



حسگر الکتریکی کوسه

ترجمه: امیرمؤمن رکن آبادی
دانشجوی رشته‌ی بیوتکنولوژی دانشگاه تهران

سفره ماهی را می‌پوشانند، مانند یک سایه در ساعت ۵ بعدازظهر توصیف کرد. این حفره‌ها در اطراف دهان کوسه متمرکز شده‌اند. وی دریافت که اگر پوست اطراف حفره‌ها را جدا کنیم، به لوله‌ای بلند و شفاف که حاوی ژلی کریستالی است، می‌رسیم. تعدادی از لوله‌ها کوچک و ظریف و تعدادی دیگر به ضخامت یک رشته‌ی اسپاگتی و به طول چند اینچ هستند. لورنزی دریافت که این لوله‌ها در عمق سر، مانند چندین توده‌ی ژله‌ای شفاف تجمع می‌یابند. وی در ابتدا تصور می‌کرد که این حفره مسئول حالت لزجی سطح بدن ماهی است؛ ولی بعداً خود او این فرضیه را رد کرد و به این نتیجه رسید که این حفره‌ها احتمالاً دارای یک عملکرد ناشناخته هستند، عملکردی که تا صدها سال بعد ناشناخته باقی ماند.

کار این حفره‌ها در اواسط قرن نوزدهم تا حدی روشن شد. در آن زمان محققان در حال جمع‌آوری اطلاعاتی در مورد عملکرد خطوط جانبی بودند. این خطوط دارای اشتراکاتی با حفره و لوله‌های لورنزی هستند. خط جانبی در حقیقت یک نوار است که در پهلو ماهی‌ها و دوزیستان کشیده شده است. این نوار از آبشش شروع می‌شود و تا دم‌آدمه دارد. جابه‌جا شدن آب در اطراف ماهی با کمک این نوار حس می‌شود. ماهی ردیفی متشکل از چندین پولک سوراخ شده دارد که به یک لوله که به صورت طولی در زیر پوست قرار گرفته، راه دارد. در ناحیه‌ی متورم کنار خط طولی، تعدادی سلول حسی مخصوص به نام سلول‌هایی مویی قرار دارد. این سلول‌ها دارای تعدادی برآمدگی شانه‌ای ظریف و گسترش یافته در لوله هستند. این برآمدگی‌ها مژک نام دارند. حرکات کوچک آب، مثلاً حرکات ناشی از شنای ماهی در فاصله‌ی چندمتری، باعث خم شدن این مژک‌ها می‌شود. این واکنش سلول‌های حسی را تحریک می‌کند و پیام‌های عصبی آن‌ها در مغز جهت و شدت جریان آب را نشان می‌دهد. حسگر صدا در حلزون گوش ما هم بازمانده‌ی همین خط جانبی است.

در قرن نوزدهم، با استفاده از میکروسکوپ مشخص شد که حفره‌های روی پوزه‌ی کوسه و ساختارهای زیر آن باید اندام‌هایی حسی، مانند خط جانبی باشند. امروزه به این حفرات و ملحقات

حسگری بسیار حساس، کوسه را در نزدیک شدن به شکار کمک می‌کند.

باله‌ای ترسناک نمایان می‌شود و به سمت ما می‌آید. یک کوسه‌ی آبی بزرگ، با طول ۳ متر، بر اثر بوی خون، مانند اژدر به سوی ما می‌آید. ما در آب اقیانوس خون ریخته‌ایم تا کوسه‌ها را به سمت خود بکشانیم، هدف ما از این کار بررسی تمایل کوسه به خون نیست، ما در حال بررسی حس ششم کوسه هستیم. در آب دریا سلول‌های جانوری میدان بسیار ضعیف الکتریکی در اطراف خود ایجاد می‌کنند. بررسی‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد، که کوسه‌ها قادر به درک این میدان‌های الکتریکی بسیار ضعیف هستند. ولی چون کاربرد آن هنوز نیاز به اثبات داشت، ما سوار بر آن قایق بودیم تا این موضوع را کشف کنیم.

