

فصل ۱: چرا شنوایی در کودکان مهم است؟

Carol Flexer, Jane R. Madell, Jace Wolfe, and Erin C. Schafer

خلاصه

این فصل بر دنیای در حال تغییر شنوایی‌شناسان کودک تمرکز دارد. دگرگونی‌هایی که عمدتاً ناشی از پژوهش‌های مغزی و نوآوری‌های فناوری هستند. از آن‌جا که شنوایی در مغز اتفاق می‌افتد و نه در گوش، رشد عصبی شنوایی از جمله بحث درباره‌ی انعطاف‌پذیری عصبی (نوروپلاستیسیته)، محرومیت شنوایی و دوره‌های بحرانی رشد شنوایی یکی از محورهای اصلی این فصل می‌باشد. همچنین، به چگونگی و دلایل تقویت زبان گفتاری و پیشرفت نیز سواد پرداخته می‌شود. نکته‌ی اساسی این است که شنوایی‌شناسان کودک نقش کلیدی در تعیین فرصت‌های آینده‌ی کودک کم‌شنوا ایفا می‌کنند و این فصل دقیقاً همین رویکرد را برای ادامه‌ی کتاب پایه‌گذاری می‌کند.

کلید واژه‌ها

شنوایی^۱، کم‌شنوایی^۲، ناشنوا^۳، سخت‌شنوا^۴، کودکان^۵، اطفال^۶، انعطاف‌پذیری عصبی^۷، مغزشنوایی^۸، مغز^۹، گوش دادن^{۱۰}، محرومیت شنوایی^{۱۱}، دوره‌های بحرانی^{۱۲}، شنوایی‌شناسی^{۱۳}، زبان^{۱۴}

شنوایی هدایت استخوانی و کاشت حلزون، دسترسی به مسیرهای شنیداری، فعال‌سازی، تحریک و تقویت اتصالات عصبی شنیداری در سراسر مغز است، تا پایه‌ای برای رشد زبان گفتاری، مهارت خواندن و موفقیت تحصیلی فراهم شود.

- بین شنیدن و گوش دادن تفاوت وجود دارد.
- کودکی که در گذشته و بدون استفاده از فناوری‌های نوین (یا حتی با فناوری‌های ۱۰ تا ۲۰ سال پیش) به عنوان ناشنوا شناخته می‌شد، امروزه ممکن است با بهره‌گیری از سمعک یا کاشت حلزون، عملکردی مشابه کودک با افت شنوایی ملایم تا متوسط داشته باشد، چرا که با تحریک شنیداری معنادار، اتصالات عصبی مهم در مغز او ایجاد شده‌اند.
- با توجه به اینکه حدود ۹۵ درصد کودکان کم‌شنوا از والدین شنوا و گفتارمحور متولد می‌شوند، انتظار می‌رود که هدف اصلی اکثر این خانواده‌ها، دستیابی کودک به توانایی گوش دادن و صحبت کردن باشد، دستیابی به این هدف نیازمند مدیریت شنوایی‌شناسی مستمر، دقیق و دلسوزانه است.

۱-۱ مقدمه ای بر شنوایی‌شناسی کودکان

بر اساس گزارش مؤسسه ملی ناشنوایی و سایر اختلالات ارتباطی (NIDCD)^{۱۵}، سالانه تقریباً ۱۲۰۰۰ نوزاد جدید با کم‌شنوایی شناسایی می‌شوند. علاوه بر این، آمارها نشان می‌دهد که سالانه حدود ۴ تا ۶ هزار نوزاد و کودک خردسال از بدو تولد تا سه‌سالگی که در غربالگری شنوایی نوزادی قبول شده بودند، دچار

نکات کلیدی

- به دلیل پیشرفت فناوری و انعطاف‌پذیری عصبی مغز، همه دانسته‌ها و باورهای پیشین ما درباره کم‌شنوایی دستخوش تغییر شده‌اند.
- مشکل اصلی در کم‌شنوایی این است که مانع رسیدن صدا به مغز می‌شود، هدف سمعک‌ها، دستگاه‌های

