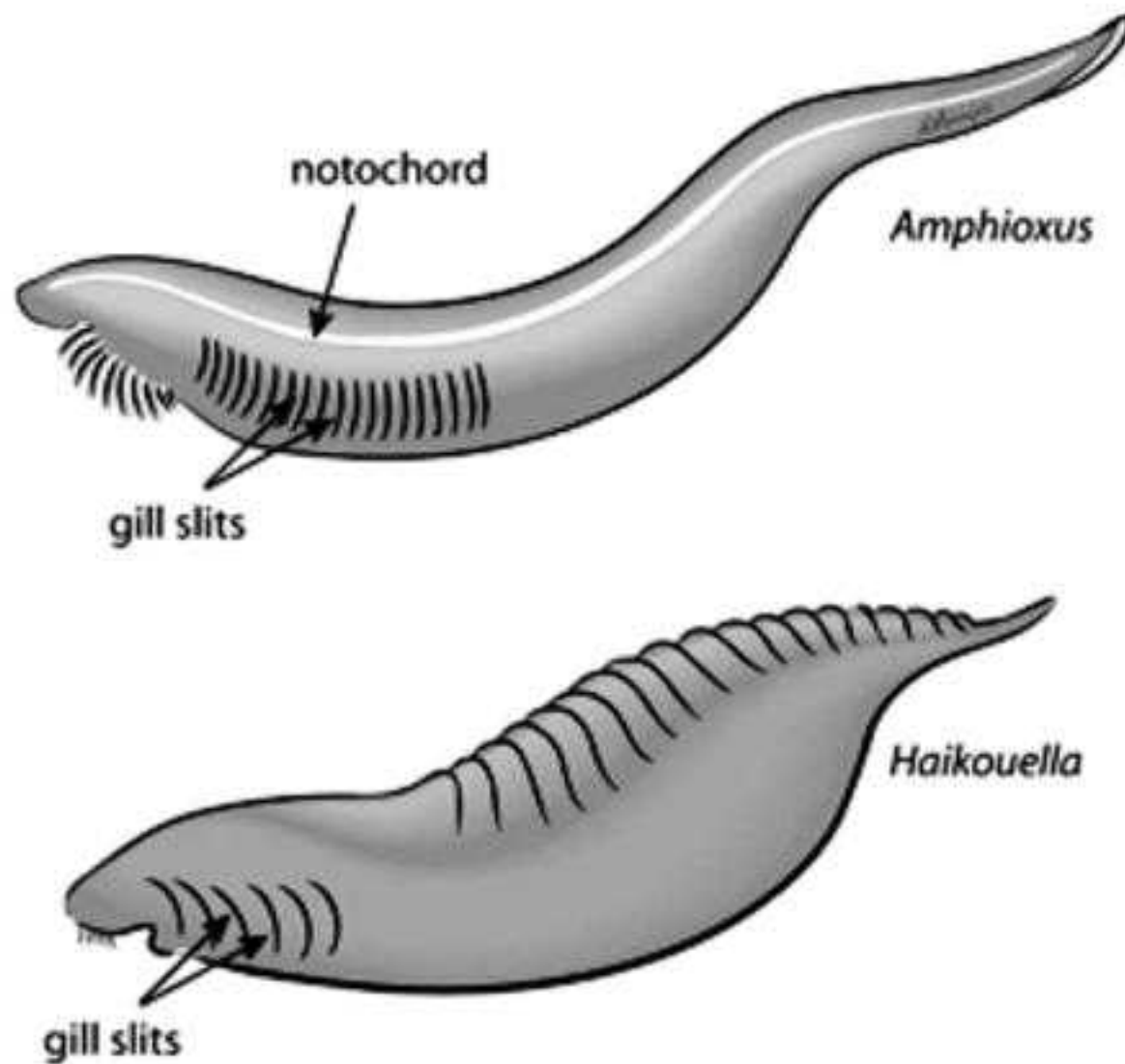
آمفیوکسوس در میان کرم‌ها منحصر به فرد نیست. یکی دیگر از بهترین نمونه‌ها کرمی موسوم به هایکولا^۳ است که هرچند امروزه دیگر در اقیانوس‌ها وجود ندارد اما می‌توان فسیل آن را در صخره‌های کهن چین و کانادا پیدا کرد. این کرم‌های ریز در رسوباتی با عمر بیش از ۵۰۰ میلیون سال یافت شده‌اند در حالی که فاقد سر، مغزهای پیچیده یا عصب‌های مجموعه‌ای هستند. ممکن است که این کرم‌ها خیلی به چشم نیایند. آن‌ها در صخره‌ها هم چون لکه‌های کوچکی به نظر می‌رسند اما سالم باقی ماندن این فسیل‌ها باورنکردنی است. هنگامی که با میکروسکوپ به این فسیل‌ها نگاهی می‌کنید، اثر محافظت‌شده‌ی زیبایی را می‌بینید که آناتومی نرمش را با جزئیات خوبی، در بعضی موارد حتی با آثاری از پوست، نشان می‌دهد.

آن‌ها هم چنین چیز شگفت‌انگیز دیگری هم نشان می‌دهند. این کرم‌ها نخستین جانوران با نوتوکورد و طناب‌های عصبی‌اند. این کرم‌ها اطلاعاتی درباره‌ی منشأ قسمت‌هایی از بدن مان را در اختیار ما می‌گذارند.

1- Amphioxus

2- Notochord

3- Haikoulla



نزدیکترین خویشاوند به جانوران دارای سر، کرم‌هایی با شکاف‌های برانشی هستند. شکل، یک آمفیوکسوس و یک فسیل بازسازی شده از کرم هایکولا را که بیش از ۵۳۰ میلیون سال قدمت دارد، نشان می‌دهد. هر دو کرم دارای نوتوکورد، یک طناب عصبی و شکاف‌های برانشی هستند. فسیل کرم از میان بیش از ۳۰۰ نمونه‌ی مجزای یافته شده از جنوب چین شناخته شد.

اما چیز دیگری وجود دارد که ما با

این کرم‌های کوچک در آن سهیم هستیم: کمان‌های آبششی. به عنوان نمونه، آمفیوکسوس دارای تعداد زیادی از آنها است و به همراه هر کمان، نوار غضروفی کوچک هم وجود دارد. نظیر غضروف‌هایی که آرواره‌ها، استخوان‌های گوش و قسمت‌هایی از حنجره‌ی ما را شکل داده‌اند، این نوارها شکاف برانشی را پشتیبانی می‌کنند. وجود و مبنای ساختاری سر ما به کرم‌ها و ارگانیسم‌هایی بازمی‌گردد که حتی سر نداشته‌اند!

آمفیوکسوس با کمان‌های آبششی چه می‌کرده است؟! آب را از میان آنها تلمبه می‌کرده تا به آرامی تکه‌های کوچک طعمه‌ی خود را تصفیه کند. ساختار پایه‌ی سر ما از ساختارهایی بسیار بدوی و پست پیدایش یافته‌اند. درست مانند دندان‌ها، زنها و اندام‌های حرکتی که اصلاح شدند و وظایف آنها برای استفاده‌های متنوع طی دوران مختلف تغییر کاربری یافتند، ساختار سر نیز مشمول این تغییر و بهینه‌سازی شده است.



نقشه‌های به‌خوبی چیده‌شده (بدن)

بدن ما بسته‌ای متشکل از دو تریلیون سلول است که به‌شکل بسیار دقیقی کنار یکدیگر جفت‌وجور شده‌اند. سلول‌ها و اندام‌های بدن سه‌بعدی ما در محل‌های مناسب‌شان قرار گرفته‌اند. سر در بالاست، طناب نخاعی در امتداد پشت، دل و روده و احشا درون قسمت شکمی جا دارند و دست‌ها و پاها در پهلوها قرار می‌گیرند. این معماری اصلی، وجه تمایز بین ما و جانوران بدوی است که به‌صورت توده‌های سلولی سازمان یافته‌اند.

همین طرح و ساختار بدنی، در جانوران دیگر نیز مشاهده می‌شود؛ مثل ماهی‌ها، سوسمارها و گاوها با بدن‌هایی که از سمت جلو-عقب، بالا-پایین و چپ-راست متقارن‌اند. همگی آن‌ها در ابتدای جلویی بدن (متناظر با بالای سر انسان) سر دارند که درون آن اندام‌های حسی و مغز قرار گرفته است. آن‌ها طناب نخاعی دارند که در پشت بدن امتداد یافته است. هم‌چنین مشابه ما، مقعد دارند که در انتهای بدن، درست در سمت مخالف دهان، قرار دارد.

سر در ابتدای جلویی، در راستایی که آن‌ها معمولاً شنا می‌کنند یا راه می‌روند، قرار دارد. همان‌طور که می‌توانید تصور کنید، طرح «مقعد جلوی بدن» نمی‌توانست کارایی خوبی داشته باشد، به‌ویژه در جانوران آبزی. هم‌چنین این نوع طرح بدنی در موقعیت‌های اجتماعی هم مسئله‌ساز می‌شد!

یافتن طرح اصلی بدن ما در جانوران بسیار ابتدایی، هم‌چون عروس دریایی^۱، دشوارتر است. عروس دریایی طرح بدنی متفاوتی دارد: سلول‌های آن بدون جلو و پشت، سر و دم، پهلوی چپ و راست درون صفحائی، که بالا و پایین دارند، سازمان یافته‌اند. ساختار بدنی عروس دریایی بسیار متفاوت از بدن ما به نظر می‌رسد. با این تفاسیر، دیگر به هیچ وجه تلاش نکنید ساختار بدن خود را با یک اسفنج مقایسه کنید! البته شما برای این تلاش مختارید، اما واقعیتی که برای درک آن کوشش کرده‌اید ممکن است بیشتر به جنبه‌های روان‌پزشکی اسفنج برسد تا جنبه‌ی کالبدشناسانه‌ی آن^۲!

برای مقایسه‌ی صحیح بین خودمان و این جانوران ابتدایی، نیاز به ابزارهایی داریم. درست مشابه سر و اندام‌های حرکتی، تاریخچه‌ی (تکاملی) ما در نحوه‌ی رشد و تکوین از سلول تخم به فردی بالغ پنهان شده است. جنین‌ها درون خود سرنخ‌هایی درباره‌ی برخی از عمیق‌ترین رازهای زندگی دارند. آن‌ها هم‌چنین توانایی نقش‌برآب کردن همه نقشه‌های من را دارند!

طرح مشترک: مقایسه‌ی جنین‌ها

من وارد مقطع فوق‌لیسانس شدم که درباره‌ی فسیل‌های پستانداران مطالعه کنم. به این ترتیب، سه سال این دوره را با انتخاب مطالعه روی ماهی‌ها و دوزیستان برای پایان‌نامه‌ام و انجام آن به پایان رساندم. دردسر من - اگر

1- Jellyfish



۲- نویسنده در قالب طنز شما را از ادامه‌ی تلاش برای یافتن شباهت میان ساختار بدنی انسان و اسفنج منصرف می‌کند، زیرا به عقیده‌ی شوبین این تلاش‌ها شاید منجر به کشف تشابه جنبه‌های روانی اسفنج‌ها و ما شود. اما یافتن طرح مشترک بدنی میان ما و اسفنج‌ها ممکن نیست!

بخواهید این نام را روی آن بگذارید - از آن جایی آغاز شد که شروع به بررسی جنین‌ها کردم! ما جنین‌های بسیاری در آزمایشگاه داشتیم؛ لارو سمندر، جنین ماهی‌ها و حتی تخم‌مرغ‌های لقاح‌شده. مثل همیشه به سرعت آن‌ها را زیر میکروسکوپ قرار می‌دادم تا ببینم درون آن‌ها چه خبر است!

جنین همه‌ی گونه‌ها شبیه به یک توده‌ی سلولی نسبتاً سفید بود که اندازه‌ای بیش از $\frac{3}{4}$ میلی‌متر نداشت. تماشای فرایند رشد و تمایز بسیار هیجان‌انگیز بود؛ همان‌طور که جنین بزرگ‌تر می‌شد، محتویات نطفه، منبع غذایی جنین، کم و کم‌تر می‌شد. معمولاً پیش از آن که محتویات نطفه به پایان برسد، جنین به‌میزان کافی رشد یافته بود که بتواند سر از تخم درآورد. مشاهده‌ی فرایند تکوین سبب وقوع دگرگونی بزرگی در من شد. رشد و تمایز از یک جنین به این سادگی - توده‌های کوچکی از سلول‌ها - شروع می‌شود و در نهایت به‌طور شگفت‌انگیزی منجر به تشکیل پرنده، قورباغه یا قزل‌آلای پیچیده با تریلیون‌ها سلول مرتب‌شده، درست در صحیح‌ترین شکل ممکن، می‌شود. اما نکته‌ی جالب‌توجه دیگری هم وجود داشت: جنین‌های ماهی‌ها، دوزیستان و پرندگان به هیچ چیز، که تا به حال در زیست‌شناسی دیده بودم، شباهت نداشتند! همه‌ی آن‌ها عموماً به این شکل بودند: سری با کمان آبششی داشتند؛ همه‌ی آن‌ها مغز کوچکی داشتند که تکوین خود را با سه برجستگی آغاز می‌کرد؛ همه‌ی آن‌ها جوانه‌های کوچک اندام‌های حرکتی

مراحل تکوین

مانند: نقطه‌ی

تشابه انکارناپذیر

مطالعه‌ی اندام‌های حرکتی آن‌ها به کار تحقیقاتی من تبدیل شد و تمرکز من در سه سال بعدی روی آن‌ها بود. بر این اساس، از مقایسه‌ی چگونگی تکوین اسکلت پرندگان، سمندر، قورباغه‌ها و لاک‌پشت‌ها دریافتم که اندام‌های حرکتی متفاوتی از قبیل بال پرندگان و پای قورباغه‌ها در مراحل تکوین خود بسیار شبیه به هم‌اند هستند. در مشاهده‌ی این جنین‌ها، متوجه یک معماری مشترک شدم. گونه‌ها در هنگام بلوغ کاملاً متفاوت به‌نظر می‌آیند، در حالی که همه‌ی آن‌ها عموماً از نقطه‌ای یکسان آغاز شده‌اند. با بررسی و مشاهده‌ی جنین‌ها، مشخص می‌شود که تفاوت میان پستانداران، پرندگان، دوزیستان و ماهی‌ها در مقایسه با شباهت‌های بنیادین‌شان آشکارا رنگ می‌بازد.

به این ترتیب بود که من کار کارل ارنست فن بائر (Karl Ernst von Baer) را فراگرفتم.

در قرن نوزدهم، بعضی از فیلسوفان طبیعی در تلاش برای یافتن طرح مشترک حیات روی کره‌ی زمین به بررسی جنین‌ها پرداختند. در میان این مشاهده‌گران، کارل ارنست فن بائر برترین بود. او در خانواده‌ای اصیل متولد شده بود و در ابتدا شروع به آموختن پزشکی کرد. استاد فن بائر به او پیشنهاد کرد که به مطالعه‌ی رشد و نمو پرندگان بپردازد و برای درک چگونگی تکوین اندام آن‌ها تلاش کند. متأسفانه، او موفق به تهیه‌ی دستگاه انکوباتور^۱ یا حتی تعداد زیادی تخم‌مرغ نشد تا بتواند آن‌ها را مطالعه و آزمایش کند و این موضوع خیلی امیدوارکننده نبود. اما خوشبختانه، او دوست ثروتمندی به نام کریستین پاندر (Christian Pander) داشت که می‌توانست حمایت

مالی این آزمایش‌ها را برعهده بگیرد.

کشف لایه‌های همان‌طور که آن‌ها جنین‌های متعدد را بررسی می‌کردند، به موضوع بنیادینی دست یافتند: سه‌گانه‌ی چلی و رده‌های اندام‌ها در پرند می‌تواند به یکی از سه لایه از بافت جنین در حال تکوین برسد. این سه عملکرد یکسان آن‌ها لایه را لایه‌های بنیادی زایشی می‌شناسیم. آن‌ها تقریباً به موقعیت افسانه‌ای دست یافتند، در تکوین همه‌ی که حتی تا امروز آن را حفظ کرده‌اند. سه لایه‌ی پاندر این ایده را به فن‌بائر داد که سوالات جانوران مهمی بپرسد. آیا این الگو در همه‌ی جانوران دیگر نیز وجود دارد؟ آیا قلب و شش و ماهیچه‌های همه‌ی جانوران از این سه لایه مشتق شده‌اند؟ و مهم‌تر از همه این‌که، آیا لایه‌های مشابه، در جانوران متفاوت، اندام‌های مشابهی به‌وجود می‌آورند؟

فن‌بائر، سه لایه‌ی پاندر در جنین پرند را با هر موجود دیگری، که به دستش می‌رسید، مثل ماهی‌ها، دوزیستان و پستانداران مقایسه کرد. بله، اندام‌های همه‌ی جانوران از یکی از این سه لایه منشأ گرفته‌اند. مشخصاً، این سه لایه در هر گونه‌ای ساختارهای مشابهی ایجاد می‌کنند. قلب در همه‌ی گونه‌های از جانوران از یک لایه‌ی مشابه به‌وجود می‌آید. لایه‌ی دیگر منجر به ایجاد و رشد مغز در همه‌ی جانوران می‌شود و در مورد بقیه‌ی اندام‌ها نیز به‌همین منوال. صرف‌نظر از این‌که گونه‌های مختلف جانوران در هنگام بلوغ تا چه‌اندازه متفاوت از یکدیگر به‌نظر می‌رسند، در دوران جنینی همگی آن‌ها مراحل یکسانی از تمایز و تکوین را پشت سر می‌گذارند.

برای قدردانی تمام‌عیار از اهمیت این کار، لازم است دوباره سه هفته‌ی ابتدایی دوران جنینی انسان را مرور کنیم!

سه هفته‌ی اول پس از عمل لقاح، تغییر عمده‌ای درون تخمک اتفاق می‌افتد؛ مواد ژنتیکی اسپرم و تخمک دهه‌ی پنجمی با یکدیگر ادغام شده و تخم شروع به تقسیم‌شدن می‌کند. درنهایت، یک توده‌ی سلولی شکل می‌گیرد. در انسان‌ها، پس از حدوداً پنج روز، یک سلول منفرد چهار مرتبه تقسیم می‌شود و یک توده‌ی شانزده سلولی را به‌وجود می‌آورد. این توده‌ی سلولی، که به بلاستوسیست^۱ معروف است، به بالنی پُر از مایع شباهت دارد.

یک دیواره‌ی کروی نازک از سلول‌ها، مقداری مایع را، که در مرکز آن قرار دارد، احاطه می‌کند. در این «مرحله‌ی بلاستوسیستی» هنوز طرحی از بدن دیده نمی‌شود؛ جلو و پشتی وجود ندارد و بدون شک هنوز اندام‌ها و بافت‌های گوناگون به‌وجود نیامده‌اند. در حدود ششمین روز پس از لقاح، توده‌ی سلولی به رحم مادر می‌چسبد و شروع به فرایند اتصال به آن می‌کند و به این‌ترتیب جنین می‌تواند به جریان خون مادر بپیوندد. در این مرحله هم هنوز شواهدی از طرح بدن وجود ندارد. هنوز خیلی زود است که بتوانید این توده‌ی سلولی را به یک پستاندار، خزنده یا ماهی تشبیه کنید؛ چه برسد به انسان!

اگر خوش‌شانس باشیم، توده‌ی سلولی ما در رحم مادر لانه‌گزینی می‌کند. هنگامی که بلاستوسیست در جای اشتباهی لانه‌گزینی شود - لانه‌گزینی خارج رحمی - نتیجه چه‌بسا خطرناک باشد. در حدود ۹۶ درصد از

لانه‌گزینی‌های خارج رحمی، در لوله‌ی فالوپ (شیپور رحمی)، نزدیک به جایی که عمل لقاح انجام می‌شود، رخ می‌دهند. گاهی اوقات موکوس (ماده‌ی لزج) مانع از عبور آسان بلاستوسیست به‌درون رحم می‌شود، که سبب کاشته‌شدن نامناسب جنین درون لوله‌ی فالوپ می‌شود. حاملگی خارج رحمی، اگر به‌موقع تشخیص داده و درمان نشود ممکن است باعث پارگی بافت‌های مختلف شود.

در موارد بسیار نادری، بلاستوسیست درون حفره‌ی شکمی بدن مادر قرار می‌گیرد؛ در فضایی بین روده‌ها و دیواره‌ی داخلی بدن. حتی در موارد نادرتر، بلاستوسیست در لایه‌ی خارجی مقعد یا رحم لانه‌گزینی می‌کند و جنین تا رشد کامل در آنجا می‌ماند! اگرچه این جنین‌ها را می‌توان گاهی اوقات با یک برش شکمی نجات داد، اما چنین لانه‌گزینی‌هایی معمولاً بسیار خطرناک‌اند چراکه، در مقایسه با حالت قرارگیری طبیعی درون رحم، احتمال مرگ مادر در اثر خونریزی تا ۹۰ درصد افزایش می‌یابد.

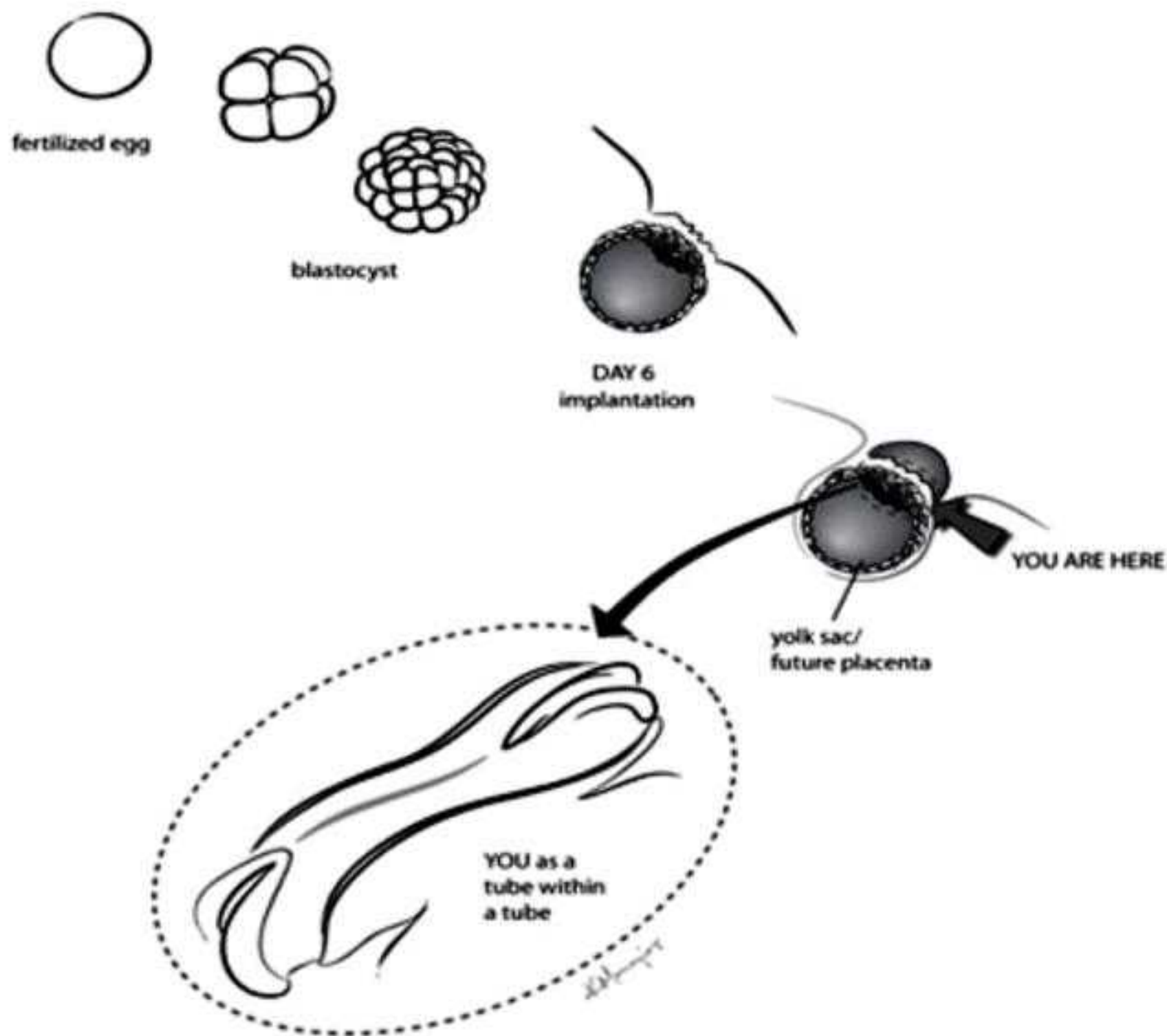
در هر صورت، ما در این مرحله از تکوین، موجودی به‌شدت کوچک و خرد هستیم. نزدیک به دو هفته پس از لقاح، بلاستوسیست درون رحم کاشته می‌شود؛ به این‌صورت که یک بخش از سلول‌ها درون دیواره‌ی رحم جاسازی می‌شود و مابقی سلول‌ها آزادند. بالونی را تصور کنید که به دیواره‌ای متصل شده و به آن فشار می‌آورد؛ این دیسک مسطح‌شده به جنین انسان تبدیل می‌شود. همه‌ی بدن ما تنها از قسمت بالایی این توده‌ی سلولی شکل می‌گیرد؛ قسمتی که به درون دیواره‌ی رحمی فشرده شده است. قسمتی از بلاستوسیست، که زیر دیسک واقع است، محتویات نطفه را پوشش می‌دهد. در این مرحله از تکوین، ما شبیه به یک فریزی^۱، هم‌چون صفحه‌ای ساده و دولایه هستیم.

چگونه این فریزی بیضی‌شکل به مدل سه‌لایه‌ی بنیادی فن‌بائر منتهی می‌شود و در ادامه به چیزی شبیه انسان مبدل می‌شود؟ ابتدا تقسیم و حرکت سلول‌ها، سبب پیچیدن بافت‌ها در همدیگر می‌شود. سرانجام همان‌گونه که بافت حرکت می‌کند و تاخوردگی می‌یابد، جنین تبدیل به یک لوله با دو برجستگی چین‌خورده، یکی در سر و دیگری در ته، می‌شود. اگر ما همین حالا خودمان را به دو قسمت مساوی برش بزنیم، با لوله‌ای درون لوله‌ی دیگر مواجه می‌شویم: لوله‌ی بیرونی دیواره‌ی بدن و لوله‌ی درونی مجرای گوارشی. یک فضای خالی، حفره‌ی شکمی آینده، دو لوله را از یکدیگر جدا می‌کند. این ساختار لوله‌ای درون لوله‌ی دیگر در همه‌ی دوران زندگی با ماست. لوله‌ی گوارشی بسیار پیچیده‌تر می‌شود و به کیسه‌ای بزرگ برای معده و روده‌ای دراز و پیچ‌و‌تاب‌خورده تمایز می‌یابد. لوله‌ی بیرونی با تشکیل مو، پوست، دنده‌ها و اندام‌های حرکتی، که به‌سمت بیرون جوانه می‌زنند، پیچیده‌تر

1- Frisbee

بشقاب‌پرنده، وسیله‌ی ورزشی و مفرحی که طرفداران بسیاری در سراسر دنیا دارد.





روزهای آغازین حیات، سه هفته پس از لقاح، ما از یک سلول منفرد، ابتدا به یک توده‌ی سلولی و سپس به یک لوله ختم می‌شویم.

می‌شود. اما الگوی اولیه هنوز وجود دارد و نمایان است! ممکن است که ما خیلی پیچیده‌تر و تمایز یافته‌تر از چیزی باشیم که در بیست و یکمین روز پس از لقاح بودیم، اما هنوز لوله‌ای درون لوله‌ی دیگر هستیم و همه‌ی اندام‌های مان از یکی از آن سه لایه‌ی بافتی، که در هفته‌ی دوم پس از لقاح آشکار شدند، مشتق می‌شوند.

نام و عملکرد سه لایه‌ی جنینی

اکتودرم، لایه‌ی درونی اندودرم و لایه‌ی میانی مزودرم. اکتودرم بیشتر قسمت‌های خارجی بدن، مانند پوست و سیستم عصبی، را ایجاد می‌کند.

اندودرم، لایه‌ی داخلی، بسیاری از ساختارهای درونی بدن، شامل مجرای گوارشی و غدد مربوط به آن، را تشکیل می‌دهد. لایه‌ی میانی، مزودرم، بافت بین مجرای گوارشی و پوست را شکل می‌دهد، که شامل بیشتر قسمت‌های اسکلت و ماهیچه‌های ما می‌شود. خواه این بدن متعلق به ماهی قزل‌آلا، پرند، قورباغه یا موش باشد، همه‌ی اندام‌ها را اندودرم، اکتودرم و مزودرم شکل می‌دهند.

فن‌بائر متوجه شد که چطور جنین‌ها الگوی بنیادین حیات را آشکار می‌سازند. او به مقایسه‌ی دو مشخصه در

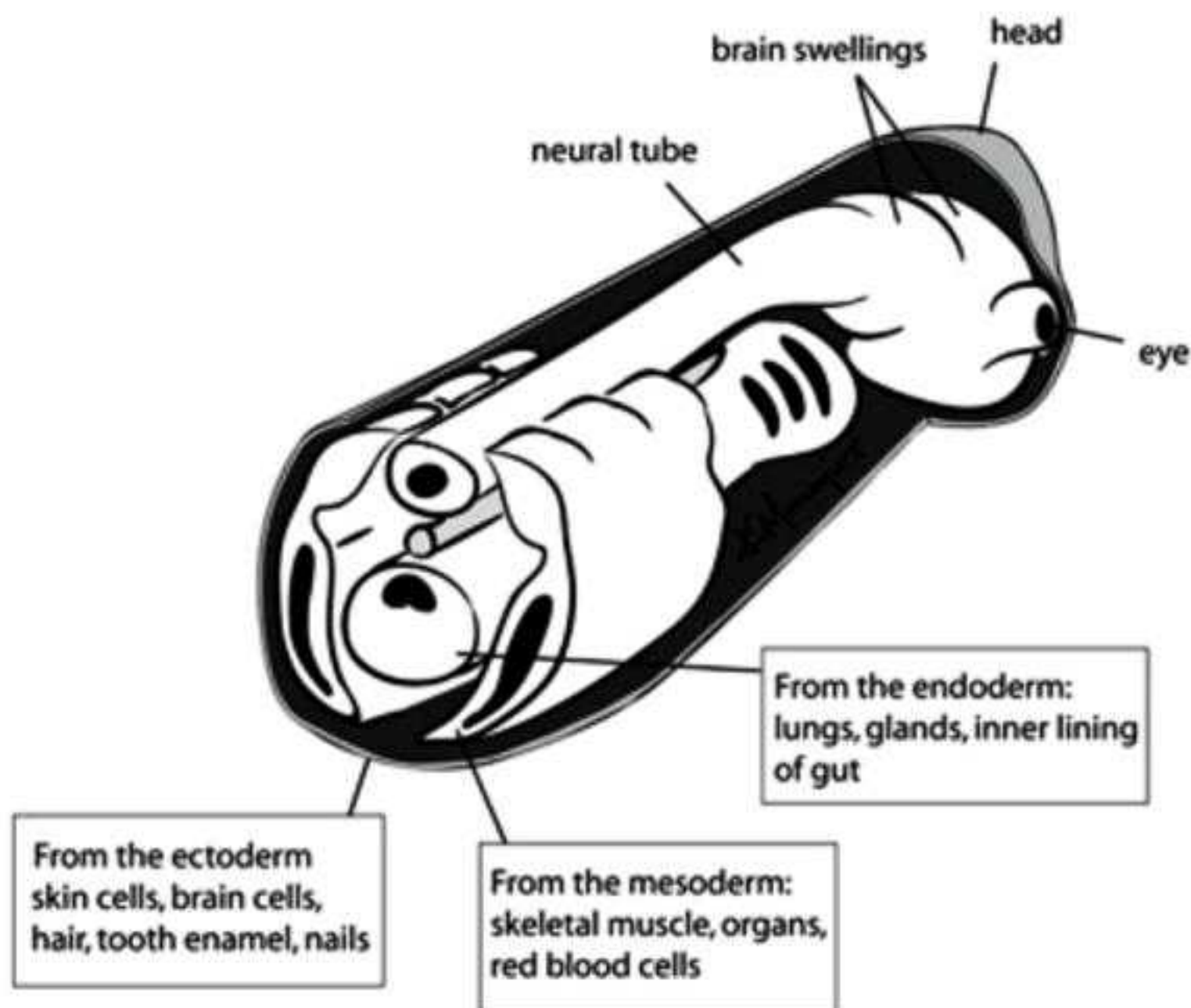
تکوین موجودات پرداخت: خصوصياتی که در همه‌ی گونه‌ها مشترک‌اند و خصوصياتی که از گونه‌ای به گونه‌ی دیگر تغییر می‌کنند. ویژگی‌هایی چون طرح «لوله‌ای درون لوله‌ی دیگر» در همه‌ی جانوران دارای ستون فقرات مشترک است: ماهی‌ها، دوزیستان، خزندگان، پرندگان و پستانداران. این ویژگی‌های مشترک تقریباً در اوایل تکوین ظاهر می‌شوند. ویژگی‌هایی که ما را متمایز می‌کنند - مغز بزرگ‌تر در انسان، کاسه‌ی محافظ در لاک‌پشت و خصوصیات منحصر به فرد در پرندگان - نسبتاً دیرتر ظاهر می‌شوند.

پارا دادیم تکرار رویکرد فن‌بائر بسیار متفاوت از طرز فکر «تکرار ویژگی‌های نژادی ضمن رشد» است که ویژگی‌های نژادی شما ممکن است در مدرسه آموخته باشید. او در مقایسه‌ی ساده‌ای بین جنین‌ها متوجه شد ضمن رشد که شباهت گونه‌های مختلف در دوران جنینی بسیار بیشتر از زمان بلوغ‌شان است. دهه‌ها بعد توسط ارنست هیکل (Ernst Haeckel) از رویکرد «تکرار ویژگی‌های نژادی طی رشد» دفاع کرد؛ وی ادعا می‌کرد که هر گونه‌ای، هم‌چنان که نمو و تکوین می‌یابد، تاریخچه‌ی تکاملی خود را دنبال می‌کند. از این رو، جنین انسان از مراحل یک ماهی، یک خزنده و یک پستاندار عبور کرده است. هیکل جنین انسان را با ماهی یا خزنده‌ای بالغ مقایسه کرد. تفاوت‌های میان تفکرات فن‌بائر و هیکل ممکن است زیرکانه به‌نظر برسد اما این گونه نیست.

در صد سال گذشته، زمان و شواهد تازه، با فن‌بائر مهربانانه رفتار کرده‌اند. در مقایسه‌ی جنین‌های یک گونه با نوع بالغ گونه‌های دیگر، هیکل سیب را با پرتغال مقایسه کرده بود. مقایسه‌ی منطقی‌تر و عقلانی‌تر این است که بتوانیم در نهایت سازوکاری را، که تکامل از آن ناشی شده است را، آشکار کنیم. بدین منظور ما جنین‌های یک گونه را با جنین‌های گونه‌ی دیگر مقایسه می‌کنیم.

جنین‌های گونه‌های متفاوت با یکدیگر کاملاً همسان نیستند، اما شباهت‌های عمیقی میان آن‌ها وجود دارد. همه‌ی آن‌ها در برخی از مراحل تکوین‌شان جنین‌های آبششی و نوتوکورد دارند و دارای الگوی «لوله‌ای درون لوله‌ی دیگر» هستند. مهم‌تر این که جنین‌هایی کاملاً متمایز، مانند جنین ماهی و جنین انسان، از دیدگاه پاندر و فن‌بائر دارای الگوی «سه لایه‌ی بنیادین» هستند. همه‌ی این مقایسه‌ها ما را به پرسشی بنیادین و مهم هدایت کرد: جنین «چگونه» می‌داند که سرش را در جلو و مقعدش را در عقب بدن به‌وجود آورد؟ چه سازوکاری تمایز و تکوین جنین را پیش می‌برد و سلول‌ها و بافت‌ها را قادر به تشکیل بدن می‌سازد؟

برای پاسخ به این سؤالات نیاز به رویکردی کاملاً جدید است. به‌جای مقایسه‌ی ساده‌ی جنین‌ها، مانند دوران فن‌بائر، مجبور به یافتن مسیری تازه برای تجزیه و تحلیل آن‌ها بودیم. آخرین سال‌های قرن نوزدهم ما را به این هدف سوق داد، چیزی که ابتدا، در فصل سوم درباره‌ی آن صحبت کردیم؛ زمانی که جنین‌ها بریده، پیوند زده و دو نیم شدند و با هر ماده‌ی شیمیایی قابل تصویری تیمار گشتند. همه‌ی این اعمال به نام علم انجام شدند.



در هفته‌ی چهارم پس از لقاح، ما لوله‌ای درون لوله‌ی دیگر هستیم و سه لایه‌ی اصلی داریم که رشد می‌کنند و همه‌ی اندام‌های ما را می‌سازند.

آزمایش روی جنین‌ها

زیست‌شناسان در آغاز قرن بیستم با پرسش‌های بنیادی راجع به بدن، دست‌به‌گریبان بودند. اطلاعات مربوط به شکل‌گیری جنین‌ها در کجای آن‌ها قرار دارد؟ آیا همه‌ی سلول‌ها واجد این اطلاعات‌اند یا این اطلاعات تنها در گروه خاصی از سلول‌ها وجود دارند؟ و این اطلاعات چه شکلی را به خود گرفته‌اند، آیا نوع خاصی از ماده‌ی شیمیایی‌اند؟!

در آغاز سال ۱۹۰۳، جنین‌شناس آلمانی هانس اسپمان (Hans Spemann) شروع به بررسی این موضوع کرد که چطور سلول‌ها می‌آموزند در طول دوره‌ی تکوین، بدن و کالبد را به‌وجود بیاورند. هدف او کشف این نکته بود که اطلاعات مربوط به ساخت بدن در کجا قرار گرفته است. سؤال اصلی پیش روی اسپمان این بود که آیا همه‌ی سلول‌ها در جنین اطلاعات کافی برای ساخت همه‌ی بدن را دارند، یا این اطلاعات محدود به قسمت‌های معینی از جنین در حال تکوین می‌شود؟

اسپمان روی تخم‌های سمندرابی، که هم راحت به‌دست می‌آمدند و هم دسترسی آن‌ها در آزمایشگاه نسبتاً آسان بود، کار می‌کرد. او آزمایش هوشمندانه‌ای طراحی کرد. برای این

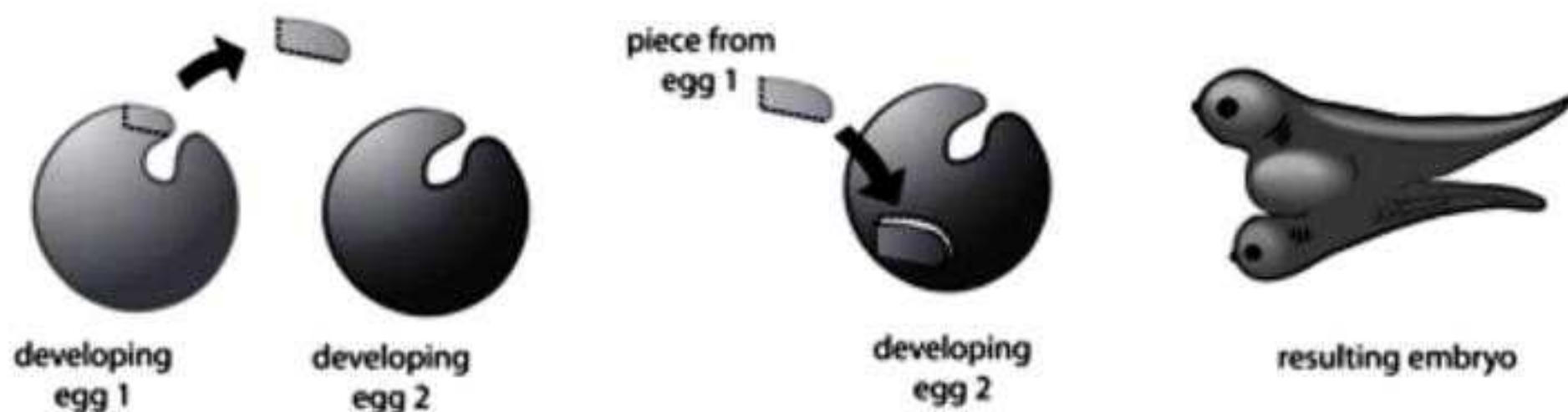
سؤال مهم اشپمان: منظور یک رشته از موهای دختر کوچک خود را برید، آن‌ها را به هم بافت و یک کمند اطلاعات مربوط به مینیاتوری ساخت. موی کودک جنس خاص و جالب توجهی دارد؛ نرم، نازک و حالت پذیر که تمایز جنین، گمای آن را برای بستن به دور کره‌ای کوچک، درست مانند تخم سمندرابی، کاملاً ایده‌آل می‌کند. سلول واقع است؟ اشپمان دقیقاً این کار را برای تخم سمندرابی در حال تکوین انجام داد و به این ترتیب قسمتی از یک تخم را از آن جدا کرد. کمی هسته‌ی آن را دستکاری کرد، سپس اجازه داد نتیجه‌ی ابتکارش تکوین یابد و به مشاهده‌ی آن چه که اتفاق می‌افتاد، پرداخت. جنین به صورت دوقلو تشکیل شد؛ دو سمندر کامل پدیدار شدند، هریک دارای بدن طبیعی و کاملاً رشد پذیر و ماندنی بودند. نتیجه روشن بود: از یک تخم می‌توان بیش از یک موجود به عمل آورد.

این همان چیزی است که آن‌را دوقلوهای همسان می‌شناسیم. به زبان زیست‌شناسی، اشپمان ثابت کرد که در یک جنین تازه شکل گرفته بعضی سلول‌ها این ظرفیت را دارند که درون خودشان یک هم‌نوع دیگر را به وجود بیاوردند. این آزمایش تازه آغازی برای مرحله‌ی جدیدی از اکتشافات بود.

کشف قطعه‌ی سم‌آمیز در دهه‌ی دوم قرن بیستم، هیلده مانگولت (Hilde Mangold)، دانشجوی لیسانس در که می‌توانست آزمایشگاه اشپمان، شروع به کار روی جنین‌های کوچکی کرد. کنترل عالی که مانگولت یک بدن کامل را روی انگشتانش داشت او را قادر به انجام دادن یک سری آزمایش‌های سخت و باورنکردنی سلامان دهی کند کرد. آن چه که مانگولت روی آن کار می‌کرد، جنین سمندر در حال تکوین به صورت کره‌ای با قطر حدود $\frac{1}{6}$ میلی‌متر بود. او تکه‌ای کوچک‌تر از یک سر سوزن از بافت را از قسمتی از جنین برید و به جنینی از گونه‌ی دیگر پیوند زد. آن چه که مانگولت پیوند زد قسمتی معمولی نبود، بلکه قسمتی از جنین بود که بیشتر سلول‌های «سه‌لایه‌ی بنیادی» را شکل می‌دادند، متحرک بودند و چین خوردگی می‌یافتند. مانگولت بسیار ماهر بود چراکه جنین پیوندی واقعاً به تکوین خود ادامه داد و این یک شگفتی خوش‌آیندی برای او بود. تکوین قطعه‌ی پیوندی منجر به ساخت کل یک بدن جدید شامل نخاع، پشت، شکم و حتی یک سر شد!

چرا این نتایج مهم‌اند؟ مانگولت قطعه‌ای کوچک از بافتی را کشف کرده بود که می‌توانست سلول‌های دیگر را به تشکیل طرح کاملی از بدن سوق بدهد. این قطعه‌ی مهم، شگفت‌انگیز و کوچک از بافت که همه‌ی این اطلاعات را در خود جای داده بود، به سازمان‌دهنده^۱ معروف شد.

یافته‌ی مانگولت، در نهایت برنده‌ی جایزه‌ی نوبل شد، اما نه برای خود او؛ هیلده مانگولت به طرز غم‌انگیزی درگذشت (اجاق گازوئیلی آشپزخانه، او را طعمه‌ی حریق کرد) پیش از آن که حتی بتواند رساله‌ی خود را منتشر کند. اشپمان برنده‌ی جایزه‌ی نوبل پزشکی در سال ۱۹۳۵ شد و جایزه به «کشف سازمان‌دهنده و تأثیر آن در تکوین



فقط با جابه‌جایی قطعه‌ای کوچک از بافتی در جنین، مانگولت یک دوقلو به‌وجود آورد.

جنینی «تعلق گرفت».

امروزه، دانشمندان بسیاری به ارزشمند بودن خدمات مانگولت، که مهم‌ترین آزمایش مستقل در زمینه‌ی جنین‌شناسی است، اذعان می‌کنند. تقریباً هم‌زمان با وقتی که مانگولت در آزمایشگاه اسپمان مشغول تحقیق بود، دبلیو. فوکت (W. Vogt) نیز در آلمان مشغول طراحی تکنیک‌های هوشمندانه‌ای برای نشانه‌گذاری سلول‌ها یا قطعاتی از آن‌ها بود. این عمل به آزمایشگر امکان می‌داد که آن‌چه را که در حین تکوین تخم روی می‌دهد مشاهده کند. فوکت قادر به ساختن نقشه‌ای از جنین شده بود که نشان می‌داد هر اندامی در آغاز در کجای تخم قرار داشته است. بدین ترتیب ما الگوی بنیادی و اولیه‌ی طرح بدن را در سلول‌های نخستین جنین نورسته مشاهده کردیم.

به کمک نخستین جنین‌شناسان، افرادی مثل فن‌بائر، پاندر، مانگولت و اسپمان، آموختیم که همه‌ی بخش‌های بدن یک انسان بالغ می‌تواند با نقشه‌های دسته‌های منحصربه‌فرد سلولی در فریزی ساده‌ی سه‌لایه‌ای شکل بگیرد و ناحیه‌ی سازمان‌دهنده - که مانگولت و اسپمان آن‌را کشف کردند - ساختار عمومی بدن را بنیان‌گذاری می‌کند.

پپر، تکه‌تکه کن، خُرد کن؛ آن‌گاه شما درخواهید یافت که همه‌ی پستانداران، پرندگان، دوزیستان و ماهی‌ها دارای مناطق سازمان‌دهنده‌اند. حتی می‌توانید گاهی سازمان‌دهنده‌ی یک گونه را با گونه‌ی دیگری عوض کنید. ناحیه‌ی سازمان‌دهنده در پرنده را بردارید و به جنین سمندر پیوند بزنید؛ یک سمندر دوقلو به‌دست می‌آورد! اما سازمان‌دهنده واقعاً چیست؟ چه چیزی درون آن، به سلول‌ها می‌گوید بدن خود را چگونه بسازند؟ پاسخ، مولکول DNA است. این قابلیت DNA است که باعث می‌شود ما دستورالعملی درونی داشته و در آن با سایر جانوران مشترک باشیم.

درباره‌ی مگس‌ها و انسان‌ها

فن‌بائر رشد و تکوین جنین‌ها را مشاهده و جنین‌های یک گونه را با گونه‌های دیگر مقایسه کرد. او متوجه طرح بنیادینی در بدن‌های به‌وجودآمده از آن‌ها شد. مانگولت و اسپمان به‌صورت فیزیکی جنین‌ها را از شکل طبیعی خارج کردند تا یاد بگیرند چگونه جنین‌ها بافت‌های بدن‌شان را می‌سازند.

جهش در مگس؛ در عصر DNA، ما می‌توانیم سوالاتی درباره‌ی با آرایش ژنتیکی خودمان به‌رسمیم. چطور
ابزاری برای کشف ژن‌های ما رشد و تکوین بافت‌ها و بدن را کنترل می‌کنند؟ اگر شما تا به حال تصور
ژن‌های سازنده‌ی می‌کردید که مگس‌ها اهمیت چندانی ندارند، به این موضوع توجه کنید: جهش‌هایی که در
طرح بدن انسان مگس‌ها اتفاق می‌افتد، سرنخ‌های مهمی درباره‌ی با ژن‌های اصلی سازنده‌ی طرح بدن، که در جنین
انسان فعال‌اند، به‌دست می‌دهند. ما از این تفکر در اکتشاف ژن‌هایی، که سازنده‌ی انگشتان
دست و پا هستند، استفاده می‌کنیم. حالا خواهیم دید که این طرز تفکر چطور درباره‌ی
روش‌های ساخت کل بدن با ما سخن می‌گوید.

مگس‌ها یک طرح بدنی دارند. آن‌ها جلو و پشت، بالا و پایین و بقیه‌ی موارد را دارند. شاخک‌ها و بال‌ها و سایر
ضمائم آن‌ها در محل مناسب‌شان روی بدن قرار گرفته‌اند؛ به‌جز مواقع نادری که ممکن است اندام‌ها در جای
مناسب‌شان نباشند. مثلاً در برخی از مگس‌های جهش‌یافته اندام‌های حرکتی از سر مگس به خارج رشد می‌کنند!
تعدادی دیگر، دارای بال‌های مضاعف و در بدن‌شان دارای قطعات اضافه‌اند. وجود این موارد در مگس‌های
جهش‌یافته است که به ما می‌گوید چرا ستون فقرات ما تغییر شکل داده و در یک انتها سر و در انتهای دیگر مقعد
را تشکیل می‌دهد.