تا سال ۱۹۷۰، دانشمندان حتی تصور این را هم نمی‌کردند که کوسه‌ها قادر به درک میدان‌های الکتریکی ضعیف باشند. ولی امروزه می‌دانیم که این حس الکتریکی به ماهی کمک می‌کند که حتی در زمانی که شرایط محیط حس‌های پنج‌گانه را ناکارآمد ساخته است، غذا بیابد. این حس در آب‌های پرتلاطم، در تاریکی مطلق و حتی زمانی که شکار در زیرمائه‌ها پنهان شده است، عمل می‌کند.

اکنون من و همکار تحقیقاتی‌ام در حال بررسی پایه‌های مولکولی این حس هستیم و گروه‌های دیگر نیز سعی در پاسخ دادن به پرسش‌هایی از قبیل نحوه‌ی شکل‌گیری اندام در طول تکامل دارند. از دیگر موضوع‌های مورد بررسی، درک این موضوع است که آیا اجداد مهره‌داران هم قبل از ترک دریا توانایی درک میدان الکتریکی را داشته‌اند یا خیر. تمام این کارها در مراحل مقدماتی هستند. با این حال در این جا من به بررسی نحوه‌ی اکتشاف اولیه‌ی این حس در کوسه‌ها و اهمیت آن در شکار موفقیت‌آمیز می‌پردازم.

احساس پنهان

ماجرای سال ۱۶۷۸ آغاز شد؛ از زمانی که استفانو لورنزی^۱ کالبدشناس ایتالیایی حفره‌هایی که قسمت جلویی سر کوسه و



آن‌ها آمپول لورنزینی^۵ گفته می‌شود. هر لوله به یک کیسه‌ی پیازدار یا آمپول ختم می‌شود. یک عصب نازک از هر آمپول خارج می‌شود و به خط عصبی جانبی پیشین می‌پیوندد. محققان این اعصاب را دریایی کرده‌اند و دریافته‌اند که آن‌ها در نهایت به کف

مجموعه می‌رسند و از طریق قسمت پشتی نخاع وارد مغز می‌شوند و این نشان می‌دهد که عصب حسی است. محققان در آن زمان دریافتند که درون آمپول‌ها تعدادی سلول مویی کوچک مشابه خط جانبی ماهی موجود است؛ ولی هنوز نوع محرک مربوطه را دریافته بودند.

حسگر الکتریکی تایید شد

محققان با یک مشکل مواجه بودند: آنان چگونه می‌توانستند عملکرد این اندام حسی غریب را مشخص کنند؟ راه‌حل نهایی حاصل ترکیب یک ذهن خلاق و ابزار مناسب بود. در سال ۱۹۰۹ زیست‌شناسی به نام پارکر^۶ در دانشگاه هاروارد، پوست اطراف آمپول لورنزینی سگ ماهی و بدین ترتیب تمام

حسگرهای لامسه را جدا کرد. با این حال مشاهده کرد که ماهی هنوز به لمس واکنش نشان می‌دهد. این نتایج پیشنهاد می‌کرد که این اندام احتمالاً توانایی تشخیص حرکت در آب و یا تغییرات فشار آب را دارد. با این حال این نتایج چندان اطمینان‌بخش نبود؛ زیرا انعکاسی به ضربه‌ای در چشم، نشان‌دهنده‌ی این نیست که چشم توانایی درک ضربات ناگهانی را یافته است.

با پیشرفت علم در ربع دوم قرن بیستم، توانایی ثبت فعالیت‌های مغزی پیشرفت کرد. در سال ۱۹۳۸ الکساندر سندز^۷ از انجمن زیست‌شناسی دریایی، در پلی ماوث^۸ انگلستان، موفق شد پیام‌های عصبی‌ای را که از آمپول لورنزینی به مغز می‌روند، ثبت کند. وی دریافت که جریان‌های عصبی به‌طور دائم در عصب خروجی از آمپول لورنزینی جریان دارد، ولی محرک‌های به‌خصوصی باعث

ماهی‌ها به قدری ضعیف هستند که نمی‌توانند به عنوان سلاح مورد استفاده قرار گیرند. ایجاد چنین اندام بی‌استفاده‌ای معمولی بود که حتی داروین رادر کتاب «منشأ گونه‌ها» به حیرت واداشت.