13 Audiology
14 Language
15 National Institute on Deafness
and other Communication
Disorders

7 Neuroplasticity
8 Auditory brain
9 Brain
10 Listening
11 Auditory deprivation
12 Critical periods

1 Hearing
2 Hearing Loss
3 Deaf
4 Hard of hearing
5 Children
6 Pediatric

مفصل، همراه با مباحثی در مورد انعطاف‌پذیری عصبی، محرومیت شنوایی و دوره‌های بحرانی رشد شنوایی بررسی می‌شود. در ادامه، نگاهی نو به واژه ناشنوا ارائه می‌شود و در پایان فصل، تفاوت بین شنیدن و گوش دادن مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲-۱ شنوایی‌شناسی کودکان در حال تغییر است

کتاب محبوب «چه کسی پنیر مرا جابه‌جا کرد؟» نوشته اسپنسر جانسن^۱ (۱۹۹۸)، در دنیای کم‌شنوایی معنای ویژه‌ای دارد. تغییراتی که از طریق فناوری و برنامه‌های غربالگری و مداخله زودهنگام شنوایی (EHDI)^۲ به وجود آمده‌اند، دستاوردهایی را در زمینه گوش دادن و صحبت کردن ممکن ساخته‌اند، که تا چند سال پیش فقط در حد رؤیا بود. درک این نکته اهمیت دارد که دستاوردهای نوین امروزی به این معنا نیست که تصمیمات درمانی گرفته‌شده توسط شنوایی‌شناسان کودک در گذشته نادرست بوده‌اند. شنوایی‌شناسان، بر اساس امکانات و دانش آن زمان، آنچه لازم بود را انجام می‌دادند. برای نمونه، تا دهه ۱۹۷۰، برای کودکان دارای افت شنوایی دوطرفه، به‌طور معمول تنها یک سمعک تجویز می‌شد.

امروزه با افزایش دانش، می‌توانیم خدمات بهتری ارائه دهیم. شنوایی‌شناسان اکنون بهترین اقدام ممکن را در چارچوب امکانات امروز انجام می‌دهند. جهان فردا امکانات تازه‌ای خواهد آورد و ما نیز باید با پنیر حرکت کنیم. وظیفه ما به‌عنوان شنوایی‌شناس کودک، آماده‌سازی نوزادان امروز برای بزرگسالی در دنیای ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ است نه در دنیای ۱۹۷۰، ۱۹۹۰ یا حتی ۲۰۲۰. چرا که در فرهنگ‌های امروزی، اطلاعات و دانش ارزش رایج هستند و بنابراین باید شنیدن، صحبت کردن، خواندن، نوشتن و دسترسی به فناوری‌های الکترونیکی تا حد امکان در اختیار نوزادان و کودکان ما قرار گیرند.

کم‌شنوایی با شروع دیر هنگام می‌شوند. بنابراین، سالانه حدود ۱۶ تا ۱۸ هزار نوزاد و کودک نوپا با کم‌شنوایی شناسایی می‌شوند که این موضوع، کم‌شنوایی را به شایع‌ترین نقص هنگام تولد تبدیل می‌کند.

مطالعات متعدد طی دهه‌های گذشته نشان داده‌اند که اگر کم‌شنوایی با هر درجه‌ای به‌درستی تشخیص داده نشود و درمان نشود، می‌تواند بر رشد گفتار، زبان، عملکرد تحصیلی، عاطفی و روانی کودکان خردسال تأثیر منفی بگذارد. بنابراین، عوارض ثانویه کم‌شنوایی می‌توانند به اندازه یا حتی بیشتر از خود کم‌شنوایی، رشد کودک را تحت‌تأثیر قرار دهند.

در سال‌های اخیر، با پیشرفت چشمگیر فناوری و افزایش اطلاعات درباره غربالگری و مدیریت کم‌شنوایی در نوزادان و کودکان، این حوزه دچار تحول شده است. عامل اصلی این پیشرفت، اجرای غربالگری شنوایی نوزادان بوده است. به دنبال شناسایی و درمان کم‌شنوایی از دوره نوزادی، اکنون با جمعیتی از کودکان کم‌شنوا روبه‌رو هستیم که پیش‌تر وجود نداشت، کودکانی که کم‌شنوایی‌شان از بدو تولد تشخیص داده شده است، و عوارض ثانویه رشدی و ارتباطی که در گذشته شایع بود، اکنون قابل پیشگیری هستند. آنچه در زمینه کم‌شنوایی رخ داده، تحول چشمگیر داشته و شنوایی‌شناس کودک در جایگاه کلیدی این تغییرات قرار دارد.