پژوهشگران مگس‌های غیرمعمول را بیش از صدها سال بررسی کردند. انواع جهش‌یافته با نوع بخصوصی از
ناپه‌نجاری توجه ویژه‌ای را می‌طلبند. این مگس‌ها واجد اندام‌هایی در محل‌های اشتباهی - قرار گرفتن پا در محل
شاخک یا یک مجموعه‌ی اضافه از بال‌ها - یا فقدان برخی قسمت‌های بدن‌اند. در رابطه با طرح بنیادین بدن این
مگس‌ها یک آشفتگی به‌وجود آمده بود. درنهایت مشخص شد، این جهش‌ها ناشی از بروز برخی خطاها در
DNA است.

به‌خاطر داشته باشید که ژن‌ها قطعاتی از DNA هستند که روی کروموزوم‌ها قرار دارند. با استفاده از تکنیک‌های
متنوع که ما را قادر به دیدن کروموزوم‌ها می‌کند، می‌توانیم قطعه‌ای از کروموزوم را که در آن جهش رخ داده
شناسایی کنیم. در اصل، ما جمعیتی از جهش‌یافته‌ها را به‌وجود آوردیم که در آن تک‌تک افراد، دارای خطاهای
ژنتیکی را هستند؛ سپس با استفاده از مولکول‌های علامت‌دار گوناگون، ژن جهش‌یافته را با ژن انواع وحشی
(فاقد جهش و طبیعی) مقایسه کردیم. این امر به ما اجازه می‌دهد که محل دقیق قطعه‌ی کروموزومی مسئول اثر
جهش را پیدا کنیم. حاصل این پژوهش‌ها این بود که مشخص شد مگس هشت ژن دارد که مسبب ایجاد چنین
جهش‌یافته‌هایی هستند. این ژن‌ها هریک کنار دیگری و روی یک رشته‌ی بلند DNA مگس قرار گرفته‌اند.
ژن‌هایی که روی قسمت‌های سر، اثر می‌گذارند در کنار ژن‌هایی قرار دارند که روی قسمت‌های میانی بدن مگس
اثر می‌گذارند، یعنی بخشی از بدن که بال‌ها را در برمی‌گیرد. این قطعات DNA، به نوبه‌ی خود، در مجاورت
ژن‌هایی قرار دارند که تکوین قسمت پشت مگس را کنترل می‌کنند. دستورالعمل خارق‌العاده‌ای برای روشی که
ژن‌ها سازمان یافته‌اند وجود دارد: جایگاه ژن‌ها در امتداد رشته‌ی DNA، موازی با ساختار بدن، از جلو به پشت است.

اکنون چالش جدید شناسایی ساختار DNA عملاً عهده‌دار جهش بود. مایک ل‌وین (Mike Levine) و بیل مک‌گینز (Bill McGinnis) از آزمایشگاه والتر گرینگ^۱ در سوئیس و مت اسکات (Matt Scott) از آزمایشگاه تام کافمن^۲ در ایندیانا، متوجه شدند وسط هر ژن، توالی کوتاهی از DNA وجود دارد که عملاً در هر گونه‌ای که آن‌ها بررسی کردند، یکسان بود. به این توالی کوچک هومئوباکس^۳ گفته شده و به هشت ژنی که هومئوباکس را در بر می‌گیرند، ژن‌های هاکس اطلاق می‌شود.

هنگامی که دانشمندان به جستجوی این توالی ژنی در گونه‌های دیگر پرداختند، ژنی بسیار شبیه کشف کردند که شگفتی واقعی به‌شمار می‌آمد: نسخه‌هایی از ژن هاکس در هر جانوری که دارای بدن بود، وجود داشت!

نقش ژن‌های هاکس در جانوران دارای بدن
نسخه‌هایی از ژن‌های یکسان سازمان‌دهی بدن جانوران متفاوت، از مگس گرفته تا موش، را انجام می‌دهند. اگر نظم و توالی ژن‌های هاکس به‌هم بخورد، الگوی بدنی جانور نیز به‌صورت کاملاً پیش‌بینی‌پذیر آشفته خواهد شد. اگر شما مگسی به‌وجود بیاورید که یک ژن فعال در قسمت میانی بدنش خاموش شده باشد، نتیجه این خواهد بود که قسمت میانی بدن مگس از دست می‌رود یا دگرگون خواهد شد. موشی درست کنید که فاقد یکی از ژن‌های مشخص‌کننده‌ی قسمت‌های قفسه‌ی سینه باشد؛ به این ترتیب، قسمت‌هایی از پشت جانور را تغییر می‌دهید.

هم‌چنین ژن‌های هاکس قرینگی و تناسب بدن ما - اندازه‌های مناطق مختلف سر، قفسه‌ی سینه و نیم‌تنه‌ی پایینی - را موجب می‌شوند. آن‌ها در تکوین اندام‌ها، دست‌ها و پاها، اندام‌های تناسلی، دل و روده و شکمی دخالت دارند. تغییر در آن‌ها سبب وقوع تغییر در شکل‌گیری، تناسب و ترتیب قرارگیری اندام‌های بدن ما می‌شود.

انواع مختلف جانوران تعداد متفاوتی از ژن‌های هاکس دارند. مگس و سایر حشرات هشت ژن هاکس دارند، موش و سایر پستانداران دارای ۳۹ نسخه از این ژن هستند. همه‌ی ۳۹ ژن هاکس در موش نسخه‌هایی از همان ژنی‌اند که در مگس یافت می‌شود! وجود این شباهت به این تفکر منتهی شده که شمار زیاد ژن‌های هاکس پستانداران از مضاعف‌شدن ژن‌های کوچک‌تر در مگس به‌وجود آمده است. علی‌رغم این تفاوت‌ها در تعداد ژن‌ها، ژن‌های موش درست همانند ژن‌های مگس از جلو به عقب، با ترتیب و نظم بسیار دقیق، فعال‌اند.

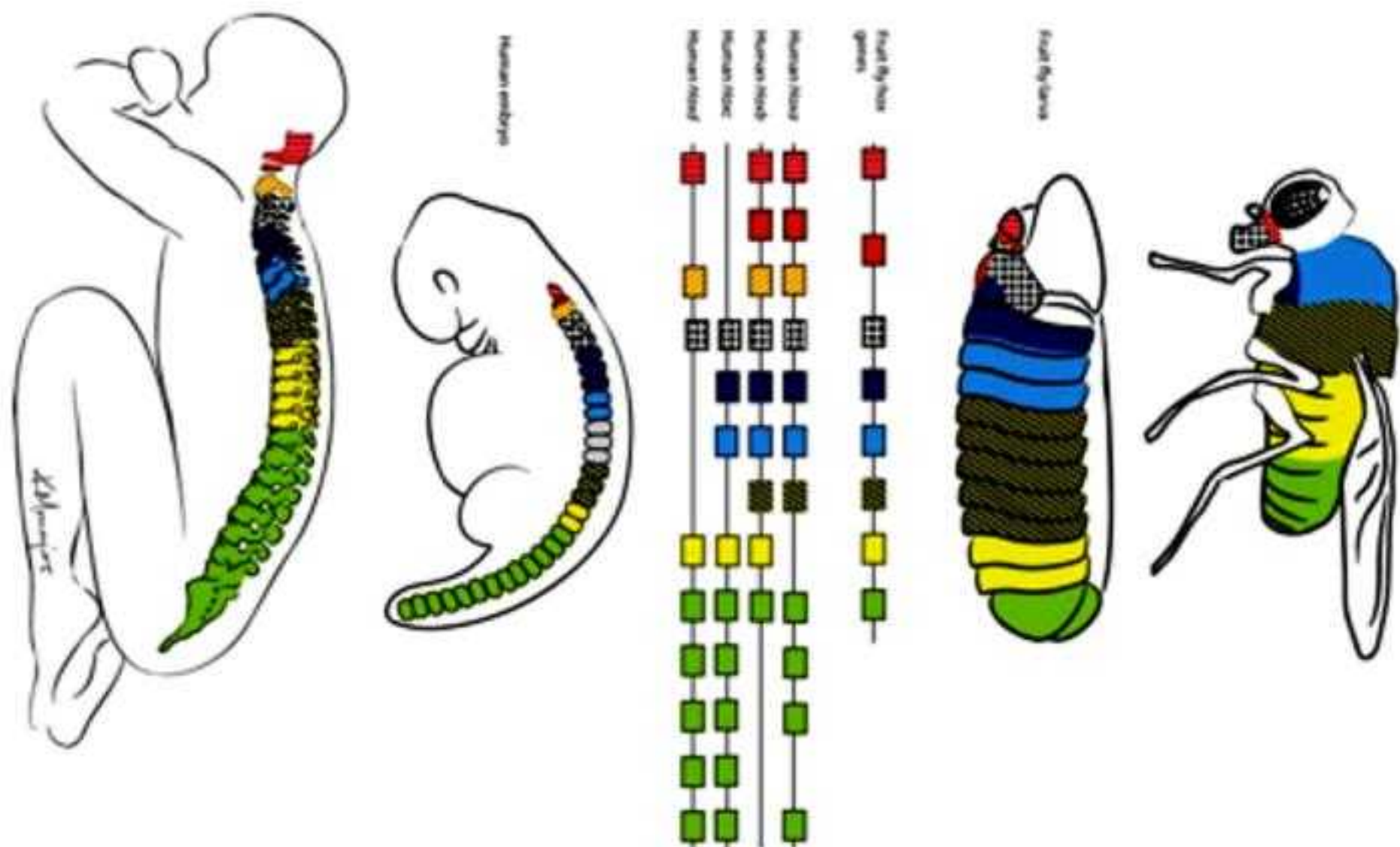
آیا این امکان وجود دارد که ما در درخت خویشاوندی^۴ (تبارنامه) خود حتی عمیق‌تر برویم و قطعات مشابهی از DNA را بیابیم که در ساخت قسمت‌های بنیادی‌تری از بدن ما دخیل‌اند؟ با کمال تعجب، جواب این سؤال مثبت است و همین امر ما را به جانورانی حتی ساده‌تر از مگس‌ها پیوند می‌زند!

1- Walter Gehring

2- Tom Kauffman

3- Homeobox

4- Family Tree



ژن هاكس در مكس و انسان، سازمان دهی از سر به ته در بدن تحت كنترل ژن های مختلف هاكس است. مكس ها مجموعه ای از هشت ژن هاكس دارند كه هر يك مانند جعبه ای كوچك، در شكل، به نمایش در آمده است. انسان ها چهار مجموعه از این ژن دارند. در مكس ها و آدم ها، فعالیت ژن ها با جایگاه آن ها در DNA مطابقت دارد؛ ژن های فعال در سر در يك انتها قرار دارند و ژن های قسمت عقبی در انتهای دیگرند؛ ژن های تأثیرگذار بر میانه ی بدن بین این دو ناحیه قرار دارند.

DNA و سازمان دهنده

زمانی كه اشپمان جایزه ی نوبل را از آن خود كرد، بحث بر سر سازمان دهنده ها بسیار داغ بود. پژوهشگران در جستجوی ماده ی شیمیایی مرموزی بودند كه می توانست همه ی طرح بدن را در خود داشته باشد. اما درست همان طور كه زمانی در فرهنگ عامه مثلاً یویوها و عروسك های خاصی مد روز می شوند و به سرعت نیز از مد می افتند، به همین شكل دنیای علم نیز دارای موضوعاتی است كه به سرعت باب می شوند و سریعاً نیز از مركز توجه جامعه ی علمی خارج می شوند. طی دهه ی ۷۰، سازمان دهنده، تنها كمی بیشتر از حس كنجكاوی یا حكایتی هوشمندانه در تاریخ جنین شناسی مورد توجه قرار گرفت؛ علت از چشم افتادنش هم این بود كه در آن زمان، هیچ كس نتوانست از مكانیسم عملکرد آن پرده بردارد.

كشــف ژن اكتشاف ژن های هاكس طی دهه ی ۸۰، باعث دگرگونی در همه چیز شد. در اوایل دهه ی
كنترل كننده ی وقتی مفهوم سازمان دهنده هنوز به طور قطع نقل مجلس دانشمندان نشده بود،
سازمان دهنده آزمایشگاه ادی د رابرتیس^۱ در دانشگاه UCLA در جستجوی ژن های هاكس در

قورباغه‌ها، از تکنیک‌هایی مشابه لوپین و مک‌گینز استفاده کرد. این تحقیقات بسیار گسترده بود و بسیاری از انواع ژن‌های متفاوت را نیز به‌دام انداخت. یکی از آن ژن‌ها، الگوی فعالیتی بسیار ویژه‌ای داشت؛ ژن مذکور درست در جایی از جنین فعال بود که سازمان‌دهنده را در برمی‌گرفت و دقیقاً در زمان بخصوصی از تکوین، فعال می‌شد.

دقیقاً می‌توانم تصور کنم که هنگام کشف این ژن چه احساسی به رابرتیس دست داد. او در جستجوی سازمان‌دهنده بود و درون سازمان‌دهنده، ژنی حضور داشت که به‌نظر می‌آمد به‌طور خاص سازمان‌دهنده را کنترل می‌کند یا با فعالیت‌های آن درون جنین ارتباط دارد! سازمان‌دهنده دوباره نقل محافل گردید.

حالا دیگر ژن‌های سازمان‌دهنده در همه‌جا در آزمایشگاه‌ها شروع به خودنمایی کردند. درحالی‌که انواع مختلفی از آزمایش‌ها انجام می‌شد، ریچارد هارلند (Richard Harland) از دانشگاه برکلی ژن دیگری کشف کرد که آن را نوژین^۱ نامید. نوژین دقیقاً همان چیزی بود که یک ژن سازمان‌دهنده باید می‌بود. هنگامی که هارلند مقداری نوژین برداشت و آن را به محل مناسبش در جنین تزریق کرد، درست عملکردی مانند سازمان‌دهنده داشت. جنین با محورهای دو بدن، با دو سر رشد کرد.

آیا ژن‌های روبرتیس و نوژین قطعه‌ای واقعی از DNA بودند که سازمان‌دهنده را تشکیل می‌دادند؟! جواب هم بله و هم نه است. بسیاری از ژن‌ها، از جمله همین دو ژن (ژن روبرتیس و نوژین)، برای تشکیل طرح بدن با یکدیگر تعامل دارند. جنین سیستم‌هایی، به این علت که ژن‌ها می‌توانند نقش‌های متفاوتی را در طول فرایند تکوین ایفا کنند، بسیار پیچیده‌اند. برای نمونه، ژن نوژین نه‌تنها در تکوین محور بدن نقش دارد بلکه در تکوین گروهی دیگر از اندام‌ها نیز نقش دارد. گذشته از این، ژن‌ها برای تعیین رفتارهای پیچیده‌ی سلولی، مشابه آن‌چه که در تکوین سر مشاهده کردیم، به‌تنهایی عمل نمی‌کنند.

شبکه‌ی گسترده‌ی ژن‌ها در همه‌ی مراحل تکوین با یکدیگر تعامل دارند. یک ژن ممکن است باعث ممانعت **ژن‌ها تنظیم‌کننده‌ی** از فعالیت یک ژن یا افزایش فعالیت ژن دیگر شود. برخی اوقات چندین ژن برای روشن یا **تکوین بدن؛** خاموش کردن یک ژن دیگر با یکدیگر همکاری می‌کنند. خوشبختانه، تجهیزات جدید به ما **مکانیسم؛ خاموش و** این امکان را می‌دهند که فعالیت هزاران ژن درون یک سلول را هم‌زمان مطالعه کنیم. **روشن شدن متوالی.** پیوستن این تکنولوژی با متدهای جدید مبتنی بر استفاده از کامپیوتر برای تفسیر عملکرد ژن، باعث می‌شود که ما پتانسیل بالایی برای درک چگونگی ساخت سلول‌ها، بافت‌ها و کل بدن به‌وسیله ژن‌ها داشته باشیم.

درک این برهم‌کنش‌های پیچیده بین این ژن‌های القاکننده، باعث آشکارشدن سازوکار واقعی ساخت بدن می‌شود. نوژین به‌عنوان نمونه‌ای مهم به‌کار گرفته می‌شود. ژن نوژین به‌تنهایی سبب القا و حرکت هیچ سلول جنینی در حدود موقعیتش در امتداد محور عمودی (بالا - پایین) نمی‌شود بلکه به‌طور هماهنگ با چندین ژن دیگر برای

انجام این کار همکاری می کند.

یک ژن دیگر، *BMT-4*، ژن پایین دستی است؛ این ژن در سلول هایی، که نیمه ی پایین جنین یا قسمت شکمی آن را خواهند ساخت، روشن می شود. تعامل و همکاری مهمی بین *BMP-4* و نوژین وجود دارد. هر جا که نوژین فعال باشد، *BMP-4* قادر به انجام وظیفه اش نیست. نتیجه این که، نوژین به سلول ها دیکته نمی کند که در شکل «سلول های بالای بدن» رشد کنند؛ در عوض، سیگنالی را، که آن ها را مبدل به سلول های نیم تنه ی پایینی خواهد کرد، مهار می کند. این واکنش متقابل خاموش - روشن شدن در پس همه ی فرایندهای تکوین وجود دارد.

یک شقایق دریایی درونی

نقاط اشتراکی در مقایسه ی بدن ما و بدن قورباغه و ماهی مشاهده می شود. به معنای واقعی کلمه، بدن ما و آن ها بسیار شبیه به هم است: همه ی ما دارای ستون فقرات، دو پا، دو دست، یک سر و اندام هایی از این قبیل هستیم. چطور می شود اگر ما خود را با موجودی کاملاً متفاوت مقایسه کنیم. مثلاً عروس دریایی و خویشاوندانش؟!

بیشتر جانوران محور بدنی دارند که به کمک سمت حرکت شان یا از روی این که دهان و مقعد در کجا قرار گرفته است، مشخص می شود و این جانوران رابطه ی خویشاوندی با یکدیگر دارند. به این موضوع فکر کنید: دهان و مقعد ما در منتهی الیه مخالف یکدیگر قرار دارند، همان طور که در ماهی ها و حشرات است و معمولاً این جهت گیری «رو به جلو» است.

چگونه می توانیم خود را در جاندارانی مشاهده کنیم که اساساً رشته ی عصبی ندارند؟! در جانداران فاقد مقعد و دهان چطور؟! موجوداتی مانند عروس دریایی، مرجان و شقایق دریایی یک دهان دارند، اما مقعد ندارند. قسمت دهانی به عنوان جایگاه دفع ضایعات جانور نیز عمل می کند. اگر چه این آرایش عجیب و غریب ممکن است برای عروس دریایی و خویشاوندانش مناسب باشد، باعث سردرگمی زیست شناسان، هنگام تلاش برای مقایسه ی این موجودات با هر موجود دیگری، می شود.

عده ای از همکاران، از جمله مارک مارتیندیل (Mark Martindale) و جان فینرتی (John Finnerty)، دست به مطالعه و تحقیق درباره ی رشد و تکوین این گروه از جانوران زدند. شقایق های دریایی به طور جالب توجهی حاوی اطلاعات مفیدی بودند، زیرا آن ها از خویشان نزدیک عروس دریایی محسوب می شوند و دارای الگوی بدنی بسیار ابتدایی اند. هم چنین شقایق دریایی شکل بسیار غیرعادی ای دارد؛ به طوری که در نگاه نخست، بی ارزش تر از آن است که آن ها را با خودمان مقایسه کنیم!

شقایق دریایی شکلی شبیه تنه ی درخت با ریشه های بلند و کشیده و گروهی از شاخک ها در انتهای تنه اش دارد. این شکل و شمایل عجیب و غریب، شقایق دریایی را به طور ویژه ای جذاب کرده است؛ حتی جذاب تر از زمانی که این موجود می تواند جلو و عقب یا بالا و پایین داشته باشد. یک خط از دهان تا انتهای حیوان بکشید.

زیست‌شناسان این خط را «محور دهانی - مقابل دهانی»^۱ نامیدند. اما نام‌گذاری آن باعث نشد چیزی بیش از یک خط قراردادی شود. اگر چنین محوری واقعاً در کار بود، باید تکوینی شبیه به رشد هر یک از ابعاد بدن ما می‌داشت.

تشابه ژن‌های مارتیندیل و همکارانش کشف کردند که نسخه‌ی ابتدایی برخی از ژن‌های سازنده‌ی طرح سازنده‌ی طرح‌های اصلی بدن ما - آن‌هایی که محور سر به مقعد را تعیین می‌کنند - واقعاً در شقایق دریایی بدن انسان وجود دارند. مهم‌تر این‌که، این ژن‌ها در امتداد «محور دهانی - مقابل دهانی» فعال‌اند. این شقایق دریایی به‌نوبه‌ی خود به آن معناست که «محور دهانی - مقابل دهانی» این جانوران ابتدایی، از نظر ژنتیکی، معادل «محور سر به مقعد»^۲ بدن ماست.

یک محور رو به پایین و دیگری رو به جلو. آیا شقایق دریایی چیزی مشابه «محور شکم به پشت»^۳ ما دارد؟! به‌نظر نمی‌رسد که این‌طور باشد. با این وجود، مارتیندیل و همکارانش گام جسورانه‌ای برداشتند و در شقایق دریایی به جستجوی ژن‌هایی پرداختند که در بدن ما مشخص‌کننده‌ی «محور شکم به پشت» هستند.

آن‌ها فهمیدند ژن‌های ما به چه چیز شبیه‌اند و همین موضوع یک شمای کلی برای تحقیق به‌دست داد. آن‌ها نه‌تنها یک ژن، بلکه تعداد بسیاری ژن شکم به پشت در شقایق دریایی کشف کردند! اگرچه این ژن‌ها در شقایق دریایی در امتداد یک محور فعال بودند اما به‌نظر نمی‌رسید این محور، شبیه به الگوی اندام‌های هیچ جانور بالغ دیگری باشد.

این محور نامرئی، هرچه که باشد، از نمای بیرونی جانور آشکار نیست. به هر صورت، اگر ما یک شقایق دریایی را از نیمه برش بدهیم، سرنخ مهمی خواهیم یافت: یک محور تقارن دیگر که به آن محور جهت‌دهنده^۴ می‌گویند، گویی دو سمت متمایز - تقریباً چپ و راست - جانور را معین می‌کند. برای آناتومیست‌ها این محور مخفی و مبهم پیش از دهه‌ی دوم قرن بیستم شناخته شده بود، اما یک حس کنجکاوی در مطبوعات علمی باقی ماند. مارتیندیل، فینرتی و گروه آن‌ها این موضوع را تغییر دادند.

همه‌ی جانوران، در عین شباهت به یکدیگر، با هم تفاوت دارند. مانند دستور پخت کیک، که از نسلی به نسل دیگر دست‌خوش تغییرات می‌شود - با مقداری افزایش در ترکیبات دستور پخت هر کیک در هر نسل! - دستورالعمل ساخت بدن ما نیز طی میلیون‌ها سال تغییر یافته و اصلاح شده است. ممکن است ما چندان شبیه شقایق دریایی و عروس دریایی نباشیم، اما دستورالعمل ساخت بدن ما تنها نسخه‌ی پیچیده‌تری از دستورالعمل ساخت بدن شقایق دریایی و عروس دریایی است.

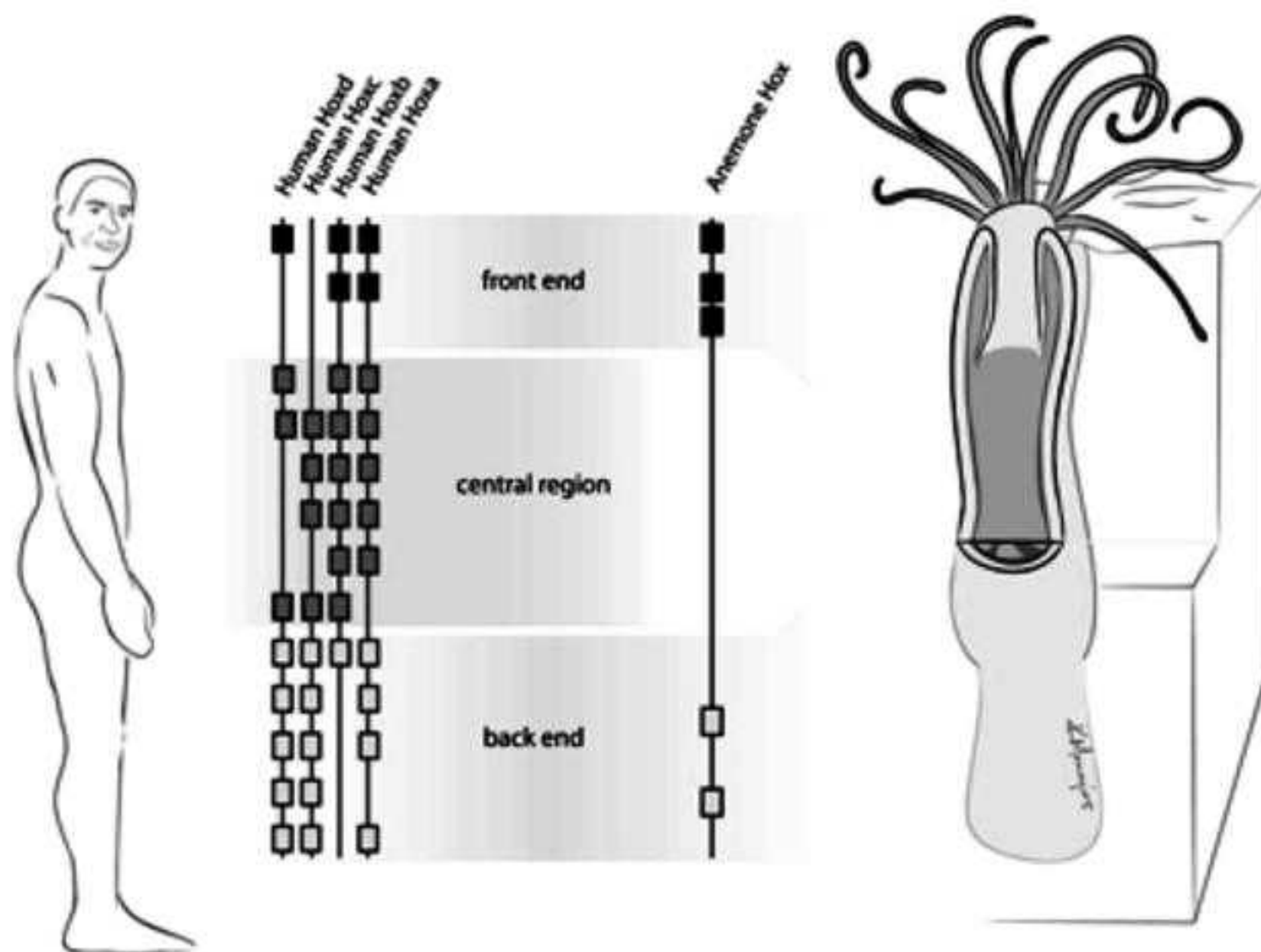
هنگامی که ژن‌های گونه‌های مختلف را با یکدیگر مبادله کردیم، شواهد قدرتمندی از وجود دستورالعمل

1- The oral-aboral axis

2- Head-to-anus axis

3- Belly-to-back axis

4- The directive axis



خوشاوندان مریوس دریایی، مثل شقایق دریایی، جلو و پشت دارند! همان طور که ما داریم. یک طرح بدنی مشترک، به وسیله ی نسخه های از ژن های یکسان، را اندازی و تنظیم می گردند.

ژنتیکی مشترکی در بدن همه ی جانوران یافتیم. چه اتفاقی می افتاد اگر می توانستیم ژن ساختمانی بدن موجودی پیچیده، همانند خودمان، را با جانوری مانند شقایق دریایی عوض کنیم؟! ژن نورین را به خاطر بیاورید، که در قورباغه، موش و انسان در جایی که به ساختارهای پشتی تکوین خواهند یافت روشن می شود.

تزریق کردن مقدار زیادی از نورین قورباغه به تخم قورباغه، باعث رشد جانور با ساختارهای اضافی پشت خواهد شد حتی در بعضی موارد این عمل منجر به ایجاد دو سر در آن می شود. در جنین شقایق دریایی نیز در یک انتهای محور جهت دهنده یک نسخه از ژن نورین روشن می شود. حالا تجربه ای بسیار ارزشمند: فراورده ی ژن نورین را از شقایق دریایی بردارید و آن را به جنین قورباغه تزریق کنید. نتیجه این که: قورباغه ای با ساختارهای اضافی در پشت به وجود می آید؛ بسیار مشابه نتیجه ای که با تزریق ژن نورین خود قورباغه به جنین آن، به دست آمده بود!

همین طور که در زمان به عقب برمی گردیم، چیزی هم چون شکافی بزرگ در مقابل خود می بایم! هر آن چه که در این فصل از آن صحبت شد، دارای بدن بود. چطور است خودمان را با جاندارانی که اصلاً بدن ندارند، مقایسه کنیم؛ مثلاً با میکروب های تک سلولی؟!



ماجراهایی در ساخت بدن

بیشتر دوره‌ی فوق لیسانسم، زمانی که در زمین‌های جمع‌آوری فسیل نبودم، در آزمایشگاه، خیره به میکروسکوپ، به دنبال درک چگونگی تجمع سلول‌های سازنده‌ی استخوان‌ها بودم. اندام حرکتی در حال تکوین سمندر و قورباغه را جدا می‌کردم و آن‌ها را به رنگ‌های ویژه‌ای درمی‌آوردم؛ غضروف در حال تکوین به رنگ آبی و استخوان‌ها به رنگ قرمز. مابقی بافت‌ها را، با تیمار اندام‌های حرکتی با گلسیرین، شفاف می‌کردم. این روشی عالی برای آماده‌سازی بود و همه‌ی استخوان‌ها جوری رنگ‌های مربوط به ماده‌ی رنگی را نشان می‌دادند که گویی جانور از شیشه ساخته شده است!

طی این ساعات طولانی کار با میکروسکوپ، شاهد شکل‌گیری جانوران بودم. جنین‌ها ابتدا جوانه‌های بسیار کوچک و باریکی از اندام‌های حرکتی داشتند، سپس سلول‌های درونی آن‌ها به‌طور یکنواخت از یکدیگر فاصله می‌گرفتند. پس از آن، در مرحله‌ی آخر، سلول‌های درون جوانه‌ی اندام حرکتی به توده‌ای سلولی تبدیل می‌شدند. سپس در جنین‌های نمو یافته‌تر، سلول‌ها شکل‌های متفاوتی می‌گرفتند و استخوان‌ها تشکیل می‌شدند؛ در واقع هریک از توده‌هایی که در مراحل اولیه مشاهده می‌کردم، به استخوان تبدیل می‌شدند.

تشابه و تفاوت‌های بدن ما و ساختمان‌های آماری

کمی دشوار است که شما جانوری را در حال شکل‌گیری و جفت و جور شدن اندام‌های بدنش مشاهده کنید و وحشت‌زده نشوید! درست مانند ساختمانی آجری، اندام حرکتی با اتصال اجزای کوچک‌تر برای تشکیل ساختاری بزرگ‌تر، شکل می‌گیرند. اما تفاوتی عمده درباره‌ی سازمان‌دهی بدن وجود دارد. ساختمان‌ها معمار و سازنده دارند؛ فردی که بی‌تردید می‌داند هریک از آجرها باید کجا قرار بگیرند؛ درحالی‌که اندام‌های حرکتی و بدن این‌طور نیستند. اطلاعات سازنده‌ی اندام‌های حرکتی در چند نقشه‌ی معماری ساده موجود نیستند؛ بلکه درون هر سلول از بدن قرار دارند. تصور کنید خانه‌ای خودبه‌خودی، از طریق اطلاعات موجود در هریک از آجرهای آن، ساخته شود؛ این حقیقت بدن است؛ بدن به‌همین شکل ساخته می‌شود.

بیشتر آن‌چه که بدن را می‌سازد، درون سلول جمع شده است؛ در واقع، بیشتر آن‌چه که ما را منحصر به فرد ساخته در آن جاست. بدن ما با بدن عروس دریایی تفاوت دارد و این تفاوت، ریشه در نحوه‌ی اتصال هر سلول به سلول دیگر، چگونگی برقراری ارتباط با یکدیگر و مواد متفاوتی که آن‌ها را می‌سازد، دارد.

پیش از آن که ما حتی می‌توانستیم «طرح بدن» داشته باشیم - چه برسد به سر، مغز یا دست - باید راهی برای ساختن آن برای بار اول وجود داشته باشد. می‌پرسید یعنی چه؟! یعنی برای ساخت همه‌ی بافت‌ها و ساختارهای بدن، سلول‌ها در ابتدا باید بدانند که چطور با یکدیگر همکاری کنند تا به‌خوبی کنار هم قرار بگیرند و یک گونه‌ی منحصربه‌فرد و کاملاً جدید را بسازند.

برای درک بهتر معنای این موضوع، ابتدا اجازه بدهید بفهمیم بدن چیست؟! سپس، بیایید سه سؤال اصلی درباره‌ی بدن‌ها بپرسیم: کی؟ چطور؟ و چرا؟ بدن‌ها کی به‌وجود آمدند، چطور به‌وجود آمدند و مهم‌تر از همه این که، اصلاً، چرا به‌وجود آمدند؟!

حکم لازم‌الاجرا: بدن را به من نشان بده!

امتیاز «بدن نامیده‌شدن» هیچ‌گاه به توده‌ای از سلول‌ها اعطا نمی‌شد. یک دسته باکتری یا یک گروه از سلول‌های پوست، آرایش کاملاً متفاوتی از سلول‌هایی که ما به آن یک فرد می‌گوییم دارند و این یک برتری واقعی است؛ آزمایشی فکری برای درک این تفاوت به ما کمک بسیاری می‌کند.

تفاوت بدن با کلونی باکتریایی اگر شما تعدادی باکتری را از یک کلونی باکتریایی جدا کنید چه روی می‌دهد؟ این کار درنهایت به کوچک‌تر شدن آن کلونی منجر می‌شود. حال به من بگویید چه اتفاقی می‌افتد اگر شما بعضی از سلول‌های انسان یا ماهی را مثلاً از مغز یا قلب آن‌ها خارج کنید؟ بسته به این که چه سلول‌هایی را خارج می‌کنید، ممکن است ناچار شوید آزمایش‌تان را با انسان یا ماهی مرده‌ای ادامه بدهید؟!

این آزمایش فکری یکی از ویژگی‌های مهم و تعریف‌شده‌ی بدن را آشکار می‌کند: اجزای سازنده‌ی ما، برای ساخت یک کل بزرگ‌تر، با یکدیگر همکاری می‌کنند. اما همه‌ی قسمت‌های بدن یکسان نیستند؛ بعضی از قسمت‌ها برای حیات قطعاً ضروری‌اند. علاوه بر آن، در بدن، تقسیم وظیفه بین قسمت‌های مختلف وجود دارد؛ مغز، قلب و معده وظایف مجزایی دارند. این تقسیم وظیفه به کوچک‌ترین سطوح سازنده‌ی ساختار بدن، شامل سلول‌ها، ژن‌ها و پروتئین‌های سازنده هم، تعمیم یافته است.

تشابه بدن و تمامیت بدن یک انسان و حتی یک کرم دارای هویتی است که اجزای سازنده‌ی آن، نظیر رودخانه، هردو اندام‌ها، بافت‌ها و سلول‌ها، به‌تنهایی، فاقد آن هستند. مثلاً سلول‌های پوست ما دائماً در حال تقسیم‌شدن، مردن و ریختن‌اند. اما شما هنوز همان فردی هستید که هفت سال پیش می‌کنند اما بودید، هرچند هریک از سلول‌های امروز پوست شما متفاوت از هفت سال قبل‌اند؛ آن چه که ماهیت‌شان ثابت شما قبلاً بودید، مرده و از بین رفته و با یک فرد جدید جانشین شده است. این موضوع درباره‌ی تک‌تک سلول‌های بدن ما صادق است. همانند یک رودخانه، که با وجود تغییر در جریان و حتی اندازه‌ی آن، همیشه به یک شکل باقی می‌ماند، ما نیز علی‌رغم تغییر و تبدیل اجزای بدن‌مان، همان افراد باقی می‌مانیم.

با وجود این تغییر پیوسته، هریک از اندام‌های ما اندازه و جایگاه خود را در بدن «می‌دانند». ما با تناسبی صحیح رشد می‌کنیم، زیرا رشد استخوان‌های دست‌مان متناسب با رشد استخوان‌ها در انگشتان و جمجمه‌های ما است. پوست ما هموار و صاف است چون سلول‌ها می‌توانند، برای حفظ یکپارچگی و نظم در سطح آن، با یکدیگر اتصال برقرار کنند. تا زمانی که اتفاقی غیرعادی بیافتد، مثلاً زگیل دریاوریم. سلول‌های درون زگیل از قاعده‌ای پیروی نمی‌کنند؛ آن‌ها نمی‌دانند چه زمانی رشد خود را متوقف کنند!

از بین رفتن تعادل هنگامی که تعادل منظم و پیشرفته میان اجزای بدن از بین می‌رود، جاندار می‌میرد. برای **میتای اجزای** مثال، زمانی که یک دسته از سلول‌ها با بقیه‌ی آن‌ها همکاری نکند، غده‌ی سرطانی ایجاد می‌شود. این سلول‌ها با تقسیم بدون پایان یا با از بین رفتن در زمان مناسب، تعادل ضروری **سازنده‌ی بدن؛** سرطان و مرگ. لازم برای زنده نگه داشتن یک فرد را بر هم می‌زنند. سرطان قواعدی را که سلول‌ها را قادر به همکاری با یکدیگر می‌کند، در هم می‌شکند. درست مانند انسان‌های طغیانگری که تعاون پیشرفته‌ی موجود در جوامع را به ویرانی می‌کشانند، سرطان با حداکثر قوا تا نابودی اجتماع بزرگ‌تر خود، یعنی بدن، پیش می‌رود.

اما چه چیزی همه‌ی این پیچیدگی را امکان‌پذیر کرده است؟! در زمان نیاکان دور ما، سلول‌ها برای رسیدن از یک تک‌سلولی به موجودی دارای بدن، مجبور بودند سازوکارهای نوینی برای هماهنگی با یکدیگر به کار بگیرند؛ اتفاقی که طی میلیاردها سال قبل رخ داده است.

بدن چگونه ساخته می‌شود؟ هر سلول، برای بقا، نیازمند توانایی برقراری ارتباط با سایر سلول‌ها و همچنین باقی‌ماندن در کنار آن‌ها، با روش‌های نوین، بود. درضمن لازم بود مواد تازه‌ای، نظیر مولکول‌هایی که اندام‌های ما را متمایز می‌سازند، تولید کند. این ویژگی‌ها - چسبندگی میان سلول‌ها، روش‌های که سلول‌ها می‌توانند با یکدیگر «ارتباط برقرار کنند» و مولکول‌هایی که سلول‌ها می‌سازند - مجموعه ابزار موردنیاز برای ساخت همه‌ی بدن‌های متفاوتی است که ما امروز در زمین، شاهد آن هستیم.

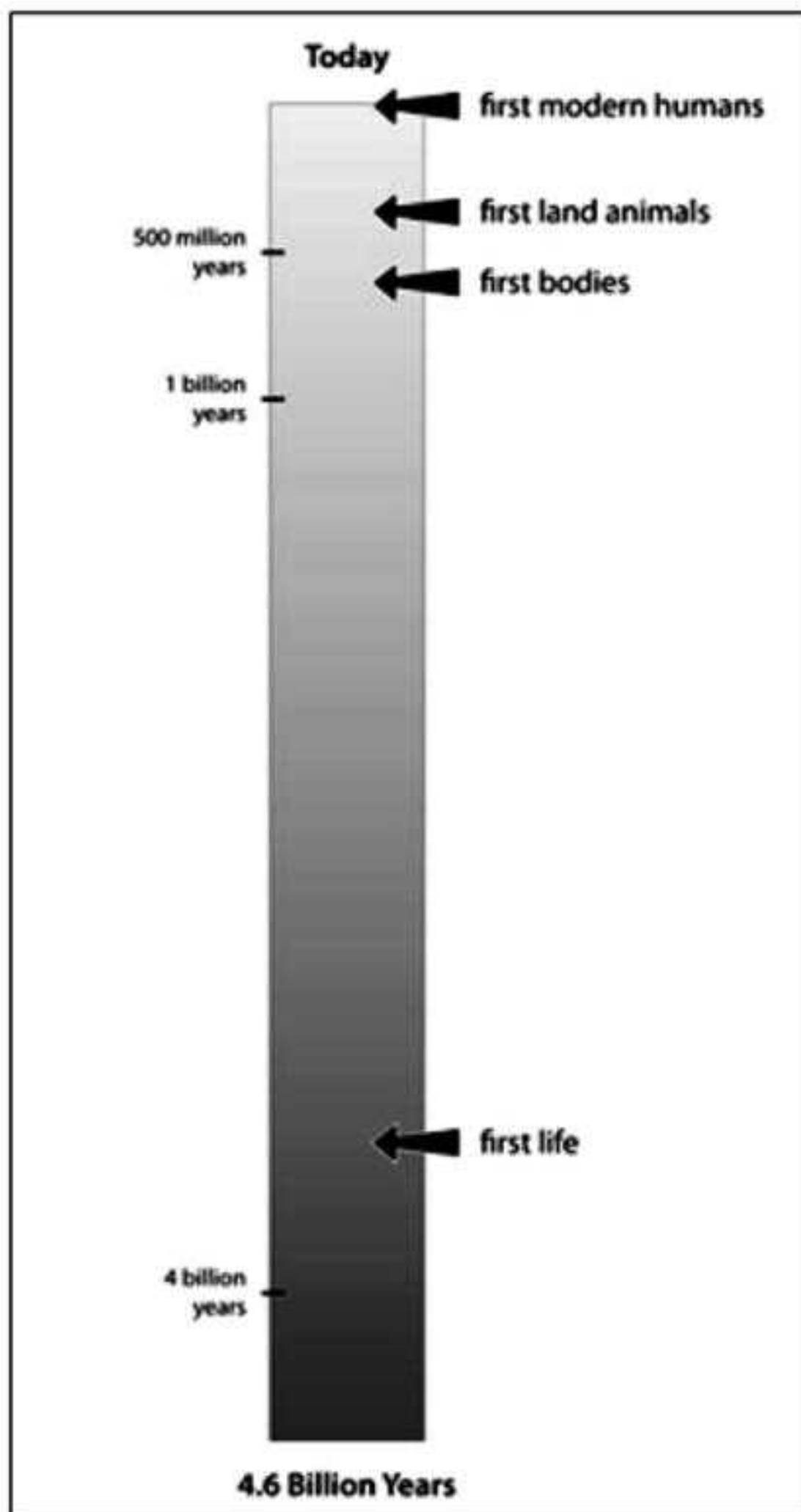
ابداع این ابزارها، شروع تحولی بزرگ بود و انتقال، از جانوران تک‌سلولی به جانوران دارای بدن، جهان تازه‌ای را نمایان ساخت. به این ترتیب، جانورانی تازه با قابلیت‌هایی کاملاً جدید پا به عرصه‌ی وجود گذاشتند: اندازه‌ی آن‌ها بزرگ شد، به اطراف نقل مکان کردند و دست به توسعه و تکوین اندام‌های تازه‌ای زدند که به آن‌ها در حس کردن، خوردن و هضم کردن دنیای اطراف‌شان کمک می‌کرد.

حفاری بدن

انسان؛ نهاد عقیده‌ای فروتنانه درباره‌ی تاریخ زندگی همه‌ی کرم‌ها، ماهی‌ها و انسان‌ها وجود دارد: بیشتر یک‌روزه‌ی زمین! تاریخچه‌ی حیات در زمین، مربوط به داستان موجودات تک‌سلولی است! در واقع، همه‌ی چیزهایی

که تا به این جا بررسی کردیم - جاندارانی با سر، دست، اندام‌های حسی و حتی طرح بدن - تنها در بخش کوچکی از تاریخچه‌ی زمین سازمان‌دهی شده‌اند.

استادان دیرینه‌شناسی اغلب از مقیاسی جالب برای عمر زمین استفاده می‌کنند که نشان‌دهنده‌ی کوچکی میزان این سهم است؛ تصور کنید تمام تاریخچه‌ی $\frac{4}{5}$ میلیارد ساله‌ی زمین را در یک سال بگنجانیم، با این مقیاس،



مقیاس زمان، برای رویدادهای تاریخچه‌ی حیات، به دوره‌ی بسیار طولانی از زمان، هنگامی که بدنی در زمین نبود، توجه کنید. فقط ارگانیسم‌های تک‌سلولی بودند که به تنهایی یا به صورت کلونی زندگی می‌کردند.

روز ۱ ژانویه را نقطه‌ی شروع حیات در کره‌ی زمین و نیمه‌شب ۳۱ دسامبر را همین حالا می‌نامیم. تا ژوئن تنها ارگانیسم‌های کره‌ی زمین میکروب‌های تک‌سلولی، مانند جلبک، باکتری و آمیب، بودند. اولین جانداران دارای سر تا اکتبر هنوز به وجود نیامده بودند! اولین انسان در ۳۱ دسامبر به وجود آمد. ما، همانند همه‌ی جانداران و گیاهانی که تاکنون زیسته‌اند، ناخوانده‌های تازه‌واردی در مهمانی حیات در کره‌ی زمین محسوب می‌شویم!

وسعت این مقیاس با مشاهده و بررسی صخره‌های جهان آشکارا نمایان می‌شود. صخره‌های کهن‌تر از ۶۰۰ میلیون سال عموماً تهی از جانوران و گیاهان‌اند. درون آن‌ها، تنها جانوران تک‌سلولی یا کلونی‌هایی از جلبک‌ها پیدا می‌شود. این کلونی‌ها شکلی حصیری یا توده‌ای دارند؛ بعضی از آن‌ها هم مثل دستگیره‌ی در هستند؛ با این حال بدن گیج‌کننده‌ای ندارد.

نخستین افرادی که بدن‌های اولیه را در فسیل‌ها مشاهده کردند، نظری راجع به آن‌چه می‌دیدند، نداشتند. در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۲۰ تا ۱۹۶۰، فسیل‌های بسیار عجیب و غریبی از سراسر جهان کشف شد. در طول دهه‌ی دوم و سوم قرن بیستم، مارتین گوریش (Martin Gurich)

دیرینه‌شناس آلمانی، در جایی که امروز همان نامیبیا است کار می‌کرد. او آثار گوناگونی از آن‌چه به بدن جانداران شبیه بود، کشف کرد؛ اشکالی گرد یا بشقاب‌مانند. چیزهای چندان جالب توجهی به‌نظر نمی‌آمدند؛ ممکن بود جلبک یا عروس دریایی اولیه باشند که در دریا‌های باستانی زندگی می‌کرده‌اند.

در سال ۱۹۴۷، زمین‌شناس معدن‌کاری به نام رجینالد اسپرینگ (Reginald Sprigg)، اتفاقی، زمینی که سطح زیرین صخره‌های آن حاوی فسیل‌هایی از گردی‌ها، نوارها و ساقه‌ها بود را، کاوش کرد. اسپرینگ با کار کردن در حوالی معدن رهاشده‌ای در تپه‌های ادیاکارا^۱ در جنوب استرالیا، مجموعه‌ای از چنین فسیل‌هایی را کشف کرد و آن‌ها را وظیفه‌شناسانه شرح داد. با گذشت مدتی، آثار مشابهی در همه‌ی قاره‌های جهان، به‌جز قطب جنوب، شناخته شد. جانوران اسپرینگ هرچند به‌نظر عجیب می‌آمدند، افراد بسیار کمی به آن‌ها توجه کردند.

علت ابهام و عدم توجه مشترک بین دیرینه‌شناسان آن بود که تصور می‌شد این فسیل‌ها، از صخره‌های نسبتاً جوان دوره‌ی کامبرین به‌دست آمده‌اند؛ دوره‌ای که فسیل بسیاری از جانوران با بدن‌های اولیه قبلاً شناخته شده بودند. فسیل‌های اسپرینگ و گوریش به‌عنوان مجموعه‌ای نه‌چندان مهیج، اما عجیب و مرموز، چندان مورد توجه قرار نگرفتند؛ آن‌ها از دوره‌ای بودند که آثار آن قبلاً به‌خوبی در موزه‌های جهان، نمایش داده شده بودند.

در نیمه‌های دهه‌ی ۶۰، مارتین گلسنر (Martin Glaessner) اتریشی‌تبار باجذبه‌ای، که به استرالیا تبعید شده بود، همه‌چیز را عوض کرد. گلسنر پس از مقایسه‌ی این صخره‌ها با صخره‌های قسمت‌های دیگر جهان، نشان داد که بدون شک این فسیل‌ها ۱۵ تا ۲۰ میلیون سال قدیمی‌تر از آن‌چه در ابتدا تصور می‌شد، هستند! این فسیل‌ها صرفاً نوعی جمع‌آوری بی‌هدف نبودند و در واقع، گوریش، اسپرینگ و دیگران با بررسی این فسیل‌ها در حال مشاهده‌ی بدن‌های اولیه بوده‌اند!