لیسمان^{۱۳} از دانشگاه کمبریج در دهه‌ی ۵۰ میلادی در پی حل این معما بود. وی دریافت که ماهی‌هایی که این میدان را می‌ساختند توانایی درک آن را نیز داشتند. حسگر آن‌ها که به نام حسگر گره‌دار^{۱۴} مشهور است، بسیار با آمپول لورنزینی متفاوت است. آن‌ها فاقد لوله‌های بلند هستند و درضمن حساسیت بسیار کم‌تری دارند. با این حال اکتشاف آن‌ها حس درک میدان الکتریکی را به فهرست پنج حس اصلی اضافه کرد.

اندام‌های تولیدکننده‌ی الکتریسیته و حسگرهای گره‌دار، باهم، نقش‌گیرنده و فرستنده‌ی دستگاه راداری را ایفا می‌کنند که در هنگام بررسی عمق رودخانه‌ی آمازون بسیار کارا هستند. در زمانی که اشیاء در این میدان الکتریکی خفیف اختلال ایجاد می‌کنند، اندام حسگر این اختلال را دریافت و موقعیت اشیاء را شناسایی می‌کند. با این حال کوسه و سفره‌ماهی اندام تولیدکننده‌ی میدان را ندارند. به همین جهت محققان بر این باورند که آمپول‌های بسیار حساس لورنزینی، نقش راداری را بازی می‌کنند که میدان‌هایی را که به صورت طبیعی در محیط وجود دارند، تشخیص می‌دهد. این نقش بسیار شبیه عینک‌های شب هستند که نور ستاره‌ها را در شب تقویت و محیط را نمایان می‌کنند.

حال باید دریافت که این جانوران چه چیزی را حس می‌کنند. احتمال این وجود دارد که این اندام‌ها میدان‌های الکتریکی بسیار ضعیف و کوتاه‌زیستی را که ناشی از موج‌های مغزی و انقباض ماهیچه‌های قلبی هستند، دریافت کنند. ولی این احتمال بسیار کم است که این اندام‌های کوسه‌ها میدان‌های بسیار کوتاه، در حد میلی‌ثانیه، را دریافت کنند. و حتی برعکس این اندام توانایی دریافت میدان‌های بسیار کم‌تغییر، مانند میدان‌های ناشی از پیل‌های الکتروشیمیایی را دارد.

این نوع توانایی، منطقی به نظر می‌رسد. زیرا تمام سلول‌ها به خاطر ساختارشان مانند یک باتری عمل می‌کنند. یک پیل الکتروشیمیایی هنگامی ایجاد می‌شود که دو محلول نمک با بارهای خالص متفاوت، در یک سلول از هم جدا شده باشند. بارهای متفاوت همدیگر را جذب و این حرکت بارها، جریان الکتریسیته تولید می‌کند. به همین صورت، سلول‌های زنده دارای یک محلول نمکی هستند که با محلول نمک دریا متفاوت است و باعث تولید یک ولتاژ در سطح سلول می‌شود. به همین علت، بدن ماهی در

افزایش یا کاهش ناگهانی سرعت جریان می‌شود. وی هم چنین دریافت که این اندام به لمس یا فشار پاسخ می‌دهد، و علاوه بر این زمانی که دما کاهش می‌یابد، شدت جریان بیش‌تر می‌شود. در حقیقت آمپول بسیار به دما حساس است؛ به طوری که توانایی تشخیص تغییر با دقت ۰/۲ درجه سلسیوس را دارد. این توانایی تفکیک دقیق و همچنین اهمیت درک دمای آب برای مهاجرت و تعدادی دیگر از رفتارهای ماهی دلایل محکمی برای این فرضیه بودند که این اندام، حسگر دما هستند.