شنوایی‌شناس کودک امروزی چگونه این جمعیت جدید از نوزادان و کودکان کم‌شنوا و خانواده‌هایشان را تشخیص داده و درمان می‌کند؟ شنوایی‌شناسی، به عنوان یک حرفه سلامت‌محور در زمینه تشخیص و درمان، چگونه با سایر ارائه‌دهندگان خدمات سلامت، مداخله‌گران زودهنگام، آسیب‌شناسان گفتار و زبان، معلمان و البته خانواده‌ها در ارائه خدمات باکیفیت همکاری می‌کند؟ نخستین گام این است که بپذیریم به دلیل پیشرفت فناوری و انعطاف‌پذیری عصبی مغز، همه آنچه پیش‌تر درباره کم‌شنوایی می‌دانستیم و باور داشتیم، دستخوش تغییر شده است.

این فصل با بحث درباره دنیای در حال تغییر شنوایی‌شناسی کودکان آغاز می‌شود. سپس رشد عصبی شنوایی به صورت

۳-۱ شنوایی در مغز اتفاق می افتد

به دنبال پژوهش‌های نوروبیولوژیک، بحث‌ها درباره‌ی ورودی‌های حسی اکنون بر مغز متمرکز شده‌اند. به عنوان مثال، ما با مغز می‌بینیم؛ چشم‌ها تنها ورودی اطلاعات بینایی به مغز هستند. ما با مغز بو می‌کشیم؛ بینی مسیر ورود محرک‌های بویایی به مغز است. ما با مغز می‌شنویم؛ گوش‌ها راهی برای ورود صدا و اطلاعات شنیداری به مغز هستند. بنابراین، کم‌شنوایی صرفاً یک مشکل گوش نیست و در اصل یک مسئله مغزی است. مشکل اصلی در کم‌شنوایی این است که مانع رسیدن صدا به مغز می‌شود. اگر این مقایسه را ادامه دهیم، می‌توان گفت کم‌شنوایی صرفاً مشکل در گوش نیست و مشکل ورودی است، کم‌شنوایی به شیوه‌ها و درجات مختلف، این درگاه را مسدود می‌کند و از رسیدن ورودی‌های شنیداری به مغز جلوگیری می‌کند.

فناوری‌های شنوایی این ورودی‌ها را باز می‌کنند تا امکان دسترسی، فعال‌سازی، تحریک و رشد مسیرهای عصبی شنیداری در مغز فراهم شود، مسیری که برای پردازش اطلاعات شنیداری از جمله زبان گفتاری مهم است.

نکته طلایی

هدف از فناوری شنوایی این است که اطلاعات شنیداری را از طریق ورودی (گوش) به مغز برساند. هیچ هدف دیگری وجود ندارد!

دستاوردهای کودک در زمینه شنیدن و زبان گفتاری، نه تنها توسط ۱۶۰۰۰ سلول مویی (یا احتمالاً بسیار کمتر) و ۳۰۰۰۰ رشته عصب شنوایی تعیین می‌شود، بلکه توسط ۱۰۰ میلیارد نورون مغزی نیز تعیین می‌شود، که در هر ثانیه ۱۰۰ تریلیون واحد اطلاعات را پردازش می‌کنند.

شواهد قابل توجهی وجود دارد که نشان می‌دهد، شنیدن مؤثرترین شیوه برای آموزش زبان گفتاری (گفتار)، خواندن و مهارت‌های شناختی است. علاوه بر این، با استفاده از فناوری‌های تقویتی امروزی از جمله کاشت حلزون و با شناسایی و مداخله زودهنگام، دسترسی به مغز شنیداری حتی برای نوزادان با افت

شنوایی عمیق نیز امکان‌پذیر شده است. این دسترسی به مغز امکان استفاده از مدل مداخله‌ای مبتنی بر رشد را می‌دهد، مدلی که می‌تواند از بروز پیامدهای منفی رشدی مرتبط با کم‌شنوایی، که تا چند سال پیش بسیار شایع بودند، جلوگیری کند.