حیات از دوره‌ی پرکامبرین این فسیل‌ها از دوره‌ی پرکامبرین، که تصور می‌شد خالی از حیات باشد، به‌دست آمده بودند. در نظر ما قدمت حیات بیشتر شده بود. به این ترتیب، کنجکاوی‌های دیرینه‌شناسی قبلی تبدیل به جواهرات علمی گرانبهایی شدند. گردی‌ها، نوارها و ساقه‌های دوره‌ی پرکامبرین به‌وضوح قدیمی‌ترین جانداران دارای بدن بودند. همان‌طور که ما از دیگر فسیل‌های جانوری انتظار داشتیم، آن‌ها نمایندگان برخی از جانوران بسیار اولیه، نظیر اسفنج و عروس دریایی، در سیاره‌ی امروزی به‌شمار می‌آیند. فسیل‌های دیگر پرکامبرین مشابه هیچ‌چیز شناخته‌شده‌ای نیستند. می‌توانیم بگوییم که آن‌ها آثاری از چیزی‌اند که بدن دارد اما طرح‌های حبابی، راه‌راهی و ظاهر عجیب و غریب‌شان با هیچ موجود زنده‌ی دیگری مطابقت نداشت!

پیام این موضوع بسیار واضح است: بیش از ۶۰۰ میلیون سال قبل، جاندارانی پرسلولی در دریا‌های سیاره‌ی زمین سکنی گزیدند. این جانداران کلونی‌های سلولی ساده نبودند، بلکه بدن‌هایی کاملاً شکل گرفته داشتند. آن‌ها

الگویی‌هایی از تقارن داشتند که در برخی موارد، شبیه به فرم‌های زنده‌ی امروزی است. برای مواردی که نمی‌شود آن‌ها را مستقیم با فرم‌های زنده مقایسه کرد نیز بخش‌های مختلفی از بدن‌های‌شان دارای ساختار تخصص‌یافته است؛ این یعنی ارگانیسم‌های پرکامترین سطحی از سازمان‌یافتگی زیستی داشتند که در آن زمان در زمین کاملاً جدید بوده است.

مدرک این تغییرات نه‌تنها در بدن فسیل‌ها، بلکه در خود صخره‌ها هم مشاهده شد. با پیدایش اولین بدن‌ها، نخستین جای پاها به‌وجود آمدند. نقش‌های حکاکی‌شده در صخره‌ها نخستین نشانه‌ها از این است که جانداران در لجن‌ها می‌خزیدند و می‌لولیدند. نخستین ردپاها - اثر خراش‌نوارمانند کوچک، در گل‌ولای باستانی - نشان می‌دهد که حتی بعضی از این جانداران قادر به انجام حرکات‌های نسبتاً پیچیده بوده‌اند. آن‌ها نه‌تنها بدن‌هایی با قسمت‌های قابل شناسایی داشتند، بلکه از این بخش‌ها برای تحرک به شیوه‌های جدید استفاده می‌کردند.

همه‌ی این‌ها به‌منظر کامل می‌آیند. ما اولین بدن‌ها را پیش از مشاهده‌ی اولین طرح‌های بدنی دیدیم. هم‌چنین اولین الگوهای ابتدایی بدن را قبل از یافتن اولین الگوهای پیشرفته‌ی بدن، همراه با سر، مشاهده کردیم و به همین ترتیب الی آخر. صخره‌های سراسر جهان مشابه باغ‌وحش خیالی، که در فصل اول در آن قدم زدیم، به‌طرزی عالی سازمان یافته‌اند!

همان‌طور که در ابتدای این قسمت پرسیدیم، ما امروز پس از چه زمانی، چگونگی و چرایی بدن‌ها قرار داریم. اکتشافات پرکامترین به ما درباره‌ی چه زمانی می‌گوید. برای درک چگونگی و درنهایت چرایی، باید نگاه‌مان را عوض کنیم!

شواهدی از بدن خود ما

یک تصویر به هیچ‌وجه نمی‌تواند گویای این باشد که چه میزان از بدن ما در میان گردی‌ها، ساقه‌ی برگ‌ها و نوارهای دوره‌ی پرکامترین یافت می‌شود. نقطه‌ی اشتراک ما انسان‌ها با همه‌ی پیچیدگی‌های‌مان، با آثار درون صخره‌ها، به‌ویژه آن‌هایی که شبیه به عروس‌دریایی دندان‌دندانه و جانورانی مشابه‌اند، چیست؟

پاسخ عمیق است و هنگامی که به شواهد می‌نگریم، گریزی از آن نیست: «ماده‌ی اولیه‌ای» که ما را منسجم نگه داشته و وجود بدن ما را ممکن ساخته، از آن‌چه تشکیل‌دهنده‌ی بدن‌های مربوط به آثار باستانی گوریش و اسپریگ است، متفاوت نیست. در واقع، چارچوب بدن همه‌ی ما از یک مبدأ شگفت‌آور باستانی به نام جانوران تک‌سلولی آغاز شده است.

چسب و پیدمان چه‌چیزی انبوهی از سلول‌ها را، خواه عروس‌دریایی یا کره‌ی چشم باشند، در کنار یکدیگر نگه می‌دارد؟ در موجوداتی همانند ما این چسب زیستی به‌طور حیرت‌آوری پیچیده است؛ این ماده نه‌تنها سلول‌های ما را کنار یکدیگر نگه می‌دارد، بلکه به سلول‌های ما اجازه‌ی برقراری ارتباط و تشکیل اکثر ساختارها را می‌دهد. چسب فقط یک چیز نیست؛ شامل مولکول‌های متفاوت و متنوعی است که میان سلول‌های ما واقع‌اند و آن‌ها را به هم متصل

می‌کند. در سطح میکروسکوپی نیز، این ماده به هریک از بافت‌ها و اندام‌های ما ظاهر متمایز و عملکرد مخصوص به خودش را می‌دهد. چه با چشم بنگریم چه از درون میکروسکوپ، کره‌ی چشم به‌نظر متفاوت از استخوان پا می‌آید؛ در واقع، تفاوت عمده‌ی بین استخوان پا و چشم، در نحوه‌ی چیدمان سلول‌ها و مواد درون‌شان است.

در چند سال گذشته در هر پاییز، من تنها با همین مفاهیم دانشجویان پزشکی را دیوانه می‌کردم! دانشجویان مضطرب سال اولی مجبور بودند که اندام‌ها را با مشاهده‌ی اسلایدهای تصادفی بافت زیر میکروسکوپ شناسایی کنند. آن‌ها واقعاً چطور این کار را انجام می‌دادند؟!

کار ما کمی شبیه به کشف کشوری تنها با نگاه به نقشه‌ی معابر یک روستای کوچک آن است. این کار، مشروط به داشتن سرنخ‌های درست، شدنی‌ست. در اندام‌ها، برخی از بهترین سرنخ‌ها شکل سلول‌ها و چگونگی به‌هم‌پیوستن آن‌ها وجود دارد؛ این نیز مهم است که بتوانیم ماده‌ی اولیه‌ی بین آن‌ها را شناسایی کنیم. بافت‌هایی که انواع مختلفی از سلول‌ها را دارند، به‌طرق متفاوتی به‌یکدیگر می‌چسبند: برخی مناطق، ردیف‌ها یا ستون‌هایی از سلول دارند؛ در برخی دیگر، سلول‌ها تصادفی پراکنده شده‌اند و آزادانه به یکدیگر می‌پیوندند. این مناطق، جاهایی که سلول‌ها فشردگی کمی دارند، اغلب با موادی که خواص فیزیکی مشخصی به هر بافت می‌دهند، پر می‌شوند. به‌عنوان نمونه، مواد معدنی، که در میان سلول‌های استخوان قرار می‌گیرند، سختی استخوان‌ها را تعیین می‌کنند. درحالی‌که پروتئین‌های آزادتر، در سفیدی چشم‌های ما، دیواره‌ی کره‌ی چشم را نرم‌تر می‌کنند.

توانایی دانشجویان برای شناسایی بافت‌ها از روی لام‌های میکروسکوپی، از علم به چگونگی نظم‌یافتن سلول‌ها و هم‌چنین نوع ماده‌ای که بین سلول‌ها قرار دارد، ناشی می‌شود. این دانش برای ما معنای عمیق‌تری دارد. درواقع، مولکول‌هایی که این آرایش سلولی را مقدور کرده‌اند همان مولکول‌هایی‌اند که ایجاد بدن را مقدور می‌کنند. اگر هیچ راهی برای پیوستن سلول‌ها به یکدیگر وجود نداشت یا هیچ ماده‌ای بین سلول‌ها نبود، هیچ بدنی هم به‌وجود نمی‌آمد و تنها بسته‌هایی از سلول‌ها وجود می‌داشتند. معنی این عبارت آن است که نقطه‌ی شروع برای درک این که چطور و چرا بدن به‌وجود می‌آید، مشاهده‌ی این مولکول‌هاست: مولکول‌هایی که به سلول‌ها کمک می‌کنند تا به یکدیگر بچسبند، با یکدیگر ارتباط برقرار کنند و مواد بین سلولی را فراهم سازند.

برای درک ارتباط این ساختارهای مولکولی با بدن‌مان، بیایید روی جزئیات بخشی ویژه تمرکز کنیم: اسکلت. اسکلت ما، نمونه‌ای قدرتمند برای درک این موضوع است که چطور مولکول‌های کوچک می‌توانند تأثیر بزرگی روی ساختار بدن بگذارند و قوانین عمومی‌ای را آشکار می‌سازد که برای همه‌ی قسمت‌های بدن تعمیم‌پذیرند. بدون اسکلت، ما توده‌های نافرمانی از ماده‌ی چسبنده و لزج می‌شدیم و زندگی روی زمین، نه‌تنها ساده نبود بلکه، حتی غیرممکن می‌شد. بیشتر مبانی زیستی و رفتاری ما به‌خاطر اسکلت‌مان ممکن شده است. هر زمانی که راه می‌رویم، پیانو می‌نوازیم، تنفس می‌کنیم یا غذا می‌جویم باید سپاسگزار اسکلت‌مان باشیم.

مقایسه‌ی اسکلت بهترین مدل برای درک کارکرد ساختار پل است. استحکام پل به اندازه، شکل و تناسب بدن و پل؛ تأثیر تیرآهن‌ها و کابل‌های آن بستگی دارد. علاوه بر این، استحکام پل بستگی زیادی به سافتار میکروسکوپی تناسب میکروسکوپی مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن دارد؛ این ساختار مولکولی فولاد است که بر توانمندی‌های قدرت، حد خمش و در عین حال توانایی شکستن آن را تعیین می‌کند. به همین صورت، ماکروسکوپی استحکام اسکلت ما براساس اندازه، شکل بدن و خواص مولکولی استخوان‌های ما تعیین می‌شود.

بیایید بررسی کنیم چطور این اتفاقات افتادند. هم‌چنان که به‌آهستگی در امتداد مسیری حرکت می‌کنیم، ماهیچه‌های مان منقبض می‌شوند، پشت، دست‌ها و پاهای مان حرکت می‌کنند و پاهای ما به زمین فشار می‌آورند تا ما به سمت جلو رانده شویم. عملکرد استخوان‌ها و مفاصل، شبیه اهرم‌ها و قرقره‌های بزرگ و پیچیده‌ای هستند که همه‌ی حرکات ما را ممکن می‌کنند. حرکات بدن پیرو اصول ساده‌ی فیزیک است: توانایی دویدن ما به مقدار زیادی بستگی به اندازه، شکل و تناسب اسکلت و پیکربندی مفاصل مان دارد. از این دیدگاه ما شبیه به ماشینی بزرگ هستیم و درست همانند ماشین، طراحی مان نحوه‌ی عملکرد ما را تعیین می‌کند. ورزشکار پرش ارتفاع در مسابقات جهانی باید تناسب استخوانی متفاوتی از کشتی‌گیر سنگین‌وزن داشته باشد. پاهای خرگوش یا قورباغه برای جست‌وخیز و پرش کوتاه تخصص یافته و طبعاً با کارایی پاهای اسب تفاوت عمده دارند.

حالا بیایید نگاه میکروسکوپی‌تری به اسکلت بیاندازیم. تکه‌ای از استخوان ران را زیر میکروسکوپ قرار دهید؛ به سرعت متوجه می‌شوید چه چیزی این ویژگی‌های مکانیکی متمایز را به استخوان داده است. سلول‌ها، به خصوص در سطح خارجی استخوان، به طرز کاملاً ویژه‌ای سازمان یافته‌اند.

سافتار شبه‌بتونی درحالی که برخی سلول‌ها به یکدیگر چسبیده‌اند، مابقی آن‌ها از هم جدا هستند. بین مواد سالداده بین سلول‌های جدا از هم موادی وجود دارد که استحکام استخوان را تعیین می‌کند. یکی از سلولی اسکلت بدن آن‌ها سنگ یا بلوری است که به آن هیدروکسی‌آپاتیت گفته می‌شود و در فصل چهار درباره‌ی آن توضیح داده‌ایم. سختی هیدروکسی‌آپاتیت مشابه سختی بتون است. درست مثل بتون، هنگامی که تحت فشار قرار می‌گیرد، سخت می‌شود و هنگامی که تحت پیچش و خمش قرار می‌گیرد، استحکام آن کاهش می‌یابد!

بنابراین همانند ساختمانی، که از آجرها و بتون ساخته می‌شود، استخوان‌ها به نحوی شکل گرفته‌اند که بیشترین مقاومت در برابر فشار را داشته باشند و پیچ‌خوردن و خم‌شدگی خود را کمینه سازند؛ این درست همان چیزی است که گالیه در قرن هفدهم متوجه آن شد!

مولکول دیگری که میان سلول‌های استخوانی ما کشف شد معمول‌ترین پروتئین در کل

تشابه پروتئین کلاژن و طناب؛ بیشترین استحکام همین کشیده شدن.

بدن انسان است. اگر ما آن را با میکروسکوپ الکترونی ۱۰ هزار بار بزرگ کنیم، چیزی شبیه به طناب، که شامل دسته‌هایی از مولکول‌های رشته‌ای کوچک است، مشاهده می‌کنیم. این مولکول، کلاژن، ویژگی‌های مکانیکی طناب را دارد. طناب در زمان کشیده شدن نسبتاً محکم است اما هنگام جمع شدن، توانایی خود را از دست می‌دهد؛ دو تیم را در حال مسابقه‌ی طناب‌کشی در نظر آورید. کلاژن، همانند طناب، در حین کشیده شدن محکم است اما هنگامی که تحت کشش نیست، استحکام خود را از دست می‌دهد.

استخوان‌ها متشکل از سلول‌هایی‌اند که در دریایی از هیدروکسی‌آپاتیت، کلاژن و برخی مولکول‌های غیرمعمول دیگر شناورند. برخی سلول‌ها به یکدیگر چسبیده و بقیه‌ی سلول‌ها درون این مواد شناورند. استحکام استخوان بستگی به مقاومت کلاژن هنگام کشیده شدن، و دوام هیدروکسی‌آپاتیت هنگام جمع شدن دارد.

خواص میکروسکوپی غضروف

غضروف بافت دیگری در اسکلت ما است که تقریباً رفتاری متفاوت از خود نشان می‌دهد. هنگام دویدن آهسته، این غضروف درون مفاصل ما است که سطوح همواری فراهم می‌آورد تا استخوان‌ها در مجاورت یکدیگر به نرمی حرکت کنند. غضروف بسیار نرم‌تر از استخوان است و با انعطافی که دارد، هنگام فشار می‌تواند خم شود. حرکت مفاصل زانو مشابه بیشتر مفاصل بدن ما، که در فعالیت‌های روزمره‌ی زندگی از آن‌ها استفاده می‌کنیم، به میزان نرمی غضروف آن بستگی دارد. وقتی که یک غضروف سالم متراکم می‌شود، درست مثل اسفنج به شکل اصلی خود بازمی‌گردد. در طول هر مرحله از دویدن، کل حجم بدن ما با سرعت‌های مشخصی به زمین کوبیده می‌شود. بدون داشتن این کلاهک‌های ایمنی درون مفاصل، استخوان‌ها حتماً به یکدیگر ساییده می‌شدند؛ نتیجه‌ی ناخوشایند و ناتوان‌کننده‌ی آن آرتروز مفاصل است.

قابلیت انعطاف غضروف ویژگی ساختار میکروسکوپی آن است. غضروف در مفاصل، سلول‌های نسبتاً کمی دارد و این سلول‌ها به وسیله‌ی ماده‌ی پرکننده‌ای، که میان آن‌هاست، از هم جدا شده‌اند. در اسکلت بدن، این خواص ماده‌ی پرکننده‌ی درون شبکه‌ای است که به‌طور گسترده‌ای ویژگی‌های مکانیکی غضروف را تعیین می‌کند.

شش‌بندی پروتئوگلیکان؛ (۱) ویژگی‌های ساختاری غضروف

بیشتر فضای بین سلول‌های غضروف را کلاژن پر کرده است (درست مثل سلول‌های سایر بافت‌های بدن). آن‌چه که واقعاً به غضروف انعطاف‌پذیری بخشیده، نوع دیگری از مولکول است که یکی از فوق‌العاده‌ترین مولکول‌های کل بدن به‌شمار می‌آید. به این مولکول، شبکه‌ی پروتئوگلیکانی^۱ می‌گویند، که باعث استحکام غضروف هنگام تراکم یا فشردگی می‌شود. شبکه‌ی پروتئوگلیکانی شکلی مانند یک برس بزرگ سه‌بعدی با تنه‌ای بلند و شاخه‌های ریز

متعدد دارد که با میکروسکوپ به وضوح قابل مشاهده است^۱. باید قدردان این واقعیت باشیم که ریزترین شاخه‌های این مولکول عاشق اتصال به آب هستند و این ویژگی شگفت‌انگیز با توانایی ما در راه رفتن و حرکت کردن در ارتباط است. مولکول پروتئوگلیکالی با آب متورم می‌شود؛ در واقع خود را با آب پر می‌کند تا شبیه به یک تکه‌ی بزرگ زله شود!

این تکه‌ی ژلاتینی با طناب‌های کلاژنی داخل و اطرافش پوشیده می‌شود و شما با ماده‌ای مواجه می‌شوید که هم نرم و هم تا حدی مقاوم در برابر کشش است. این اساساً غضروف است که محافظی تمام‌عیار برای همه‌ی مفاصل محسوب می‌شود. نقش سلول‌های غضروف ترشح این مولکول‌ها در حین رشد جانوران و محافظت از آن‌ها هنگام توقف رشد جانوران است.

تفاوت استخوان. نسبت معین و متفاوت از مواد گوناگون مسئول تفاوت مکانیکی بین استخوان، غضروف و دندان؛ نوع دندان است. دندان‌ها بسیار سخت‌اند و مشخصاً درون آن‌ها مقدار زیادی هیدروکسی‌آپاتیت وجود دارد، به همراه مقدار نسبتاً کمی کلاژن درون مینا. استخوان کلاژن نسبتاً بیشتر و هیدروکسی‌آپاتیت کمتری دارد و البته فاقد مینا است؛ در نتیجه، استخوان به سختی دندان نیست. غضروف مقدار زیادی کلاژن دارد، در حالی که هیدروکسی‌آپاتیت ندارد و مملو از پروتئوگلیکان است؛ غضروف نرم‌ترین بافت در اسکلت ماست. یکی از علل اصلی که اسکلت ما این گونه به نظر می‌رسد و فعالیت می‌کند این است که مولکول‌ها در جای مناسب و با نسبتی صحیح، استقرار و گسترش یافته‌اند.

همه‌ی این صحبت‌ها چه ارتباطی با منشأ پیدایش بدن دارند؟!

یک ویژگی مشترک در جانوران اسکلت‌دار، یا فاقد آن، این است که همگی شامل انبوهی از سلول‌ها هستند و مولکول‌هایی دارند که در میان سلول‌های‌شان واقع‌اند؛ به‌ویژه انواع مختلفی از کلاژن و پروتئوگلیکان دارند. در این بین، کلاژن به نظر دارای اهمیت خاصی است؛ به‌طوری‌که معمول‌ترین پروتئین در جانوران است و بیش از ۹۰ درصد وزن

۱ - پروتئین‌هایی که گروه شیمیایی گلیکوزیل به‌وفور با آن‌ها پیوند برقرار می‌کند. ساختار پروتئین‌های گلیکوزیل‌شده از یک هسته‌ی پروتئینی با یک یا چند رشته‌ی گلیکوز آمینوگلیکان پیوندخورده به آن پدید می‌آید.



پروتئین‌های بدن آن‌ها را تشکیل می‌دهد. ساخت بدن در گذشته‌های دور، باید در ضمن اختراع اجباری مولکول‌هایی از این قبیل رخ داده باشد!

امر ضروری دیگر برای بدن، آن است که در استخوان‌های ما سلول‌ها باید بتوانند به یکدیگر بچسبند و با هم تعامل کنند. سلول‌های استخوانی چطور به یکدیگر می‌چسبند و بخش‌های مختلف آن‌ها می‌دانند که رفتار متفاوتی از خود بروز بدهند؟! بسیاری از ابزارهای سازنده‌ی ساختار بدن ما، در پاسخ به این قبیل سؤالات نهفته است.

سلول‌های استخوان، همانند هر سلول دیگری در بدن ما، به وسیله‌ی مولکول‌های بسیار کوچکی، که گوناگونی وسیعی دارند، به یکدیگر می‌چسبند. در بعضی موارد، درست مثل ته کفش، که در اثر تماس با سیمان خیس به آن می‌چسبد، در هر سلول نیز مولکول به‌طور محکم به غشا می‌چسبد و مولکول دیگری به غشای سلول همسایه؛ بدین شکل است که چسبیدن غشای دو سلول مجاور، اتصال پایداری میان سلول‌ها ایجاد می‌کند.

اتصال‌دهنده‌های مابقی اتصال‌دهنده‌های مولکولی، خیلی دقیق‌اند و فقط به‌طور انتخابی به همان نوع از اتصال‌دهنده متصل می‌شوند. این ویژگی اهمیت زیادی دارد چراکه اصولاً به سازمان‌دهی شکل‌گیری بدن کمک می‌کند. این اتصال‌دهنده‌های انتخابی، سلول‌ها را قادر می‌کنند خودشان را سازمان‌دهی کنند و حتماً سلول‌های استخوان به سلول‌های استخوان، پوست به پوست و الی آخر بچسبند.

سلول‌ها در غیاب سایر اطلاعات هم قادرند بدن ما را سازمان‌دهی کنند. اگر ما تعدادی سلول را، که هر یک نوع متفاوتی از این اتصال‌دهنده‌ها دارند، در یک ظرف بگذاریم و اجازه بدهیم سلول‌ها رشد کنند، آن‌ها خودشان را سازمان‌دهی خواهند کرد. ممکن است بعضی از آن‌ها کروی و بقیه پهن و صفحه‌ای شوند؛ به این ترتیب، سلول‌ها به وسیله‌ی تعداد و نوع اتصال‌دهنده‌هایی که دارند طبقه‌بندی می‌شوند.

تبادل اطلاعات بین سلول‌های بدن به‌طور قطع، مهم‌ترین نشانه‌ی ارتباط بین سلول‌ها این است که آن‌ها با یکدیگر اطلاعات مبادله می‌کنند. شکل‌گیری الگوی دقیق اسکلت و در حقیقت کل بدن ما، تنها در این صورت ممکن شده است که سلول‌ها بدانند چطور با یکدیگر رفتار کنند. سلول‌ها باید بدانند چه زمانی تقسیم شوند، چه زمانی مولکول بسازند و کی بمیرند!

برای مثال اگر سلول‌های استخوان یا پوست رفتاری تصادفی داشتند - مثلاً اگر خیلی زیاد تقسیم می‌شدند یا اصلاً نمی‌مردند - در آن صورت می‌باید بسیار زشت (غول‌آسا!) یا بدتر از آن، بسیار ضعیف و کم‌جان می‌شدیم!

سلول‌ها با استفاده از «پیام‌هایی» که به‌صورت مولکولی نوشته می‌شوند و از سلولی به سلول دیگر حرکت می‌کنند، با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. هر سلول می‌تواند با ارسال یک مولکول به سلول‌های اطراف خود با آن‌ها «ارتباط برقرار کند». برای نمونه در نوع ساده‌ی ارتباط سلول با سلول، یک سلول، سیگنالی را در قالب یک مولکول منتشر می‌کند. این مولکول به پوسته یا غشای خارجی سلول دریافت‌کننده‌ی سیگنال متصل می‌شود.

مولکول چسبیده به غشای خارجی شروع به واکنش‌هایی به صورت زنجیره‌ای از رویدادهای مولکولی می‌کند تا بتواند از غشای سلول به سمت هسته‌ی آن سفر کند. به یاد دارید که اطلاعات ژنتیکی درون هسته نشسته‌اند؟! در نتیجه این سیگنال مولکولی می‌تواند سبب روشن و خاموش شدن ژن‌ها شود.

نتیجه‌ی نهایی همه‌ی فرایندها این است که حالا سلول دریافت‌کننده‌ی اطلاعات، رفتار خود را تغییر می‌دهد: ممکن است بمیرد، تقسیم شود یا در پاسخ به علائم سلول دیگر، مولکول تازه‌ای بسازد.

در سطح بسیار پایه، عواملی وجود دارد که ساخت بدن را ممکن می‌کند؛ تمام جانوران دارای بدن مولکول‌های ساختاری مانند کلاژن و پروتئوگلیکان دارند؛ هم‌چنین آن‌ها آرایه‌ای از مولکول‌های اتصال‌دهنده دارند که سلول‌ها را کنار یکدیگر نگه می‌دارند به علاوه دارای ابزارهای مولکولی‌اند که به آن‌ها اجازه‌ی برقراری ارتباط با یکدیگر را می‌دهد.

حالا ما برای درک منشأ پیدایش بدن نقشه‌ی راه‌تما داریم. باید برای درک این که بدن چطور رشد می‌کند، این نوع از مولکول‌ها را در ابتدایی‌ترین بدن‌ها در سیاره‌ی زمین جستجو کنیم و در نهایت موجوداتی را بررسی کنیم که اساساً بدن ندارند!

ساخت بدن حباب‌ها

چه قسمت‌های مشترکی بین بدن یک دانشمند و یک حباب وجود دارد؟! بیایید برای یافتن پاسخ، به تعدادی از ابتدایی‌ترین بدن‌های زنده‌ی حاضر نگاهی بیندازیم.

یکی از این موجودات نمونه، تمایز مشکوک از چیزی است که تقریباً هرگز در حیات وحش دیده نشده! در اواخر دهه‌ی ۱۸۸۰ موجود ساده‌ی عجیبی که روی دیواره‌های شیشه‌ای آکواریوم زندگی می‌کرد، کشف شد. برخلاف هر موجود زنده‌ی دیگری، این موجود درست مانند توده‌ای ژله بود.

تنها چیزی که می‌توانیم با این موجود مقایسه کنیم، موجود فضایی فیلم استیون مک کوئین (Steven McQueen) یعنی حباب^۱ است. در فیلم، حباب موجود بی‌ریخت و چسبناکی بود که شکارش را در

1- The Blob



خود فرو می‌برد: سگ‌ها، آدم‌ها و حتی واگن‌رستوران کوچکی که در شهرکی در نزدیکی پنسیلوانیا قرار داشت. انتهای دستگاه هاضمه‌ی «حباب» در قسمت زیرین آن قرار داشت و ما هرگز آن را ندیدیم؛ فقط جیغ‌ها و فریادهای موجودات گرفتار شده در آن جا را می‌شنیدیم!

سافت‌اب: «حباب» خود را تا اندازه‌ی بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ سلول منقبض می‌کند که قطرش حدود دو مایکرومتر می‌شود؛ به این ترتیب، ما موجود زنده‌ی معماگونه‌ای موسوم به پلاکوزوان^۱ داریم. پلاکوزوان فقط چهار گونه سلول دارد که بدن بسیار ساده و کوچک ورقه‌مانندی را می‌سازند؛ در عین حال این یک بدن واقعی است. بعضی سلول‌های موجود در سطح زیرین بدن آن برای عمل گوارش تخصص یافته‌اند؛ برخی دیگر تازک دارند که موجب حرکت جاندار به اطراف می‌شود. تقریباً هیچ ایده‌ای درباره‌ی خوراک یا زیستگاه طبیعی آن‌ها نداریم. با این حال، این حباب‌های ساده، برای ما حقیقتی فوق‌العاده را آشکار می‌کنند: با شمار اندکی از سلول‌های تخصص یافته، این موجودات ابتدایی دارای تقسیم کار در میان اجزای‌شان هستند.

آنچه که در رابطه با بدن شگفت‌انگیز است با مطالعه‌ی پلاکوزوان‌ها آشکار می‌شود. این موجودات علی‌رغم این که دارای سازمان‌دهی ابتدایی‌اند، بدنی واقعی دارند. در جستجوی DNA آن‌ها و بررسی مولکول‌های سطح سلول‌های‌شان، متوجه شدیم بیشتر ابزار سازنده‌ی بدن ما درون آن‌ها هم وجود دارد! پلاکوزوان‌ها نسخه‌هایی از مولکول‌های اتصال سلولی و ابزارهای ارتباط سلولی را، درست مانند همان چیزی که ما در بدن خودمان مشاهده می‌کنیم، دارند. دستگاه سازنده‌ی بدن ما، در حباب‌ها، به شکل ساده‌تری نسبت به آثار باستانی رجینالد اسپرینگ یافت می‌شود.

شباهت‌ها: آیا می‌توانیم بررسی خود را به گونه‌های حتی ابتدایی‌تری از بدن هم توسعه دهیم؟! بخشی از پاسخ در وسیله‌ای کلاسیک از لوازم آشپزخانه نهفته است: اسفنج! در نخستین نگاه، اسفنج‌ها چندان جالب توجه به نظر نمی‌رسند. بدن اسفنج شامل مائریکس است: نه یک شبکه‌ی زنده، بلکه نوعی از سیلیس (ماده‌ای شیشه‌ای) یا کربنات کلسیم (ماده‌ای سخت و صدف‌مانند) با مقداری کلاژن پراکنده در آن. در یک چشم‌په هم‌زدن اسفنج‌ها جالب

1- Placozoon



می‌شوند. به‌خاطر بیاورید که کلاژن بخش اصلی فضای بین سلولی ماست و سلول‌ها و بسیاری از بافت‌ها را در کنار یکدیگر نگه می‌دارد. ممکن است اسفنج‌ها ندانند که یکی از ویژگی‌های بدن را در خود دارند!

در اوایل قرن بیستم اچ. وی. ویلسون (H.V.P Wilson) نشان داد که این اسفنج‌های شگفت‌انگیز واقعاً چه چیزهایی هستند. ویلسون در ۱۸۹۴ به دانشگاه کارولینای شمالی رفت و اولین استاد زیست‌شناسی آن‌جا شد. قصد او تعلیم کادر زیست‌شناسان آمریکایی بود که می‌خواستند رشته‌ی ژنتیک و زیست‌شناسی سلولی را در شمال آمریکا برای قرن بعدی معرفی کنند.

آزمایش ویلسون و پیدایش بدن از هیچ
ویلسون، که پژوهشگری جوان بود، تصمیم گرفت تا زندگی تحقیقاتی خود را روی اسفنج‌ها متمرکز کند. یکی از آزمایش‌های او توانایی عمیقاً جالب‌توجه این موجودات به‌ظاهر ساده را آشکار کرد. او اسفنج‌ها را از نوعی الک مخصوص عبور داد و آن‌ها را به سلول‌های جدا از هم تفکیک کرد. پس از آن، ویلسون سلول‌های آمیب‌مانند کاملاً تجزیه‌شده را در ظرف قرار داد و شروع به تماشای آن‌ها کرد. سلول‌ها در سطح ظرف آهسته می‌خزیدند؛ سپس اتفاق غیرمنتظره‌ای افتاد: آن‌ها به‌هم پیوستند و ابتدا ابری کروی و قرمز از سلول‌ها را تشکیل دادند. در مرحله‌ی بعد، با سلول‌های دیگری در الگوهای مشخص بسته‌بندی شدند و سازمان بیشتری یافتند. نهایتاً، این انبوه سلول‌ها بدن یک اسفنج کاملاً جدید، شکل‌گرفته از گونه‌های مختلفی از سلول‌ها، را به‌وجود آوردند. ویلسون درحال مشاهده‌ی شگفت‌انگیز بود: تشکیل بدن تقریباً از هیچ!

اگر ما مانند اسفنج‌ها می‌بودیم، پس کاراکتر استیو بوسیمی^۱، که در فیلم برادران کوئن، فارگو^۲، در خردکن چوب ریزش شد، باید دوباره می‌توانست شکل اولیه‌ی خود را بازپابد! در واقع، او با این آزمایش می‌توانست دوباره صاحب اندام نیرومندی، که حاصل ترکیب سلول‌های خودش بود، بشود در عین این‌که نسخه‌ی کاملاً متفاوتی از خودش باشد.

تنوع سلولی و اسفنج و منشأ بدن
سلول‌هایی درون اسفنج‌ها وجود دارند که برای درک منشأ بدن مفیدند. درون اسفنج معمولاً فضایی خالی وجود دارد که، با توجه به گونه‌های آن‌ها، به چند بخش تقسیم می‌شود. مایعی که درون این فضای خالی در جریان است، به‌وسیله‌ی نوع بسیار خاصی از سلول جهت‌دهی می‌شود. این سلول‌ها، شکل جام‌مانندی دارند و درون اسفنج واقع شده‌اند. مژه‌های بسیار ریزی از دیواره‌ی سلول‌های جامی شکل به بیرون امتداد یافته‌اند تا ذرات غذا را از درون مایع برابند. هم‌چنین از قسمت جامی هریک از سلول‌ها یک تازک بلند به بیرون کشیده شده است. با عمل هماهنگ تازک‌های این سلول‌های ضربان‌دار، آب و غذا از میان روزنه‌های

1- Steve Buscemi

2- Fargo

اسفنج جابه‌جا می‌شود. دیگر سلول‌های درون اسفنج، ذرات غذا را تجزیه می‌کنند؛ سایر سلول‌ها قسمت‌های بیرونی را پوشانده‌اند و می‌توانند با تغییر شکل اسفنج، در اثر تغییر جریان آب، منقبض شوند.

به‌نظر می‌رسد اسفنج راه بسیار درازی تا تبدیل شدن به بدن داشته باشد! با این حال بسیاری از مهم‌ترین ویژگی‌های بدن را دارد: سلول‌های اسفنج تقسیم کار دارند، با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند و مجموعه‌ی سلول‌های‌شان درست همانند یک فرد واحد عمل می‌کنند. اسفنج سازمان‌دهی شده است تا با انواع متفاوتی از سلول‌ها و در مکان‌های گوناگون اعمال مختلفی انجام بدهد.

ساختار اسفنج از بدن انسان، با تریلیون‌ها سلول به‌دقت بسته‌بندی شده، بسیار دور است؛ با این حال در برخی از ویژگی‌هایش با بدن انسان مشابه است. مهم‌ترین موضوع این است که اسفنج بیشتر اتصالات، ارتباطات و چارچوب‌های دستگاه سلولی که ما داریم را دارد. اسفنج‌ها برای خود بدن دارند؛ اگر چه نوع آن بسیار ابتدایی و به‌نظر نسبتاً سازمان‌نیافته است.

بدن ما، درست مثل پلاکوزوان‌ها و اسفنج‌ها، سلول‌های بسیاری دارد و همانند آن‌ها بین اجزایش تقسیم کار رخ می‌دهد. همه‌ی دستگاه‌های مولکولی که اجزای بدن ما را کنار یکدیگر نگه می‌دارند، در آن‌ها هم وجود دارند؛ ابزار گوناگونی که به ارسال پیام از یک سلول به سلول دیگر کمک می‌کنند و مولکول‌های بی‌شماری که بین سلول‌ها قرار دارند. پلاکوزوان‌ها و اسفنج‌ها، درست مثل ما و سایر جانداران، کلاژن دارند اما برخلاف ما، آن‌ها نسخه‌های بسیار ابتدایی‌تری از این تنوع را دارند؛ مثلاً اسفنج به‌جای ۲۱ نوع کلاژن موجود در سلول‌های انسان، دو نمونه از آن‌ها را دارد. درحالی‌که ما صدها گونه‌ی متفاوت از مولکول‌های اتصال‌دهنده داریم، اسفنج سهم بسیار کوچکی از این انواع را دارد. اسفنج‌ها از ما ساده‌ترند و گوناگونی سلول‌های‌شان نیز کمتر است، اما شکل پایه‌ای ساختار بدن در آن‌ها هم موجود است!

پلاکوزوان‌ها و اسفنج‌ها تقریباً به‌سادگی بدن‌هایی‌اند که امروزه نیز شکل می‌گیرند. برای به‌دست‌آوردن هر نوع پیشرفتی، باید اجزای سازنده‌ی بدن‌مان را در موجوداتی فاقد بدن جستجو کنیم: میکروب‌های تک‌سلولی.

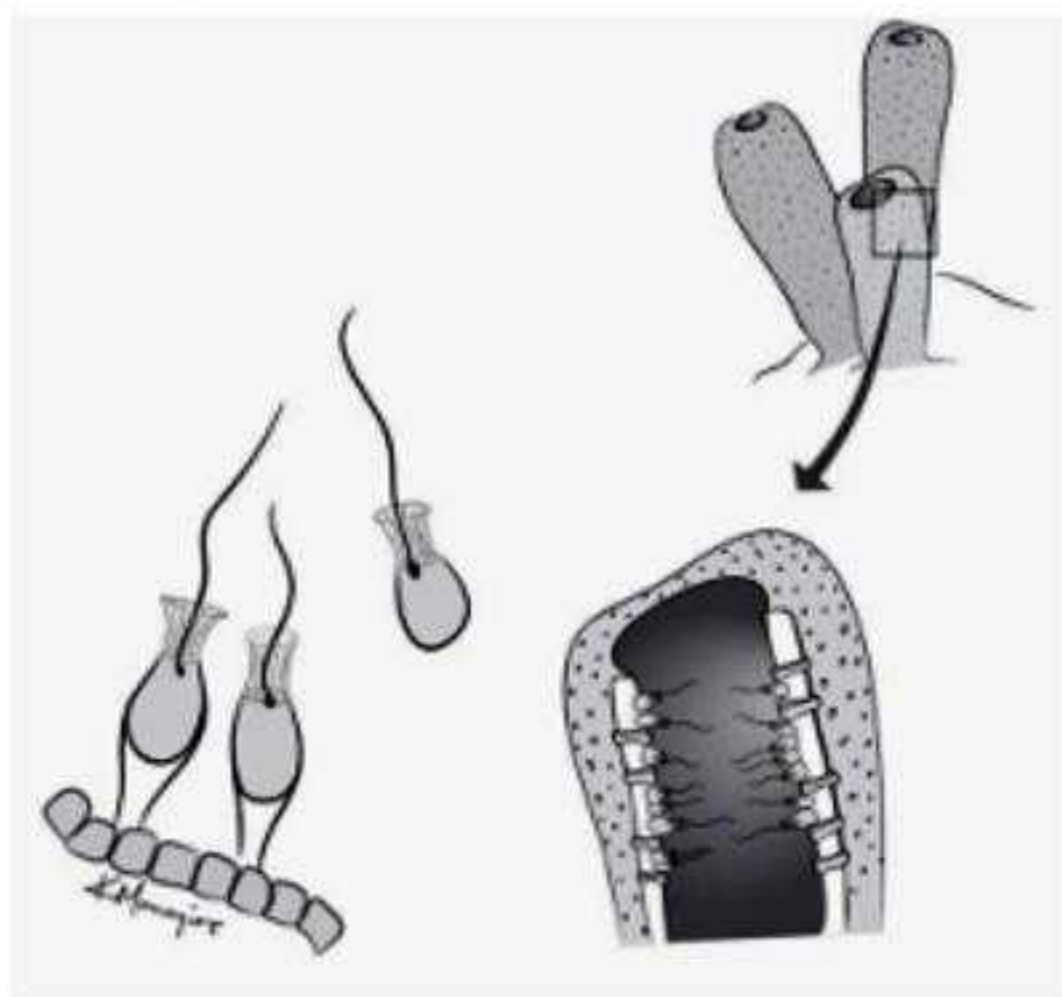
چطور می‌شود میکروبی را با جانوری بدن‌دار مقایسه کنیم؟ آیا ابزار سازنده‌ی بدن جانداران پرسلولی در موجودات تک‌سلولی هم وجود دارد؟ اگر جواب مثبت است و اگر آن‌ها بدن ندارند، پس نقش‌شان چیست؟!

مقایسه‌ی تک‌سلولی‌ها بهترین راه برای پاسخ‌گویی به این سؤالات این است که ژن‌های میکروب‌ها را برای یافتن هرگونه شباهت با جانوران، بررسی کنیم. نخستین مقایسه‌های میان ژنوم میکروب و جانور، واقعیت برجسته‌ای را آشکار کرد: در بسیاری از جانداران تک‌سلولی بیشتر تشکیلات لازم برای اتصال، برهم‌کنش و غیره، که در سلول‌های ما دیده می‌شود، موجود نیست؛ برخی بررسی‌ها نشان داده که بیش از ۸۰۰ نوع از این مولکول‌ها در جانداران دارای بدن یافته شده، درحالی‌که در موجودات تک‌سلولی خبری از آن‌ها نیست. این موضوع، منجر به این

ایده می‌شود که ابزارهایی که به سلول‌ها برای ساخت بدن کمک می‌کنند، باید به آرامی همراه با بدن‌های‌شان به وجود آمده باشند.

زمانی که نیکول کینگ (Nicole King) از دانشگاه برکلی کالیفرنیا مطالعه‌ی خود را روی ارگان‌یسمی موسوم به کوانوفلاژلات^۱ آغاز کرد، داستان طور دیگری ادامه یافت. انتخاب این موضوع مطالعاتی از سوی کینگ به هیچ روی تصادفی نبود. به علت کار روی DNA، او می‌دانست کوانوفلاژلات‌ها احتمالاً نزدیک‌ترین خویشاوند میکروبی به جانداران دارای بدنی مثل پلاکوزوان‌ها و اسفنج‌ها هستند. هم‌چنین به گمان کینگ، آن‌چه که در ژن‌های کوانوفلاژلات‌ها مخفی شده نسخه‌هایی از DNA است که بدن ما را ساخته.

پروژه‌ی ژنوم انسان به جستجوهای نیکول کمک کرد. رویناد مهم، موفقیت در نقشه‌برداری از کل ژن‌های بدن



انسان بود. به علت موفقیت پروژه‌ی ژنوم انسان، به سرعت بررسی و نقشه‌برداری از دیگر موجودات آغاز شد: پروژه‌ی ژنوم موش صحرایی، مگس، زنبور عسل و حتی پروژه‌های در حال پیشرفت برای توالی‌یابی ژنوم اسفنج‌ها، پلاکوزوان‌ها و میکروب‌ها هم وجود داشت. این نقشه‌ها منابع بالارزشی از اطلاعات‌اند که به ما در مقایسه‌ی ژن‌های سازنده‌ی بدن گونه‌های بی‌شماری از موجودات کمک می‌کنند. هم‌چنین این نقشه‌ها، برای نیکول، ابزار ژنتیکی مناسبی برای مطالعه‌ی کوانوفلاژلات‌ها بودند.

کوانوفلاژلات‌ها (سمت چپ) و اسفنج‌ها (سمت راست)

کوانوفلاژلات‌ها به طرز عجیبی شبیه سلول‌های جام‌شکل درون اسفنج‌اند. در واقع، تاملات‌ها تصوّر بر این بود که کوانوفلاژلات‌ها همان اسفنج‌های تجزیه‌شده‌اند؛ اسفنج بدون تمام سلول‌های دیگرش. اگر این موضوع حقیقت می‌داشت، DNA کوانوفلاژلات‌ها باید شبیه به اسفنج می‌شد، اما این‌طور نبود. هنگامی که بخش‌هایی از DNA کوانوفلاژلات‌ها با DNA میکروب و اسفنج مقایسه شد، شباهت آن با DNA میکروب به‌طور فوق‌العاده جالبی اثبات شد. کوانوفلاژلات‌ها میکروب‌های تک‌سلولی بودند!

فاصله‌ی ژنتیکی بین «میکروب تک‌سلولی» و «جانداران دارای بدن» با مطالعه‌ی نیکول روی کوانوفلاژلات‌ها به‌طور کلی از میان برداشته شد. بسیاری از ژن‌های فعال در کوانوفلاژلات‌ها در جانوران هم فعال‌اند. در واقع، بسیاری از این ژن‌ها قسمتی از دستگاه سازنده‌ی بدن‌اند. نمونه‌های اندکی قدرت این مقایسه را آشکار می‌کند. عملکرد اتصال و ارتباط

سلولی، حتی بخش‌هایی از مولکول‌هایی که شکل‌دهنده‌ی ماتریکس بین سلول‌ها و آبشارهای مولکولی که محل عبور سیگنال از خارج سلول به‌داخل آن‌اند، همه، در کوانوفلاژلات‌ها موجودند.

کلاژن‌ها نیز درون کوانوفلاژلات‌ها وجود دارند. گونه‌های متفاوتی از مولکول‌های اتصالی که سلول‌ها را کنار یکدیگر نگه می‌دارند هم در کوانوفلاژلات‌ها موجودند؛ اگرچه کارهایی که انجام می‌دهند، کمی متفاوت است. کوانوفلاژلات‌ها حتی به نیکول نقشه‌ی راهنمایی دادند که بتواند دستگاه سازنده‌ی بدن ما را با میکروب‌های دیگر نیز مقایسه کند.

ساختارهای مولکولی بنیادینی که تجمعات کلاژن و پروتئوگلیکان را می‌سازند با استفاده از گونه‌های متفاوت میکروب‌ها شناخته شد. باکتری استروپتوکوکوس - که به‌طور معمول در دهان ما وجود دارد و احتمالاً در قسمت‌های دیگر نایاب است - در سطح سلولش، مولکولی دارد که به کلاژن بسیار شبیه است. این ساختار همان اثر مولکولی کلاژن را دارد، اما آن‌طور که کلاژن‌ها به‌شکل طناب‌ها یا صفحاتی در سلول‌های جانوری متراکم می‌شوند، تجمع نمی‌یابد.

به‌علاوه، مقداری از مواد قندی، که مجموعه‌ی پروتئوگلیکانی را درون غضروف ما می‌سازد، در دیواره‌های سلولی انواع مختلفی از باکتری‌ها مشاهده می‌شود. عملکرد آن‌ها در ویروس‌ها و باکتری‌ها دقیقاً مثل هم نیست. این ترکیبات مورد استفاده در روش‌هایی‌اند که باکتری‌ها و ویروس‌ها به سلول‌ها هجوم می‌آورند و آن‌ها را آلوده می‌کنند؛ به عبارت دیگر عامل آلودگی‌اند. کارکرد این مواد قندی در روش‌هایی‌ست که این عوامل به سلول‌ها هجوم می‌آورند، سرایت می‌کنند و سبب تشدید بیماری‌زایی می‌شوند. بسیاری از مولکول‌هایی که میکروب‌ها برای بیمار کردن ما از آن‌ها استفاده می‌کنند، نسخه‌ی ابتدایی از مولکول‌هایی‌اند که شکل‌گیری بدن ما را ممکن ساخته‌اند!

حال با یک پازل روبه‌رو هستیم؛ در نمونه‌های فسیلی، برای $\frac{3}{5}$ میلیارد سال اول از تاریخ زمین، به‌جز میکروب‌ها چیزی ندیدیم. اما یک‌باره در یک بازه‌ی زمانی ۴۰ میلیون ساله، بیشتر انواع بدن‌ها پدیدار شدند: تنه‌ی گیاهی، بدنه‌ی قارچی و بدن‌های جانوران؛ بدن‌ها در همه‌جا قابل مشاهده بودند. این هیجانی واقعی به‌شمار می‌آمد. اما اگر شما مطالعات نیکول را ملاحظه کنید، متوجه می‌شوید که پتانسیل ساخت بدن حتی پیش از خود بدن وجود داشته است. چرا بدن‌ها پس از مدت زمان بسیار طولانی، که هیچ بدنی در کار نبوده، ناگهان پدیدار شدند؟!

طوفانی تمام و کمال در منشأ پیدایش بدن‌ها

زمان‌بندی یعنی همه‌چیز! حتی بهترین ایده‌ها، اختراعات و تدابیر هم نمی‌توانند همیشه برنده از آب دربیایند. چند نوازنده، مخترع و هنرمند می‌شناسید که بسیار فراتر از زمان خود گام برداشتند، شکست خوردند و فراموش شدند، اما بعدها، دوباره کشف شدند؟ ما به هرون^۱ بیچاره‌ی اسکندریه، که گویا در قرن اول پس از میلاد توربین بخار را اختراع کرد، بسنده می‌کنیم. متأسفانه اختراع او در ابتدا اسباب‌بازی محسوب می‌شد؛ در واقع دنیا به کام او نبود.