در اوایل دهه‌ی ۶۰ میلادی، موری^۹ زیست‌شناس دانشگاه بیرمنگام انگلستان، آزمایشات سند را با وسایل پیشرفته‌تر دوباره انجام داد و به نتیجه‌ی مشابهی در مورد درک دما رسید. هم چنین وی دریافت که این حسگر به تغییرات کوچک مقدار شوری آب نیز حساس است. در ضمن او در زمانی که به طور اتفاقی یک میدان الکتریکی در کنار آمپول ایجاد شد، دریافت که حالت جریان عصبی تغییر کرد. هم چنین این جریان با تغییر قطبیت و شدت بیش‌تر تغییر می‌یابد. زمانی که قطب منفی میدان، نزدیک آمپول باشد شدت جریان بیش‌تر شده و زمانی که قطب مثبت نزدیک آمپول باشد، شدت جریان کم می‌شود.

وی هم چنین دریافت که این حسگر توانایی درک میدان‌های بسیار ضعیف را دارد. این توانایی درک در حد یک میلیونیم ولت در فاصله‌ی یک سانتی متر آب دریاست. این میدان معادل آن است که یک قطب باتری ۱/۵ ولت در جزایر لانگ‌آیلند- ساوند^{۱۰} و قطب دیگر در جکسون ویل^{۱۱} باشد. به صورت تئوری یک کوسه که در این محدوده شنا می‌کند، می‌تواند تشخیص دهد که چه زمانی باتری وصل است. البته مطالعات بعدی نشان داد که کوسه توانایی تشخیص تا حد ۱۵ میلیاردم ولت در فاصله‌ی یک سانتی متری آب دریا را دارد. هیچ اندام، بافت یا جانور دیگری چنین حساسیتی نسبت به جریان الکتریسیته را ندارد. در حقیقت متخصصان حتی با استفاده از ابزار امروزی نیز در تشخیص چنین میدانی در آب دریا با مشکل مواجه هستند.

جستجویی برای یافتن عملکرد:

حال باید بدانیم، این دریافت میدان‌های الکتریکی چه سودی برای کوسه دارد. سرخ این پاسخ در بررسی بیوالکتریسیته^{۱۲} یا همان میدان‌های تولیدی سایر ماهی‌ها به دست آمد. به عنوان مثال مارماهی با تولید میدان‌های الکتریکی قوی توسط اندامی خاص، می‌تواند شکار خود را گنج کند. با این حال میدان‌های تولیدی توسط سایر

آب دریا باطری ضعیفی تولید می کند که آن هم میدان الکتریکی تولید می کند. این میدان در طی پمپ شدن آب از طریق آبشش به آهستگی تغییر می کند.

در دهه ی ۷۰، کالمین^{۱۵} از دانشگاه اوترخت^{۱۶} در هلند، با استفاده از یک تقویت کننده ی الکترونیکی نشان داد که موجودات در آب دریا میدان الکتریکی تولید می کنند. این میدان ها به مقدار بسیار کم در آب دریا تغییر می کنند به طوری که آمپول لورنزی آن را دریافت می کند. کالمین همچنین دریافت که کوسه توانایی درک الکترودهای مدفون در شن های کف آکواریوم را دارد.

درک میدان الکتریکی در طبیعت :

نشان دادن این که کوسه توانایی درک میدان الکتریکی در شرایط آزمایشگاهی را دارد یک چیز، ولی مشخص کردن این که کوسه ها چگونه از این توانایی در طبیعت استفاده می کنند، چیز دیگری است. این کار بسیار سختی است، زیرا پیام های ناشی از اشکال با دیگر اختلالات ناشی از محیط طبیعی مانند شوری، امواج و سایر موارد همراه می شود. حتی یک سیم فلزی ولتاژی را در اقیانوس تولید می کند که یک کوسه آن را درک می کند. برای درک این موضوع که کوسه ها چگونه در طبیعت از این حس برای شکار کردن استفاده می کنند، باید آن ها را در طبیعت هنگام شکار مشاهده کنیم. ما برای بررسی این موضوع از یک قایق فایبرگلاس و غیرفلزی استفاده کردیم. در سال ۱۹۸۱ من و همسرم درصدد بررسی این موضوع بودیم که آیا کوسه ها طی تغذیه ی عادی از این حس استفاده می کنند یا خیر. به همین جهت مانند کالمین و همکارانش یک ابزار T شکل که در هر سمتش الکتروود قرار داشت، طراحی کردیم.

در تابستان همان سال ما با استفاده از حفره ای مربعی که در عرشه ی قایق قرار داشت، این ابزار را به داخل آب فرو بردیم و از طریق لوله ای که در نقطه ی اتصال بین الکتروودها وجود داشت، ماهی آسیاب شده به داخل آب تلمبه کردیم. سپس الکتروودها را به کار انداختیم تا میدانی الکتریکی، شبیه میدان تولیدی ناشی از شکارهای معمولی کوسه بسازیم. در هر دور، شخصی یک الکتروود را به صورت تصادفی روشن و شخصی دیگر اثر آن را بر کوسه ثبت می کرد. اگر کوسه به الکتروود فعال حمله می کرد، معلوم می شد که کوسه از این حس برای شکار استفاده می کند.

در شب اول یک کوسه ی آبی به سمت بوی ماهی آسیاب شده جذب شد. وی ابتدا به صورت مستقیم به سمت ماهی ها جذب شد، ولی در لحظات آخر، ناگهان به سمت راست ابزار حمله کرد. کوسه

لرزید و ابزار را رها کرد. در لحظه های آخر کوسه به بوی شکار توجه نکرده و به سمت الکتروود جذب شد. در تمام طول تابستان ما چندین بار شاهد این موضوع بودیم که کوسه به جای بو به سمت الکتروود جذب می شد.

این واقعیت که کوسه در آخرین لحظات به جای بو، الکتروود را انتخاب می کند، معمایی است که مدت هاست همگان در پی حل آن اند. تاکنون بارها گزارش شده است که شخصی که مورد حمله قرار گرفته است، با این که توسط شخص دیگر به سمت مکان امنی برده می شود، دوباره مورد حمله قرار می گیرد. بدون این که شخص ناجی مورد حمله قرار گیرد. با این که بوی خون شامه ی کوسه را پر کرده است، خونی که از شخص مجروح خارج می شود، میدانی تولید می کند که کوسه آن را درک می کند و شکار را می یابد. کوسه ها از تمامی حس های خود برای شکار استفاده می کنند. ولی هر حسی نقص ها و برتری هایی دارد. بویایی و شنوایی برای ردیابی از فاصله های دور کاربرد دارند. بینایی، خط جانبی و چشایی برای فاصله های نزدیک کاربرد دارند. حس میدان الکتریکی در لحظات پایانی شکار به کار می رود و مکان دقیق شکار را تعیین می کند. این اطلاعات می تواند در آینده منجر به ساخت دستگاهی شود که توانایی فریب دادن کوسه ها و دور کردن آن ها را از شناگران داشته باشد.

من و همکارانم بر نحوه ی تغذیه ی کوسه ها تمرکز کردیم. زیرا درک این عملکرد بسیار آسان است. ولی مطمئناً این تنها کاربرد این حس نیست و ما فقط می توانیم تصور کنیم که درک جهان از طریق این حس نا آشنا چگونه خواهد بود.

پانوشت ها :

1. Stefano Lorenzini
2. Lateral line
3. Hair cell
4. Cillia
5. Ampullae of Lorenzini
6. G.H.Parker
7. Alexander Sand
8. Polymouth
9. R.W.Murray
10. Long Island Sound
11. Jacksonville
12. Bioelectricity
13. H.W.Lissmann
14. Tuberos receptor
15. Adrianus Kalmijn
16. University of Utrecht

منبع :

Scientific American, August 2007