تاریخ حیات روی روال مشخص حرکت می کند. برای هر چیز، زمانی وجود دارد؛ حتی ممکن است برای آغاز پیدایش بدن ها نیز همین طور بوده باشد. برای درک این موضوع اول باید بفهمیم که علت احتمالی به وجود آمدن بدن چیست؟

پژایه و پگونگی پدیدارشدن بدن فرضیه ی بسیار ساده ای در این رابطه وجود دارد: ممکن است بدن ها زمانی شروع به پدیدارشدن کرده باشند که میکروب ها راه های تازه ای برای خوردن یکدیگر یا رهایی از خورده شدن، به کار می گرفتند؛ یعنی داشتن یک بدن با تعداد زیادی سلول باعث می شده که جانور بزرگ تر به نظر برسد، احتمالاً بدن ها به عنوان نوعی وسیله ی دفاعی پدیدار شده باشند.

هنگامی که شکارچیان شیوه های جدیدی برای بلع ابداع کردند، شکارها هم راه های نوینی برای احتراز از این تقدیر خلق کردند. این تأثیر و تأثر ممکن است به پیدایش بسیاری از مولکول های سازنده ی بدن ما منجر شده باشد. بسیاری از میکروب ها با چسبیدن و فرورفتن به درون میکروب های دیگر تغذیه می کردند. مولکول هایی که به میکروب ها اجازه می دادند طعمه شان را به چنگ بیاورند و درون آن ها بمانند، احتمالاً کاندیداهایی برای مولکول هایی اند که اتصال های پرچی بین سلول های بدن ما را شکل می دهند. در واقع، بعضی از میکروب ها قادرند با ساخت ترکیباتی که روی رفتار بقیه ی میکروب ها تأثیر دارد، با آن ها ارتباط برقرار کنند. برهم کنش های شکار - شکارچی بین میکروب ها، اغلب با نشانه های مولکولی همراه است؛ هم برای این که شکارچیان بالقوه را از خود دور کنند و هم برای این که شکار خود را فریب بدهند و به او نزدیک تر شوند. ممکن است سیگنال هایی از این دست، منشأ نوعی از سیگنال ها باشند که سلول های ما برای مبادله ی اطلاعات، جهت سالم نگه داشتن بدن، از آن ها استفاده می کنند.

آزمایشی برای درک تأثیر رابطه ی شکارچی - شکار در شکل گیری بدن ما می توانستیم تا ابد به این موضوع بیاندیشیم؛ اما باتوجه به شواهد آزمایشگاهی قابل لمس که نشان می داد شکار کردن چطور سبب به وجود آمدن بدن شده جریان برای مان از این هم هیجان انگیزتر شد. این موضوع دقیقاً همان چیزی بود که مارتین بوراس (Martin Boraas) و همکارانش گزارش کردند. آن ها جلبک را، که به طور طبیعی تک سلولی است، در اختیار گرفتند و اجازه دادند برای بیش از هزار نسل در آزمایشگاه زندگی کند. سپس، یک شکارچی را وارد محیط زندگی جلبک کردند؛ جانوری تک سلولی که تاژک داشت و وارد میکروب های دیگر می شد تا آن ها را قورت بدهد! پس از کمتر از ۲۰۰ نسل، جلبک با تبدیل شدن به دسته های صدتایی سلولی، واکنش نشان داد! با گذر زمان، شمار سلول هایی که به این وضع درمی آمدند، تنها هشت سلول در هر دسته شدند. عدد هشت مقدار بهینه شد، چراکه باعث می شد تا دسته ها به اندازه ی کافی بزرگ باشند تا از بلعیده شدن حفظ شوند؛ از طرف دیگر، به اندازه ی کافی کوچک بود که هر سلول برای زنده ماندن بتواند نور کافی و مورد نیازش را دریافت کند. جالب ترین اتفاق زمانی افتاد که شکارچی را خارج کردند: جلبک ها به ساختن و شکل دادن دسته هایی با هشت سلول ادامه دادند. به طور خلاصه، نسخه ی ساده ی یک گونه ی چند سلولی تقریباً از هیچ به وجود آمده بود!

اگر یک آزمایش می‌تواند یک سازواره‌ی بدن مانند ساده را در طول سال‌ها تقریباً از هیچ بسازد، تصور کنید که در طول میلیاردها سال چه روی خواهد داد؟! دیگر سؤال این نیست که بدن‌ها چگونه می‌توانستند به‌وجود بیایند، بلکه این است که چرا آن‌ها زودتر یا به عرصه‌ی وجود نگذاشتند؟!

پاسخ به این معما ممکن است در محیط باستانی، که بدن‌ها در آن به‌وجود آمدند، نهفته باشد: احتمالاً شرایط زمین تا پیش از آن، برای حفظ و نگهداری از بدن‌ها، مهیا نبوده است.

مزایای بدن و **نیازمندی‌های بدن** | بدن باید چیزهای پُربهایی در خود داشته باشد، تبدیل شدن به یک جاندار با بدنی بزرگ مزایای مشخصی دارد: علاوه بر دوری از شکارچیان، جانوران دارای بدن، می‌توانستند انواع دیگر و جانوران کوچک‌تر را نیز بخورند و به‌خوبی فواصل طولانی را طی کنند. هردوی این توانمندی‌ها به این جانداران اجازه می‌داد کنترل بیشتری بر محیط اطراف خود داشته باشند. اما بالطبع، این فعالیت‌ها انرژی زیادی می‌گیرد. وقتی بدن بزرگ‌تر می‌شود به انرژی بیشتری نیز نیاز دارد، مخصوصاً اگر کلاژن نیز داشته باشد. کلاژن برای ترکیباتش به حجم نسبتاً زیادی از اکسیژن نیاز دارد و به‌میزان زیادی نیاز اجداد ما را به این عنصر مهم متابولیکی افزایش داده است.

اما مشکل اصلی این است که میزان اکسیژن در زمین اولیه بسیار ناچیز بود. طی میلیاردها سال، سطح اکسیژن موجود در اتمسفر، بسیار کمتر از میزانی که ما امروزه در اختیار داریم بوده است. با وجود این، تقریباً یک میلیارد سال قبل، میزان اکسیژن به‌طرز چشمگیری افزایش یافت و تاکنون نیز همین میزان بالا حفظ شده است. ما چگونه این را می‌دانیم؟! از روی شیمی صخره‌ها؛ صخره‌های حدوداً یک میلیارد ساله، آثار شکل‌گیری با میزان زیادی از اکسیژن را نشان می‌دهند. آیا افزایش اکسیژن در اتمسفر را می‌توان به آغاز پیدایش بدن‌ها پیوند داد؟!

احتمال دارد که یک واقعه‌ی دیرینه‌شناسی سبب این تحول عظیم و در نتیجه پدیدار شدن بدن‌ها شده باشد. برای میلیاردها سال میکروب‌ها، راه‌های جدیدی برای برهم‌کنش با یکدیگر و محیط خود بدست آوردند. برای این کار، آن‌ها شماری از بخش‌ها و ابزارهای مولکولی برای ساخت بدن‌ها را ایجاد کردند؛ اگرچه آن‌ها از این ابزارها برای مقاصد دیگر نیز بهره بردند. علت شکل‌گیری بدن‌ها، هم‌چنین در این موضوع نهفته است که بیش از یک میلیارد سال قبل، میکروب‌ها یاد گرفته بودند که همدیگر را بخورند؛ دلایل لازم برای ساخت بدن وجود داشت و ابزارهای سازنده‌ی آن‌ها هم مهیا بود و فقط یک چیز کم بود، آن چیز، اکسیژن کافی در زمین برای پشتیبانی از بدن‌ها بود. وقتی که اکسیژن زمین افزایش یافت، بدن‌ها در همه‌جا پدیدار شدند و حیات تا پیش از آن هرگز به این شکل نبوده است.



در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ (۱۳۶۰)، بین زیست‌شناسان مولکولی و پژوهشگرانی که روی ارگانیسم‌های کامل مطالعه می‌کردند - اکولوژیست‌ها، آناتومیست‌ها و دیرینه‌شناسان - اختلاف‌نظر وجود داشت. به‌طور مثال کالبدشناسان به دور از علم روز، ناامیدانه شیفته‌ی علمی کهنه بودند. زیست‌شناسی مولکولی به همان اندازه‌ی رشته‌های علمی کلاسیکی مانند دیرینه‌شناسی، که به‌نظر می‌رسید بن‌بست‌های تاریخ زیست‌شناسی باشند، رویکرد ما را به آناتومی و زیست‌شناسی تکوین متحول کرد. من هم احساس می‌کردم که به‌خاطر عشق به فسیل‌ها در حال جایگزینی با یکی از آن توالی‌سنج‌های خودکار DNA هستم!

بیست سال بعد، من هنوز در خاک‌ریزها حفاری می‌کردم و صخره‌ها را می‌شکافتم. هم‌چنین به جمع‌آوری DNA و مطالعه‌ی نقش آن در تکوین مشغول بودم. بحث‌ها معمولاً با سناریوی این یا آن آغاز می‌شدند. با گذشت زمان، وضعیت همه یا هیچ، با رویکردهای واقع‌گرایانه‌تری جایگزین شد. فسیل‌ها و ثبت‌های زمین‌شناختی، که منبع بسیار قدرتمندی از شواهد گذشته‌اند، باقی مانده‌اند؛ هیچ‌چیز دیگری تا این اندازه، محیط واقعی و ساختارهای تغییریافته در طول تاریخ حیات را آشکار نمی‌کند. همان‌گونه که ملاحظه کردیم، DNA هم در بچه‌ی فوق‌العاده قدرتمندی به تاریخچه‌ی حیات و شکل‌گیری بدن و اندام‌ها به روی ما می‌گشاید. نقش آن، در جایی که نمونه‌های فسیلی حرفی برای گفتن ندارند، بسیار مهم است. قسمت‌های عمده‌ی بدن، مانند بافت‌های نرم، به‌راحتی به فسیل تبدیل نمی‌شوند. در چنین شرایطی، همه‌ی آن چیزی که در اختیار داریم، ذخایر DNA است.

استخراج DNA از بافت در آشپزخانه

استخراج DNA از بافت، به‌طرز باورنکردنی ساده است؛ به‌طوری‌که شما در آشپزخانه‌ی منزل خود هم می‌توانید آن را به‌دست آورید! مقداری بافت از تعدادی گیاه یا جانور - نخودفرنگی، استیک یا جگر مرغ - بردارید. قدری نمک و آب به آن افزوده و همه‌ی آن‌ها را در مخلوط‌کن بریزید تا بافت به شکل خمیر نرم درآید. سپس چند تکه صابون به آن بیافزایید. صابون غشای سلولی ریز بافت‌هایی را که مخلوط‌کن قادر به خرد کردن آن‌ها

۱ - شوبین در قالب طنز به نفوذ رویکردهای نوین زیست‌شناسی در همه‌ی ابعاد اشاره دارد.

۲ - شوبین به رابطه‌ی مکملی شواهد فسیلی و اطلاعات بدست‌آمده از DNA اشاره می‌کند و این که هر دو در شرایطی قابل استفاده‌اند و همواره ۱۰۰ درصد کارا نیستند.

نیست، را می‌شکند. پس از آن مقداری تردکننده‌ی گوشت به آن اضافه کنید. این تردکننده‌ی گوشت بعضی از پروتئین‌هایی را که به DNA چسبیده‌اند جدا می‌کند. حالا شما سوپی از گوشت ترد صابونی با DNA داخل آن دارید. در پایان، مقداری الکل درون این مخلوط بریزید. حالا دو لایه مایع، خمیر صابونی در پایین و الکل شفاف در بالا، پیش روی شما است؛ DNA جذب الکل می‌شود. اگر توبی سفید در الکل پدیدار شود، شما کار استخراج DNA را به درستی به پایان رسانده‌اید. این توپ سفید همان DNA است!

هم اینک، شما در موقعیتی هستید که بتوانید از این توده‌ی سفید، برای درک بسیاری از پیوندهای بنیادین ما با کل حیات استفاده کنید. شیوه‌های قدیمی با صرف زمان و هزینه‌ی بسیار، برای مطالعه‌ی ساختار و عملکرد DNA و مقایسه‌ی آن در گونه‌های مختلف، امروزه با روش‌های ساده‌تر جایگزین شده‌اند.

این‌جا کمی ابهام وجود دارد؛ با استخراج DNA از هر بافتی، مثلاً کبد، در گونه‌های مختلف، می‌توانید تاریخچه‌ی واقعی هریک از قسمت‌های بدن، مانند حس بویایی، را کشف کنید. اطلاعات قفل‌شده درون DNA، در جگر، خون یا ماهیچه و هر جای دیگری، بیش از لوازمی است که ما برای شناسایی بوهای اطراف‌مان از آن استفاده می‌کنیم. به یاد بیاورید که همه‌ی سلول‌های ما DNA مشابهی در خود دارند؛ آن‌چه که بین‌شان متفاوت است، میزان DNA فعالی است، که در آن‌ها وجود دارد. ژن‌های دربرگیرنده‌ی حس بویایی ما در همه‌ی سلول‌ها وجود دارند، اما فقط در منطقه‌ی بویایی فعال‌اند.

همان‌طور که می‌دانیم، بو و رایحه‌ها موجب تحریک تکانه‌هایی در مغز می‌شوند که تأثیری عمیق بر شیوه‌ی درک ما از جهان دارند؛ یک نفخه، چه‌بسا ما را به کلاس درس دوران کودکی‌مان ببرد، تداعی‌گر بوی کهنه‌ای باشد یا اتاق گرم و نرم زیر شیروانی پدر بزرگ‌مان را به‌خاطرمان بیاورد. در واقع، هریک باعث رسیدن احساسی مدون‌شده در اعماق مغز به سطح می‌شود. اساسی‌تر آن که بویایی موجب بقای انسان می‌شود. بوی غذاهای خوشمزه ما را گرسنه می‌کند اما بوی گنداب اذیت‌مان می‌کند. ما به‌شدت از تخم‌مرغ‌های گندیده دوری می‌کنیم. آیا می‌خواهید خانه‌ی خود را بفروشید؟! زمانی که مشتریان برای دیدن خانه می‌آیند خیلی بهتر است که بوی پخت نان تازه به مشام برسد تا بوی کلم در حال جوشیدن!

ما مجموعاً مبلغ زیادی روی حس بویایی خود سرمایه‌گذاری می‌کنیم: صنعت عطر در سال ۲۰۰۵ در ایالات متحده به‌تنهایی ۲۴ میلیارد دلار سودآوری داشت! همه‌ی این‌ها در نتیجه‌ی این واقعیت است که حس بویایی عمیقاً در ما نهادینه شده؛ حسی که بسیار قدمت دارد.

حس بویایی قدرت تمایز پنج الی ۱۰ هزار رایحه را به ما می‌دهد. برخی افراد قادر به تشخیص مولکول‌های رایحه‌ی فلفل سبز شیرین با غلظت کمتر از یک در یک‌تریلیون هستند؛ این درست مانند پیدا کردن یک دانه شن، در ساحلی چندین کیلومتری است! چطور این کار را انجام می‌دهیم؟!

مکانیسم بویایی و آن‌چه که به‌شکل رایحه درک می‌کنیم، پاسخ مغز ما به ترکیبی از مولکول‌های سیال در درک پیام‌های آن هواست. مولکول‌هایی که ما در نهایت به‌شکل بو ثبت می‌کنیم، آن قدر کوچک و سبک‌اند

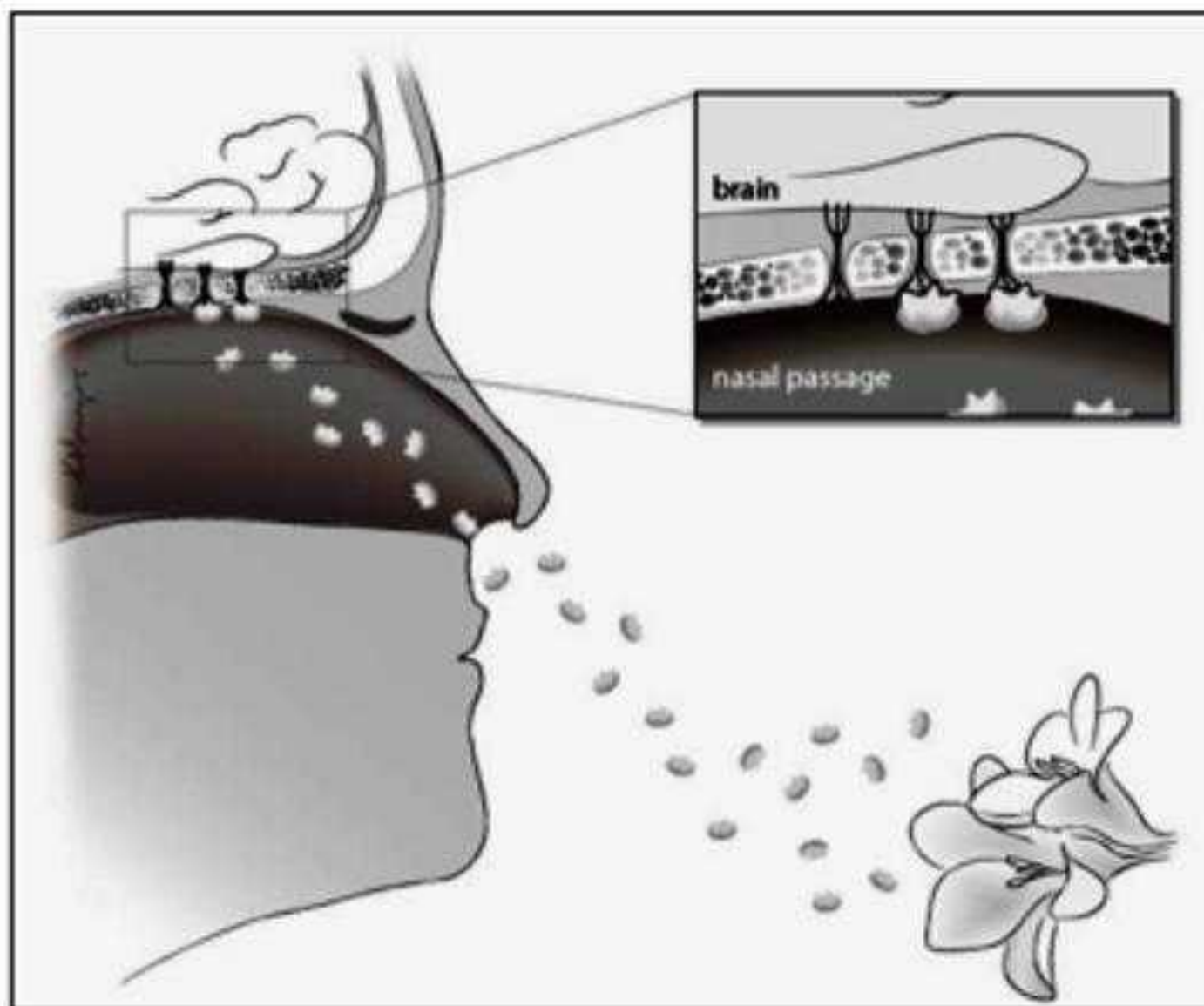
که در هوا معلق می‌مانند. هنگامی که تنفس می‌کنیم، مولکول‌های هر رایحه را به‌درون دستگاه بویایی خود می‌کشیم. به این ترتیب، مولکول‌های رایحه در منطقه‌ای پشت بینی، در مسیر بویایی که پوشیده از لایه‌ی مخاطی است، به‌دام می‌افتند. درون این پوشش، قسمتی از بافت بویایی شامل میلیون‌ها سلول عصبی است که هریک با زائده‌ای کوچک به غشای مخاطی مرتبط هستند. هنگامی که مولکول‌های هوا به سلول‌های عصبی متصل می‌شوند، سیگنال‌هایی به مغز ما ارسال می‌شود و این سیگنال‌ها در مغز به‌عنوان رایحه ثبت می‌شوند.

بخش مولکولی فرایند بویایی، عملکردی مشابه مکانیسم قفل و کلید دارد. قفل، مولکول رایحه است و کلید، گیرنده‌ی روی سلول عصبی. مولکول‌های به‌دام‌افتاده در غشای مخاطی ما اثر متقابلی با گیرنده‌ی روی سلول عصبی دارند. تنها زمانی که مولکول به گیرنده متصل می‌شود، سیگنالی به مغز ارسال می‌شود. بنابراین هر بوی خاص، از آن‌جایی که تعداد بسیار زیادی مولکول دارد، موجب ارسال سیگنال از تعداد زیادی گیرنده به مغز می‌شود.

بهترین تمثیل برای رایحه کورد موسیقیایی است: هر کورد^۱، از چندین نت تشکیل شده است که به‌عنوان یک نت هم‌زمان با هم عمل می‌کنند. دقیقاً مشابه آن، هر رایحه نتیجه‌ی سیگنال گیرنده‌های بی‌شماری است که برای مولکول‌های متفاوت متعلق به یک رایحه حساس شده‌اند. مغز ما این تحریک‌های متفاوت را درنهایت به‌صورت رایحه‌ای مشخص درک می‌کند.

قسمت عمده‌ی ساختمان سیستم بویایی ما همانند ماهی‌ها، دوزیستان، خزندگان، پستانداران و پرندگان درون مجموعه قرار دارد. همانند بقیه، یک یا چند حفره برای ورود هوا به داخل بدن داریم و بعد از آن، مجموعه‌ای از بافت‌های تخصص‌یافته جایگاهی است که مواد شیمیایی موجود در هوا می‌توانند با سلول‌های عصبی، فعل و انفعال داشته باشند. ما می‌توانیم الگوی این مجاری، فضاها و غشاها را از ماهی تا انسان دنبال کنیم تا به طرحی مشترک دست یابیم. بیشتر جانداران زنده‌ی ابتدایی، که مجموعه هم داشته‌اند، مثل ماهی‌های بدون آرواره‌ای از قبیل لامپری، ماهی‌های مکنده و دهان‌گرد، ساختمان بویایی منفردی دارند که به کیسه‌ای درون مجموعه‌ی جانور منتهی می‌شود. آب وارد این کیسه‌ی بسته می‌شود و از این‌جاست که حس بویایی وارد عمل می‌شود؛ تفاوت اصلی بین ما و لامپری‌ها این است که ما رایحه‌ها را، به‌جای آب، از هوا دریافت می‌کنیم.

نزدیک‌ترین خویشاوندان ماهی ما، آرایش بویایی مشابه ما دارند: آب وارد ساختمان بینی و سرانجام وارد حفره‌ای می‌شود که به دهان متصل است. ماهی شش‌دار و تیکتالیک دو نوع سوراخ بینی دارند؛ یکی خارجی و دیگری داخلی. در این مورد، آن‌ها بسیار شبیه ما هستند. با دهان بسته نفس بکشید. هوا از سوراخ‌های خارجی وارد شده و از طریق حفره‌های بینی و مسیرهای داخلی، به پشت گلو می‌رسد. نیاکان ماهی‌ای ما هم، مثل ما، سوراخ‌های داخلی و خارجی داشتند. آیا شگفتانگیز خواهد بود اگر بدانید این ماهی‌ها، همان‌هایی هستند که



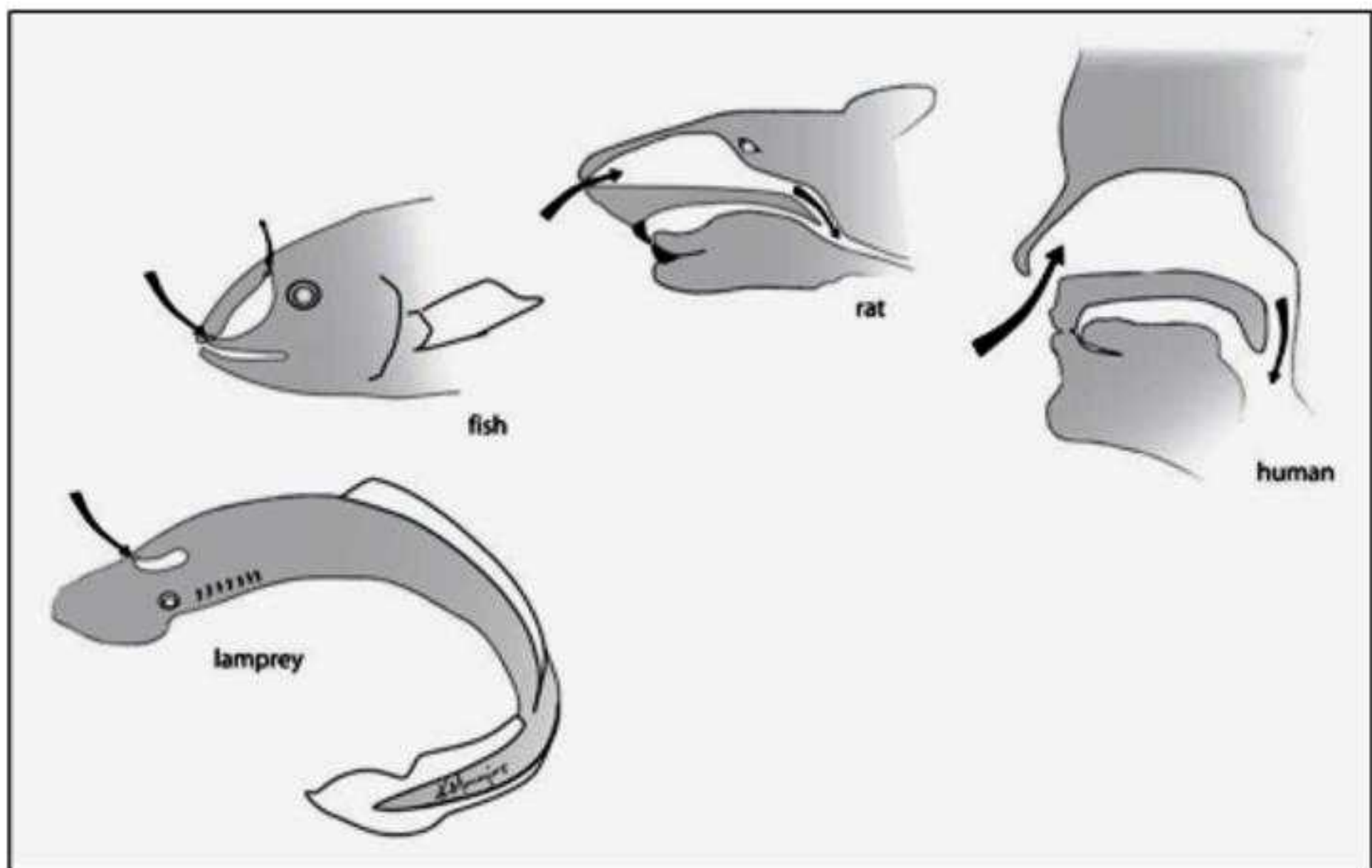
مولکول‌های رایحه‌ی یک گل که در هوا شناورند (تصویر مولکول‌ها بزرگ و بارها شده است). این مولکول‌ها به پوشش درون سوراخ‌های بینی ما می‌چسبند. وقتی که مولکولی متصل می‌شود، سیگنالی به مغز ارسال می‌شود. هر رایحه، مرکب از تعداد زیادی مولکول متفاوت است که به گیرنده‌های مختلف می‌چسبند. این مغز ما است که سیگنال‌ها را جمع می‌کند تا ما در مجموع رایحه‌ی مشخصی را درک کنیم.

استخوان‌های دست و ویژگی‌های مشترک دیگری با ما دارند؟!

حس بویایی ما دربرگیرنده‌ی تاریخچه‌ی ژرفی از خود ما در مقام ماهی‌ها، دوزیستان و پستانداران است. سال ۱۹۹۱، هنگامی که لیندا باک (Linda Buck) و ریچارد اکسل (Richard Axel) گروه وسیعی از ژن‌های مرتبط با بویایی را کشف کردند، موفقیتی بزرگ در درک معماهای بویایی رخ داد.

فرضیات باک و اکسل در طراحی آزمایش کشف ژن‌های بویایی

باک و اکسل از سه فرض برای طراحی آزمایش خود استفاده کردند. اول این که با فرضیه‌ای عقلی مواجه شدند که مبتنی بر کار انجام‌شده در آزمایشگاه‌های دیگر بود؛ این که ژن‌های سازنده‌ی گیرنده‌های بویایی، شبیه به چه چیزی‌اند. آزمایش‌ها نشان داد که گیرنده‌های بویایی ساختاری ویژه با شماری از حلقه‌های مولکولی دارند که اطلاعات را از میان سلول انتقال می‌دهند. این سرنخ بزرگی بود، چرا که باک و اکسل حالا می‌توانستند ژنوم موش را برای هر ژنی که این ساختار را ایجاد کرده جستجو کنند. دوم، آن‌ها فرض کردند ژن‌های این گیرنده‌ها باید فعالیت کاملاً خاصی داشته باشند؛ آن‌ها باید تنها در بافت‌های درگیر با بویایی فعال باشند. این طور به نظر می‌آمد که اگر چیزی در فرایند بویایی درگیر باشد، پس باید به بافت‌های تخصص‌یافته برای همان هدف محدود شده باشد. سوم این که - مورد آخر، فرض بزرگی بود - اکسل و باک فرض کردند تنها یک یا چندتا از این



حفره‌های بینی و جریان مولکول‌های رایحه از ماهی بدون آرواره تا انسان.

ژن‌ها وجود ندارند، بلکه باید تعداد بی‌شماری از این‌ها وجود داشته باشند! این فرضیه بر مبنای این واقعیت بود که انواع مختلفی از مواد شیمیایی می‌توانند رایحه‌های مختلفی را ایجاد کنند؛ اگر قرار بود به ازای هر ماده‌ی شیمیایی یک گیرنده‌ی ژن اختصاصی وجود داشته باشد، آن‌گاه نیاز به وجود تعداد زیادی ژن بود. اما براساس اطلاعات در دسترس در آن زمان، این موضوع لزوماً درست نبود.

سه فرضیه‌ی پاک و اکسل با سربلندی از آزمایش بیرون آمدند. آن‌ها ژن‌هایی کشف کردند که ساختار ویژه‌ی گیرنده‌هایی را، که در جستجویش بودند، را داشتند. آن دو متوجه شدند همه‌ی این ژن‌ها تنها در بافت‌های درگیر با بویایی فعال‌اند، اپی‌تلیوم بویایی؛ و نهایتاً، شمار زیادی از این ژن‌ها را یافتند. این یک مسابقه‌ای پرامتیاز بود. بعد از آن پاک و اکسل، چیز واقعاً حیرت‌آوری کشف کردند. سه درصد از کل ژنوم ما به ژن‌هایی اختصاص داشتند که رایحه‌های مختلف را شناسایی می‌کردند! هریک از این ژن‌ها، یک گیرنده برای یک مولکول رایحه می‌ساختند. به‌خاطر این اکتشاف، پاک و اکسل با هم برنده‌ی جایزه‌ی نوبل سال ۲۰۰۴ شدند.

دو نوع ژن بویایی در پی موفقیت پاک و اکسل، پژوهشگران برای بررسی ژن‌های گیرنده‌ی بویایی در گونه‌های دیگر، شروع به ماهی‌گیری در هر جایی کردند! این جریان ثابت کرد که چنین ژن‌هایی، آثار زنده‌ای از یک انتقال بزرگ در تاریخچه‌ی حیات است. انتقال موجودات از آب به خشکی را در بیش از ۳۶۵ میلیون سال قبل در نظر آورید. دو نوع ژن بویایی موجود

است: یکی برای دریافت رایحه‌های شیمیایی در آب و دیگری برای دریافت در هوا
تخصص یافته است.

واکنش‌های شیمیایی بین مولکول رایحه و گیرنده در آب و هوا متفاوت است؛ از این‌رو، در هریک از این دو محیط
به گیرنده‌های اندکی متفاوت از دیگری نیاز است. همان‌طور که انتظار می‌رود، ماهی‌ها دارای گیرنده‌هایی بر
پایه‌ی آب در سلول‌های عصبی بینی خود هستند و در پستانداران و خزندگان، این گیرنده‌ها بر پایه‌ی هوا فعالیت
می‌کنند.

تفاوت ژن‌های بویایی در ماهی‌های ابتدایی

این کشف به ما در فهم وضعیت ماهی‌های زنده‌ی بسیار ابتدایی - ماهی‌های بدون آرواره از
قبیل لامپری و ماهی مکنده - در زمین امروز کمک می‌کند. این کشف ثابت کرد این
جانوران برخلاف ماهی‌های پیشرفته‌تر و پستانداران، هیچ‌یک از دو ژن بویایی در «آب» و
«هوا» را ندارند؛ بلکه هر دو گیرنده‌ی آن‌ها با هم ترکیب شده است! اگر بخواهم بهتر
بگویم: این ماهی‌های ابتدایی پیش از آن که ژن‌های بویایی به دو گونه تفکیک شوند،
به‌وجود آمده‌اند! ماهی بدون آرواره، نکته‌ی بسیار مهم دیگری را نیز آشکار ساخت: آن‌ها
شمار بسیار اندکی از ژن‌های بویایی داشتند. ماهی استخوانی، ژن‌های بیشتری دارد و باز
هم شمار بیشتری از این ژن‌ها در دوزیستان و خزندگان دیده می‌شود. تعداد ژن‌های بویایی
طی زمان، از تعداد نسبتاً اندک در جانوران ابتدایی از قبیل ماهی بدون آرواره، به تعداد بسیار
زیاد موجود در پستانداران افزایش یافتند.

ما پستانداران، با بیش از هزار تا از این ژن‌ها، بخش عمده‌ای از کل ابزار ژنتیکی‌مان فقط به ژن‌های بویایی اختصاص یافته است.
احتمالاً جانورانی که تعداد بیشتری از این ژن‌ها دارند، توانایی تشخیص انواع مختلفی از بوها برای آن‌ها بیشتر
است. روشن است که شمار زیاد ژن‌های بویایی ما توجیه‌کننده‌ی این واقعیت است که، پستانداران، جانورانی با
بویایی تخصص‌یافته‌ترند؛ کافی‌ست بدانید که سگ چه ردیاب بی‌نظیری است!

اما این ژن‌های بویایی اضافی ما از کجا آمده‌اند؟ آیا آن‌ها از هیچ به‌وجود آمده‌اند؟! چطور این افزایش وقتی
ساختار ژن‌ها را بررسی می‌کردیم بدیهی به‌منظر آمد؟

اگر شما ژن‌های بویایی یک پستاندار را با تعدادی از همین ژن‌ها در ماهی بدون آرواره مقایسه کنید، متوجه
می‌شوید همه‌ی تغییرات در ژن‌های اضافه‌ی پستانداران، پس‌زمینه‌ای‌ست: آن‌ها شبیه کپی‌هایی اصلاح‌شده از
ژن‌های ماهی‌های بدون آرواره‌اند. معنی آن این است که شمار زیاد ژن‌های گیرنده‌ی رایحه‌ی ما با تکثیر متعدد
از تعداد کمی از این ژن‌ها در گونه‌های ابتدایی‌تر به‌وجود آمده‌اند.

یک پارادوکس! اگرچه همانند بقیه‌ی پستانداران، سه درصد از ژنوم ما به ژن‌های بویایی اختصاص یافته است اما
وقتی که ژنتیک‌دان‌ها ساختار ژن‌های انسان را با جزئیات بیشتری مطالعه کردند، متوجه شگفتی بزرگی شدند:
۳۰۰ ژن از این هزار ژن مؤثر در بویایی، در اثر جهش‌هایی که ساختار آن‌ها را بیش از اصلاح، دگرگون ساخته

است، عملکرد خود را کاملاً از دست داده‌اند (البته بقیه‌ی پستانداران از این ژن‌ها استفاده می‌کنند)؛ چرا باید تعداد زیادی ژن بویایی داشته باشیم، درحالی که بسیاری از آن‌ها کاملاً بلااستفاده‌اند؟!

از میان همه‌ی موجودات، دلفین‌ها و وال‌ها به ما بینشی مؤثر برای یافتن پاسخ این سؤال می‌دهند. این دو جانور مانند همه‌ی پستانداران، دارای مو، پستان و گوش میانی با سه استخوان هستند. تاریخچه‌ی پستاندار بودن آن‌ها نیز در ژن‌های بویایی‌شان ثبت است: وال‌ها، ژن‌های تخصص‌یافته‌ی پستانداران برای تنفس در هوا را دارند، درحالی که فاقد ژن‌های تخصص‌یافته‌ی آبی، مانند ماهی‌ها، هستند. تاریخچه‌ی پستاندارانی از قبیل وال‌ها و دلفین‌ها حتی در DNA دستگاه درک بویایی آن‌ها ثبت شده است.

اما یک معمای جالب وجود دارد: دلفین‌ها و وال‌ها مدت زیادی از مجاری بینی خود برای استشمام بو استفاده نکردند. پس این ژن‌ها چه کاری در آن‌ها انجام می‌دادند؟ مجاری سابق بینی به سوراخی که بالای سر آن‌هاست اصلاح شد، که برای تنفس استفاده می‌شود نه برای بوییدن. این اصلاح، تأثیر قابل‌توجهی روی ژن‌ها داشت: همه‌ی ژن‌های بویایی وال‌ها و دلفین‌ها وجود دارند، اما کاربردی ندارند!

آن‌چه که بر سر ژن‌های بویایی دلفین‌ها و وال‌ها آمد، برای ژن‌های بسیاری از گونه‌های دیگر هم بموقع پیوست. جهش‌ها در ژنوم، به‌طور غیرمنتظره‌ای، از نسلی به نسل دیگر انتقال می‌یابند. اگر جهش عملکرد یک ژن را از کار بیندازد، نتیجه ممکن است خطرناک یا حتی مرگ‌آور باشد. اما اگر جهش، عملکرد ژنی که اساساً هیچ کاری انجام نمی‌دهد را از کار بیندازد، چه روی می‌دهد؟! فرضیه‌های ریاضی زیادی وجود دارند که آشکارا می‌گویند: چنین جهش‌هایی بی‌صدا، از نسلی به نسلی دیگر انتقال می‌یابند. به ژن‌های بویایی آن‌ها نیاز بیشتری نبود؛ در عوض به آن‌ها، دهانه‌ی تنفسی بالای سر داده شد و در نتیجه، جهش‌هایی که عملکرد ژن‌های بویایی را از کار می‌انداختند، تنها طی زمان روی هم انباشته شدند. ژن‌هایی که استفاده نمی‌شوند به‌عنوان آثار خاموش تکامل، در DNA باقی می‌مانند!

اما چرا بسیاری از ژن‌های بویایی ما انسان‌ها از کار افتاده‌اند، درحالی که دارای حس بویایی هستیم؟! یاو گیلاد (Yoav Gilad) و همکارانش با مقایسه‌ی ژن‌ها میان پریمات‌های مختلف، به این سؤال پاسخ دادند. او دریافت که پریمات‌هایی که دید رنگی داشتند، تمایل داشتند شمار زیادی از ژن‌های بویایی را از کار بیندازند!

نتیجه واضح است: ما انسان‌ها، همانند بخشی از اجدادمان، بویایی را با بینایی مبادله کردیم! حالا به بینایی‌مان، بیش از بویایی متکی هستیم و این در ژنوم ما منعکس شده است. در این رابطه‌ی جایگزینی، حس بویایی ما تضعیف شده و بسیاری از ژن‌های ساختمان بویایی، بدون کاربرد شده‌اند.

ما بسته‌های [ژن‌های] زیادی درون بینی‌مان حمل می‌کنیم؛ یا، به‌طور دقیق‌تر، در DNA خود که حس بویایی ما را کنترل می‌کند. صدها ژن بی‌کاربرد در ساختار بویایی‌مان را از نیاکان پستاندارمان، که برای زنده‌ماندن وابستگی بسیار زیادی به حس بویایی داشتند، به ارث برده‌ایم. در واقع این مقایسه را می‌توانیم باز هم عمیق‌تر کنیم؛ مانند فتوکپی که کیفیت خود را در اثر تکرار در کپی‌های متعدد از دست می‌دهد، همان‌طور که ما ژن‌های بویایی خودمان را مدام با موجودات ابتدایی‌تر مقایسه می‌کنیم، بی‌شباهت‌تر با آن‌ها می‌شوند.

ژن‌های ما به ژن‌های پریمات‌ها شبیه است و شباهت کمتری به ژن‌های سایر پستانداران دارد؛ به‌همین ترتیب کمتر از پستانداران، به خزندگان، دوزیستان و ماهی‌ها شبیه است. این بسته‌های ژنی شاهد بی‌صدایی از گذشته‌ی ما هستند؛ درون بینی ما، یک درخت واقعی حیات وجود دارد!

من در همه‌ی دوران حرفه‌ای زندگی‌ام، فقط یک مرتبه چشم فسیل‌شده‌ی جانوری را یافتم. البته نه در زمینی فسیلی یا سفری اکتشافی، بلکه در اتاق پستی یک فروشگاه مواد معدنی، در شهرکی در شمال شرقی چین!

من و همکارم گائو ککین (Gao Keqin) روی فسیل‌های زیبای نخستین سمندرهای شناخته‌شده، که از صخره‌های ۱۶۰ میلیون ساله‌ی چین جمع‌آوری شده بودند، مطالعه می‌کردیم. ما سفر کوتاه جمع‌آوری فسیل را در زمین‌هایی که گائو درباره‌ی آن‌ها اطلاعات داشت، به پایان رساندیم. مکان این زمین‌ها محرمانه بود، چراکه این فسیل‌های سمندر، ارزش مالی فراوانی برای کشاورزانی، که آن‌ها را یافته بودند، داشتند.

آن‌چه که باعث خاص شدن این فسیل‌ها بود آثار بافت‌های نرم باقیمانده، شامل آبشش‌ها، روده‌ها و نوتوکورد بود که اغلب از گزند زمان محافظت شده بودند. جمع‌آوری‌کننده‌های اختصاصی این فسیل‌ها علاقه‌ی فراوانی به آن‌ها داشتند، زیرا فسیل‌هایی با چنین کیفیتی، فوق‌العاده نادرند. پیش از آن‌که من و گائو کارمان را در فروشگاه به پایان برسانیم، شماری از سمندرهای باستانی واقعاً زیبا را از محل فسیلی گائو جمع‌آوری کرده بودیم.

این دلال مواد معدنی ویژه به یکی از بهترین فسیل‌های سمندر در طول تاریخ دست یافته بود! گائو از ما خواست تا فسیل را ببینیم و سپس باقی روز را برای دادوستد صرف کنیم. تمام این ملاقات، برای من توأم با احساس انجام عملی کاملاً غیرقانونی بود. گائو چندین ساعت با مرد دلال سیگار کشید و با او به زبان چینی به گفتگو پرداخت. مشخصاً مبادله‌ای در جریان بود، اما به‌علت ندانستن زبان چینی، متوجه نمی‌شدم چه پیشنهاداتی در حال رد و بدل شدن بود. پس از سر تکان دادن‌های فرلوان و درنهایت یک دست‌دادن گرم، اجازه یافتم که به اتاق پستی بروم و به فسیل روی میز دلال نگاه کنم. مبهوت شدم: بدن یک سمندر نوزاد که اندازهای بیش از هشت سانتی‌متر نداشت اما می‌توانستم در آن فسیل، آثار حیوانی کامل و صدف‌های کوچکی را که در آخرین وعده‌ی غذایی‌اش خورده بود، مشاهده کنم. برای اولین و آخرین بار در تمام دوران کاری‌ام، به چشم فسیل‌شده‌ی یک جانور باستانی خیره شدم!

چشم‌ها به‌ندرت در بقایای فسیلی حفظ می‌شوند. همان‌طور که دانستیم، بهترین گزینه برای فسیل شدن، بخش‌های سفت و سخت جانوران از قبیل استخوان‌ها، دندان‌ها و فلس‌ها هستند.

در صورتی که ما خواستار درک تاریخچه‌ی چشم‌ها باشیم، می‌توانیم از واقعیتی مهم برای ماجراجویی‌مان بهره

ببریم. گوناگونی جالبی برای اندام‌ها و بافت‌های دریافت‌کننده‌ی نور، در چشم جانوران وجود دارد؛ از اندام‌های ساده‌ی گیرنده‌ی نور در جانوران بی‌مهره تا چشمان مرکب حشرات مختلف و چشم دوربین‌مانند خود ما. حال چطور از این گوناگونی، برای درک گسترش توانایی بینایی‌مان طی زمان استفاده می‌کنیم؟!

تاریخچه‌ی چشمان ما بسیار شبیه به تاریخچه‌ی ماشین است. برای نمونه ماشین 'Chevy Corvette' را در نظر بگیرید. ما می‌توانیم مدل آن را در طول تاریخ دنبال کنیم و تاریخچه‌ی هریک از قسمت‌های آن را بررسی کنیم. Vette برای خود تاریخ دارد، که با ساخت آن در سال ۱۹۵۳ آغاز شد و هر ساله، طراحی آن با مدل‌های مختلف ادامه یافت. هم‌چنین لاستیک‌های استفاده‌شده در Vette از زمانی که در ساخت آن‌ها از کائوچو [لاستیک طبیعی] استفاده می‌شد، برای خود تاریخچه‌ای دارند. تاریخ ماشین قیاسی جالب برای بدن و اندام‌ها فراهم می‌آورد. چشمان ما هم برای خود تاریخی دارند، با این تفاوت که اجزای تشکیل‌دهنده‌ی چشم، سلول‌ها، بافت‌ها و ژن‌ها هستند. وقتی که این لایه‌های چندگانه از تاریخ اندام‌های‌مان را شناسایی کنیم، متوجه می‌شویم که مثل موزاییک ساده‌ای از ذرات و تکه‌های یافته‌شده در هر چیز دیگری در زمین هستیم!

بیشترین پردازش تصاویری که می‌بینیم، در مغزمان انجام می‌شود؛ نقش چشم در گرفتن نور به شیوه‌ای است که بتواند آن را هم‌چون تصویری، برای پردازش به مغز ارسال کند. چشم‌های ما، همانند هر جانور دارای جمجمه و ستون فقرات دیگری، شبیه دوربینی کوچک‌اند. پس از آن که نور از محیط خارجی وارد چشم می‌شود، روی صفحه‌ای واقع در پشت کره‌ی چشم متمرکز می‌شود. در این مسیر، نور از لایه‌های متعدد و قبل از همه، از قرنیه، عبور می‌کند؛ قرنیه، لایه‌ای نازک از بافتی شفاف است که عدسی چشم را می‌پوشاند. مقدار نوری که وارد چشم می‌شود با نوعی دیافراگم کنترل می‌شود که به آن عنبیه می‌گویند و با عمل ماهیچه‌های غیرارادی، منبسط و منقبض می‌شود. در ادامه، نور از عدسی عبور می‌کند و درست مانند دوربین، تصویری را ایجاد می‌کند.

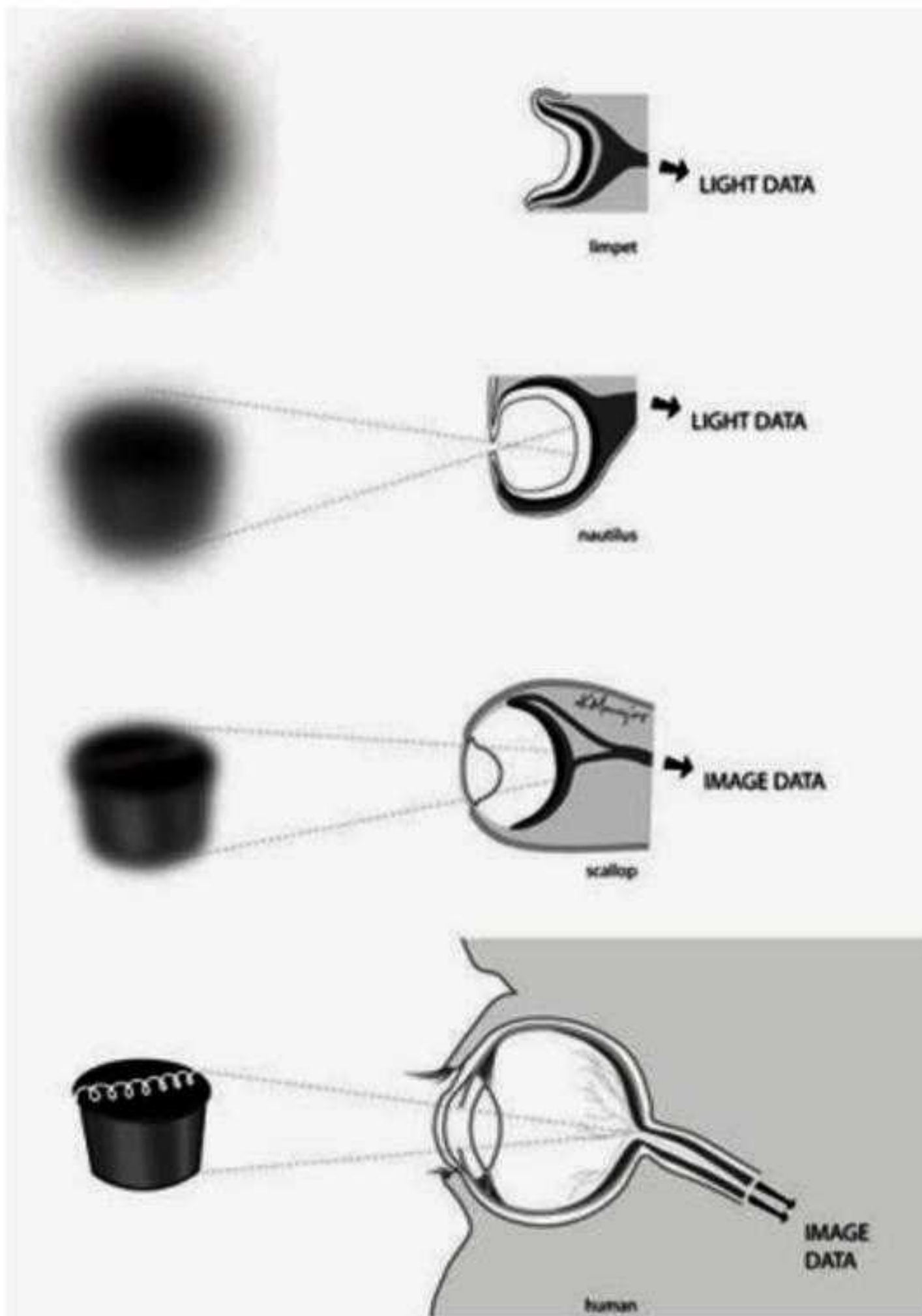
ساختار چشم

دوربین‌مانند ما!

ماهیچه‌های ریزی عدسی را احاطه کرده‌اند؛ به محض این که این ماهیچه‌ها منقبض می‌شوند، شکل عدسی را تغییر می‌دهند و بدین ترتیب عدسی، روی اجسام دور و نزدیک

1- Chevy Corvette





تکامل چشم‌ها از ابزارهای جمع‌آوری کننده‌ی اولیه‌ی نور در بی مهرگان تا چشم دوربین مانند ما با یک عدسی، با تکامل چشم‌ها، دقت بینایی افزایش می‌یابد.

متمرکز می‌شود. عدسی‌های سالم، شفاف هستند و از پروتئین‌های خاصی تشکیل شده‌اند که شکل متمایز و خاصیت جمع‌آوری نور را به آن‌ها می‌دهند. این پروتئین‌ها، که موسوم به کریستالین‌های عدسی هستند، عمر دراز و جالب‌توجهی دارند و این امکان را به عدسی می‌دهند که تا زمان زنده‌بودن ما عملکرد خود را حفظ کند. صفحه‌ای که نور روی آن متمرکز می‌شود (شبکیه)، دارای عروق خونی و گیرنده‌های نوری است. این گیرنده‌های نوری، سیگنال‌ها را به مغز ارسال می‌کنند، آن‌گاه ما می‌توانیم آن‌ها را هم‌چون تصویری درک کنیم. شبکیه از طریق سلول‌های حساس جمع‌آوری کننده، نور را

انواع سلول‌های

جمع‌آوری‌کننده

نور در چشم.

این سلول‌ها دو نوع‌اند: یک نوع، بسیار به نور حساس‌اند و نوع دیگر، حساسیت کمتری دارند. سلول‌های حساس‌تر، فقط طیف سیاه و سفید و سلول‌های با حساسیت کمتر، انواع رنگ‌ها را ثبت می‌کنند. با دقت در الگوی زندگی جانوران و بررسی درصد سلول‌های

حساس به نور در چشم آن‌ها، می‌توان فهمید که آن‌ها برای دید در روز یا شب تخصص یافته‌اند. در انسان، این دو نوع سلول، ۷۰ درصد کل سلول‌های حسی بدن را تشکیل می‌دهند و این نشان‌دهنده‌ی اهمیت بالای بینایی برای ماست.

چشم دوربین‌مانند ما با چشم هر جانور مجموعه‌دار دیگری، از ماهی‌ها تا پستانداران، مشابه است. در گروه‌های دیگر جانوری، چشم‌های متفاوتی وجود دارد؛ از مجموعه سلول‌های ساده‌ی دریافت‌کننده‌ی نور گرفته تا چشم‌های مرکب در حشرات و شکل‌های مشابه چشم خود ما.

کلید شناخت تاریخچه‌ی چشم، درک ارتباط بین ساختارهایی است که چشم دوربین‌مانند ما و همه‌ی انواع چشم‌های دیگر را می‌سازند. حال برای انجام این کار بیاید مولکول‌های جمع‌کننده‌ی نور، بافت‌های بینایی و ژن‌های سازنده‌ی آن‌ها را مطالعه کنیم.

مولکول‌های جمع‌آوری‌کننده‌ی نور

کار اصلی در سلول‌های جمع‌آوری‌کننده، عملاً در مولکول‌هایی رخ می‌دهد که نور را جمع می‌کنند. وقتی این مولکول‌ها نور را جذب می‌کنند، تغییر شکل می‌دهند و به دو بخش تفکیک می‌شوند که یک بخش از ویتامین A و دیگری از پروتئینی موسوم به آپسین مشتق شده است. هنگام قطع اتصال آپسین، زنجیره‌ای از واکنش‌ها روی می‌دهد که منجر به ارسال یک پالس از سلول عصبی به مغز می‌شود.

تنوع در مولکول‌های جمع‌آوری‌کننده‌ی نور ما از آپسین‌های مختلفی برای برخورداری از دید سیاه‌وسفید و رنگی بهره می‌گیریم. درست مانند یک چاپ‌گر رنگی که برای چاپ رنگی به سه یا چهار رنگ نیاز دارد، چشم ما نیز برای دید رنگی به سه نوع مولکول جمع‌آوری‌کننده‌ی نور نیاز دارد؛ درحالی‌که برای دید سیاه‌وسفید، تنها از یک مولکول استفاده می‌کنیم. این مولکول‌های جمع‌آوری‌کننده‌ی نور، در معرض نور تغییر شکل می‌دهند، سپس در تاریکی به وضعیت اولیه‌ی خود برمی‌گردند. این فرایند چند ثانیه‌ای طول می‌کشد. همه‌ی ما درباره‌ی این موضوع تجربه‌ی شخصی داریم: اگر از محیطی روشن به اتاقی تاریک بروید، واقعاً غیرممکن است که بتوانید اشیای تیره و کم‌نور را ببینید. علت آن هم این است که مولکول‌های جمع‌آوری‌کننده‌ی نور به زمان نیاز دارند تا به وضعیت اولیه خود بازگردند. بعد از چند ثانیه، دیدن در تاریکی ممکن می‌شود.

برخلاف گوناگونی گیج‌کننده‌ی عضوهای گیرنده‌ی نور، همه‌ی جانوران از نوع یکسانی از مولکول گیرنده‌ی نور استفاده می‌کنند. حشرات، انسان‌ها و انواع حلزون‌ها، همه از آپسین‌ها استفاده می‌کنند. نه تنها می‌توان تاریخچه‌ی چشم‌ها را از میان ساختارهای متفاوت آپسین آن‌ها دنبال کرد، بلکه شواهد خوبی هم داریم که ثابت می‌کند باید در وهله‌ی اول از باکتری‌ها، به‌خاطر این مولکول‌ها، سپاسگزار باشیم.

عمل و ساختار در اصل، آپسین نوعی مولکول است که اطلاعات را از خارج سلول به درون آن منتقل می‌کند. آپسین برای ادامه‌ی این فعالیت ویژه، باید مواد شیمیایی از غشای احاطه‌کننده‌ی سلول عبور کنند.

اُپسین‌ها نوع تخصص‌یافته‌ای از هدایت‌کننده‌اند که در آن‌ها پیچ‌وخم‌های متعددی دیده می‌شود و به این‌صورت، از خارج سلول به داخل آن حرکت می‌کنند. این مسیر پیچیده‌ی عبور گیرنده‌ی اُپسینی از درون غشا تصادفی نیست و برای خود مسیر مشخصی دارد^۱.

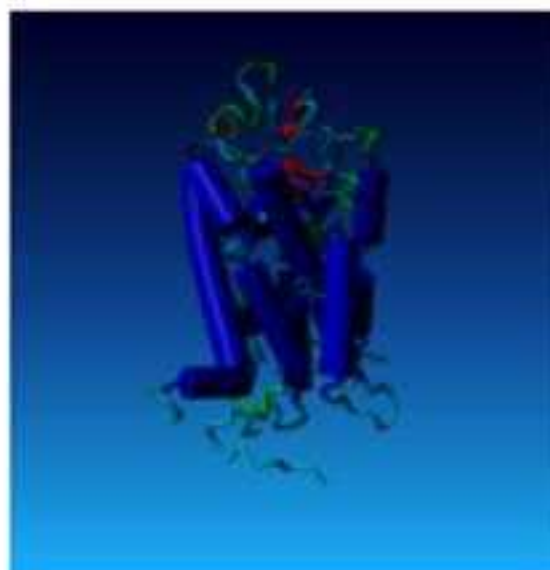
اما دیگر در کجا چنین مسیر پیچیده‌ای دیده شده است؟! این ساختار با بخش‌های ویژه‌ای از مولکول‌های خاص در باکتری‌ها نیز دیده می‌شود. شباهت‌های ساختاری ظریف موجود در این مولکول بین ما و باکتری‌ها، می‌گوید که یک ویژگی بسیار کهن در همه‌ی جانوران، تا تاریخ مشترک ما با باکتری‌ها امتداد یافته است. در واقع، قسمت‌هایی تغییریافته از باکتری‌های کهن، درون شبکیه‌ی چشم ما قرار گرفته‌اند و به ما در دیدن یاری می‌رسانند!

به‌علاوه، با بررسی اُپسین‌های چشم جانوران مختلف می‌توانیم بعضی وقایع مهم در تاریخچه‌ی چشمان‌مان را دنبال کنیم. یکی از این وقایع مهم، که در گذشته‌ی پریماتی‌مان روی داده، ایجاد دید رنگی است. انسان‌ها و نزدیک‌ترین میمون‌های انسان‌نمای خویشاوند ما - میمون‌های دنیای قدیم - را به‌یاد بیاورید؛ آن‌ها دید رنگی بسیار گسترده‌ای دارند که به سه نوع مختلف از گیرنده‌های نوری وابسته است. هریک از این گیرنده‌ها یک نوع [طول‌موج] از نور را جذب می‌کنند. اغلب پستانداران دیگر، تنها دو نوع از این گیرنده‌ها دارند؛ بنابراین آن‌ها، برخلاف ما، قادر به تشخیص بسیاری از رنگ‌ها نیستند.

مثلاً دید رنگی ما می‌توانیم منشأ دید رنگی خود را با بررسی ژن‌های سازنده‌ی گیرنده‌های مان، دنبال کنیم. با بررسی ژن‌های دو نوع از گیرنده‌هایی که اکثر پستانداران دارند، از دو نوع ژن ساخته شده‌اند. دو ژن از سه ژن سازنده‌ی گیرنده‌ی ما، به‌شکل قابل‌ملاحظه‌ای شبیه دو ژن گیرنده‌های سایر پستانداران است. به‌نظر می‌رسد دید رنگی وسیع ما از زمانی آغاز شد که یکی از ژن‌های دیگر پستانداران، مضاعف شد و این نسخه‌ها در طول زمان برای منابع نوری مختلف تخصصی شدند. همان‌طور که یادتان است، مورد مشابهی برای ژن‌های گیرنده‌ی بویایی نیز اتفاق افتاد.

این تحول ممکن است با تغییر گیاهان روی زمین در میلیون‌ها سال قبل در ارتباط باشد. این قضیه به ما یاری می‌کند تا بدانیم که، کدام دید رنگی، وقتی برای بار نخست پدیدار شد، بیشتر مناسب بوده است.

۱ - شکل مولکول اُپسین



تنوع رنگ در گیاهان برای میمون‌هایی که روی درختان زندگی می‌کردند این توانایی مفید بوده است چراکه دید و تغذیه؛ عامل رنگی، آن‌ها را قادر می‌کرد که تشخیص بهتری میان انواع میوه‌ها و برگ‌ها داشته باشند و ممیض پیدایش دید از میان آن‌ها مغذی‌ترین‌شان را انتخاب کنند. بنابر مطالعه‌ای، باتوجه به دیگر پریمات‌هایی که دید رنگی دارند، می‌توان تخمین زد که نوع خاص دید رنگی ما حدود ۵۵ میلیون سال قبل به‌وجود آمده است. در همین دوره‌ی زمانی، ما نمونه‌های فسیلی خاصی را از تغییر در ترکیب جنگل‌های باستانی یافتیم. پیش از این زمان، جنگل‌ها مملو از انجیر و خرما بودند که خوشمزه، اما هم‌رنگ، بودند. جنگل‌های بعدی تنوع بیشتری از گیاهان با رنگ‌های مختلف داشتند.

به‌نظر می‌رسد این فرض منطقی باشد که پیشرفت به سمت دید رنگی، با تبدیل جنگل‌های تک‌رنگ به جنگلی غنی از غذاهایی با رنگ‌های مختلف در ارتباط بوده است.

بافت‌ها

چشم‌های جانوران را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: یکی در بی‌مهرگان و دیگری در مهره‌دارانی هم‌چون ماهی‌ها و انسان‌ها. ایده‌ی اصلی این است که دو راه مختلف برای افزایش سطح منطقه‌ی جمع‌آوری‌کننده‌ی نور در بافت چشم وجود دارد. بی‌مهرگان، مانند مگس‌ها و کرم‌ها، با چین‌های بی‌شماری در بافت‌شان این کار را انجام می‌دهند، درحالی‌که نیاکان ما سطح این منطقه را با ایجاد تعداد زیادی برآمدگی ریز امتدادیافته از بافت شبیه موهای زبر کوچک افزایش داده‌اند. هم‌چنین تفاوت‌های دیگر، به انواع مختلفی از طراحی‌ها مرتبط می‌شود.

باتوجه به نبود فسیل در مقطع زمانی تاریخی دلخواه، به‌نظر می‌رسد که ما هرگز نمی‌توانیم به تفاوت بین چشم‌های خودمان و بی‌مهرگان پی ببریم. این موضوع تا سال ۲۰۰۱ ادامه داشت تا این که دتلو آرنه (Detlev Arendt) روی چشم‌های یک کرم کوچک بسیار اولیه مطالعه کرد.

کرم دریایی پلیکات^۱ جزو ابتدایی‌ترین کرم‌های زنده‌ی شناخته‌شده است. آن‌ها طرح بدنی قطعه‌بندی‌شده‌ی بسیار ساده‌ای دارند؛ هم‌چنین دارای دو نوع اندام احساس نوری‌اند؛ یکی چشم و دیگری بخشی از سیستم عصبی که مخصوص دریافت نور بوده و زیر پوست قرار گرفته است. آرنه این کرم‌ها را هم از لحاظ فیزیکی و هم ژنتیکی بررسی کرد.

دانش توالی ژنی ما از ژن‌های آپسین و ساختار نورون‌های جمع‌آوری‌کننده‌ی نور، به آرنه ابزار کافی برای بررسی چگونگی به‌وجود آمدن [اندام حساس به نور در] پلیکات‌ها داد. او دریافت که آن‌ها هر دو نوع گیرنده‌های نوری جانوران پیشرفته‌تر را دارند. «چشم» آن‌ها، درست مثل چشم هر بی‌مهره‌ی دیگری، از نورون‌ها و آپسین‌ها ساخته

شده است؛ اما گیرنده‌های نوری ریز موجود در زیر پوست موضوع دیگری بودند. آن‌ها آپسین‌های مهره‌داران و ساختار سلولی حتی با برآمدگی‌های موم‌مانند کوچک، هرچند در شکل ابتدایی‌شان را، داشتند. آرنت یک پل حیاتی کشف کرده بود؛ جانوری با هر دو نوع چشم، که یکی از آن‌ها - نوع شبیه به چشم ما - در شکل بسیار اولیه‌ی خود وجود داشت. وقتی که به بی‌مهرگان اولیه نگاه می‌کنیم، درمی‌یابیم که انواع مختلفی از چشم‌های جانوران در قسمت‌هایی با هم مشابه‌اند.

ژن‌ها

کشف آرنت، سؤال دیگری با خود به‌همراه آورد. چشم‌ها بخش‌های مشترکی با یکدیگر دارند، اما چطور چشمانی تا به این اندازه متفاوت - مثل چشم کرم‌ها، مگس‌ها یا موش‌ها - می‌توانند با هم خویشاوند باشند؟! برای پاسخ‌گویی به این سؤال اجازه دهید به دستورات ژنتیکی سازنده‌ی چشم‌ها نگاهی بیندازیم.

مگس‌های بی‌چشم^۱ در آغاز قرن بیستم، میلدرید هاگ (Mildred Hoge)، جهشی را در مگس میوه‌ای که فاقد هرگونه چشمی بود ثبت کرد. این جهش یافته‌ها، به‌صورت ایزوله و جدا از سایرین نبودند؛ او کشف کرد که می‌توان چنین مگس‌هایی را، که نام بی‌چشم^۱ را روی آن‌ها گذاشت، یک نسل کامل زادآوری کند.

بعدها، جهشی مشابه در موش‌ها نیز کشف شد. برخی از آن‌ها چشم‌های کوچکی داشتند؛ بقیه فاقد کل قسمت‌های سر و صورت از جمله چشم‌ها بودند. شرایط مشابهی در انسان‌ها، با عنوان فقدان عنبیه^۲ شناخته می‌شود؛ تأثیر آن در افراد، از دست‌دادن بخش بزرگی از چشم‌های‌شان است؛ در واقع، دانشمندان علم ژنتیک، در این موجودات بسیار متفاوت - مگس، موش و انسان - انواع جهش یافته‌های مشابهی را پیدا کرده بودند.

یک پیشرفت مهم در اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰ به‌وجود آمد. هنگامی که آزمایشگاه‌ها، شیوه‌های مولکولی جدیدی را برای درک این که تکوین چشم چطور در جهش یافته‌های بی‌چشم، تحت تأثیر قرار می‌گیرد، به‌کار گرفتند. آن‌ها با نقشه‌برداری از ژن‌ها، قادر به مکان‌یابی بخشی از DNA، که مسئول جهش‌ها بود، شدند. وقتی توالی‌یابی برای ما میسر شد، مشخص شد که ژن‌های جهش یافته‌های مگس، موش و انسان دارای ساختار و توالی DNA یکسانی‌اند. به‌معنای واقعی کلمه، آن‌ها ژن‌های یکسانی‌اند.

ژن مس-ژل ما از این موضوع چه چیزی آموختیم؟! دانشمندان ژن منفردی را کشف کردند که وقتی بی‌چشمی، همان ژن مس-ژل همان ژن سازمان‌دهنده‌ی چشم است!^{۱۲} این است که نسخه‌ی معمولی این ژن عامل اصلی شکل‌دهی به چشم‌هاست. حالا شانس به ما روی آورده است؛ می‌توانیم با انجام آزمایش‌های بیشتر، سؤالات دیگری هم بپرسیم. وقتی ما

1- Eyeless
2- Aniridia

ژنی را دست کاری کنیم یا آن را، با قرار دادن در جایگاه‌های دلخواه، روشن و خاموش کنیم، چه روی می‌دهد؟!

مگس‌ها مورد مناسبی برای این آزمایش‌ها بودند. در دهه‌ی هشتاد قرن بیستم، چندین ابزار بسیار پیشرفته‌ی ژنتیکی برای مطالعه‌ی مگس‌ها ساخته شدند. طبعاً اگر ژن‌ها یا توالی‌های DNA را بشناسید، می‌توانید مگسی فاقد ژن چشم (یا همان بی‌چشمی!؟) را بسازید یا برعکس، مگسی با ژن‌های فعال در جایگاه‌هایی نادرست به‌وجود بیاورید!

با استفاده از این ابزارها، والتر گرینگ (Walter Gehring) شروع به بررسی ژن بی‌چشم کرد. گروه گرینگ قادر به انتقال DNA بی‌چشم فعال، تقریباً در هر جایی که می‌خواستند، بودند: روی شاخک‌ها، روی پاها، روی بال‌ها. گروه پس از موفقیت در انجام این کار، متوجه امر خارق‌العاده‌ای شد!

اگر آن‌ها ژن بی‌چشم را روی شاخک فعال می‌کردند، چشم در همان‌جا رشد می‌کرد و اگر همین ژن را در قسمت دیگری از بدن مگس فعال می‌کردند، چشم درست در همان‌جا به‌وجود می‌آمد! در واقع، آن‌ها هر جا ژن را فعال می‌کردند، یک چشم جدید همان‌جا ایجاد می‌شد. به‌علاوه، در ادامه‌ی کارشان متوجه شدند برخی از چشم‌های رشد کرده در قسمت ناب‌جا، توانایی پاسخ به نور را هم دارند! گرینگ توانست عامل اصلی در شکل‌گیری چشم‌ها را آشکار سازد.

گرینگ مطالعات خود را در این‌جا متوقف نکرد؛ او شروع به مبادله‌ی ژن‌ها بین گونه‌های مختلف کرد. آن‌ها ژن بی‌چشم یا Pax6 را از موش برداشتند و در مگس فعال کردند. ژن موشی، چشم تازه‌ای ساخت؛ البته نه هر چشمی، بلکه یک چشم مگس برای جانور ساخت! پژوهشگران آزمایشگاه گرینگ، دریافته‌اند که آن‌ها می‌توانند از ژن موش برای تحریک شکل‌گیری یک چشم اضافه‌ی مگس، در هر جایی استفاده کنند: پشت بدن آن، روی بال یا نزدیک به دهانش!

آن‌چه که گرینگ کشف کرده بود، نکته‌ی کلیدی اصلی در تکوین چشم بود که در واقع در موش و مگس، یکسان بود. این ژن، Pax6، زنجیره‌ای از واکنش‌های پیچیده از فعالیت ژن‌ها را موجب می‌شد که در نهایت به ساخت یک چشم تازه‌ی مگس منتهی می‌شد.

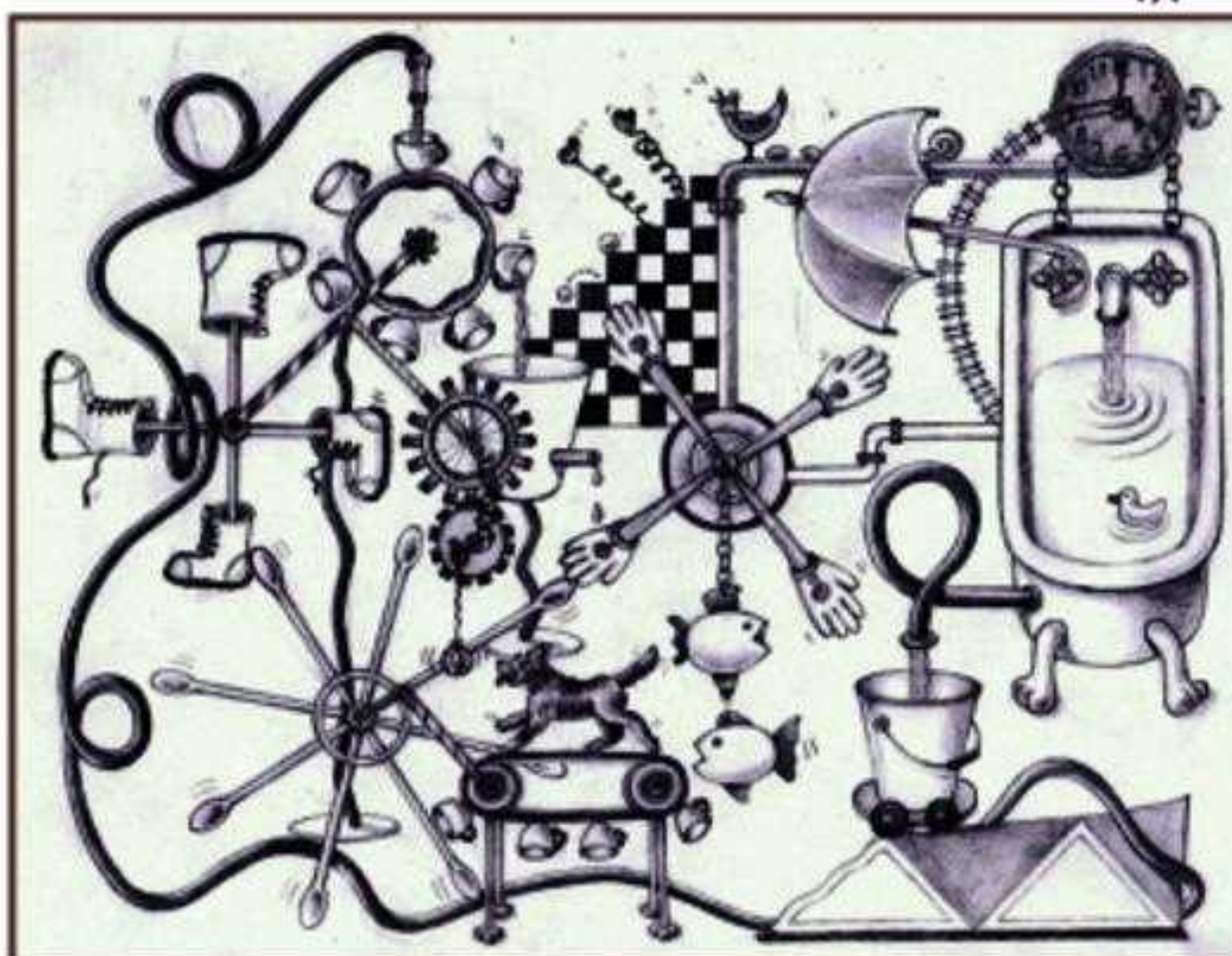
اکنون ما می‌دانیم که ژن بی‌چشم یا Pax6، تکوین چشم را در هر موجودی، که دارای چشم است، کنترل می‌کند. چشم‌ها در برخی موارد با هم متفاوت‌اند، برخی عدسی دارند و برخی ندارند؛ برخی مرکب و تعدادی دیگر ساده‌اند، اما کلیدهای ژنتیکی سازنده‌ی آن‌ها یکسان است.

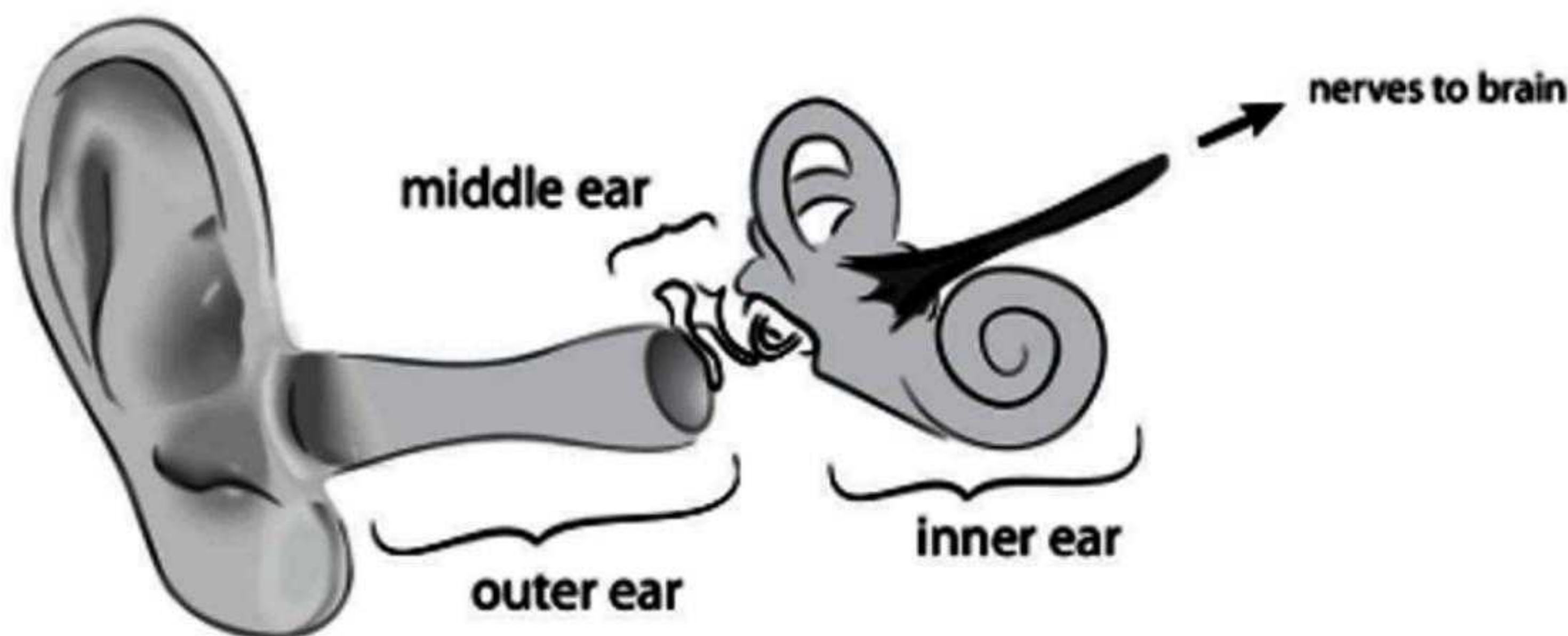
وقتی شما به چشم‌های فردی نگاه می‌کنید، صرف‌نظر از حالات عاطفی، زیبایی‌های خلقت و دریاچه‌ای به‌سوی روح بودن آن و تنها با در نظر گرفتن مولکول‌ها، ژن‌ها و بافت‌های چشم که از میکروب‌ها، عروس‌های دریایی، کرم‌ها و مگس‌ها منشأ گرفته است، در واقع به نمایشگاه کاملی از جانوران مختلف نگریسته‌اید!

برای مشاهده‌ی درون گوش خیلی تلاش نکنید، چرا که حاصل آن مایوس‌کننده است؛ قسمت‌های اصلی گوش، درون مجسمه مخفی شده و دیواره‌ای استخوانی آن را پوشانده است. برای جداسازی این دیواره‌ها در هنگام بازکردن مجسمه و خارج‌سازی مغز، به وسیله‌ای نوک‌تیز نیاز است. اگر به‌خوبی از عهده‌ی این کار برآییم یا خوش‌شانس باشیم، حالا قادر به دیدن گوش داخلی خواهیم بود. گوش داخلی شبیه صدف پیچ‌خورده و نازک حلزونی است که شما در محوطه‌ی چمن اطراف منزل خود پیدا می‌کنید!

ممکن است گوش به اختراعات عجیب و غریب روب گلدبرگ^۱ (Rube Goldberg) خیلی شبیه نباشد، اما به اندازه‌ی آن‌ها شگفت‌انگیز است! ما زمانی می‌توانیم بشنویم که امواج صوتی درون لاله‌ی گوش، یعنی گوش بیرونی، بییچند این امواج وارد گوش می‌شوند و پرده‌ی آن را می‌لرزانند. پرده‌ی گوش به سه استخوان کوچک متصل

۱- کارتون‌ساز، مخترع، نویسنده، مجسمه‌ساز و مهندس آمریکایی که به‌علت ساخت کارتون‌هایی از وسایل بسیار پیچیده، که به‌راحتی قابل استفاده بودند، مشهور شد!





نمایشی از سه بخش گوش: خارجی، میانی و داخلی. گوش داخلی قدیمی‌ترین قسمت شنوایی ماست و ارسال تحریک‌های عصبی به مغز را کنترل می‌کند.

است که آن‌ها هم در نتیجه‌ی ارتعاش پرده مرتعش می‌شوند. یکی از این سه استخوان گوش توسط نوعی پیستون به این ساختار صدف - حلزونی چسبیده است. ارتعاش استخوان گوش باعث می‌شود پیستون به بالا و پایین برود و این جابه‌جایی پیستون باعث حرکت مایع داخل مارپیچ حلزونی به اطراف می‌شود. حرکت مایع موجب حرکت زوائد موم‌مانند در سطح سلول‌های حسی می‌شود که به تبع آن پیام عصبی ایجاد می‌شود و به مغز انتقال می‌یابد و به این تحریک، صوت می‌گویند. دفعه‌ی بعد که در یک کنسرت شرکت کردید، به‌خاطر داشته باشید که پرواز صداها در اطراف سر خود را تصور کنید!

در گوش سه بخش اصلی وجود دارد: گوش خارجی، گوش میانی و گوش داخلی. بخش خارجی گوش، قسمت قابل‌مشاهده‌ی آن است. قسمت میانی شامل استخوان‌های کوچک گوش و سرانجام گوش درونی شامل سلول‌های حسی، ماده‌ی سیال و بافت‌هایی که آن‌ها را احاطه کرده‌اند، است. این سه بخش از گوش، ما را قادر به سازمان‌دهی راحت‌تر بحث‌مان می‌کند.

گوش خارجی؛ تمایز قسمت قابل‌مشاهده‌ی گوش، جایی که دسته‌ی عینک ما روی آن قرار می‌گیرد زائده‌ی پستانداران از مابقی تکاملی نسبتاً جدیدی در بدن ما است. این موضوع را در بازدید بعدی خود از یک باغ‌وحش مانندان. یا آکواریوم تأیید خواهید کرد. چه تعداد کوسه، ماهی استخوان‌دار، دوزیست یا خزنده دارای گوش بیرونی‌اند؟! لاله‌ی گوش - قسمت نرم گوش بیرونی - تنها در پستانداران دیده می‌شود. البته برخی از دوزیستان و خزندگان هم گوش بیرونی قابل‌مشاهده‌ای دارند، اما از لاله‌ی گوش خبری نیست؛ در واقع، گوش خارجی در آن‌ها عموماً پوسته‌ای شبیه به طبل است!

ظرافت ارتباط ما با کوسه‌ها و ماهی‌های استخوانی هنگامی آشکار می‌شود که داخل گوش‌های خود را مشاهده

می‌کنیم. به نظر نمی‌آید که گوش‌ها بخش مناسبی برای بیان ارتباط انسان و کوسه باشند، به خصوص به این علت که آن‌ها اساساً گوش ندارند؛ اما ارتباط در همین جاست! اجازه دهید با استخوان‌های گوش آغاز کنیم.

گوش میانی - سه استخوان گوش میانی

پستانداران موجودات بسیار خاصی‌اند. با مشاهده‌ی موهای روی بدن و غدد تولید شیر، به‌آسانی می‌توان آن‌ها را از سایر جانوران تشخیص داد. این برای بیشتر افراد جالب است که بدانند یکی از ویژگی‌های بسیار بارز پستانداران در گوش داخلی آن‌ها واقع است. استخوان‌های گوش میانی پستانداران شبیه هیچ جانور دیگری نیست؛ آن‌ها سه استخوان دارند در حالی که خزندگان و دوزیستان تنها یکی دارند و ماهی‌ها هم هیچ‌یک از آن‌ها را ندارند. پس منشأ استخوان‌های گوش میانی ما از کجاست؟

استخوان‌های گوش دانش آناتومی به یادمان می‌آورد که سه استخوان گوش میانی ما عبارتند از: استخوان میانی ما و ماهی‌ها، چکشی، استخوان سندان و استخوان رکابی. همان‌طور که متوجه شدیم هریک از این استخوان‌های گوش، از کمان‌های آبششی مشتق شده‌اند: استخوان رکابی از کمان دوم است، استخوان چکشی و سندان از کمان اول.

این نقطه‌ی آغاز داستان ما برای گوش است.

استخوان‌های گوش در سال ۱۸۳۷، آناتومیست آلمانی کارل رایشرت (Karl Reichert) شروع به بررسی جنین پستانداران و خزندگان برای شناخت منشأ مجموعه کرد. او به بررسی کمان‌های آبششی در گونه‌های مختلف پرداخت تا دریابد که آن‌ها در مجموعه‌های مختلف، در نهایت به چه چیز تبدیل شده‌اند. پس از آن که رایشرت بارها و بارها در گونه‌های مختلف این بررسی را انجام داد، چیزی آشکار شد که هیچ توجیهی برای آن وجود نداشت! دوتا از استخوان‌های گوش در پستانداران برابر با بخشی از آرواره در خزندگان بودند.

این جریان برای رایشرت باورنکردنی بود و او در مقاله‌ی خود هیجان ناشی از کشفش را آشکارا بروز داد. هنگامی که او به شرح مقایسه‌ی گوش با آرواره پرداخت، نثر او از یک تشریح موقر و معمولی آناتومی قرن نوزدهمی، به شوکی صریح و حتی شگفت‌آور مبدل شد. نتیجه بدیهی بود: همان کمان آبششی که قسمتی از آرواره را در خزندگان شکل داده، استخوان‌های گوش در پستانداران را ساخته است! به این ترتیب، رایشرت نظریه‌ای پیشنهاد کرد که حتی خود او هم به سختی می‌توانست آن را باور کند؛ این که قسمت‌هایی از گوش پستانداران دقیقاً معادل قسمت‌هایی از آرواره‌ی خزندگان است! زمانی که بدانیم رایشرت گفته‌های خود را چندین دهه پیش از نظریه‌ی درخت خویشاوندی حیات داروین مطرح کرده، مسئله پیچیده‌تر هم می‌شود. چطور می‌شود ساختارهایی را در دو گونه‌ی متفاوت «یکی» بدانیم، بدون این که نظریه‌ی تکامل را بدانیم؟!

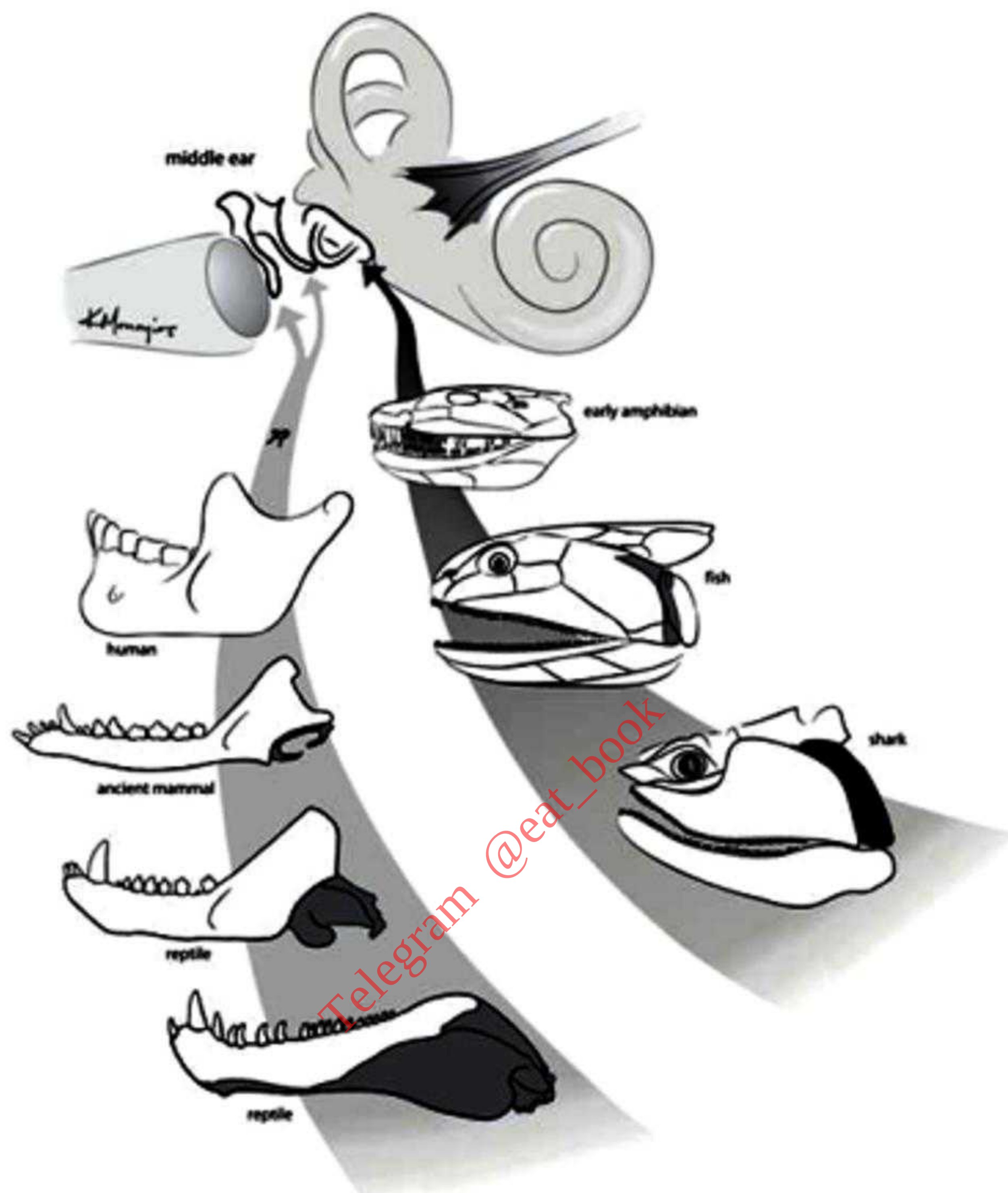
مدت‌ها بعد در سال ۱۹۱۰ و ۱۹۱۲، آناتومیست آلمانی ارنست گاوپ (Ernest Gaupp) با بررسی کشفیات رایشرت، مطالعه‌ی بسیار جامع خود را در زمینه‌ی جنین‌شناسی گوش پستانداران منتشر کرد. گاوپ به جزئیات بیشتری پرداخت؛ عامل زمان را در مطالعات خود در نظر گرفت و پژوهش‌های رایشرت را در چارچوب تکاملی تفسیر کرد. داستان گاوپ به این صورت بود: استخوان‌های سه‌گانه‌ی گوش میانی رابطه‌ی بین خزندگان و پستانداران را آشکار می‌کند. استخوان منفرد گوش میانی خزندگان، همان استخوان رکابی در پستانداران است؛ هر دو مشتق‌شده از کمان دوماند. همین اطلاعات ناچیز، معلوم می‌کرد که دو استخوان دیگر گوش میانی پستانداران - استخوان چکشی و استخوان سندان - از استخوان‌های واقع در پشت آرواره‌ی خزندگان تکوین یافته‌اند. اگر این وضعیت واقعاً وجود می‌داشت، در این صورت، ثبت‌های فسیلی باید انتقال استخوان‌ها از آرواره به گوش را در جریان پیدایش پستانداران نشان می‌دادند. مشکل این‌جا بود که گاوپ فقط روی موجودات زنده مطالعه کرد و نقشی که ممکن بود فسیل‌ها در نظریه‌ی او ایفا کنند را درک نکرد.

ملقه‌ی ارتباطی در آغاز دهه‌ی ۱۸۴۰، شماری از فسیل‌های گونه‌های جدید جانوران در اکتشافات آفریقایی **خزندگان** جنوبی و روسیه یافت شدند، بیشتر آن‌ها به‌خوبی محافظت شده بودند و تمام اسکلت جانورانی در اندازه‌ی سگ، از زیر خاک خارج شدند. به‌محض کشف این فسیل‌ها بسیاری از آن‌ها در جعبه قرار گرفتند و به آزمایشگاه ریچارد اوئن در لندن جهت شناسایی، بررسی و آنالیز منتقل شدند. به ذهن اوئن خطور کرد که این جانوران آمیزه‌ای از ویژگی‌های گوناگون در خود دارند. بخشی از اسکلت آن‌ها شبیه خزندگان است و بخش‌های دیگر به‌ویژه دندان‌ها شبیه پستانداران و البته این قسمت‌ها در یک ساختار کنار هم کشف شده‌اند.

کمی بعد معلوم شد که این «خزندگان پستاندارمانند» متعارف‌ترین اسکلت‌های یافته‌شده در بسیاری از زمین‌های فسیلی بودند. نه تنها بسیار متعارف، بلکه بسیار هم متنوع! یک سال پس از کشف اوئن، این خزندگان پستاندارمانند از نقاط دیگر زمین و هم‌چنین چندین دوره‌ی تاریخی مجزا از دوران حیات زمین یافت شدند. آن‌ها درواقع معرف گروه‌های جالب‌توجهی از انتقال خزندگان به پستانداران در ثبت‌های فسیلی به‌شمار می‌آمدند.

تا سال ۱۹۱۳، جنین‌شناسان و دیرینه‌شناسان جدا از هم مشغول پژوهش بودند. در همین زمان دیرینه‌شناس آمریکایی و.ک. گرگوری (W.K. Gregory)، از موزه‌ی تاریخ طبیعی آمریکا، متوجه ارتباط مهمی میان جنین‌های مطالعه‌شده توسط گاوپ و فسیل‌های آفریقایی شد. بیشتر خزندگان پستاندارمانند تنها یک استخوان منفرد در گوش میانی خود داشتند؛ درست مانند سایر خزندگان، این خزنده هم دارای آرواره‌ای بود متشکل از تعداد زیادی استخوان. در بررسی‌های بیشتر گرگوری، موضوع جالب‌توجهی فاش شد؛ جریانی که اگر رایشرت زنده بود حتماً از خوشحالی می‌مرد: یافته‌های پی‌درپی با قطعیت نشان می‌داد که با گذشت زمان، استخوان پشت آرواره‌ی خزندگان، کوچک و کوچک‌تر شده تا این‌که درنهایت در گوش میانی پستانداران واقع شده‌اند.

یعنی استخوان چکشی و سندان از استخوان‌های آرواره به‌وجود آمده‌اند. آن‌چه که قبلاً رایشرت و گاوپ در



ما می‌توانیم استخوان‌ها را از کمان‌های آبششی تا استخوان‌های خودمان تعقیب کنیم! ابتدا طی تبدیل ماهی به دوزیست (سمت راست) و سپس انتقال از خزنده به پستاندار (سمت چپ).

جنین‌ها مشاهده کرده بودند، در تمام این مدت، در نمونه‌های فسیلی به خاک سپرده شده بود و دقیقاً در انتظار کشف شدن نشسته بودند!

مزیت استفوان‌های علت نیاز پستانداران به استخوان سه‌گانه‌ی گوش میانی چیست؟ به نظر می‌رسد که این گوش میانی در اتصال ظریف یک سیستم اهرمی را تشکیل می‌دهد که پستاندار را قادر به شنیدن فرکانس‌های بالاتری نسبت به جانورانی، که فقط یک استخوان منفرد در گوش میانی دارند، می‌سازد.

پیدایش پستانداران نه تنها با الگوی تازه‌ی جویدن، که در فصل چهارم بیان شد، همراه بود بلکه شیوه‌های تازه‌ای برای شنیدن نیز با خود به همراه داشت. در واقع، این انتقال نه تنها با پدیدار شدن استخوان‌های تازه‌ای صورت گرفت، بلکه با تغییر کاربری آن‌هایی که از قبل هم وجود داشتند، همراه بود؛ استخوان‌هایی که در خزندگان در اصل برای جویدن استفاده می‌شدند، تغییر یافتند تا به پستانداران برای شنیدن یاری برسانند. این موضوع درباره‌ی استخوان‌های چکشی و سندان‌ی بسیار صدق می‌کند. اما به نظر شما، منشأ استخوان رکابی کجاست؟

اگر یک انسان بالغ و یک کوسه را به شما نشان بدهم، هرگز تصور نمی‌کنید که استخوان منشأ استخوان رکابی گوش ما

کوچک داخل گوش انسان، همان میله‌ی درشت در آرواره‌ی بالایی کوسه است! از دیدگاه تکوینی، این دو استخوان یکی هستند. استخوان رکابی دومین استخوان کمانی است؛ این استخوان معادل استخوانی موسوم به هیومندیولا^۱ در ماهی‌ها و کوسه‌ها است. اما هیومندیولا استخوان گوش نیست؛ یادتان هست که ماهی‌ها و کوسه‌ها فاقد گوش‌اند؟ در عموزاده‌های آبزی ما، این استخوان میله‌ی درشتی است که آرواره‌ی بالایی را به کاسه‌ی سر وصل می‌کند.

علی‌رغم تفاوت‌های مشهود در عملکرد و ظاهر این استخوان‌ها، شباهت‌هایی بین هیومندیولا و استخوان رکابی حتی در عصب‌هایی که به آن‌ها می‌رسد نیز وجود دارد. عصب کلیدی برای کارکرد هردوی این استخوان‌ها عصب کمان دوم، عصب صورت، است. یعنی در واقع، دو استخوان بسیار متفاوت منشأ تکوینی و الگوی عصب‌رسانی مشابهی دارند. آیا توضیحی برای این موضوع وجود دارد؟

ما دوباره فسیل‌ها را بررسی کردیم. همین‌طور که هیومندیولا را از کوسه‌ها تا جانورانی مانند تیکتالیک و دوزیستان تعقیب می‌کردیم، متوجه شدیم که آن‌ها چطور کوچک و کوچک‌تر شده‌اند و در نهایت هم، موقعیت خود را از بالای آرواره برای ایفای نقش در شنوایی تغییر داده و به فراخور آن، اسم آن‌ها نیز تغییر کرده است! وقتی این استخوان بزرگ است و در آرواره انجام وظیفه می‌کند، نام آن هیومندیولا است و وقتی کوچک است و در شنوایی نقش بازی می‌کند، نام آن استخوان رکابی است.

چنین انتقالی زمانی روی داد که نوادگان ماهی‌ها، شروع به رام‌رفتن در خشکی کرد؛ شنوایی در آب با خشکی متفاوت است و اندازه‌ی کوچک و موقعیت استخوان رکابی، شرایط را برای دریافت ارتعاشات از هوا فراهم می‌کند؛ این توانایی جدید با اصلاح استخوان بالایی آرواره در ماهی‌ها به‌وقوع پیوست.

گوش میانی ما دو انتقال عظیم را در تاریخچه‌ی حیات پشت‌سر گذاشته است: یکی در منشأ استخوان رکابی ما و آغاز انتقال آن از استخوان پشتیبان آرواره و تبدیل به استخوان گوش زمانی که ماهی شروع به رام‌رفتن در خشکی کرد و دومین رویداد بزرگ در جریان پیدایش پستانداران به‌وقوع پیوست؛ زمانی که استخوان‌های پشت آرواره‌ی خزنده تبدیل به استخوان چکشی و سندان‌ی ما شد. حالا بیایید بیشتر به درون گوش برویم؛ گوش داخلی.

گوش داخلی: حرکت ماده‌ی ژلاتینی و خمیدگی زوائد موماند

از گوش بیرونی عبور کنید و وارد قسمت‌های عمیق‌تر داخلی شوید، پرده‌ی گوش و سه استخوان گوش میانی را پشت سر بگذارید؛ حالا به عمق داخلی مجسمه رسیده‌ایم. در این‌جا شاهد گوش داخلی هستیم؛ لوله‌ها و مقداری ماده‌ی ژلاتینی، کیسه‌ها را پر کرده‌اند. در انسان‌ها هم درست مثل سایر پستانداران، لوله‌های استخوانی، شکلی مارپیچی-حلزونی به خود گرفته‌اند که در آزمایشگاه آناتومی به‌وضوح نشان داده می‌شود.

وظایف گوش داخلی گوش داخلی برای وظایف مختلفش قسمت‌های متنوعی دارد. یک بخش در شنوایی به کار می‌رود، دیگری برای این‌که ما را آگاه سازد که سر به کدام سمت خم شده و بعدی این‌که، سر با چه سرعتی حرکت می‌کند یا متوقف می‌شود. در انجام هر یک از این وظایف، گوش داخلی تقریباً به یک شکل عمل می‌کند.

چندین بخش از گوش داخلی با یک ماده‌ی ژلاتینی، که حرکت می‌کند، پر شده است. سلول‌های تخصص‌یافته، برآمدگی‌های موماندی به سمت ماده‌ی ژلاتینی دارند. هنگامی که ماده‌ی ژلاتینی حرکت می‌کند، موهای انتهایی سلول‌ها خم می‌شوند و زمانی که این موها خم می‌شوند، سلول‌های عصبی پیامی الکتریکی به مغز ارسال می‌کنند و مغز جایی است که این پیام‌ها، صوت، موقعیت یا شتاب ثبت می‌شود.

برای تجسم ساختاری که به ما می‌گوید سر ما در فضا در چه وضعیتی قرار دارد، یک گوی برفی از مجسمه‌ی آزادی^۱ را تصور کنید این گوی برفی از پلاستیک و ماده‌ی ژلاتینی، که آن را پر کرده، ساخته شده است. وقتی آن را تکان دهیم، ماده‌ی ژلاتینی حرکت می‌کند و «برف» روی بانوی آزادی می‌بارد. حالا تصور کنیم که گوی برفی از پوسته‌ی نرمی ساخته شده باشد. آن را بردارید و کج کنید، همه چیز جابه‌جا می‌شود و ماده‌ی ژلاتینی داخل به جهت‌های مختلفی حرکت می‌کند. همین اتفاق در ابعاد بسیار کوچک‌تر چیزی است که درون گوش ما رخ می‌دهد. هنگامی که سر خود را خم می‌کنیم، زنجیره‌ای از اتفاقات همیشگی به‌وقوع می‌پیوندد: ماده‌ی ژلاتینی داخلی جابه‌جا می‌شود، زوائد موماند برآمدگی‌ها خم می‌شوند و پیامی به مغز ارسال می‌شود.

1- The Statue of Liberty snow glob





nerve signals to brain

Each time
on the fluid
they bend
cause an i

هر زمان که سر خود را خم می‌کنید، ماده‌ی سیال اثباته در کیسه‌ها حرکت می‌کند سپس، آن‌ها پایانه‌های عصب‌های داخل کیسه‌ها را خم می‌کنند و سبب ارسال تکانه‌ای به مغز می‌شوند که به ما خبر می‌دهد «سرمان خم شد!».

در انسان‌ها، کل این سیستم با وجود ساختارهای صخره‌مانند ظریفی، که بر سطح غشای گوش داخلی هستند، با حساسیت بسیاری ساخته شده‌اند. زمانی که ما سر خود را خم می‌کنیم، صخره‌ها تحرک غشا را تشدید می‌کنند و سبب حرکت هرچه بیشتر ماده‌ی ژلاتینی می‌شوند. این قضیه حساسیت شنوایی را بالا می‌برد و ما را قادر به درک بهتر تفاوت‌های اندک اصوات محیط اطرافمان می‌کند. سر خود را خم کنید، صخره‌های کوچک درون جمجمه حرکت می‌کنند!

می‌دانیم که زندگی در خارج از زمین تا چه حد ممکن است دشوار باشد. حسگرهای ما برای کارکردن در شرایط جاذبه‌ی زمین تطابق یافته‌اند نه برای وضعیت بدون جاذبه‌ی شاتل در فضا. در وضعیت شناور در فضا، چشم‌های ما یک حالت از حرکت به بالا و پایین را ثبت می‌کنند و حسگرهای گوش داخلی ما کاملاً گیج می‌شوند و این قضیه به‌راحتی باعث بیماری ما می‌شود. به‌همین علل «بیماری فضا» برای فضانوردان، مشکلی واقعی است.

شیوه‌ی درک شتاب برای ما مبتنی بر قسمت دیگری از گوش داخلی است که به دو بخش متصل شده. سه لوله مملو از ماده‌ی ژلاتینی درون گوش وجود دارد؛ هر لحظه که ما با شتاب حرکت می‌کنیم یا می‌ایستیم، ماده‌ی ژلاتینی داخل لوله‌ها حرکت می‌کند، که سبب خمش سلول‌های عصبی و ایجاد جریان و پیام عصبی می‌شوند.

کل سیستمی که ما برای درک موقعیت و شتاب از آن استفاده می‌کنیم از طریق اتصالات داخل مغزمان به ماهیچه‌های چشم‌های ما وصل است. حرکت چشم‌های ما توسط شش ماهیچه‌ی کوچک چسبیده به کناره‌ی کره‌ی چشم کنترل می‌شود. با انقباض ماهیچه‌ها، چشم به بالا و پایین یا چپ و راست حرکت می‌کند، یعنی ما

می‌توانیم با حرکت دادن این ماهیچه‌ها، هر زمانی که تصمیم به دیدن موضوعی جدید بگیریم، چشمان‌مان را منقبض کنیم؛ اما خارق‌العاده‌ترین ویژگی این ماهیچه‌ها به حرکات غیرارادی آن‌ها برمی‌گردد؛ آن‌ها بدون این که ما حتی فکر کرده باشیم، در هر زمانی چشم‌ها را حرکت می‌دهند. برای درک حساسیت ارتباط این ماهیچه‌ی چشمی، درحالی که به این صفحه نگاه می‌کنید، سر خود را به جلو و عقب ببرید. درحالی که سرتان را تکان می‌دهید، چشمان خود را در یک نقطه ثابت نگه دارید.

هنگام انجام این آزمایش چه روی می‌دهد؟ در حال حرکت سر، چشم‌های شما روی یک نقطه‌ی مشخص ثابت می‌ماند. این حرکت بسیار پیش‌پاافتاده اما به‌طرز عجیبی پیچیده است. هریک از شش ماهیچه‌ی موجود در دو چشم، در حرکت سر مسئولیت‌هایی دارند. حسگرهای درون سر، که در بخش بعد درباره‌ی آن‌ها صحبت می‌کنم، جهت و سرعت حرکت سر را ثبت می‌کنند. این سیگنال‌ها به مغز انتقال می‌یابند، سپس سیگنالی ارسال می‌شود و حامل پیام انجام کاری برای ماهیچه‌های چشم است. دفعه‌ی بعد که چشم‌تان به جایی خیره می‌شود، درحالی که سرتان در حرکت است، به این موضوع بیندیشید! البته این سازوکار چه‌بسا ناهماهنگ هم بشود که این ناهماهنگی، عامل بسیاری از حالات ناخوشایند در ما است.

مکانیسم اثر الکل بر تعادل یک راه ساده برای درک ارتباط چشم و گوش داخلی، این است که آن را دست‌کاری کنید! یک روش برای انجام این کار، مصرف زیاد الکل است. نوشیدن اتانول فراوان، موجب بروز رفتارهای ابلهانه می‌شود؛ زیرا از کنترل احساسات می‌کاهد. نوشیدن الکل زیاد باعث گیجی می‌شود و معمولاً این گیجی، صبح نامرتب و ژولیده‌ای با خود به‌همراه می‌آورد؛ حالت خماری با گیجی بیشتر، منتهی به تهوع و سردرد هم می‌شود.

هنگامی که زیاد می‌نوشیم، مقدار زیادی اتانول وارد خون خود می‌کنیم، اما در ابتدا ماده‌ی سیال مجاری گوش به میزان اندک با الکل احاطه می‌شود. با گذشت زمان، الکل از خون به ماده‌ی سیال گوش داخلی نفوذ می‌کند. الکل از این ماده‌ی سیال، سبک‌تر است به این ترتیب، نتیجه‌ی پخش الکل این است که چگالی ماده‌ی سیال گوش داخلی ما کم می‌شود. این تغییر چگالی به‌طرز شدیدی تعادل ما را بر هم می‌زند. سلول‌های موماند ما تحریک می‌شوند و مغز تصور می‌کند که در حال حرکت هستیم. درحالی که ما ساکنیم و در جایی نشسته‌ایم؛ ما گیج و خسته به گوشه‌ای افتاده یا با اندامی خمیده روی کاناپه خزیده‌ایم. این جاست که مغز ما گول می‌خورد!

این مشکل تا چشم‌های‌مان ادامه پیدا می‌کند. مغز تصور می‌کند که ما در حال چرخیدنیم، پس اطلاعات را به ماهیچه‌های چشم منتقل می‌کند؛ درحالی که ما سعی می‌کنیم شئی را که از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر در حرکت است تعقیب کنیم، چشمان‌مان ناگهان به یک سمت می‌چرخند (معمولاً به سمت راست). اگر شما بادقت به چشمان فردی که زیاد نوشیده نگاه کنید، متوجه چرخش ناگهانی چشم‌ها می‌شوید که به آن «حرکت غیرارادی کره‌ی چشم»^۱ می‌گویند. پلیس این موضوع را به‌خوبی می‌داند و معمولاً در رابطه با افرادی که مرتکب تخلف رانندگی می‌شوند، حرکت غیرارادی چشم را بررسی می‌کند.

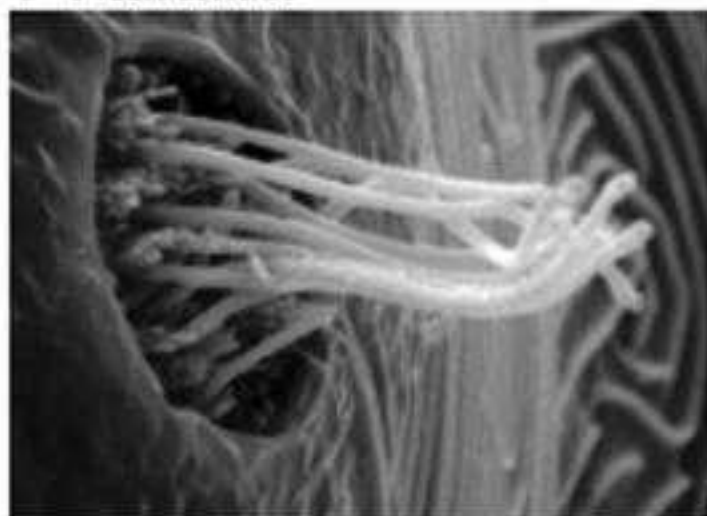
واکنش حالت مستی سنگین، اندکی متفاوت است. یک روز پس از می‌گساری، کبد به‌طور قابل‌توجهی کار خارج‌سازی الکل از جریان خون را انجام می‌دهد. این کار برای آن‌هایی که هنوز الکل در مجاری گوش‌شان باقی مانده بسیار کارآمد است. الکل از ماده‌ی ژلاتینی به داخل جریان خون نفوذ می‌کند و به‌همین علت مقدار بیشتری از ماده‌ی ژلاتینی حرکت می‌کند؛ نتیجه، چرخش و گیجی دوباره. فردی که سنگین نوشیده بود و شب قبل چشمانش به راست گردش می‌کرد، احتمالاً فردای آن روز، هنوز چشم‌های او می‌چرخد اما حالا در سمت مخالف!

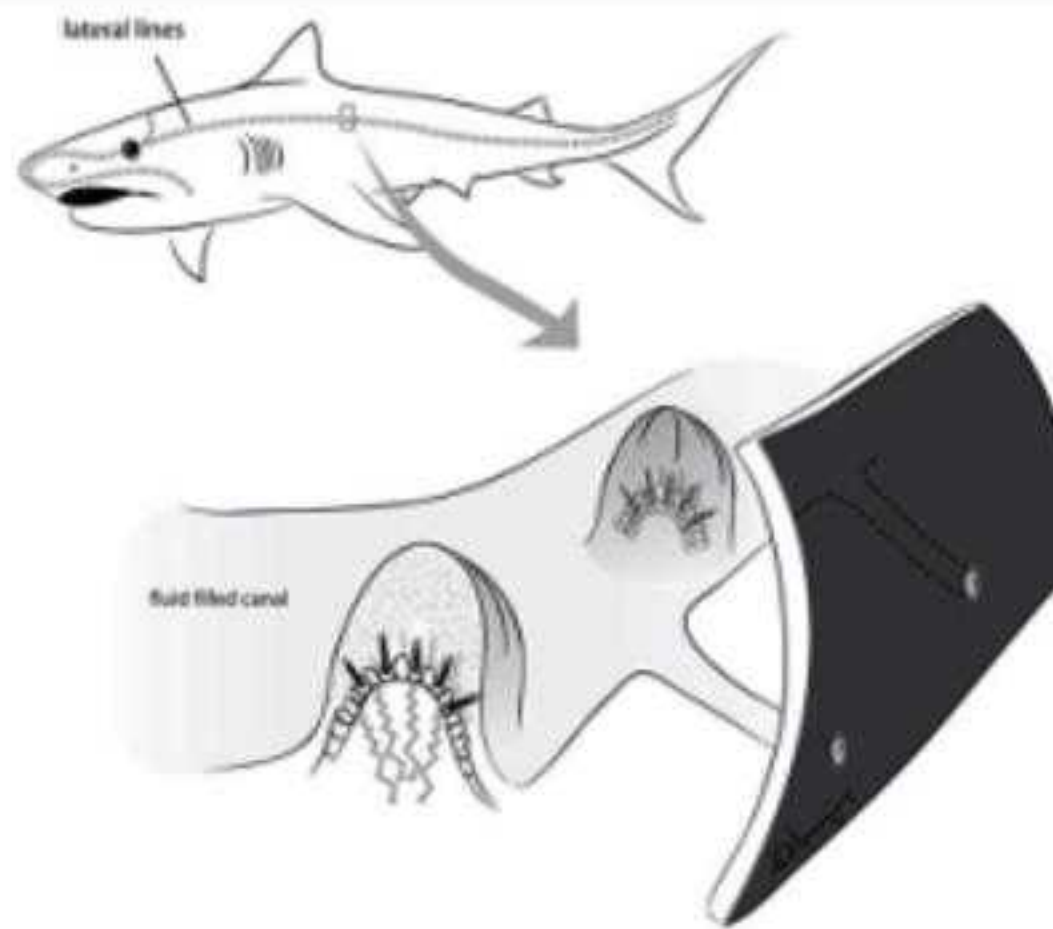
ما این اتفاق را مدیون تاریخچه‌ی مشترک خود با ماهی‌ها و کوسه‌ها هستیم. اگر در یک برنامه‌ی ماهی‌گیری سعی به صید قزل‌آلا کرده باشید، ممکن است برای‌تان پیش آمده باشد که با اندامی که دودمان گوش داخلی ما بوده، مواجه شده باشید، ماهی‌گیران می‌دانند که قزل‌آلا را تنها در قسمت‌های خاصی از جریان آب می‌توان شکار کرد. آن‌ها جایی را انتخاب می‌کنند که در عین دوری از شکارچی، بتوانند بهترین تغذیه را داشته باشند. چنین جایی معمولاً در سایه و جریان گردابی رودخانه‌هاست. بهترین محیط برای ماهی‌های بزرگ، پشت یک صخره‌ی تنومند یا کُنده‌های درخت افتاده در آب است. قزل‌آلا، مانند هر ماهی دیگری، سازوکاری برای حس جریان و حرکت آب اطراف خود دارد، که تقریباً به حس لامسه شبیه است.

نوروماست؛ دودمان گوش داخلی ما
ما بین پوست و استخوان‌های ماهی، روی خطی که در راستای بدن و سر قرار دارد، اندام کوچکی با گیرنده‌های حسی وجود دارد. این گیرنده‌ها روی دسته‌های کوچکی واقع‌اند که برآمدگی‌های موممانند کوچک را به کیسه‌ی مملو از ژلاتین، که به آن نوروماست^۱ می‌گویند، ارسال می‌کنند. این موضوع سبب جلب دوباره‌ی توجه‌مان به گوی برفی مجسمه‌ی آزادی می‌شود. اندام نوروماست شبیه یکی از همین اندام‌های باریکی است که دارای برآمدگی‌های عصبی داخلی هستند. هنگامی که آب در اطراف ماهی در جریان است، باعث تغییر شکل این کیسه‌ی کوچک می‌شود، بدین وسیله برآمدگی‌های موممانند عصب خم می‌شود که بسیار شبیه کل سیستم موجود در گوش ما است.

این دستگاه با ارسال سیگنالی به مغز موجب می‌شود که ماهی جریان آب اطراف خود را حس کند. کوسه‌ها و ماهی‌ها قادر به تشخیص جهت جریان آب‌اند. حتی برخی کوسه‌ها می‌توانند برهم‌خوردگی‌های جریان آب، به‌علت شنای ماهی‌های همسایه، را هم تشخیص بدهند. هنگامی که سر خود را تکان می‌دهیم، درحالی‌که

1- Neuromast





نسخه‌ی ابتدایی از قسمتی از گوش داخلی ما، داخل پوست ماهی تعبیه شده است. کپسه‌های کوچک - نوروماست‌ها - اطراف بدن آن‌ها پراکنده شده‌است. وقتی بدن آن‌ها در آب خم و راست می‌شود، درباره‌ی چگونگی تغییر جریان آب، اطلاعاتی به مغزشان مخابره می‌شود.

چشم به نقطه‌ای خیره شده، از یک نسخه از این سازوکار استفاده می‌کنیم و هنگام باز کردن چشم‌های فردی مست، متوجه انحراف آن‌ها به اطراف می‌شویم. اگر نیاکان مشترک ما با کوسه‌ها و ماهی‌ها دارای نوع دیگری از ماده‌ی ژلاتینی داخل گوش بودند، دیگر مصرف و اضافه‌شدن الکل به آن، موجب چرخیدن نمی‌شد و در این صورت ما هرگز سرگیجه‌ی پس از نوشیدن را تجربه نمی‌کردیم.

اگر تصور می‌کنید گوش داخلی ما و نوروماست نسخه‌هایی از یک اصل‌اند، تصوراتان خیلی هم از واقعیت دور نیست. هر دو طی تکامل از یک بافت منشأ گرفته‌اند و ساختار مشابهی دارند. اما کدام‌یک زودتر به وجود آمده‌اند: نوروماست یا گوش داخلی؟ در این‌جا شواهد اولیه و سطحی معدودی وجود دارد. اگر شما تعدادی از نخستین فسیل‌های دارای سر را بررسی کنید، متوجه می‌شوید که جانورانی با قدمت ۵۰۰ میلیون سال، چاله‌های ریزی در پوسته‌ی زره‌مانند خارجی خود دارند که گویای نوروماست در آن‌ها است. متأسفانه ما چیز چندانی درباره‌ی گوش داخلی چنین جانورانی نمی‌دانیم چراکه این ناحیه از سر آن‌ها، به‌خوبی محافظت نشده است. ما با شواهد متعدد با یکی از این دو پاسخ مواجه هستیم: گوش داخلی ما از نوروماست به‌وجود آمده؛ گوش داخلی ما از چیز دیگری به‌وجود آمده. هر دوی این سناریوها در هسته‌ی مرکزی خود، آن اصلی را که ما در بررسی سایر قسمت‌های بدن شاهد بودیم، انعکاس می‌دهند؛ اندام‌هایی که تنها برای انجام یک وظیفه به‌وجود می‌آمدند، در طول زمان برای چند کاربرد دیگر هم استفاده می‌شدند.

توسعه‌ی گوش در ساختار گوش‌های ما، گوش داخلی بسیار توسعه‌یافته است. آن قسمت از گوش داخلی ما **گوش داخلی در پستانداران** که به شنیدن اختصاص یافته، مانند سایر پستانداران مارپیچی و وسیع است. جانوران

ابتدایی‌تر مثل دوزیستان و خزندگان، گوش داخلی غیرمارپیچی ساده‌ای دارند. نیاکان پستاندار ما آشکارا به سازوکار جدیدتر و بهتری برای شنوایی دست یافتند. از آنجایی که ما محیط اطرافمان را در سه بعد درک می‌کنیم، برای ثبت شتاب، سه مجرا داریم.

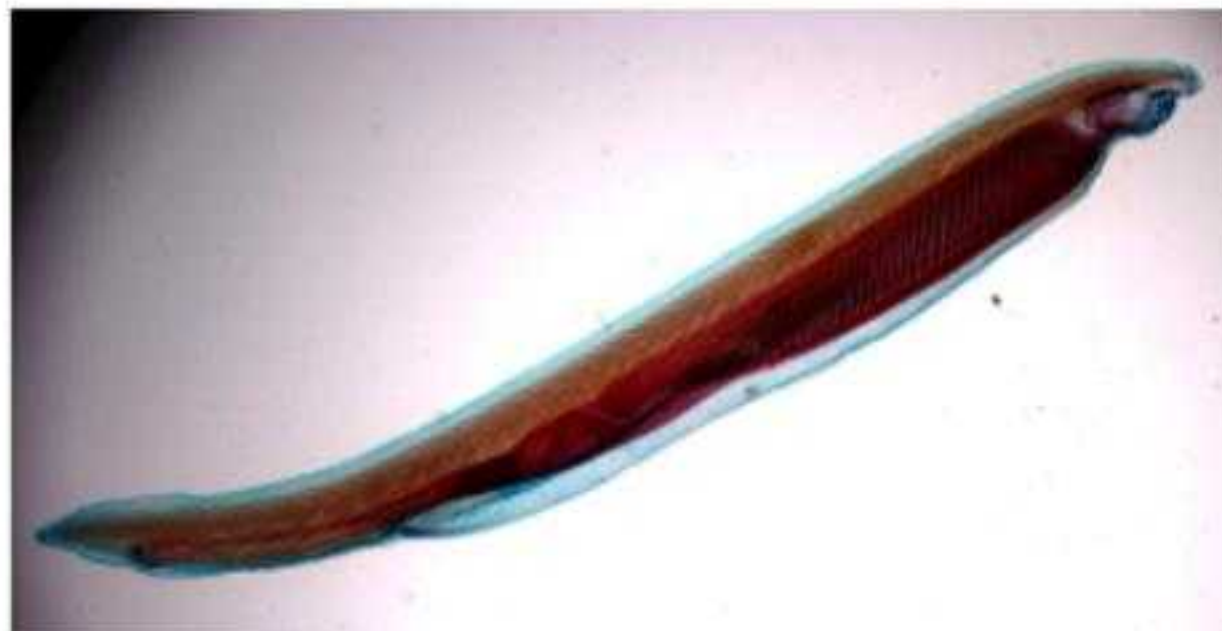
نخستین ماهی شناخته‌شده با این مجاری نوعی ماهی بدون آرواره، مانند لامپری، است که تنها یک مجرا دارد. پس از این دوره‌ی نخستین، ماهی‌ها دارای دو مجرا شدند و درنهایت، جدیدترین ماهی‌ها و دیگر مهره‌داران، هم‌چون ما، سه مجرا دارند.

تاریخچه‌ی سلول‌های
مسی گوش داخلی
متوجه شدیم که گوش داخلی ما تاریخچه‌ای دارد که می‌توان آن را تا نخستین ماهی‌ها دنبال کنیم و جالب‌تر این‌که، نورون‌های داخل ماده‌ی ژلاتینی گوش‌های ما حتی قدمتی بیشتر از این دارند. این نورون‌ها، که به آن‌ها سلول‌های مویی^۱ گفته می‌شود، ویژگی‌های خاصی دارند که در سایر نورون‌ها دیده نمی‌شود. آن‌ها برآمدگی‌های نازک موممانند، شامل یک موی بلند و مجموعه‌ای از موهای کوتاه‌اند و به‌طور ثابت در گوش داخلی ما و نوروماست ماهی‌ها قرار گرفته‌اند.

پژوهشگرانی که روی این سلول‌ها در جانوران دیگر مطالعه می‌کنند، اخیراً دریافته‌اند که نه‌تنها آن‌ها در جانورانی که اساساً اندام حسی ندارند، بلکه در جانورانی که حتی فاقد سرند، وجود دارند! آن‌ها در جانورانی مانند آمفیوکسوس^۲، که حتی گوش، چشم، سر یا جمجمه نداشتند و در فصل پنجم به ملاقات آن‌ها رفتیم، هم مشاهده شده‌اند. سلول‌های مویی، حتی پیش از پدیدارشدن اندام‌های حسی وجود داشتند.

نقش ژن‌ها در درک
تکامل گوش داخلی
البته تمام این ویژگی‌ها در ژن‌های ما ثبت‌اند. اگر جهش‌هایی در انسان‌ها یا موش‌ها رخ بدهد و نتیجه‌ی آن، از کارافتادن ژن موسوم به Pax2 شود، در آن‌صورت گوش داخلی به‌طور کامل شکل نمی‌گیرد. ژن Pax2 در شکل‌گیری منطقه‌ی گوش فعال است و گویا وظیفه‌اش، آغاز یک زنجیره واکنش از فعالیت‌های ژنی است که منجر به تکوین

-
- 1- Hair cells
 - 2- Amphioxus



شکل‌گیری گوش داخلی می‌شود. برای یافتن این ژن در جانوران بدوی‌تر به ماهی‌گیری رفتیم و متوجه شدیم که Pax2 در سر و البته در پشت، یعنی نوروماست‌ها، فعال است. منطقه‌ی مؤثر در ایجاد سرگیجه در حالت مستی و اندام‌های حسی ماهی‌ها ژن‌های مشترکی دارند: به این صورت، شاهد دیگری بر تاریخ مشترک ما با ماهی‌ها پیش روی‌مان قرار می‌گیرد.

عروس دریایی و منشأ چشم و گوش

درست مانند ژن Pax6، که ما پیشتر در ارتباط با چشم‌ها راجع به آن صحبت کردیم، Pax2 در گوش‌ها ژن اصلی ضروری برای تکوین این اندام است. به نظر شما این شگفت‌آور نیست که ارتباط بین ژن‌های Pax2 و Pax6، تاریخچه‌ی مشترک بسیار کهن گوش‌ها و چشم‌ها را رو می‌کند؟!

اینجاست که عروس دریایی وارد داستان ما می‌شود! عروس‌های دریایی، به‌خاطر سم‌شان، برای شناگران استرالیایی کاملاً شناخته‌شده‌اند. داشتن بیش از بیست چشم، این جانوران را از گونه‌های دیگر متمایز کرده است. بیشتر این چشم‌ها، به‌طور ساده‌ای روی شکاف‌های پوست بیرونی عروس دریایی پخش شده‌اند. بقیه‌ی چشم‌های روی بدن، شباهت عجیبی به چشم‌های ما دارند و نوعی قرنیه و عدسی در آن‌ها وجود دارد، حتی دارای ساختار عصبی شبیه ما هستند!

منشأ ژنی مشترک چشم و گوش
عروس دریایی هیچ‌یک از ژن‌های Pax6 و Pax2 را ندارد؛ آن‌ها پیش از پدیدارشدن این ژن‌ها به‌وجود آمده‌اند. اما در بررسی بسته‌ی ژن‌های عروس دریایی، متوجه موضوع جالب‌توجهی شدیم: ژنی که چشم‌ها را شکل داده، برخلاف انتظار ما، Pax6 نبود، بلکه مجموعه‌ی به‌هم پیوسته‌ای از ساختار Pax6 و Pax2 را در خود داشته؛ به بیان دیگر، این ژن شبیه به نسخه‌ی اولیه‌ی هر دو ژن Pax6 و Pax2 در سایر جانوران بود.

ژن‌های اصلی کنترل‌کننده‌ی چشم و گوش ما، مشابه یک ژن در بیشتر جانوران ساده‌ی ابتدایی هم‌چون عروس دریایی است. شاید بگویید، خب که چی؟! ارتباط دیرینه‌ی میان ژن‌های گوش و چشم، در توجه و درک بسیاری از بیماری‌هایی که این روزها در کلینیک‌ها می‌بینیم کمک می‌کنند؛ برخی از نقایص مادرزادی در بدو تولد، گوش‌های داخلی و چشم‌ها را متأثر می‌کنند. تمام این‌ها، بازتابی از ارتباط عمیق میان ما و موجودات ساده‌ی ابتدایی مانند عروس دریایی نیش‌دار است.



باغ وحشی درون شما

آشنایی من با مجامع علمی از اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ در دوران دانشگاه و زمانی که داوطلبانه در موزه‌ی تاریخ طبیعی آمریکایی در شهر نیویورک شروع به فعالیت کردم، آغاز شد. جدا از هیجان و آموزه‌های کار به‌دور از چشم دیگران در کلکسیون‌های موزه، یکی از تجارب ارزشمند برای من، شرکت در سمینارهای پرسروصدای هفتگی آن‌ها بود. هر هفته یک سخنران برای ارائه‌ی برخی از مطالعات تخصصی در تاریخ طبیعی انتخاب می‌شد، به‌دنبال سخنرانی‌ها، که اغلب آرام و بی‌دغدغه انجام می‌شدند، شنوندگان موضوعات را نکته‌به‌نکته و کاملاً بی‌رحمانه نقد می‌کردند. گویی سخنران میهمان، هم‌چون یک‌تکه گوشت است که او را کباب کرده و مثل غذای اصلی میل می‌کنند! بسیاری از اوقات، این بحث‌ها به جلساتی پر از فریاد کشیده می‌شد که با مشت‌هایی چرخان در هوا و پاهایی کوبنده بر زمین تزیین شده بود!

من در این‌جا بودم؛ تالار مقدس مجمع علمی و به سمینار رده‌بندی جانوران گوش می‌دادم. می‌دانید که تاکسونومی یا رده‌بندی جانوران، علم نامگذاری گونه‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها در گروه‌هایی است که در زیست‌شناسی پایه حفظ کرده‌ایم. من در آن زمان نمی‌توانستم مبحثی را تا به آن اندازه بی‌ارتباط با زندگی روزمره تصور کنم، در عین حال بینم که همین مباحثات به‌نظر بی‌ارتباط، می‌تواند باعث سبک‌های مغزی در دانشمندان برجسته و سرشناس و حتی از دست رفتن قسمت عمده‌ای از وقار انسانی آن‌ها شود!

اما حالا می‌دانم چرا آن‌ها تا آن اندازه مشتاق و پیگیر بودند. در آن زمان این موضوع را درک نکردم که آن‌ها در اصل درباره‌ی یکی از مهم‌ترین مفاهیم زیست‌شناختی بحث می‌کردند. شاید به‌نظر مبحث چندان مهمی نباید، اما مفهوم اصلی این مباحث آن بود که ما چگونه موجودات مختلفی مثل انسان با ماهی، ماهی با کرم یا هر موجودی با موجود دیگر را مقایسه می‌کنیم. این باعث شد که ما روش‌هایی را برای تعقیب خویشاوندی خود با سایر جانداران توسعه دهیم، با مدارک DNA جراثیم را شناسایی کنیم، دریابیم که ویروس ایدز چگونه خطرناک شد و حتی انتشار ویروس آنفلوانزا در سراسر جهان را دنبال کنیم. مفهومی که من درباره‌ی آن بحث می‌کردم، زیرساخت منطقی این کتاب را پشتیبانی می‌کند؛ یکی از دریافت‌های ما این است که مفهوم قرار گرفتن ماهی‌ها، کرم‌ها و باکتری‌های درون‌مان را درک کردیم.

انتشار یک عقیده‌ی به‌راستی بزرگ از قوانین طبیعت، با فرض‌های ساده‌ای که هر روز شاهد آن‌ها هستیم، شروع می‌شود. وقایع بزرگی مانند حرکت ستاره‌ها یا عملکرد زمان نیز با یک شروع ساده از مشاهدات گسترش می‌یابند. در این‌جا من می‌توانم جوهر یک قانون واقعی که همه‌ی ما با آن موافقیم را بیان کنم. این قانون برای ما آن قدر عمیق است که همه‌ی ما معتقد به درستی آن هستیم؛ در عین حال این قانون نقطه‌ی آغاز هر کاری است که ما در دیرینه‌شناسی، زیست‌شناسی تکوین و ژنتیک انجام می‌دهیم.

«قانون همه‌چیز» که در زیست‌شناسی بیان می‌کند: هر موجود زنده‌ای در سیاره‌ی ما، والدینی دارد!

هر فردی که تا به حال در زندگی دیده‌ایم یک پدر و مادر دارد؛ به همین ترتیب هر پرنده، سمندر یا کوسه که تا به حال دیده‌ایم. ممکن است فن‌آوری این موضوع، به واسطه‌ی شبیه‌سازی یا هر شیوه‌ی علمی تاکنون شناخته‌شده‌ی دیگری، تغییر کند، اما تا این‌جا این قانون وجود داشته است. برای این که دقیق‌تر ارزیابی کنیم: هر موجود زنده‌ای از یک سری از اطلاعات ژنتیکی والدین خود به وجود آمده است. این قاعده، نقش والدین و شیوه‌ی واقعی زیست‌شناختی وراثت را تبیین کرده و قابل‌تعمیم به سایر موجودات مانند باکتری‌ها است که مانند ما تولید مثل نمی‌کنند.

تعمیم بیشتر این قانون زیبا، آن جایی است که قدرت خود را به دست آورده: ما همه زادگان اصلاح‌شده‌ی والدین خود یا اطلاعات ژنتیکی والدین خود هستیم. من زاده‌ی پدر و مادر خود هستم، اما همانند آن‌ها نیستیم. والدین من اولاد اصلاح‌شده‌ی والدین خود هستند و به همین ترتیب تا آخر. این طرح وراثتی تغییر یافته، تبار خویشاوندی ما را تعیین می‌کند. همین امر این امکان را فراهم می‌سازد که بتوانیم تبار خویشاوندی افراد را تنها با گرفتن آزمایش خون ساده از آن‌ها بازسازی کنیم.

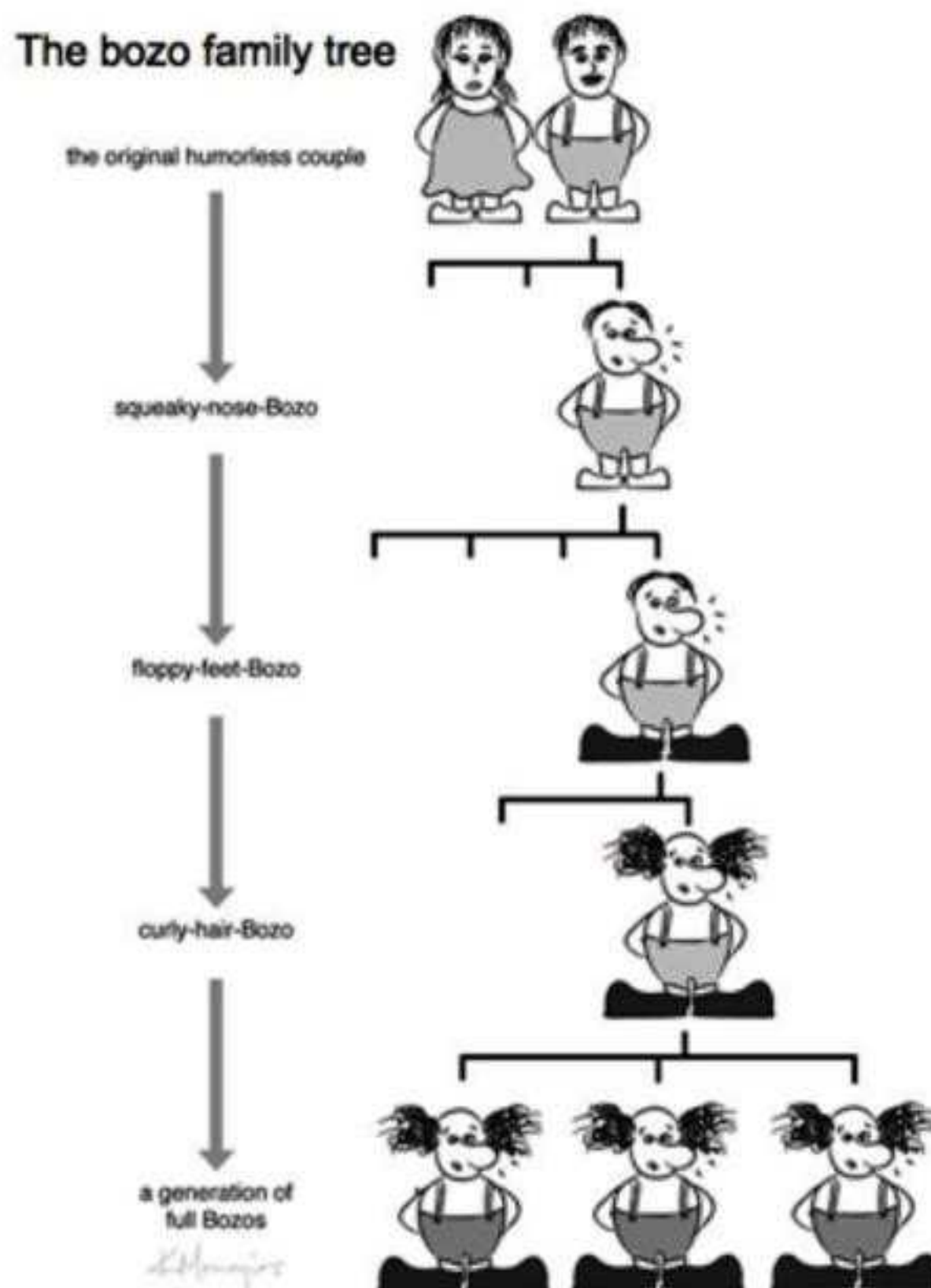
تصور کنید که در خانه‌ای قرار دارید که پر از افراد ناشناس برای شما است. به شما یک تکلیف ساده محول شده: بررسی کنید که هریک از افراد اتاق تا چه اندازه با شما قرابت خانوادگی دارند. چطور می‌توانید بگویید که کدام یک پسر عموی دور یا بسیار دور شما هستند؟ یا این که کدام یک عموی بزرگ شما در هفتاد و پنج پشت دورتر است؟!

برای یافتن پاسخ این سؤالات ما نیاز به دریافت راهنمایی فکری از نوع سازوکارهای زیست‌شناختی داریم؛ این که به ما روشی دهد تا صحت درخت خویشاوندی فرضی خود را آزمایش کنیم. این سازوکار، از تفکر راجع به قانون زیست‌شناسی ما می‌آید. این که بدانیم چطور توارث تغییر یافته، کلیدی برای گشایش تاریخ زیست‌شناسی است، زیرا توارث تغییر یافته، نشانه‌هایی از خود به جا می‌گذارد که ما قادر به شناسایی آن‌ها هستیم.

بیایید کاملاً جدی، فرضی را از زوجی که اصلاً شبیه دلقک نیستند و فرزندان هم دارند در نظر بگیریم یکی از پسران آن‌ها طی جهشی ژنتیکی، با بینی بزرگ قرمزی که خس خس هم می‌کند، متولد شده است. این پسر، بزرگ می‌شود و با یک زن خوش اقبال ازدواج می‌کند! او زن جهش‌یافته‌ی بینی خود را به فرزندان منتقل کرده و همه‌ی آن‌ها این بینی بزرگ قرمز را به ارث می‌برند. حالا فرض کنید یکی از اولاد او در جهشی ژنتیکی با پاهای

بزرگی متولد شود. وقتی این جهش به نسل بعدی منتقل شود همه‌ی آن‌ها مانند او می‌شوند: آن‌ها با بینی برجسته‌ی قرمزی که خس‌خس می‌کند، همراه با پاهای بزرگ به دنیا می‌آیند. یک نسل جلوتر بروید. تصور کنید که یکی از این بچه‌ها، نوه‌ی زوج اصلی، جهش دیگری در ژن‌هایش دارد: موهای مجعد نارنجی! هنگامی که این جهش هم به نسل بعدی منتقل می‌شود، همه‌ی فرزندان موهای مجعد نارنجی، بینی برجسته‌ی صدا دار و پاهای بسیار بزرگ دارند. وقتی می‌پرسید این فرد کیست؟ شما باید راجع به تمام اجداد او تفحص کنید.

این مثال نکته‌ی بسیار مهمی را شرح می‌دهد. وراثت تغییر یافته، درخت یا تبار خویشاوندی را می‌سازد که ما می‌توانیم آن را با ویژگی‌هایش بشناسیم. در این قضیه نشانه‌هایی است که می‌توانیم فوری متوجه آن می‌شویم. درست مانند مجموعه عروسک‌های تودرتوی روسی، اجداد فرضی ما گروه‌هایی درون گروه‌های دیگر هستند که ما آن‌ها را با ویژگی‌های منحصر به فردشان می‌شناسیم. گروه «بوزو کامل» نوه‌ی فردی است که فقط بینی و پای



بزرگ دارد. همین فرد در گروه «بوزوهای اولیه» فرزند فردی بود که فقط بینی بزرگ داشت. این «بوزوی پیش از نخستین» هم زاده‌ی زوج اصلی بود، که به هیچ وجه چهره‌ی دلکشانند نداشتند.

معنای الگوی توارث با تغییرات و اصلاحات این است که شما به سادگی می‌توانید درباره‌ی درخت خانوادگی بوزوها بدون آن که من چیزی راجع به آن بگویم، فرضیاتی داشته باشید. اگر شما یک اتاق پر از نسل‌های مختلف بوزوها داشته باشید، خواهید دید که همه‌ی خویشاوندان دلک، در گروهی که بینی صدادار دارند، هستند. زیرمجموعه‌ی این گروه، هم موهای نارنجی و هم پاهای خیلی بزرگ دارند. تودرتوی این زیرمجموعه گروه دیگری است؛ بوزوی کامل. کلید اصلی، همین ویژگی‌ها - موی قرمز، بینی صدادار، پاهای بزرگ - است که شما را قادر به تشخیص این گروه‌ها می‌سازد. این ویژگی‌ها، مدرک شما برای گروه‌های متفاوت است و در این مثال، نسل‌های برخی دلک‌ها هستند.

حالا در خانواده‌ی سیرک ویژگی‌های واقعی را جایگزین کنید، یعنی جهش‌های ژنتیکی و تغییراتی در بدن که به واسطه‌ی آن‌ها رمزگذاری می‌شوند؛ به این ترتیب، شما تباری دارید که با ویژگی‌های زیست‌شناسی می‌توانند شناسایی شوند. اگر وراثت با اصلاح به این شیوه عمل کند، درخت خانوادگی ما در بنیان ساختار خود، نشانه‌هایی خواهد داشت. این حقیقت آن قدر قدرتمند است که می‌تواند به ما در بازسازی درخت خانوادگی خود فقط از طریق اطلاعات ژنتیکی، کمک کند؛ هم‌چنان که در چند پروژه‌ی جاری شجره‌ای و نسبی شاهد آن بودیم. واضح است که دنیای واقعی بسیار پیچیده‌تر از نمونه‌ی ساده‌ی فرضی ما است. از طرفی، بازسازی درخت خانوادگی در صورتی که ویژگی‌ها در دوره‌های بسیار متفاوتی به وجود آمده باشند، رابطه‌ی بین ویژگی‌ها و ژن‌ها مستقیم نباشد یا ویژگی‌ها مبنای ژنتیکی نداشته بلکه نتیجه‌ی رژیم غذایی یا شرایط محیطی باشند، می‌تواند دشوار باشد. خبر خوب این است که الگوی وراثت با اصلاح، علی‌رغم این همه پیچیدگی‌ها باز هم شناسایی می‌شود؛ شبیه فیلتر کردن همه‌ی و نویز از سیگنال رادیویی!

اما اجداد ما در کجا متوقف می‌شوند؟ آیا بوزوها در یک زوج جدی متوقف می‌شوند؟ آیا اجداد من با اولین شوبین‌ها متوقف می‌شوند؟ این جریان بدجوری خودسرانه است! آیا در یهودی‌های اکراین متوقف می‌شوند یا در ساکنان شمال ایتالیا؟ یا در نخستین انسان‌ها؟ یا تا کف برکه‌ای ۳/۸ میلیارد ساله و حتی آن سوتر از آن ادامه دارند؟ همه موافق این هستیم که نیاکان ما به نقطه‌ای از زمان در گذشته می‌رسد، اما مسئله‌ی مهم این است که چقدر باید در گذشته فرو برویم تا به آن برسیم...؟!

اگر تبار ما به کف یک برکه بازگردد و قانون زیست‌شناختی ما در آن جا دنبال شود، پس باید بتوانیم شواهد را به ترتیب نشان دهیم و پیش‌بینی ویژه‌ای داشته باشیم. به جای یک طبقه‌بندی تصادفی از موجودات، کل حیات روی زمین باید نشانه‌هایی همانند از نیاکان اصلاح شده - که ما در میان بوزوها دیدیم - نشان دهد. در واقع، ساختار کل آثار زمین‌شناختی نباید تصادفی باشد. زایش نسل‌ها باید در لایه‌های نسبتاً جوان صخره‌ها آشکار شود. درست مثل من که در درخت خانوادگی خودم از پدر بزرگم تازه‌تر هستم، پس درخت خانوادگی حیات هم باید در طول زمان به همین شکل بوده باشد.

برای این که دریابیم که زیست‌شناسان چطور وابستگی ما را با سایر جانوران بازسازی می‌کنند، باید سیرک را ترک کنیم و به باغ وحشی برگردیم که در بخش اول کتاب از آن دیدار کرده بودیم!

پیاده روی طولانی‌تر در باغ وحش

همان‌طور که ملاحظه کردیم، کلیت بدن ما به‌طور تصادفی در کنار هم جفت‌وجور نشده است. در این‌جا من از واژه‌ی «تصادفی»^۱ کاملاً عمدی استفاده کردم. منظورم این است که تفاوت ساختار بدن‌های ما نسبت به سایر جانوران که راه‌می‌روند، پرواز می‌کنند، شنای می‌کنند یا روی زمین می‌خزند، به‌طور قطع تصادفی نیست. بعضی از جانوران در برخی ساختارها با ما سهیم‌اند و برخی دیگر نه؛ دستورالعملی وجود دارد که بیان می‌کند ما چه ویژگی‌هایی را با سایر جانوران سهیم هستیم. ما دارای دو گوش، دو چشم، یک سر، یک جفت دست و یک جفت پا هستیم. در عین حال ما هفت پا یا دو سر نداریم، همان‌طور که چرخ نداریم!

با یک پیاده‌روی در باغ وحش می‌توانیم سریع به وابستگی خود با سایر جانوران پی‌بیریم. این نشان می‌دهد که ما همان‌طور که بوزوها را گروه‌بندی کردیم، می‌توانیم بیشتر حیات را هم گروه‌بندی کنیم. ابتدا بیایید به سه نمایش توجه کنیم. با خرس‌های قطبی شروع می‌کنیم. شما می‌توانید یک فهرست بلند از ویژگی‌هایی که در آن‌ها با خرس‌های قطبی سهیم هستید را تهیه کنید: مو، پستان، چهار اندام حرکتی، گردن، دو چشم و سایر موارد دیگر. حالا بیایید لاک‌پشت را مقایسه کنیم. به‌طور قطع شباهت‌هایی وجود دارد اما در فهرستی کوتاه‌تر. شما در چهار اندام حرکتی، یک گردن و دو چشم (به همراه چند مورد دیگر) با لاک‌پشت سهیم هستید. اما برخلاف خرس‌های قطبی و شما، لاک‌پشت‌ها مو و پستان ندارند. همان‌طور که لاک‌پشت برای او یک ویژگی منحصر به فرد است، خز سفید هم برای خرس‌های قطبی منحصر به فرد است. حالا به ماهی آفریقایی توجه کنید. آن‌ها هنوز در ویژگی‌هایی به ما شبیه‌اند اما در فهرستی حتی کوتاه‌تر از لاک‌پشت. ماهی هم مانند ما دو چشم و چهار اندام فرعی دارد؛ اما این اندام‌ها باله هستند نه دست‌وپا. ماهی بسیاری از ویژگی‌های ما را ندارد که از میان آن‌ها می‌توان به مو و پستان اشاره کرد.

این مثل یک شروع برای چیزی شبیه به گروه‌ها، زیرگروه‌های و زیر-زیرگروه‌های عروسک‌های تودرتوی روسی است که در نمونه‌ی بوزو پدیدار شدند. ماهی‌ها، لاک‌پشت‌ها، خرس‌های قطبی و انسان‌ها همگی تعدادی ویژگی مشترک از قبیل سر، دو چشم، دو گوش و موارد دیگر دارند. لاک‌پشت‌ها، انسان‌ها و خرس‌های قطبی همگی گردن، اندام حرکتی و ویژگی‌هایی دارند که ماهی‌ها ندارند. خرس‌های قطبی و انسان‌ها حتی گروه پیشرفته‌تری را تشکیل می‌دهند، چراکه اعضای این گروه‌ها همگی مو و پستان دارند.

مثال بوزو برای ما ابزاری برای معنادار کردن قدم‌زدن در باغ وحش است. الگوی گروه‌های بوزو توارث تغییر یافته را نشان می‌دهد. مفهوم کلی این است که نسل بوزو کامل با یکدیگر خویشاوندی تازه‌تری نسبت به نسل بینی‌صدا دار دارند. پس موضوع این است: والدین فرزندان بینی‌صدا دار، پدر پدر (جد) نسل بوزوهای کامل هستند.

همین رویکرد درباره‌ی گروه‌هایی که ما با آن‌ها در طول پیاده‌روی در باغ‌وحش مواجه شدیم صدق می‌کند و معنی آن این است که انسان‌ها و خرس‌های قطبی باید در اجداد جدیدتری نسبت به لاک‌پشت‌ها با هم سهیم باشند. این پیش‌بینی درست است: نخستین پستاندار خیلی جدیدتر از نخستین خزنده است.

موضوع محوری در این‌جا، افشای اسرار درخت خانوادگی گونه‌ها یا به‌تعبیر دقیق‌تر زیست‌شناختی، الگوی خویشاوندی جانوران است. این الگو حتی به ما ابزاری برای توجیه فسیلی مانند تیکتالیک در بررسی‌مان حین قدم زدن در باغ‌وحش می‌دهد. تیکتالیک حیوان واسطه‌ی شگفت‌انگیزی میان ماهی‌ها و نواذگان خشکی‌زی آن‌ها است، اما احتمالاً جد نزدیک ما از این‌ها بسیار دور است. تیکتالیک بیشتر شبیه پسرعموهای نیکان ما است! هیچ دیرینه‌شناس عاقلی تا به حال ادعا نکرده است که «نیاکان ما» را کشف کرده است. به این موضوع این‌طوری نگاه کنید: چقدر احتمال دارد که درحین قدم‌زدن در هر گورستان از زمین، یکی از نیاکان واقعی خود را پیدا کنیم؟ این احتمال بسیار کم خواهد بود. آن‌چه که کشف خواهیم کرد این است که همه‌ی افرادی که در این گورستان‌ها دفن شده‌اند - مهم نیست این گورستان در چین، جمهوری بوتسوانا یا ایتالیا باشد - با درجات متفاوتی با ما خویشاوند هستند. می‌توانیم با بررسی DNA آن‌ها با چندین روش دادگاهی در آزمایشگاه‌های پزشکی قانونی امروزی درجه خویشاوندی آن‌ها را با خود، اثبات کنیم. مثلاً متوجه می‌شویم که تعدادی از افراد مدفون در گورستان، خویشان دور و تعدادی دیگر خویشان نزدیک‌تر ما هستند. این درخت، پنجره‌ای بسیار قدرتمند رو به گذشته و تاریخچه‌ی خانوادگی ما خواهد بود. هم‌چنین این موضوع یک کاربرد عملی هم خواهد داشت زیرا ما می‌توانیم از این درخت برای درک میزان آمادگی خود برای ابتلا به برخی بیماری‌ها و دیگر وقایع زیست‌شناسی استفاده کنیم. همین استدلال، هنگام اشاره به وابستگی بین گونه‌های جانوران نیز صدق می‌کند.

توانایی واقعی درخت خانوادگی، قدرت پیش‌بینی است که به ما می‌دهد. نکته‌ی مهم این‌که، ویژگی‌های مشترک‌تری که شناسایی می‌کنیم، باید با چارچوب کلی سازگار باشند. این یعنی هم‌چنان که من از روی سلول‌ها، DNA و تمام ساختارهای دیگر، بافت‌ها و مولکول‌های بدن این جانوران را شناسایی می‌کنم آن‌ها باید گروه‌بندی که ما درحین پیاده‌روی در باغ‌وحش شناسایی کردیم را پشتیبانی کنند. بالعکس، ما می‌توانیم گروه‌بندی‌های خود را با یافتن ویژگی‌های ناسازگار با آن‌ها باطل کنیم. این یعنی اگر ویژگی‌های مشترک زیادی بین ماهی‌ها و انسان‌ها باشد که در خرس‌های قطبی دیده نشود، چارچوب ما دچار نقص می‌شود و نیاز به بازبینی یا شفاف‌سازی دارد. در مواردی که شواهد مبهم هستند، با استفاده از ابزار آماری، کیفیت ویژگی‌هایی که ترتیب را در درخت خانوادگی پشتیبانی می‌کنند، ارزیابی می‌کنیم. در این مثال جایی که ابهام وجود دارد، ترتیب شجره‌نامه هم‌چون یک فرضیه تلقی می‌شود تا این‌که به چیز قطعی برسیم و بتوانیم آن را بپذیریم یا رد کنیم.

بعضی از گروه‌بندی‌ها برای همه‌ی مقاصد و اهداف بسیار قدرتمند هستند که ما آن‌ها را به‌مثابه‌ی واقعیت، می‌نگریم. برای نمونه ماهی، لاک‌پشت، خرس قطبی و گروه انسان با ویژگی‌های صدها ژن و همه‌ی ویژگی‌های آناتومی، فیزیولوژی و زیست‌شناسی سلولی جانوران، پشتیبانی می‌شوند. چارچوب رسیدن از ماهی به انسان چنان با قدرت پشتیبانی شده که ما تلاش بیشتری برای مرتب‌سازی مدارک نمی‌کنیم؛ انجام این کار بسیار شبیه

پنجاه مرتبه افتادن یک توپ برای بررسی تئوری جاذبه است! این موضوع برای مثال زیست‌شناختی ما هم صدق می‌کند. بخت شما برای مشاهده‌ی بالارفتن توپ خود در پنجاه مرتبه پرتاب، به اندازه‌ای یافتن شواهد قدرتمند برخلاف این وابستگی‌ها است!

در این جا می‌توانیم به چالش سرآغاز کتاب بازگردیم. ما چطوری می‌توانیم یک بازسازی قطعی میان وابستگی جانورانی که زمان زیادی از مرگ آن‌ها می‌گذرد با جانوران دارای بدن و ژن انجام دهیم؟ در جستجوی نشانه‌های توارث تغییر یافته، ویژگی‌هایی را اضافه می‌کنیم و کیفیت شواهد و مقادیری از آن‌ها که گروه‌های ما در ثبت‌های فسیلی نمایش می‌دهند را ارزیابی می‌کنیم. موضوع بسیار جالب این است که ما حالا ابزاری برای کاوش این سلسله مراتب داریم؛ کامپیوترها و آزمایشگاه‌های تعیین توالی DNA همان تجزیه و تحلیلی که در جریان پیاده‌روی در باغ وحش انجام می‌دادیم را انجام می‌دهند. حالا ما به زمین‌های فسیلی تازه‌ای در سراسر جهان دسترسی داریم. ما قادر به مشاهده‌ی جایگاه بدن مان در طبیعت، بسیار بیش از توانایی گذشته مان هستیم.

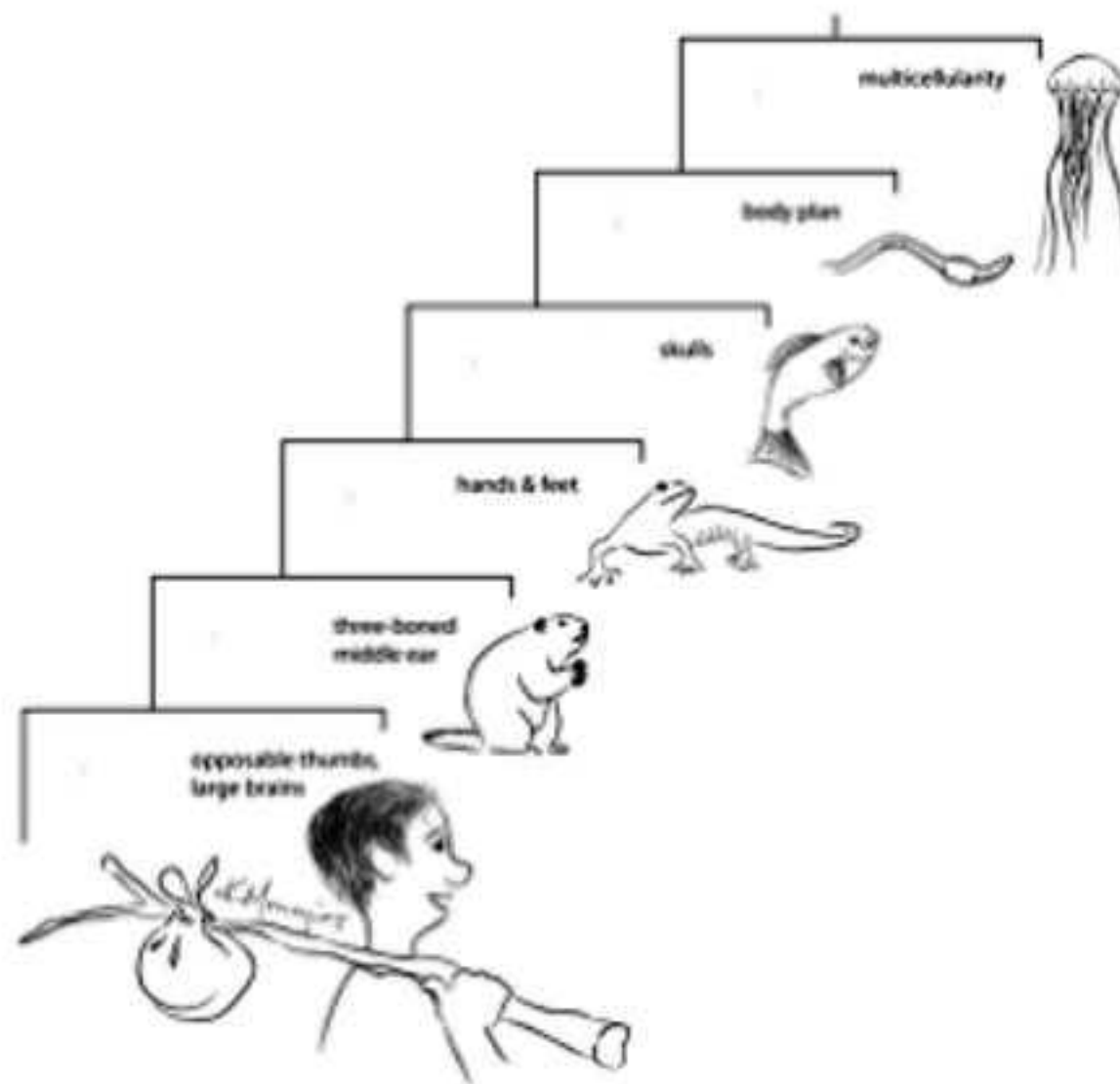
از فصل ۱ تا فصل ۱۰، ما شباهت عمیق موجود بین جانوران زنده‌ی امروز و کرم‌های مرده‌ی دوران ماقبل تاریخ، اسفنج‌های زنده و گونه‌های مختلفی از ماهی‌ها را نشان دادیم. حالا که به دانش الگوی توارث تغییر یافته مسلح هستیم، می‌توانیم شروع به درک و توجیه همه‌ی این موارد کنیم. تفریح و سرگرمی در سیرک و باغ وحش کافی است؛ حالا زمان ورود به موضوعات اصلی رسیده!

دریافتیم که درون بدن مان نمایشگاهی از جانوران مختلف داریم. بعضی قسمت‌ها به عروس دریایی شباهت دارد، برخی دیگر به کرم و هنوز برخی دیگر همانند ماهی‌ها است. این شباهت‌ها اتفاقی نیستند. بعضی از قسمت‌های بدن ما در هریک از جانوران دیگر دیده می‌شوند؛ برخی دیگر تنها برای ما هستند و منحصر به فرداند. نکته‌ی زیبای عمیق در این است که دستورالعملی برای تمام این ویژگی‌ها وجود دارد. صدها ویژگی موجود در DNA، ویژگی‌های بی‌شمار رشدی و آناتومی - همان‌طور که پیش از این در بوزوها دیدیم - همه منطق یکسانی را دنبال می‌کنند.

حالا به برخی از ویژگی‌هایی که تاکنون درباره‌ی آن‌ها در این کتاب صحبت کردیم توجه کنید تا به شما نشان دهم که آن‌ها چگونه مرتب شده‌اند.

ما بدن ترکیب یافته از سلول‌های بی‌شمار مان را با هر جانور زمینی دیگر، سهیم هستیم. به این گروه حیات، پرسلولی گفته می‌شود. ما ویژگی پرسلولی بدن مان را با هر موجود دیگری از قبیل اسفنج، پلاکوزون، عروس دریایی و شامپانزه سهیم هستیم.

زیرمجموعه‌ی این جانوران پرسلولی، یک طرح بدنی، مشابه ما دارند؛ بدن همه‌ی ما دارای جلو و عقب، بالا و پایین، چپ و راست است. متخصصان طبقه‌بندی جانوران به این گروه، عنوان متقارن داده‌اند. (یعنی «جانوران دارای تقارن دو طرفی»). که این گروه‌بندی، هر جانوری را از حشرات تا انسان دربرمی‌گیرد.



درخت خانوادگی انسان و تمام مسیرش برای رسیدن به عروس دریایی. ساختار این درخت مشابه درخت بوزوها است.

آن زیرمجموعه‌ای از جانوران پرسلولی، که نه تنها طرح بدنی شبیه ما دارند، یعنی بدنشان دارای جلوپشت، بالاپایین و چپوراست است بلکه جمجمه و ستون فقرات هم دارند، مهره‌داران هستند.

زیرمجموعه‌ای دیگری از جانوران پرسلولی که طرح بدنی شبیه به ما با جلوپشت بدن، بالاپایین، چپوراست و جمجمه دارند، به علاوه دارای دست‌ها و پاهایی هم هستند؛ به این مهره‌دارن تتراپود گفته می‌شود. (جانورانی با چهار اندام حرکتی)

یک زیرمجموعه‌ی دیگر از جانوران پرسلولی با طرح بدنی شبیه ما، جلووعقب، بالاپایین، چپوراست که جمجمه و دست و پا دارند و دارای استخوان سه‌گانه‌ی گوش میانی هم هستند؛ به این تتراپودها پستاندار می‌گویند.

و زیرمجموعه‌ای از جانوران پرسلولی که طرح بدنی شبیه ما، جلووعقب، بالاپایین، چپوراست، جمجمه، دست و استخوان سه‌گانه‌ی گوش میانی دارند، روی دو پا راه می‌روند و مغز بزرگی دارند. به این پستانداران، انسان گفته می‌شود.

قدرت این گروه‌بندی‌ها در مدارک پایه دیده شده است. صدها ویژگی ژنتیکی، جنین‌شناختی و آناتومی آن‌ها را پشتیبانی می‌کند. این ترتیب به ما اجازه می‌دهد که درون بدن مان را به طریق ارزشمندی مشاهده کنیم.

این مراحل تقریباً شبیه پوسته‌های نازک روی پیاز هستند، لایه‌ای پس از لایه‌ی دیگر در تاریخ آشکار می‌شود. در ابتدا ما شاهد ویژگی‌هایی هستیم که در تمام پستانداران وجود دارد سپس، همان‌طور که عمیق‌تر نگاه می‌کنیم،

ویژگی‌های مشترک با ماهی‌ها را هم پیدا می‌کنیم. از این هم عمیق‌تر شویم، شاهد ویژگی‌های مشترک با کرم‌ها هم هستیم و به همین ترتیب تا آخر. منطق بوزو را به‌خاطر بیاورید، معنی آن این است که ما شاهد الگوی توارث تغییر یافته هستیم که به‌طور عمیقی درون بدن‌های ما حک شده است. این الگو در یافته‌های زمین‌شناسی منعکس شده. کهن‌ترین فسیل‌های پرسلولی بیش از ۶۰۰ میلیون سال قدمت دارند. نخستین فسیلی که دارای استخوان سه‌گانه‌ی گوش میانی بوده کمتر از ۲۰۰ میلیون سال قدمت دارد و قدیمی‌ترین فسیلی که روی دوبا راه می‌رود، چهار میلیون سال عمر دارد. آیا تمام این واقعیت‌ها تصادفی هستند یا بازتاب یک اصل در زیست‌شناسی‌اند که ما همواره در پیرامون خود شاهد آن هستیم؟

کارل سگان (Carl Sagan) یک بار به زیبایی گفت که نظاره‌ی ستاره‌ها به مثابه‌ی مشاهده‌ی گذشته در زمان حال است. نور ستاره‌ها خیلی پیش از آن که زمین ما تشکیل شده باشد، سفری را از ابتدای عالم به چشم‌های ما آغاز کرده‌اند. دوست دارم این‌طور تصور کنم که مشاهده‌ی انسان‌ها بسیار شبیه به مشاهده‌ی دقیق ستاره‌ها است. اگر بدانید که چطور نگاه کنید، بدن هم‌چون یک کپسول زمان می‌شود که گشایش آن، لحظات مهم و بحرانی تاریخچه‌ی زمین، اقیانوس‌ها، رودخانه‌ها و جنگل‌های باستانی ما را بازگو می‌کند. تغییرات در جو باستانی، در مولکول‌هایی که به سلول‌های ما امکان همکاری برای تشکیل بدن داده‌اند، انعکاس یافته است. محیط رودخانه‌های باستانی، آناتومی پایه‌ی اندام‌های حرکتی ما را شکل داده‌اند. دید رنگی و حس بویایی ما با زندگی در جنگل‌ها و جلگه‌های باستانی سازمان‌دهی شده و این فهرست هم‌چنان ادامه دارد. این تاریخ، ارثیه‌ی ماست؛ چیزی که روی زنده بودن امروز و آینده‌ی ما اثرگذار است.

چرا تاریخ ما را بیمار می‌کند

مدتی قبل زانوی من به اندازه‌ی یک گیرپ‌فروت ورم کرده بود؛ یکی از همکاران من از بخش جراحی آن را معاینه کرد تا تعیین کند که آیا زانوی من دچار دررفتگی، پارگی رباط‌ها یا غضروف‌های درون آن شده است یا خیر؟! این معاینات و بررسی‌های انجام‌شده با MRI، پارگی غضروف را تأیید کرد؛ بی‌شک این عارضه، نتیجه‌ی ۲۵ سال زمان سپری‌شده برای حمل کوله‌پشتی‌های مملو از تکه‌های صخره، سنگ‌های ساییده و سنگ‌ریزه در زمین‌های فسیلی است. اگر زانوی ما آسیب‌دیده باشد، به احتمال زیاد حداقل یکی از این سه ساختار آسیب دیده است: غضروف‌های میانی، رباط مجاور میانی یا رباط صلیبی قدامی. آسیب‌های این سه بخش از زانو بسیار رایج است؛ این سه ساختار میان پزشکان به «سه‌گانه بداقبال» معروف هستند. این‌ها شواهد آشکاری بر وجود یک ماهی درون ماست؛ ماهی روی دو پا راه نمی‌رود!

انسان شدن ما همراه با بهایی بوده است. برای چنین ترکیب استثنایی از کارهایی که انجام می‌دهیم - حرف زدن، فکر کردن، فهمیدن و رام‌رفتن روی دو پا - ما هزینه‌ای پرداخته‌ایم. این نتیجه‌ی اجتناب‌ناپذیر درخت زندگی درون ما است.

تصور کنید که یک فولکس واگن فوری می‌سازید که با سرعت ۲۴۰ کیلومتر در ساعت سفر کنید. در ۱۹۳۳ (۱۳۱۲)، آدولف هیتلر (Adolf Hitler)، دکتر فردیناند پورشه (Ferdinand Porsche) را مأمور ساخت یک ماشین ارزان قیمت می‌کند که بتواند با هر گالون بنزین ۶۴ کیلومتر حرکت کند و البته وسیله‌ی نقلیه‌ی قابل اعتمادی برای یک خانواده‌ی متوسط آلمانی هم باشد؛ نتیجه، فولکس واگن شد. داستان برنامه‌ی هیتلر، دچار محدودیت‌هایی شد که به این ترتیب ما قادر به اصلاح آن برای امروز شدیم؛ بررسی فنی می‌تواند تا این جا پیش برود که قبل از به وجود آمدن مشکلات عمده و نقص فنی، تنظیمی عالی داشته باشد.

از بسیاری جهات ما انسان‌ها، ماهی‌ای هستیم که مساوی فولکس واگن مسابقه‌ای است. طرح بدن یک ماهی را در نظر بگیرید، آن را به شکل یک پستاندار درست کنید، سپس طوری تنظیم‌اش کنید که بتواند روی دوپا راه‌رود، صحبت کند، فکر کند و کنترل خارق‌العاده‌ای روی انگشتان خود داشته باشد و البته برای مشکلات خود راه حل هم پیدا کند. ما می‌توانیم بدون پرداخت هزینه‌ی زیادی یک ماهی را به این شکل طراحی و پیرایش کنیم. در یک دنیای کاملاً طراحی شده و بدون هیچ تاریخچه‌ای، ما مجبور به تحمل هیچ بیماری از بواسیر گرفته تا سرطان نخواهیم بود!

در هیچ جای این تاریخ موضوع گویاتر از ساختار پیچشی و شاخه‌ای رگ‌ها و اعصاب نیست. با دنبال کردن برخی از عصب‌ها در خواهید یافت که آن‌ها در اطراف اندام‌های دیگر حلقه‌های عجیبی ساخته‌اند. این پیچش‌ها به طرز جالبی ساخته و پرداخته‌ی گذشته ما هستند و همان طور که خواهیم دید، اغلب برای ما مشکلاتی از قبیل سکسکه و بیماری فتق ایجاد می‌کنند. این تنها یکی از راه‌های بازگشت گذشته‌ی ماست که ما را دچار بلا و بیماری کند. تاریخ ژرف ما از دوره‌های مختلفی عبور کرده است و با اقیانوس‌های باستانی، رودخانه‌های کوچک، دشت‌های بی‌درخت سرکار داشته نه با ساختمان‌های اداری، پیست‌های اسکی و زمین‌های تنیس! ما طوری طراحی نشده‌ایم که پس از هشتاد سالگی زندگی کنیم، برای بیش از ۱۰ ساعت روی نشیمنگاه خود بنشینیم و کیک بخوریم و البته فوتبال بازی کنیم. این انفصال میان گذشته و امروز ما انسان‌ها یعنی بدن‌های ما به شکلی کاملاً قابل پیش‌بینی تفکیک شده‌اند.

در واقع هر بیماری که ما تحمل می‌کنیم یک مؤلفه‌ی تاریخی دارد. مثال‌هایی که در زیر آورده‌ام بازگوکننده‌ی این مطلب هستند که شاخه‌های مختلف درخت زندگی درون ما - از انسان‌های باستانی تا دوزیستان و ماهی‌ها و در نهایت میکروب‌ها - چگونه برمی‌گردند تا امروز ما را اذیت کنند؟! تمام این مثال‌ها نشان می‌دهند ما به‌طور عقلایی طراحی نشده‌ایم، بلکه برآمده از یک تاریخ درهم پیچیده هستیم.

گذشته‌ی شکارچی ما:

چاقی، بیماری قلبی و بواسیر

در دورانی که ما در اقیانوس‌ها و رودخانه‌های باستانی ماهی بودیم، شکارچیان فعالی هم بودیم. با گذشت میلیون‌ها سال و در طول گذشته‌ی نزدیک‌تر، ما دوزیست، خزنده و پستاندار فعالی بودیم که از خزندگان گرفته تا

حشرات را شکار می‌کردیم! حتی در دورانی نزدیک‌تر، در دوره پریمات‌ها، ما جانوران فعال ساکن درخت بودیم که از میوه‌ها و برگ درختان تغذیه می‌کردیم. انسان‌های اولیه، شکارچی‌های فعالی بودند و سرانجام به کشاورزی روی آوردند. آیا به مفهوم اصلی این جملات توجه کرده‌اید؟ موضوع مشترک، کلمه‌ی «فعال» است.

خبر بد این است که بیشتر ما انسان‌ها بخش زیادی از روزمان را به هرچیزی جز فعالیت می‌گذرانیم! من به صندلی خود تکیه کرده‌ام و در این دقایق این کتاب را تایپ می‌کنم و بسیاری از شما نیز همین کار را درحین خواندن این کتاب انجام می‌دهید (به‌جز تعدادی از افراد فعال که در باشگاه ورزشی و روی تردمیل مشغول خواندن کتاب هستند!). تاریخچه‌ی ما از ماهی تا نخستین انسان‌ها به‌هیچ‌وجه ما را برای این نوع زندگی مهیا نکرده بود. این ناهمگونی میان حال و گذشته در بسیاری از بیماری‌های زندگی مدرن آثار خود را بروز می‌دهد.

علل عمده‌ی مرگ در انسان چیست؟ چهار تا از ۱۰ مورد اول، بیماری قلبی، مرض قند، بیماری چاقی و سکتة دارای پایه‌های ژنتیکی و احتمالاً تاریخی هستند. بسیاری از این دردها به‌طور قطع به‌علت داشتن بدنی است که برای انجام فعالیت‌های حیوانی تعبیه شده‌اند نه برای شیوه‌ی زندگی هم‌چون یک سیب‌زمینی تنبل!

در ۱۹۶۲، جیمز نیل (James Neel)، به این مفهوم از چشم‌انداز رژیم غذایی ما اشاره کرد. او آن‌چه را که به آن فرضیه‌ی «ژنوتیپ صرفه‌جویانه» اطلاق می‌شود، تنظیم کرد. نیل پیشنهاد کرد که نیاکان انسانی ما برای زندگی با حداقل امکانات تطبیق یافته بودند. زمانی که شکار رایج بود و شکار کردن با موفقیت همراه بود شکارچی‌ها و انسان‌های نخستین دوره‌هایی از وفور نعمت را تجربه کرده بودند. این دوره‌ی فراوانی پیش از یک دوره‌ی قحطی رخ می‌داد یعنی هنگامی که نیاکان آذوقه‌ی کمی برای خوردن داشتند.

نیل فرض کرد که این چرخه‌ی فراوانی و قحطی نشانه‌هایی در زن‌ها و بیماری‌های ما دارد. اساساً او پیشنهاد کرد که بدن‌های اجداد ما به آن‌ها اجازه می‌داد در دوران فراوانی، منابع مغذی را در بدن خود ذخیره کنند تا در دوره‌ی قحطی از آن استفاده کنند. در این شرایط، ذخایر چربی بسیار سودمند بودند. مقداری از انرژی غذاهایی که ما می‌خوریم به فعالیت‌های روزانه‌ی ما اختصاص می‌یابد و مقداری دیگر مثل «چربی» ذخیره می‌شود تا بعد مورد استفاده قرار گیرد. در دنیای کنونی این سهمیه‌بندی در شرایطی که فراهم آوردن مواد غذایی دشوار باشد بسیار خوب کار می‌کند، اما متأسفانه در محیط‌هایی با وفور نعمت، محکوم به شکست است. در چنین محیط‌هایی چاقی و ناخوشی‌های همراهش - دیابت وابسته به سن، فشار خون بالا و بیماری‌های قلبی - شایع می‌شوند. هم‌چنین فرضیه‌ی ژنوتیپ صرفه‌جویانه توضیح می‌دهد که چرا ما غذاهای پرچرب دوست داریم. آن‌ها مقدار قابل توجهی انرژی دارند، چیزی که می‌توانست برتری مطلق در گذشته‌ی دور ما محسوب شود.

شیوه‌ی زندگی نشسته‌ی به‌طریق دیگری هم روی ما اثر می‌گذارد، زیرا سیستم گردش خون ما در ابتدا در جانوران فعال‌تر ظاهر شده است. خونی که قلب پمپ می‌کند از طریق سرخرگ‌ها به اندام‌های ما فرستاده می‌شود و سیاهرگ‌ها آن را به قلب بازمی‌گردانند. از آن‌جایی که سرخرگ‌ها به تلمبه نزدیک‌تر هستند، فشار خون در آن‌ها بسیار بیشتر از سیاهرگ‌ها است. این می‌تواند مشکل خاصی را برای خونی که از پاها به قلب بازمی‌گردد ایجاد کند. خون از پاها باید سربالائی بیابد، چنان‌چه گویی مجبور است از سیاهرگ‌های پاهای ما تا قفسه‌ی سینه بالا

بیاید. اگر خون تحت فشار کم باشد، ممکن است همه‌ی مسیر را بالا نیايد. در نتیجه، ما دو ویژگی داریم که به خون کمک می‌کند تا بالا بیايد. اولی دریچه‌های ریزی هستند که به خون اجازه می‌دهد بالا بیايد درحالی‌که از بازگشت خون به پایین جلوگیری می‌کند. ویژگی دیگر ماهیچه‌های پای ما است. هنگام راه رفتن، ما آن‌ها را منقبض می‌کنیم و این انقباض سبب می‌شود که خون از پاها به بالا پمپ شود. دریچه‌های ریز و پمپ ماهیچه‌های پا باعث می‌شود خون از پاها به قفسه‌ی سینه برسد.

این سیستم در جانوران فعالی که از پاها برای راه رفتن، دویدن و پریدن استفاده می‌کنند بسیار خوب کار می‌کند. درحالی‌که همین سیستم در جانورانی که بیشتر نشسته هستند، عملکرد خوبی ندارد. اگر پاها به اندازه‌ی کافی مورد استفاده قرار نگیرند، ماهیچه‌ها خون را به بالای سیاهرگ‌ها پمپ نخواهند کرد. با جمع شدن خون در رگ‌ها مشکلات می‌تواند بیشتر هم بشود، زیرا انباشت خون سبب نارسایی دریچه‌ها می‌شود. این دقیقاً همان چیزی است که در سیاهرگ‌های مبتلا به واریس روی می‌دهد. همان‌طور که دریچه‌ها نارسا می‌شوند، خون در سیاهرگ‌ها انباشته می‌شود. سیاهرگ‌ها بزرگ و بزرگ‌تر می‌شوند و به صورت رگ‌های متورم و پیچ‌خورده دیده می‌شوند.

نیازی به بیان نیست که وضعیت رگ‌ها هم‌چنین می‌تواند موجب یک درد واقعی در پشت ما بشود. راننده‌های کامیون و سایر افرادی که مدت طولانی می‌نشینند، مستعد عارضه‌ی بواسیر هستند. این بیماری یکی دیگر از هزینه‌هایی است که ما برای زندگی نشسته‌ی خود می‌پردازیم. در طول ساعات طولانی نشستن این افراد، خون در سیاهرگ‌ها و فضای اطراف مقعد انباشته می‌شود. همان‌طور که خون انباشته می‌شود، بواسیر شکل می‌گیرد؛ یک یادآوری ناخوشایند این است که ما برای نشستن در ساعات طولانی و به خصوص روی سطوح نرم ساخته نشده‌ایم!

گذشته‌ی پریمات: صحبت کردن ارزان نیست!

صحبت کردن هزینه‌ی گزافی دارد: خفگی و آپنه‌ی^۱ خواب در بالای فهرست مشکلاتی هستند که ما مجبور به تحمل آن‌ها برای صحبت کردن هستیم.

ما صدای صحبت کردن خود را با کنترل حرکات زبان، حنجره و پشت گلو تولید می‌کنیم. تمامی این‌ها تغییرات نسبتاً ساده‌ای در مقایسه با طرح‌اولیه در پستانداران یا خزندگان هستند. همان‌طور که در فصل پنجم ملاحظه کردید، حنجره انسان بیشتر از غضروف‌های کمان آبششی، مشابه نوآرهای آبششی در کوسه و ماهی تشکیل شده‌اند. پشت گلو، از آخرین دندان آسیا تا بالای حنجره ادامه دارد و دارای دیواره‌های منعطفی است که می‌توانند بازوبسته شوند. ما اصوات گفتارمان را با حرکت دادن زبان، تغییر حالت دهان و انقباض شماری از ماهیچه‌ها که سفتی این دیواره را کنترل می‌کنند، ایجاد می‌کنیم.

آپنه‌ی خواب به‌طور بالقوه، در برابر توانایی گفتگوی ما یک معامله‌ی خطرناک است. در طول خواب ماهیچه‌های گلوی ما استراحت می‌کنند. در بیشتر افراد، این موضوع مشکلی به‌وجود نمی‌آورد، اما در برخی موارد می‌تواند با انقباض طولانی بدون تنفس باعث از‌حال‌رفتن فرد شود. البته این می‌تواند به‌ویژه برای افرادی که بیماری قلبی دارند، بسیار خطرناک باشد. انعطاف‌پذیری گلوی ما برای توانایی گفتگو بسیار مفید است، درعین‌حال ما را مستعد نوعی آپنه‌ی خواب می‌کند که نتیجه‌ی آن سد شدن جریان هوا است.

یکی دیگر از اثرات این طرح، خفگی است. دهان ما از طریق جایی که تنفس می‌کنیم هر دو را [غذا و هوا] به نای و سپس به مری ما هدایت می‌کند، پس ما از یک مجاری برای قورت‌دادن، نفس کشیدن و صحبت‌کردن استفاده می‌کنیم. این سه عمل می‌توانند مغایر هم باشند، برای مثال هنگامی که یک تکه غذا به داخل نای می‌جهد.

گذشته‌ی ماهی و نوزاد قورباغه: سکسکه

ریشه‌های تاریخی مزاحمتی به نام سکسکه، در وجوه مشترک ما با ماهی‌ها و نوزاد قورباغه‌ها واقع است!

اگر یک راه برای تسکین سکسکه وجود داشته باشد تنها این است که ما این بدبختی را با بسیاری دیگر از پستانداران سهیم هستیم! گربه‌ها می‌توانند به‌واسطه‌ی ارسال یک تکانه‌ی الکتریکی به‌قسمت کوچکی در ساقه‌ی مغز دچار سکسکه شوند. به‌نظر می‌رسد این ناحیه از ساقه‌ی مغز، مرکز کنترل واکنش‌های پیچیده‌ای است که به آن‌ها سکسکه گفته می‌شود.

رفلکس سکسکه یک الگوی قالبی انقباض در شماری از ماهیچه‌ها در دیواره‌ی بدن، دیافراگم، گردن و گلو است. یک اسپاسم در یک یا دو تا از عصب‌های اصلی که کنترل‌کننده‌ی تنفس هستند، سبب انقباض این ماهیچه‌ها می‌شوند. نتیجه‌ی آن، دم بسیار تند هوا است. سپس در حدود ۳۵ میلی‌ثانیه بعد تکه‌ای از بافت در پشت گلو (دهانه‌ی حنجره) بالای دریچه‌ی هوای ما را می‌بندد. نفس عمیق سریع با بسته‌شدن فوری این لوله، سکسکه را ایجاد می‌کند.

مشکل اینجاست که ما به‌ندرت فقط یک سکسکه را تجربه می‌کنیم. اگر بتوانید سکسکه را در پنج تا ۱۰ تای اول متوقف کنید، فرصت مناسبی برای پایان‌دادن به این تقلا خواهید داشت. اما در صورت از دست‌دادن این فرصت تقلا برای سکسکه به‌طور متوسط تا ۶۰ عدد ادامه می‌یابد. استنشاق دی‌اکسیدکربن (با تنفس در داخل یک کیسه‌ی کاغذی) و کشش دیواره‌ی بدن (یک نفس عمیق و نگه‌داشتن آن در ریه) می‌تواند به‌زودی به سکسکه‌ی برخی از ما پایان دهد، اما نه همه. در برخی موارد آسیب‌شناختی سکسکه می‌تواند به‌شدت طولانی شود. طولانی‌ترین سکسکه‌ی بی‌وقفه در فردی از سال ۱۹۲۲ تا ۱۹۹۰ به‌طول انجامید!

استعداد ما برای سکسکه کردن متأثر از گذشته‌ی ما است. باید دو مطلب را درنظر گرفت. اولین مورد آن که، چه چیزهایی موجب اسپاسم اعصاب می‌شوند که آغازکننده‌ی سکسکه هستند. مورد دوم آن چیزی است که سکسکه

را کنترل می‌کند یعنی قطع دم و مسدود شدن گلو. اسپاسم عصب، دست‌آورد تاریخچه‌ی ماهی درون ما است، درحالی‌که سکسکه پیامد تاریخ مشترک ما با جانورانی از قبیل نوزاد قورباغه است!

ابتدا نگاهی به ماهی بیندازیم! مغز ما بدون هیچ تلاش آگاهانه‌ای از سوی اجزای بدن قادر به کنترل تنفس است. اغلب این امور در ساقه‌ی مغز، مرز بین مغز و نخاع روی می‌دهند. ساقه‌ی مغز تکانه‌های عصبی را به ماهیچه‌های اصلی تنفسی ما ارسال می‌کند. تنفس یک الگو دارد. ماهیچه‌های قفسه‌ی سینه، دیافراگم و گلو با نظم کاملاً مشخصی منقبض می‌شوند. در نتیجه، به این قسمت از ساقه‌ی مغز «موتور مرکزی» هم گفته می‌شود. این ناحیه می‌تواند الگوی هماهنگی از عصب و در نتیجه هماهنگی فعالیت ماهیچه‌ها را ایجاد کند. شمار دیگری از این مولدها در مغز و نخاع ما رفتارهای هماهنگ دیگری از قبیل بلعیدن و راه رفتن را کنترل می‌کنند.

مشکل اینجا است که ساقه‌ی مغز در اصل تنفس در ماهی را کنترل می‌کرده و هنوز خیلی ابتدایی‌تر از آن بوده که در پستانداران کار کند. کوسه‌ها و ماهی‌های استخوانی همه دارای قسمتی از ساقه‌ی مغز هستند که عملکرد هماهنگ ماهیچه‌ها را در گلو و اطراف آبشش‌ها کنترل می‌کند. همه‌ی اعصابی که کل این ناحیه را کنترل می‌کنند از قسمت‌های کاملی از ساقه‌ی مغز سرچشمه می‌گیرند. ما حتی می‌توانیم این آرایش عصبی را در برخی از ابتدایی‌ترین ثبت‌های فسیلی ماهی‌ها مشاهده کنیم. شواهد گویای آن است که فسیل استراکودرم‌های^۱ باستانی (ماهی بدون آرواره‌ی ابتدایی مربوط به دوره‌ی کامبرین تا دونین با بدنی زره‌پوشی شده)، به دست آمده از صخره‌های بیش از ۴۰۰ میلیون سال قبل، دارای مغز و اعصاب مغزی بوده‌اند. اعصابی که از ساقه‌ی مغز منشعب می‌شوند، تنفس را کنترل می‌کنند.

این سیستم در ماهی خیلی خوب کار می‌کند، اما برای پستانداران بسیار بی‌نظم است. نیازی نیست که عصب‌های کنترل‌کننده‌ی تنفس در ماهی‌ها مسیر زیادی را در ساقه‌ی مغز طی کنند. به‌طور کلی آبشش‌ها و گلو این ناحیه از مغز را احاطه کرده‌اند. اما ما پستانداران مشکلات متفاوتی داریم. تنفس ما با ماهیچه‌های دیواره‌ی قفسه‌ی سینه و دیافراگم کنترل می‌شود، لایه‌ای از ماهیچه که قفسه‌ی سینه را از شکم جدا می‌کند. انقباض دیافراگم دم را کنترل می‌کند. عصب‌هایی که در نزدیکی گردن ما حرکت دیافراگم را از مغزمان کنترل می‌کنند درست مانند وضعیت ماهی عمل می‌کنند. این عصب‌ها، عصب ریوی و عصب مربوط به دیافراگم، از ابتدای جمجمه امتداد یافته است و از میان حفره‌ی قفسه‌ی سینه عبور می‌کند تا به دیافراگم برسد و قسمت‌هایی از قفسه‌ی سینه که کنترل تنفس را به عهده دارند. این مسیر پیچ‌وتابدار دردسرساز است؛ این طرح عاقلانه‌ای نیست که عصب‌ها از گردن عبور کنند بلکه باید از جایی نزدیک‌تر به دیافراگم عبور می‌کردند. متأسفانه، هر چیزی که با هریک از این عصب‌ها برخورد کند می‌تواند عملکرد آن‌ها را مختل کرده یا ایجاد اسپاسم کند.

اگر این حالت عجیب اعصاب ما، در اثر گذشته‌ی ماهی ما باشد، پس خود سکسکه هم احتمالاً محصول تاریخ ما به‌عنوان دوزیستان است. از این حیث که تنفس ناگهانی هوا با بسته شدن دریچه‌ی شش دنبال می‌شود، سکسکه‌ها در میان رفتارهای تنفسی مان منحصربه‌فرداند. ظاهراً سکسکه با موتور مرکزی در ساقه‌ی مغز کنترل

می‌شود: اگر با تکان‌های الکتریکی این ناحیه را تحریک کنید، احتمالاً سکسکه خواهید کرد. این توجیه‌پذیر است که سکسکه با موتور مرکزی کنترل می‌شود؛ از این رو، مانند رفتارهای هماهنگ دیگر، مجموعه‌ی پی‌درپی از وقایع در طول سکسکه روی می‌دهند.

این باعث می‌شود که این موتور ساده‌ی ایجادکننده‌ی سکسکه، کاملاً شبیه همین عضو در دوزیستان عمل کند، اما نه فقط در هر دوزیستی بلکه در نوزاد قورباغه‌ها، که هم از شش و هم آبشش در تنفس استفاده می‌کنند. نوزاد قورباغه‌ها هنگام تنفس از این موتور ساده استفاده می‌کنند. در این شرایط، آن‌ها آب را به‌داخل دهان و گلو و آبشش‌ها پمپ می‌کنند درعین حال نمی‌خواهند آب وارد شش‌ها شود. برای جلوگیری از این کار، آن‌ها با استفاده از بخشی که لوله‌ی تنفسی را مسدود می‌کند، دریچه‌ی شش را می‌بندند و برای بسته‌شدن دریچه‌ی شش، نوزاد قورباغه موتور کنترلی در ساقه‌ی مغز خود دارد، به این ترتیب دم با بسته‌شدن دهانه‌ی شش فوراً دنبال می‌شود. توانایی آن‌ها در تنفس با آبشش مدیون شکل پیشرفته‌ای از سکسکه است!

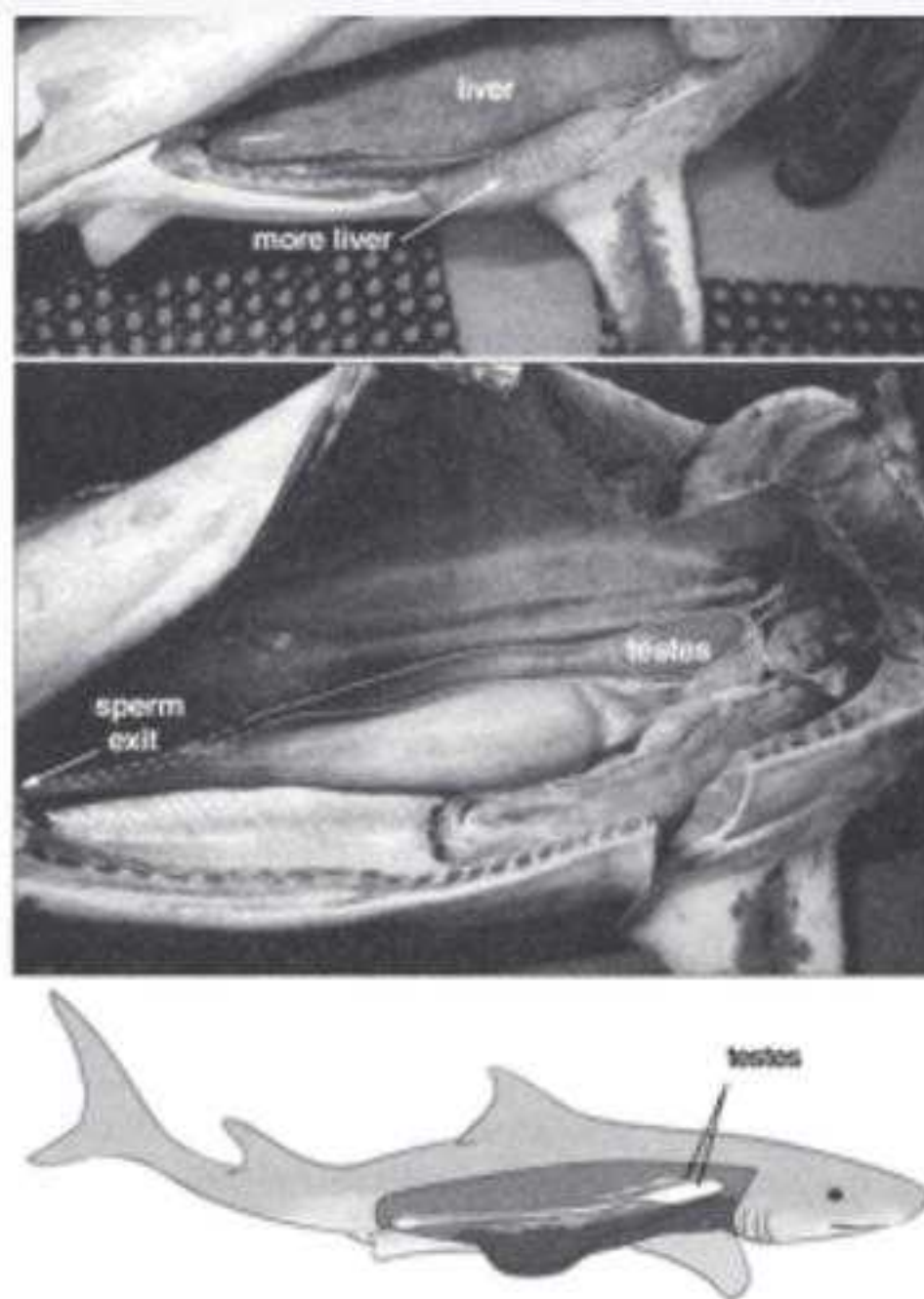
تشابه بین سکسکه در ما و تنفس آبششی در نوزاد قورباغه‌ها بسیار وسیع است، به طوری که بسیاری از پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند که این دو پدیده یکی هستند. تنفس آبششی در نوزاد قورباغه‌ها درست مانند سکسکه در ما، می‌تواند با دی‌اکسیدکربن مسدود شود. هم‌چنین ما می‌توانیم تنفس آبششی را با کشیدن دیواره‌ی قفسه‌ی سینه مسدود کنیم، درست مانند کاری که در هنگام سکسکه با نفس عمیق و نگه‌داشتن هوا انجام می‌دهیم. ممکن است ما حتی بتوانیم تنفس آبششی در نوزاد قورباغه‌ها را مسدود کنیم به این صورت که آن‌ها را درحالی که معکوس‌اند مجبور به نوشیدن آب کنیم!

گذشته‌ی کوسه: بیماری فتق

تمایل طبیعی بدن ما برای بیماری فتق، دست‌کم این بیماری‌های فتقی که در نزدیکی کساله‌ران هستند، نتیجه‌ی بودن در بدن یک ماهی و شکل‌گیری یک پستاندار از آن است!

غدد جنسی ماهی، به سمت قفسه‌ی سینه و در نزدیکی قلب قرار گرفته‌اند، اما پستانداران این‌طور نیستند و از این بابت هم مشکلاتی برای‌شان ایجاد می‌شود. این خیلی خوب است که غدد جنسی ما در عمق قفسه‌ی سینه‌مان و در نزدیکی قلب قرار ندارند (اگرچه این می‌توانست تجربه‌ای متفاوت از تعهد و وفاداری برای ما داشته باشد؟!، اگر غدد جنسی ما در آن‌جا می‌بود، ما قادر به تولیدمثل نبودیم.

شکم یک کوسه را از دهان تا دم بشکافید. اولین چیزی که مشاهده خواهید کرد کبد است که حجم زیادی را اشغال کرده. کبد کوسه‌ها غول‌پیکر است. برخی از جانورشناسان معتقدند چنین کبد بزرگی به شناور بودن جانور روی آب کمک می‌کند. با خارج‌سازی کبد، می‌توانیم غدد جنسی که تا نزدیکی قلب در محدوده‌ی قفسه‌ی سینه امتداد یافته‌اند را مشاهده کنیم. این آرایش تقریباً در تمام ماهی‌ها یکسان است: غدد جنسی در جلوی بدن واقع‌اند.



بدن کوسه‌ای را برش بزنید و کید بزرگ آن را مشاهده کنید (۴۵۰). بدن را در برید و غدد جنسی را مرحله‌به‌مرحله دید که تقریباً تا نزدیکی قلب درست مشابه دیگر جنورن نخستین کشیده شده است. عکس‌ها از دکتر استیون کمپان، آزمایشگاه تحقیقاتی کوسه‌ها در کانادا.

درباره‌ی ما، درست مانند بیشتر پستانداران، این نحوه‌ی قرارگیری فاجعه است! مردان در سراسر زندگی‌شان به‌طور پیوسته در حال تولید اسپرم هستند. اسپرم‌ها سلول‌های بسیار دقیق و ریزی هستند که نیاز به درجه‌ی مناسبی از دما برای رشد صحیح در سه ماهی که زندگی می‌کنند، دارند. در دمای زیاد، اسپرم‌ها بدشکل و ناهنجار می‌شوند و در دمای بسیار کم هم از بین می‌روند. پستانداران نر یک ابزار مناسب کوچک دارند که دمای دستگاه‌سازنده‌ی اسپرم را کنترل می‌کند: کیسه‌ی بیضه. همان‌طور که همه می‌دانیم، غدد جنسی مردان در یک کیسه قرار دارد. درون پوست این کیسه ماهیچه‌هایی وجود دارد که می‌توانند با انبساط و انقباض، دما را تغییر دهند. این ماهیچه‌ها در طناب اسپرمی مردان واقع شده‌اند. از این‌رو، یک دوش آب سرد باعث می‌شود بیضه‌ها چین بخورند و به بدن نزدیک شوند، چون احساس سرما می‌کنند. بنابراین بیضه‌ها با تغییر دما تغییر شکل می‌دهند. این تمام مسیری است که برای بهینه‌سازی تولید اسپرم انجام می‌شود.

البته بیضه‌های آویزان هم‌چون یک علامت جنسی در بسیاری از پستانداران به کار می‌رود. میان پیشرفت‌های فیزیولوژیکی در داشتن غدد جنسی خارج از دیواره‌ی بدن، مزیت دیگری هم وجود دارد که داشتن امنیت برای یافتن جفت است، پس مزایای بی‌شماری برای اجداد پستاندار ما در داشتن بیضه وجود داشته است.

اما مشکل در این جاست که لوله‌ی حمل‌کننده‌ی اسپرم به آلت‌مردانه، مسیر مستقیمی ندارد بلکه اسپرم باید سفر خود را از بیضه‌ها به درون کیسه‌ی پوستی آغاز کند و از میان لوله‌ی ناقل اسپرم عبور کند. این بند از کیسه‌ی بیضه،

خارج شده و به سمت دور کمر حرکت می‌کند، لگن خاصره را دور می‌زند، سپس با عبور از میان لگن خاصره به سمت آلت‌مردانه می‌آید تا خارج شود. در امتداد این مسیر پیچیده، اسپرم مایع نطفه را از بعضی از غدد جنسی که به لوله متصل‌اند، بدست می‌آورد.

علت این مسیر نامعقول در رشد و تکامل تاریخی ما واقع شده است. غدد جنسی ما رشد خود را دقیقاً در چنین قسمتی در کوسه آغاز کرده‌اند: یعنی بالا در نزدیکی کبد ما. همان‌طور که این غدد رشد می‌کنند، شروع به پایین آمدن در بدن می‌کنند. در زنان، تخمدان‌ها تا نزدیکی رحم و لوله‌ی رحمی پایین می‌آیند. این تضمین می‌کند که تخم تا بارور شدن مسیر زیادی طی نکند. اما در مردان این غدد دورتر هم می‌روند.

نزول این غدد به‌خصوص در مردان، نقطه‌ی ضعیفی در دیواره‌ی بدن ایجاد می‌کند. تمایل دارید با یک مثال بدانید که هنگامی که بیضه‌ها و طناب اسپرمی پایین آمده‌اند تا کیسه‌ی بیضه را بسازند، چه روی داده است؟ پس مشت خود را به یک صفحه‌ی لاستیکی فشار دهید؛ در این مثال، مشت شما معادل بیضه‌ها است و بازوی شما معادل طناب اسپرمی. مشکل این‌جاست که در جایی که بازوی‌تان قرار گرفته، شما یک فضای ضعیف ایجاد کرده‌اید. جایی که ورقه‌ی لاستیکی، یک دیواره‌ی ساده است، شما فضای دیگری ایجاد کرده‌اید، یعنی بین بازوی خود و صفحه‌ی لاستیکی، جایی که چیزها می‌توانند لیز بخورند. این واقعاً همان چیزی است که در بیماری فتق کشاله



خروج بیضه‌ها از بدن و قرارگیری در کیسه‌ی بیضه در طول تکوین، غدد جنسی از قسمت اولیه‌ی خود که در بالا هستند به پایین بدن سر می‌خورند تا به کیسه‌ی پوستی در انتهای تنه برسند. همه‌ی این‌ها سبب می‌شود که جنس نر در انسان، در ناحیه‌ی کشاله‌ی ران ضعف داشته باشد.

ران روی می‌دهد. این بیماری در برخی افراد، مادرزادی است و هنگام تولد، قسمتی از روده با بیضه‌ها به پایین می‌آید. نوع دیگری از بیماری فتق، اکتسابی است. وقتی که ما ماهیچه‌های شکمی را منقبض می‌کنیم، روده‌ها به دیواره‌ی بدن فشار می‌آورند. ضعف در دیواره‌ی بدن بدین معنی است که روده‌ها، می‌توانند از حفره‌ی بدن فرار کرده

و موجب سد شدن طناب اسپرمی شوند.

زنان از مردان به خصوص در این ناحیه از بدن، مقاوم‌ترند. زیرا آن‌ها یک لوله‌ی غول‌پیکر در خود ندارند و دیواره‌ی شکمی آن‌ها بسیار قدرتمندتر از مردان است. این یک مزیت برای دوران بارداری و استرس بالایی که دیواره‌ی بدن زنان هنگام وضع حمل تحمل می‌کند، به‌شمار می‌آید. اگر لوله‌ای در امتداد دیواره‌ی بدن می‌بود، زنان نمی‌توانستند این فشار را تحمل کنند. گرایش طبیعی مردان برای رشد بیماری فتق، یک رابطه‌ی جایگزینی بین دودمان ماهی آن‌ها و پستانداری امروزشان است.

گذشته‌ی میکروبی: بیماری‌های میتوکندریایی

میتوکندری‌هایی که درون هر سلول از بدن ما واقع هستند، انجام چندین وظیفه‌ی مهم را برعهده دارند. کار بسیار بدیهی آن‌ها تبدیل اکسیژن و قند، به‌نوعی از انرژی است که می‌توانیم از آن درون سلول‌های مان استفاده کنیم. وظیفه‌ی دیگر آن‌ها متابولیسم سم‌ها در کبد است. تنظیم قسمت‌های متفاوتی از عملکرد سلول‌های ما نیز از عملکرد آن‌ها است. ما فقط زمانی به میتوکندری‌های بدن مان توجه می‌کنیم که عملکرد بدن خوب پیش نرود. متأسفانه، فهرست بیماری‌هایی که بر اثر عملکرد نادرست میتوکندری‌ها ایجاد می‌شوند، بسیار بلندبالا است. اگر مشکلی در واکنش‌های شیمیایی مصرف‌کننده‌ی اکسیژن پیش بیاید، انرژی تولیدشده به‌هدر می‌رود. ممکن است این نقصان در عملکرد، تنها به یک بافت مثلاً چشم‌ها، محدود شود یا روی تمام سیستم‌های بدن اثرگذار باشد. میزان اثر به‌ناحیه و شدت نقص عملکرد بستگی دارد و می‌تواند به هرچیزی از ضعف تا مرگ منتهی شود!

بیشتر فرایندهایی که ما برای زندگی استفاده می‌کنیم تاریخ میتوکندریایی ما را منعکس می‌کنند. زنجیره‌ی واکنشی فعل‌وانفعالات شیمیایی که قند و اکسیژن را به انرژی قابل‌استفاده و دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌کنند میلیاردها سال قبل به‌وجود آمدند و نسخه‌هایی از این فعل‌وانفعالات هنوز در بعضی میکروب‌ها دیده می‌شود. میتوکندری‌ها این گذشته باکتریایی با ساختار ژنتیکی و ریزساختار سلولی کاملاً مشابه باکتری‌ها را، درون خود حمل می‌کنند. به‌طور کلی این پذیرفتنی است که آن‌ها در اصل از میکروب‌های آزاد در طول میلیاردها سال قبل به‌وجود آمده‌اند. در واقع، تمام موتور مولد انرژی میتوکندری‌های ما، از یک نوع از این باکتری‌های باستانی به‌وجود آمده است.

گذشته‌ی باکتریایی ما می‌تواند برای پیشبرد مطالعات بیماری‌های میتوکندریایی مورداستفاده قرار گیرد و در واقع، برخی از بهترین مدل‌های تجربی برای این بیماری‌ها، باکتری‌ها هستند. در این کار قدرت بسیاری وجود دارد زیرا ما همه‌ی انواع آزمایش‌هایی که نمی‌توانیم روی انسان انجام دهیم را می‌توانیم روی باکتری‌ها به انجام برسانیم. گروهی از دانشمندان ایتالیایی و آلمانی یکی از مطالعات بسیار داغ صورت‌گرفته در این رابطه را انجام داده‌اند.

آن‌ها بیماری را مطالعه کردند که همواره نوزادان متولدشده با آن را، می‌کشت. این بیماری کاردیوانسفالومیوپاتی^۱ نام داشت، که نتیجه‌ی تغییر ژنتیکی است که سوخت‌وساز عادی میتوکندری را قطع می‌کند. در مطالعه‌ی بیماران دچار این عارضه، گروه اروپایی ناحیه‌ای را در DNA شناسایی کردند که تغییر مشکوکی داشت. داشتن اطلاعاتی درباره‌ی تاریخ حیات، آن‌ها را به میکروبی به نام پاراکوکوس دنیتریفیکانس^۲ رساند، که اغلب به آن، به‌علت شباهت ژن‌ها و خط سیر بیوشیمیایی‌شان به‌متعلقات میتوکندری، «میتوکندی آزاد»^۳ گفته می‌شود. این باکتری درست همان شباهتی را که دانشمندان اروپایی آشکار کردند، داشت. آن‌ها همان تغییری را که در افراد بیمار خود مشاهده کرده بودند، در ژن‌های باکتری ایجاد کردند و کشف‌شان، دانش ما را از تاریخ‌مان کاملاً توجیه کرد. آن‌ها قادر به شبیه‌سازی قسمتی از میتوکندری انسان بیمار در یک باکتری و با همان تغییر در متابولیسم‌اش بودند. این پژوهش یک قسمت چندین میلیارد ساله‌ی تاریخ‌مان را آشکار می‌کند.

مثالی که از میکروب‌ها آوردیم منحصر به فرد نیست. با توجه به داوری جوایز نوبل در پزشکی و فیزیولوژی در بیش از ۱۰ سال گذشته، من می‌بایست نام این کتاب را مگس درونی شما، کرم درونی شما یا مخمر درونی شما می‌گذاشتم! پژوهش‌های پیشگام درباره‌ی مگس‌ها، جایزه‌ی نوبل پزشکی را در سال ۱۹۹۵ برای کشف مجموعه ژن‌های سازنده‌ی بدن انسان‌ها و سایر جانوران، به‌ارمغان آورد. جایزه‌ی نوبل پزشکی در سال ۲۰۰۲ و ۲۰۰۶ به پژوهشگرانی تعلق یافت که با بررسی روی کرم‌های کوچک و به‌ظاهر کم‌اهمیت، پیشرفت قابل‌ملاحظه‌ای در ژنتیک انسان و سلامتی داشتند. هم‌چنین بررسی‌های جامع و دقیق صورت‌گرفته روی مخمر (از جمله نوعی مخمر آبجو) و خارپوست دریایی در سال ۲۰۰۱، جایزه‌ی نوبل پزشکی را برای پیشبرد درک ما از پایه‌های زیست‌شناسی در همه‌ی سلول‌ها، از آن خود کرد.

این‌ها یک مشت کشفیات مشکوک روی جانوران مبهم و بی‌اهمیت نیستند؛ اکتشافات صورت‌گرفته روی مخمرها، مگس‌ها، کرم‌ها و البته ماهی‌ها، به ما درباره‌ی نحوه‌ی کارکرد بدن خودمان، علت بسیاری از بیماری‌هایی که تحمل می‌کنیم و راه‌هایی که به‌یاری آن‌ها بتوانیم ابزارهایی برای زندگی طولانی‌تر و سالم‌تر مهیا سازیم را، بازگو می‌کنند.

1- Cardioencephalomyopathy
2- Paracoccus denitrificans
3- Free-living mitochondrion

با وجود داشتن مسئولیت پدری دو فرزند خردسال، به نازگی زمان زیادی را در باغ و حش‌ها، موزه‌ها و اکواریوم‌ها گذرانده‌ام. مشاهده‌گر بودن برای من تجربه‌ای شگرف است؛ من با چنین محیط‌هایی دهه‌ها درگیر بودم. کار کردن در کلکسیون‌های موزه و حتی همیاری برای آماده‌سازی نمایشگاه‌ها در مناسبات، همه جزو فعالیت‌های من محسوب می‌شد. در طول سفرهای کوتاه خانوادگی، متوجه می‌شدم که این تعطیلات تا چه اندازه می‌تواند باعث شود که با مشاهده‌ی زیبایی و بی‌همتایی جهان پیرامون‌مان و البته بدن خودمان، از خودبی‌خود شوم. من درباره‌ی تاریخ چندین میلیون ساله و جهان عجیب باستان تدریس می‌کنم و می‌نویسم و معمولاً علایق گسسته و تحلیلی دارم؛ امروز در حال تجربه‌ی علم با فرزندانم در مکان‌هایی هستم که عشقم به آن را برای نخستین بار در آن جا کشف کردم.

مدتی پیش لحظه‌ی غریبی را با پسرم در موزه‌ی علم و صنعت شیکاگو تجربه کردم. ما در طول سه سال گذشته به علت عشق او به قطارها و وجود یک مدل بسیار بزرگ از راه آهن در مرکز موزه، به‌طور منظم به آن جا می‌رفتیم. من ساعات بی‌شماری را برای دنبال کردن مدل لوکوموتیوها در سفر کوتاه‌شان از شیکاگو به سیاتل در این نمایشگاه صرف کردم. بعد از چندین ملاقات همگی از این آرامگاه قطار، من و نانائیل به سمت گوشه‌ای از موزه که در طول ماجراجویی‌های‌مان آن را از دست داده بودیم، به راه افتادیم. در پشت موزه، در مرکز فضایی هنری کرو، مدلی از سیاره‌ها از سقف آویزان بود و لباس‌های فضانوردی در جعبه‌ها در کنار خاطرات دیگر برنامه‌های فضایی دهه‌ی ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ قرار گرفته بود. من تصور می‌کردم که در پشت موزه چیزهای بی‌اهمیتی باید باشد که ارزش به‌نمایش درآوردن در جلوی موزه را ندارند! در بخشی یک کپسول فضایی صدمه دیده قرار داشت که می‌توانستید در اطراف آن راه‌رفته و به‌درون آن بنگرید. چیزچندان مهمی به‌نظر نمی‌آمد و خیلی کوچک‌تر و ساده‌تر از آن بود که خاص به‌نظر برسد. اما یک پلاکارد کاملاً رسمی داشت و من مجبور شدم چندین بار آن را بخوانم تا متوجه شوم که اتاق فرمان اصلی آپولو ۸ بود! همان فضایی اصلی حامل جیمز لاول (James Lovell)، فرانک بورمان (Frank Borman) و ویلیام آندرس (William Anders) در نخستین سفر انسان به ماه. فضاییما سپس آن‌ها را به زمین بازگرداند. این همان فضایی بود که من مسیرش را در طول تعطیلات کریسمس، زمانی که دانشجوی سال سوم بودم، تعقیب کردم و حالا، یعنی ۳۸ سال بعد، همراه با پسرم آن جا بودم و به فضاییما واقعی نگاه می‌کردم. البته که فضاییما خرد شده بود و می‌توانستم شکاف‌ها و جاهای سوختگی این سفر و خدمات ناشی از ورود به جو زمین را در آن مشاهده کنم. نانائیل کاملاً بی‌علاقه به‌نظر می‌رسید، بنابراین می‌خواستم یا

جلب توجه او شروع به توضیح درباره *آپولو ۸* کنم. اما اصلاً قادر به صحبت نبودم، صدایم از هیجان گرفته بود طوری که به سختی می توانستم یک کلمه به زبان بیاورم. بعد از چند دقیقه، بر خود مسلط شدم و با خونسردی داستان سفر انسان به ماه را برای او بازگو کردم.

اما علت این که من تا آن حد گنگ و احساساتی شدم داستانی بود که شاید تا پسر بزرگ تر نمی شد، نمی توانستم به او بگویم. داستان واقعی این است که *آپولو ۸* نماد قدرت علم برای توضیح و قابل درک کردن جهان پیرامون ما است. مردم شایعات بسیاری درباره ی این که برنامه فضایی علمی بود یا سیاسی بیان می کردند، اما واقعیت اصلی که تا همین امروز هم چون سال ۱۹۶۸ باقی مانده است: *آپولو ۸* یکی از تولیدات خوش بینانه ی ضروری برای تغذیه ی بهتر علم بود. این مثال نشان می دهد که چطور نباید اجازه دهیم که موضوعی ناشناخته به منبعی برای شک، ترس یا پناه بردن به خرافات تبدیل شود، بلکه باید انگیزه ای برای ادامه ی پرسش و جستجوی پاسخ ها باشد.

درست همان زمانی که برنامه های فضایی، نوع نگاه ما به ماه را تغییر دادند، دیرینه شناسی و ژنتیک هم دیدگاه ما نسبت به خودمان را عوض کردند و به این ترتیب توانستیم بیشتر چیزهایی که بعید و دور از دسترس به نظر می رسیدند را، بیاموزیم. ما در عصر اکتشاف زندگی می کنیم، دوره ای که علم عملکرد و ساختار درونی جانوران متفاوتی از قبیل عروس های دریایی، کرم ها و موش ها را آشکار می کند. حالا ما کورسویی از راه حل یکی از بزرگ ترین رازهای علم را می بینیم، یعنی تفاوت های ژنتیکی که انسان ها را از سایر جانوران زنده ی دیگر متمایز می کند. این بینش های قدرتمند تازه را با برخی از مهم ترین کشفیات دیرینه شناسی - فسیل های تازه و ابزارهای مدرن برای تحلیل آن ها - که در ۲۰ سال گذشته آشکار شدند پیوند بزنید، تا حقایق تاریخ مان را با دقتی فزاینده مشاهده کنید. با نگاهی به گذشته، از میان میلیاردها سال تغییر درمی یابیم که هرچیز نو یا به ظاهر منحصربه فردی در تاریخ حیات، حقیقتاً فقط همان ماده ی باستانی است که بازسازی و بازترکیب و دوباره هدف گذاری شده؛ یا به بیان بهتر برای استفاده های تازه اصلاح شده است. این داستان هریک از قسمت های بدن ما، از اندام های حسی تا سر و در واقع تمام طرح بدن ما است.

داشتن تاریخچه ای چندین میلیارد ساله برای زندگی امروز ما چه معنایی دارد؟ پاسخ به سؤالات بنیادی که ما با آن ها مواجه هستیم - در ارتباط با عملکرد درونی اندام ها و جایگاه ما در طبیعت - از درک این که چطور بدن ها و ذهن های ما از اجزایی مشترک با سایر جانوران زنده پدیدار شده، خواهند آمد. من به قدرت می توانم مواردی زیباتر یا عمیق تری از یافتن بنیان انسانی خودمان، درمان بسیاری از بیماری هایی که تحمل می کنیم و جاگرفتن درون برخی از پست ترین جانورانی که تاکنون روی زمین زیسته اند، را متصور شوم.

نکات تکمیلی به چاپ‌های پیشین

به علت نداشتن تجربه‌ی کافی برای حضور در شمالگان، گمان می‌کردم چون آن‌جا مکانی به دور از زنگ تلفن، اینترنت و دیگران نشانه‌های تمدن مدرن است، به من آرامشی وصف‌ناپذیر دست خواهد داد، تا این که کتاب ماهی درونی شما به صورت رسمی منتشر شد. متأسفانه، این مکان راهی برای برهم‌زدن تمام نقشه‌ها دارد! ما در تابستان ۲۰۰۸ با امید به یافتن اطلاعات تازه‌ای از تیکتالیک و دنیای پیرامونش به جنوب جزیره‌ی ال‌زمیر بازگشتیم. من، تد و فاریش انواع نقشه‌ها را برای بررسی این مناطق فسیلی و جستجو برای باقی فسیل‌ها در حوالی یک فلات ادامه دادیم. برای انجام این امور، ما آذوقه مورد نیازمان را حتی تا آخرین بسته‌ی آب‌نبات محاسبه کردیم و برآورد مصرف سوخت خود را برای کل تابستان در اختیار داشتیم و تاریخ‌های جابه‌جایی کمپ را برای انجام هرچه بهتر پژوهش‌های خود محاسبه کردیم.

اما حالا، من در حال نوشتن این کتاب در قلب کولاک قطبی در ۱۹ ژوئیه هستم. خیمه‌ی من کمابیش زیر لایه‌ای از برف نمناک مدفون شده درحالی که باد خشک شمالگان هم به دیواره‌ی نایلونی آن فشار می‌آورد. برف می‌تواند به راحتی عملیات ما را با شکست مواجه کند و واقعاً یافتن فسیل‌ها را ناممکن کند. حتی از آن هم بدتر، ممکن است مجبور شویم که انتقال کمپ خود را برای یافتن فسیلی که از سال ۲۰۰۴ در برنامه‌مان بود و هر بار به علتی به تعویق می‌افتاد، باز هم به تعویق بیندازیم. من الان به یاد جمله‌ای که مربی مهدکودک پسر من به کار می‌بست افتادم که به درستی با وقتی که خوراک دانشمندان با سابقه در شمالگان به پایان می‌رسید، هماهنگ بود و آن جمله این بود: «شما بدون ناامیدی، آن‌چه را که می‌خواستید بدست آوردید».

این‌جا در شمالگان، دریچه‌ی ما به جهان ۳۷۵ میلیون سال پیش، گودالی با عرضی در حدود ۹ متر و عمیقی بالغ بر ۳/۵ متر در زمین است. در طول سال‌ها، ما حدود یک متر مکعب صخره را - البته بیشتر با دست - با تلاش برای آشکارسازی لایه‌های بسیار خاصی که مملو از استخوان‌های فسیل بودند، خارج کردیم. این حس خنده‌دار است: شمالگان محدوده‌ی پهناوری از زمین‌های بی‌حاصل است که حیات کمی در آن جاری است؛ بنابراین اگر در زمان حضور ما در شمالگان بودید، شش فرد بالغ را می‌دیدید که در سوراخ کوچک و شلوغی در حال اکتشاف فسیل‌اند طوری که سرها، شانه‌ها و پاهایشان درهم گره خورده است!

ما ساعات طولانی با بررسی در یک دست و قلوه سنگی در دست دیگر درحالی که صورت‌هامان به فاصله‌ی اندکی از سنگ بود می‌نشستیم. ما مجبور به مشاهده‌ی سنگ‌ها از نزدیک بودیم، زیرا تمایز بین استخوان و لایه‌های رسوبی مجاور بسیار دشوار است.

بعضی اوقات تنها چیزی که موجب تمایز استخوان از صخره می‌شود درخشندگی عجیب یا بافتی متفاوت است. احتمال پنهان‌شدن فسیل در هر مشت خاک یا گِل وجود داشت. یکی از بهترین نمونه‌های تیکتالیک در اصل تنها فقط دسته‌ای استخوان کوچک بود که از میان صخره‌ها دزدکی ما را نگاه می‌کرد! چنین چیزهایی به طرز وحشتناکی به راحتی از دید پنهان می‌مانند؛ من از این که فکر کنم ممکن است چه تعداد نمونه‌ی مهم از



درهای که ما فسیل تیکتالیک را در آن جا یافتیم (چپ) منطقه بسیار وسیعی بود، درحالی که زمین فسیلی واقعی ما (فلش سمت راست) محدود بود. عکس از نویسنده.

چشم‌مان فقط به علت رطوبت صخره‌ها، باد یا حتی وضعیت نامناسب نور روزهایی که ما مشغول به کار بودیم، دور افتاده باشد، بیزارم.

از زمانی که ما رسماً خبر کشف تیکتالیک را در سال ۲۰۰۶ اعلام کردیم، زمین‌پیمایی‌های صحرایی بیشتری را برای شناخت هرچه بیشتر این فسیل انجام دادیم. به موازات آن، پژوهش‌هایی در آزمایشگاه روی آن در حال انجام بود. فرد مالیسون و باب ماسیک، که احتمالاً نام آن‌ها را به‌خاطر می‌آورید، کارشناسان تهیه‌کننده‌ی فسیل در پروژه‌ی ما بودند، برای آشکار ساختن زیر مجموعه‌ی تیکتالیک، آن را می‌تراشیدند، تا قسمت‌هایی از سقف‌دهان و کاسه‌ی سر را آشکار کنند. جیسون دانز، دانشجوی جوان کالج که به‌گروه ما فقط برای یافتن سایت اصلی تیکتالیک در سال ۲۰۰۰ پیوست را به‌یاد می‌آورید؟ او حالا دکتر جیسون پی. دانز است که در حال گذراندن دوره‌ی فوق دکترا‌ی خود روی بسیاری از قسمت‌های تیکتالیک است.

بزرگ‌ترین پیشرفت ما تا زمان انتشار کتاب در قسمت زیرین مجموعه تیکتالیک به‌وقع پیوست. هم‌زمان با اعلام خبر کشف تیکتالیک در سال ۲۰۰۶ در نشریه نیچر، هنگامی که فرد و باب این تکه‌ها را آشکار کردند، ما سرنخ‌هایی درباره‌ی روش حرکت، تنفس و شیوه‌ی محافظت تیکتالیک از خود را، کشف کردیم. برای نخستین بار ما تیکتالیک را به صورت جانوری آبدی دیدیم که برای تنفس و مراقبت از خودش در زمین خاکی هم تخصص یافته بود. این بینش از چندین مشاهده‌ی مهم ناشی می‌شد، موضوع برجسته این است که، برخلاف هر ماهی استخوان‌دار دیگری، تیکتالیک یک صفحه‌ی مهم استخوانی را از دست داده است؛ سرپوش آبشی.

سرپوش آبشی یک صفحه‌ی استخوانی است که هم‌چون محافظی آبش‌ها را در بیشتر ماهی‌های استخوانی می‌پوشاند. ممکن است شما این سرپوش آبشی را در ماهی‌های بیرون افتاده از آب دیده باشید. همان‌طور که آن‌ها برای تنفس تلاش می‌کنند این سرپوش باز و بسته می‌شود. عملکرد صحیح سرپوش آبشی در حرکت دادن آب به‌درون آبش‌های ماهی است. بسیاری از آن‌ها توفیق در این کار برجسته را با فشار و کشش حاصل می‌کنند. آب وارد دهان می‌شود سپس وارد گلو شده و به‌محض بسته شدن گلو، سرپوش‌های آبشی باز می‌شوند؛

آب به خارج گلو فشار می دهد و با باز شدن سرپوش آبششی به درون آبشش ها کشیده می شود. این شیوه ی تنفس ماهی، متفاوت از آن چیزی است که در جانوران ساکن خشکی دیده شده است: آب یا هوا فقط با مکش دهان یا تغییر اندازه ی قفسه ی سینه - چه آبشش ها باشند و چه شش ها - وارد اندام های تنفسی می شود. برای نمونه قورباغه، هوا را منحصراً با مکش از دهان به داخل و خارج از ریه ها می دهد. بنابراین تیکتالیک ماهی باله داری با شش ها و آبشش های حقیقی است، اما سرپوش آبششی خود را از دست داده است. تیکتالیک درست مانند جانوران ساکن خشکی بیشتر متکی به تنفس دهانی بوده است!

باور داشته باشیم یا نه، از دست دادن سرپوش آبششی از تغییری در چگونگی حرکت تیکتالیک خبر می دهد. سرپوش آبششی یکی از مجموعه استخوان هایی است که سر را به بدن ماهی متصل می کند. معنای چنین اتصالی این است که هنگامی که ماهی می خواهد سر خود را تکان دهد، باید کل بدن خود را حرکت دهد. اما تیکتالیک نوع دیگری بود. با از دست دادن سرپوش آبششی و تمام استخوان هایی که سروشانه را به هم متصل می کردند، تیکتالیک گردن واقعی داشت؛ یعنی تیکتالیک قادر به حرکت سر، مستقل از تمام بدن بود. بسیار شبیه به همه ی جانورانی که برای قابلیت راه رفتن روی زمین تکامل یافته اند. ماهی در فضای سه بعدی شنا می کند و به جلو می رود و به آسانی قادر به تنظیم بدن خود برای وضعیت شکار است. اما گردن در تنظیم این که جانور در کجا خود را روی زمین خاکی و به همان میزان در آب های کم عمق، محکم کند، مفید است. برای درک اهمیت و ارزش این قابلیت، تصور کنید در حالی که گردن ندارید می خواهید تلمبه بزنید و به اطراف هم نگاه کنید!

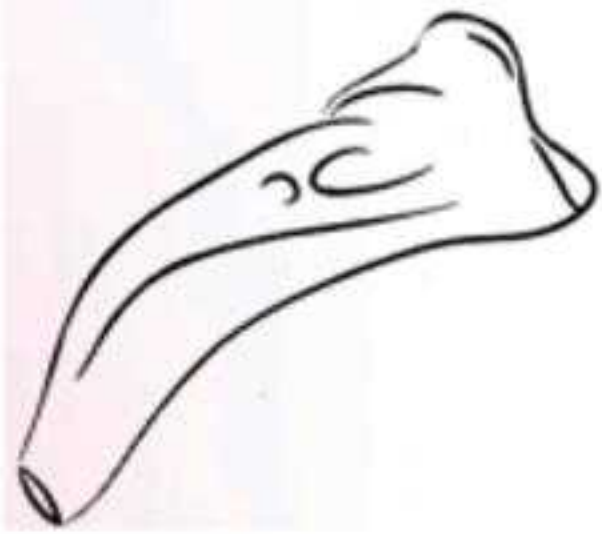
به علاوه بخش زیرین جمجمه نشان می دهد که چطور تیکتالیک به عنوان موجودی واسطه طور دیگری است. استخوان رکابی، استخوانی در گوش میانی ما است که برای شنیدن از آن استفاده می کنیم، در اصل همان استخوان در مجموعه های کمان آبششی در ماهی ها است. ما این موضوع را از آناتومی مقایسه ای و ژنتیک می دانیم. برای به وقوع پیوستن این انتقال تکاملی، این استخوان مجبور به کوچک شدن از وضعیت ابتدایی خود به عنوان استخوان بزرگ محافظت کننده ی جمجمه در کوسه ها و ماهی های استخوانی بوده تا این که به استخوان بسیار کوچک در گوش ما تبدیل شود. ما نخستین استخوان رکابی را در دوزیستان اولیه ای چون آکانتوستگا^۱ مشاهده کردیم. به ماهی باله گوشتی^۲ بنگرید، هنوز استخوان بزرگی می بینیم، که تقریباً شکلی شبیه بومرنگ دارد. یکی از بهترین انواع شناخته شده ی این ماهی ها، یوستونوپترون^۳ با استخوانی بزرگ و تعدادی مفصل است که می گوید این پیوند اصلی میان استخوان های متفاوت جمجمه است. حالا می دانیم که این استخوان در تیکتالیک به چه چیزی شبیه است. فرد و باب این استخوان ها را از ماهی خارج کردند و حدس بزنید چه چیزی دیدند؟! استخوان تیکتالیک کوچک تر از یوستونوپترون بود، در حالی که همین استخوان در آکانتوستگا بزرگ تر بود. استخوان تیکتالیک به طور فوق العاده دقیقی در اندازه های بین این دو جانور قرار داشت.

1- Acanthostega

2- Lobe-finned fish

3- Eusthenopteron

Eusthenopteron (fish)



Tiktaalik (fish)



Acanthostega (amphibian)



استخوان کمان آبششی ماهی رودخانه‌ای هیومندیولا^۱ به‌مرور در طول میلیون‌ها سال کوچک‌تر شد تا استخوان کوچکی در گوش میانی ما شود. این استخوان در تیکتالیک در اندازمای بین ماهی باله‌گوشی و نخستین دوزیستان است. نقاشی توسط کالیویی مونویوس.

اما چرا این استخوان در گوش متوقف شد؟ سر ماهی باله‌گوشی‌مانند یوستونوپترون یک مفصل عجیب در وسط کاسه‌ی خود دارد. به‌طرز عجیبی، انتهای جلویی جمجمه می‌تواند مرتبط با انتهای پشتی آن منعطف شود. جمجمه‌ی جانوران ساکن خشکی از قبیل آکانتوستگا سخت‌تر است؛ مفصل ناپدید شده است و استخوان‌ها به‌طور محکمی به‌یکدیگر دوخته شده‌اند. در این مورد تیکتالیک چگونه است؟ مفصل در همان جایی است که در یوستونوپترون است. اما حرکت این مفصل به‌شدت محدود شده و از شرایط ابتدایی دیده‌شده در یوستونوپترون تا حد بسیاری کاسته شده است. قسمت‌های دیگر از کاسه‌ی سر بخشی مثل شکل انتهای پشتی شدیداً ماهی‌مانند است و بخش‌هایی بسیار شبیه سقف دهان دوزیستان است.

از وقتی که ماهی درونی شما در ژانویه ۲۰۰۸ انتشار یافت، سؤالاتی درباره‌ی گذشته‌ی دورمان و روش‌هایی که دیرینه‌شناسی آن را از نو می‌سازد، از من پرسیده شد. بیشترین سؤال درباره‌ی گرمایش جهانی است: «آیا گرمایش شمالگان و عقب‌رانده‌شدن یخچال‌های طبیعی به ما صخره‌های بیشتری برای بررسی می‌دهد؟». پاسخ از دید من منفی است. صخره‌هایی که ما روی آن‌ها کار می‌کردیم امروز به‌همان میزانی آشکار بودند که هنگامی که آشتون امبری برای نخستین بار در دهه‌ی ۱۹۷۰ برای پروژه‌ی نقشه‌برداری خود، روی آن‌ها پا گذاشت. اگرچه تغییرات بسیار دیگری نیز روی داده است. قطعاً یکی از بزرگ‌ترین این تغییرات این است که حجم بالایی از عملیات تا به امروز در شمالگان در جریان است؛ اکتشاف نفت، گاز و مواد معدنی، اکتشافات شمالگان با آهنگ کنترل‌ناپذیری نسبت به‌زمانی که ما برای بارنخست کار در آن منطقه را آغاز کردیم، ادامه دارد. محل کنونی خیمه‌ی ما درس بسیار مهمی در این خصوص به ما داد. ما به‌مکانی بازگشتیم که در آغاز کارمان در سال ۲۰۰۰ آن را بررسی کرده بودیم. مشاهده‌ی این مکان برای ما یک الهام‌تکان‌دهنده بود؛ رد پای ما بر تندرایی شمالگان هنوز پس از هشت سال ثبت است! حتی من روزی توانستم خیمه را با کمک جای باقی‌مانده از چکمه‌ی خودم در ژوئیه ۲۰۰۰ دوباره پیدا کنم! ما می‌بایست در چنین اکوسیستم بسیار خاص و شکننده‌ای به‌دقت گام برمی‌داشتیم.

مردم هم‌چنین می‌پرسند که چطور تیکتالیک توانسته بود در شرایط آب و هوایی قطب دوام بیاورد. با نگاهی از بالا به سنگ محل قرارگیری تیکتالیک (که به‌صورت رسمی‌تر با نام NV2K17 شناخته می‌شود) شما یک منظره‌ی کلاسیک قطبی می‌بینید؛ رودخانه‌های خشک با مسیر یخ‌زده تا سرچشمه، روباه‌های قطبی، گُرگ‌ها و دیگر جانوران که در دره ساکن هستند و مسیر برف که حتی در وسط تابستان هم پیداست؛ این جا هوا سرد است. اما دنیایی که من و همکارانم با آن مواجه شدیم، یک دنیای گرمسیری با ماهی‌های آب گرم و گیاهانش بود. فسیل‌های گرمسیری در صخره‌های قطبی می‌توانند نشان‌دهنده‌ی دو چیز باشد: تغییر جهانی آب و هوایی و/ یا قاره‌های در حال حرکت. در این مورد ما با هر دو موضوع مواجه هستیم: آب و هوا امروزه با ۳۷۵ میلیون سال پیش تفاوت دارد و صخره‌هایی که در جزیره‌ی الزمیر امروزی وجود دارند، زمانی به خط استوا نزدیک‌تر بودند.

سؤال دیگری که با آن مواجه بودم این بود که آیا تیکتالیک «حلقه‌ی گمشده» است؟ این موضوع دیرینه‌شناسان را سردرگم می‌کرد. اما مسئله این نیست که تیکتالیک حلقه‌ی یافته‌شده است، بلکه مسائل عمیق‌تری می‌توان از آن فهمید؛ او به ما کمک کرد تا دریابیم چه پیوندهایی میان ماهی گوشتی‌باله و جانوران ساکن خشکی وجود دارد. DNAهایی داریم که به‌وضوح نشان می‌دهد که چطور ماهی گوشتی‌باله وابستگی نزدیکی به‌دوزیستان دارد. هم‌چنین حالا ما کارکرد تعدادی از این DNAهای سازنده‌ی بدن را می‌دانیم. این ثابت می‌کند که بسیاری از دستورالعمل‌های ژنتیکی که باله‌ها را می‌سازند، شبیه به‌همان‌هایی هستند که دست و پا را می‌سازند. به این ترتیب ویژگی‌هایی وجود دارد که میان ماهی‌ها و دوزیستان امروزه بتوانیم آن‌ها را مقایسه کنیم. ماهی گوشتی‌باله، مثل ماهی شش‌دار بسیار شبیه به‌دوزیستانی هستند که معمولاً با سمندرها اشتباه گرفته می‌شوند و بالاخره فسیل‌هایی وجود دارند، که تمام دسته‌های آن‌ها با نام‌هایی از قبیل آن‌چه که در این کتاب شرح‌داده شد مانند یوستونوپترون، پاندریکتایس^۱، آکانتوستگا^۲ و اکتیوستگا^۳ و آن‌هایی که از زمان انتشار خودشان شرح‌داده شدند، از قبیل گاگوناسوس^۴ و ونتاستگ^۴ و این نام‌ها فقط تعداد کمی از همه‌ی آن‌ها هستند. هر یک از این‌ها خویشتاوندان نزدیک دیگری مانند پسرعموهای یکدیگر البته با درجات مختلف هستند تا این که بخواهند اجداد یا نوادگان مستقیم هم باشند. همه‌ی این موارد وضعیت‌های واسطه را در شکل سر، استخوان‌های اندام حرکتی، شانه‌ها، مفصل ران و دیگر ساختارها نشان می‌دهد. با داشتن همه‌ی این اطلاعات، تیکتالیک حلقه‌ی گمشده محسوب نمی‌شود بلکه یکی از مجموعه حلقه‌های یافته‌شده است. هنوز موجودات دیگری برای کشف‌شدن وجود دارند. این دلیل من، برای بازگشت به شمالگان است و این که چرا می‌خواهم رفتنم به آن‌جا را ادامه دهم.

احمقانه به‌نظر می‌رسد، من کاملاً غمگین می‌شوم وقتی می‌خواهم در عرض چند روز با این دره و حفره‌های روی زمین‌اش خداحافظی کنم. من، تد، فاریش، جیسون و فرد تقریباً یک دهه برای اکتشاف و مطالعه‌ی استخوان‌ها در این نقطه‌ی کوچک کار کرده بودیم. ما لایه‌ای پس از لایه‌ی دیگر از لایه‌های زمین‌شناختی که بخشی از

1- Panderichthys

2- Ichthyostega

3- Gogonasus

4- Ventasteg



۱۹ ژوئیه ۲۰۰۸ ببرد فورد، قلمروی نوناوتوت کاناڈا. عکس از نویسنده.

جستجوی مان بود را حفاری کرده بودیم. هم‌چنین لایه‌هایی از خاطرات شخصی با همه‌ی رنج‌ها، شادی‌ها و آموزه‌هایی که در طول سال‌ها یاد گرفتیم، با این صخره‌ها گره‌خورده است. اما ما در همان‌جا نایستادیم و حرکت خود را ادامه دادیم. به این ترتیب، اگر واقعاً خوش‌شانس باشیم ممکن است روی صخره‌های جوان‌تر به کشف «نیکتالیک ۲»، سپس «نیکتالیک ۳» و الی آخر دست یابیم. با هر یک از فسیل‌های تازه کشف‌شده، ما پاسخ‌هایی برای پرسش‌های کهن می‌یابیم و آن‌ها چالشی برای مطرح‌شدن سؤالات تازه هستند؛ هیجان جستجو و شکار همین است.

ژوئیه ۲۰۰۸

ببرد فورد، جنوب جزیره‌ی الزمیر

تمامی تصاویر به غیر از آن‌هایی که نامی ذکر شده بود کاری از خانم کالیویی مونویوس بودند. (www.kalliopimonoyios.com) کاپی نه تنها با مطالعه‌ی نسخه‌ی خطی متن را ارتقا داد بلکه متناسب با آن طراحی هم کرد. من بسیار خوش اقبال بودم که با فرد با استعدادی چون او کار می‌کردم. اسکات رولینز از دانشگاه آرکادیا در پنسیلوانیا سخاوتمندانه اجازه استفاده از نوشته‌های ارزشمند خود درباره‌ی ساریپتروس^۱ در فصل دوم را به ما داد. از تد دشر از آکادمی علوم طبیعی دانشگاه ویلادلفیا برای عکس‌های بی‌نظیری که از تیکتالیک نوع C در اختیار من گذاشت. از فیلیپ دانو از دانشگاه پرستول و مارک پورنل به علت اجازه استفاده از پژوهش‌های‌شان پیرامون دندان‌ها، قدردانی می‌کنم. هم‌چنین از انتشارات مک‌گرا- هیل بابت اجازه‌ای که برای استفاده از تصویر موجود در کتاب‌شان به من دادند سپاسگزارم؛ در واقع تصویر آن‌ها، آغازگر شکار تیکتالیک بود. از استیون کمپانا از آزمایشگاه کانادایی تحقیقات کوسه، ممنونم برای عکس‌هایی که از کوسه و اندام‌هایش در اختیار من گذاشت.

یکی از مهمترین بحث‌های دانشجویان آناتومی راجع به افرادی است که بدن‌هایشان را اهدا می‌کنند تا ما بتوانیم بیاموزیم. این فرصت همیشه پیش نمی‌آید که بتوانیم از روی یک بدن واقعی یاد بگیریم. ما ساعت‌های طولانی را با این بدن‌ها در آزمایشگاه می‌گذرانیم، گاهی احساس می‌کنم بین ما رابطه‌ای برقرار شده است؛ این ارتباط را در حین این پژوهش دوباره حس کردم.

ایده‌هایی که من در این کتاب ارائه کردم ریشه در پژوهش‌ها و تدریسم در کلاس‌ها داشتند. افراد زیادی وجود دارند که بخواهم از آن‌ها قدردانی کنم، آن قدر زیاد که نمی‌توان نام تمام آن‌ها را برد؛ دانشجویان لیسانس، دانشجویان پزشکی، فارغ‌التحصیلان، همه و همه در نگارش این صفحات مرا یاری داده‌اند.

دین بسیاری به همکارانی که در این سال‌ها با من کار کردند، دارم. دشر، فاریش ای جنکینز^۲، فرد مالیسون، پائول اولسن، ویلیام امرل، جیسون دانز، چاک شاف همه و همه، قسمتی از داستان‌های مطرح در این گفتار هستند. بدون این افراد قادر به ادامه این تجربه نبودم و البته در تمام این مسیر، در کنار آن‌ها اوقات خوشی داشتم. همکارانم در دانشگاه شیکاگو، رندال دان، مارکوس دیویس، آدام فرانسن، اندرو گیلیز، کریستین کمرر، کالیویی مونویوس و یکی سیرمن همه و همه فکر مرا تحت تأثیر قرار دادند و از شروع با من همراه بودند.

همکارانی که وقت‌شان را برای فراهم آوردن نقطه‌نظرات و پیش‌زمینه‌هایی که نیاز داشتم، گذاشتند افرادی مانند کاملا آلوالیا، شین کارول، مایکل کوتز، رندال دان، مارکوس دیویس، آنا دی رینزو، اندریو گیلیز، لنس گرند، الیزابت گرو، نیکلاس هتسوپولوس، رابرت هو، بتی کتساروس، مایکل لابربرا، کریس لو، دنیل مارگولیاش و استادان آناتومی خودم در دانشگاه‌های هاروارد، بخش علوم سلامت دانشگاه ام‌ای‌تی و برنامه‌های تکنولوژی، فاریش ای جنکینز، لی گرک علاقه‌ای که بیش از ۲۰ سال به طول انجامید.

عقیده‌ی کلیدی در آغاز این مسیر و الهامات آن، همه از سوی شین کارول و کارل زیمر آمد. کتابخانه‌ی عمومی ول فلیت (در ماساچوست) همانند یک خانه‌ی راحت برای من بود و موقعیتی بسیار ایده‌آل برای من فراهم آورد؛ این کتابخانه جایی بود که بخش‌های مهمی از کتاب را در آن‌جا نگاشتم.

دو نفر از رؤسای من، دکتر جیمز مادارا و جان مک‌کارتی برای پیشبرد این پروژه و پژوهش‌های پیرامون آن از هیچ حمایتی دریغ نکردند. همکاری با این دو استاد دلسوز و بینش‌آفرین، بی‌شک افتخار بزرگی برای من بود. این برای من یک اقبال خوش بودم که در دانشگاه شیکاگو مشغول به تدریس شدم و موقعیت این را داشتم که با مسئولین دانشکده‌ی پزشکی پریتزکر مذاکراتی داشته باشم. مدیران آن‌جا هالی همفری، هالینا براکر صمیمانه یک دیرینه‌شناس را به گروهشان خوش‌آمد گفتند. در مدت همکاری با آن‌ها به این نتیجه رسیدم که باید مشکلات و اهمیت تحصیل در رشته‌ی پزشکی را ستود.

همکاری با موزه‌ی فیلد در شیکاگو افتخار بزرگی بود، محیطی که در آن موقعیت این را داشتم که با افراد علاقه‌مند به این رشته آشنا شوم. همکاری شامل الیزابت بابکاک، ژوزف برنان، سیلا کاولی، جیم کرافت، لنس گرند، ملیسا هیلتون، اد هورنر، دبرا موسکوویتز، لارا سدلر، شین ون درزیل و ویان وایت. بسیار سپاسگزارم برای حمایت‌ها، راهنمایی‌ها و تشویق‌های که از رؤسای کمیته‌ی هیئت امنای علمی موزه‌ی فیلد، جمیز ال. الکساندر و آدل اس. سیمونز دریافت کردم.

به وکیلیم، کاتینکا ماتسون برای تشویق‌هایش برای آوردن این ایده روی کاغذ افتخار می‌کنم. احساس غرور می‌کنم که با مارتی اشبر، ویراستارم، کار کرده‌ام. او مانند معلمی صبور به من پیشنهاداتی می‌داد و مرا تشویق می‌کرد که راهم را پیدا کنم. زاخاری وگمن برای درست از آب درآمین این کتاب زحمت فراوان کشید. دن فرنک پیشنهادهای روشنی به من داد و مرا تشویق کرد که با نگرشی تازه به این داستان بنگرم. جولانتا بنال متن را باز ویرایش کرد و بی‌اندازه آن را ارتقا داد. از آلن فلدمن، کریستن بیارس و تیم تولیدی برای زحمات سخت‌شان در زمانی بسیار کوتاه، بی‌نهایت سپاسگزارم.

والدینم گلوریا و سیمور شوبین، همیشه می‌دانستند که من روزی کتابی خواهم نوشت. بدون ایمان آن‌ها به خود، شک دارم که هرگز می‌توانستم کلامی بر کاغذ آورم.

همسرم میشل سیدل و فرزندان مان ناتانائیل و هنا، الان سال‌هاست که با ماهی، هم‌تیکتالیک و هم کتاب، زندگی می‌کنند. میشل صفحه‌به‌صفحه‌ی این کتاب را مطالعه کرد و نظر داد و هرگز از هیچ حمایتی حتی در غیبت‌های طولانی آخر هفته‌ام هنگام نگارش کتاب، دریغ نکرد. این عشق و صبر او بود که همه‌ی این‌ها را ممکن ساخت.