۴-۱ انعطاف‌پذیری عصبی، محرومیت شنوایی، دوره‌های بحرانی و غنی‌سازی زبان گفتاری

مطالعات مرتبط با رشد مغز نشان می‌دهند که تحریک حسی مراکز شنیداری مغز، امری مهم است و بر نحوه سازمان‌دهی مسیرهای عصبی شنیداری در مغز تأثیر می‌گذارد. واقعیت این است که مغز فقط بر اساس محرک‌هایی که دریافت می‌کند می‌تواند خود را سازمان‌دهی کند. اگر رویدادهای صوتی به‌صورت کامل دریافت شوند، مغز بر همان اساس سازمان می‌یابد، اما در مقابل، اگر کم‌شنوایی مانع از رسیدن برخی یا همه صداها یا گفتاری به مراکز شنیداری مغز شود، ساختار مغز به شکلی متفاوت سازمان می‌یابد. همان‌طور که گفته شده است: وقتی می‌خواهیم چیزی را که شنیده‌ایم به خاطر بسپاریم (یا یاد بگیریم)، باید آن را به وضوح شنیده باشیم، چون حافظه فقط به اندازه سیگنال اولیه‌اش شفاف است. اگر ورودی مبهم باشد، خروجی نیز مبهم است. افزایش سیگنال از طریق فناوری‌های تقویتی، در واقع به تحریک مغز مربوط می‌شود و به دنبال آن، مسیرهای عصبی شنیداری تکامل می‌یابند.

۱-۴-۱ مرور آناتومی و فیزیولوژی شنوایی

برای درک کامل رشد مغز شنیداری در شرایط دسترسی کافی به گفتار قابل‌فهم و یا محرومیت شنوایی ناشی از کم‌شنوایی مادرزادی درمان‌نشده، مروری کوتاه بر آناتومی و فیزیولوژی شنوایی و همچنین مطالعات اخیر در زمینه رشد مغز شنیداری مفید است.

دستگاه عصبی شنوایی از ساقه مغز تا قشر شنوایی، ساختاری بسیار پیچیده دارد. اگرچه ساقه مغز در جنبه‌های مختلف از پردازش شنیداری (مانند مکان‌یابی صدا، پردازش گفتار در نوز، مثلاً پدیده رهایی از پوشش^۱)، که درک گفتار در نوز را ممکن

قشر شنوایی ثانویه^۴

قشر شنوایی ثانویه در مقایسه با قشر شنوایی اولیه، تعریف دقیق‌تری ندارد و شامل چندین ناحیه مختلف از جمله پلنوم تمپورال^۵، شکنج آنگولار^۶، شکنج سوپرامارژینال^۷، لوب جداری تحتانی^۸، لوب پیشانی خلفی^۹، اینسولا^{۱۰} و شکنج گیجگاهی فوقانی^{۱۱} (شکل ۱-۲ الف و ۱-۲ ب) است و فقط محدود به این‌ها نیست. متخصصان مراقبت‌های بهداشتی مدت‌هاست که به نقش برجسته قشر شنوایی ثانویه در توانایی شنونده برای درک گفتار و استخراج معنا از صداها، محیطی و موسیقی پی برده‌اند. برای نمونه، پزشک آلمانی کارل ورنیکه^{۱۲} در سال ۱۸۷۴ متوجه شد که آسیب به ناحیه ۴۲ برودمن، که در قشر شنوایی ثانویه قرار دارد (شکل ۱-۲ الف و ۱-۲ ب)، منجر به ناتوانی در درک گفتار می‌شود.

در افرادی که سال‌های ابتدایی زندگی خود به گفتار واضح و قابل فهم دسترسی کافی دارند، نواحی شنوایی مغز هنگام تحریک توسط گفتار یا سایر صداها، معنادار، پاسخ قوی و فعال از خود نشان می‌دهند. کوین گرین^{۱۳} و همکارانش با استفاده از تصویربرداری توموگرافی گسیل پوزیترون (PET)^{۱۴} نواحی فعال مغز شرکت‌کنندگانی را بررسی کردند که در دوران کودکی شنوایی هنجار داشته و بعدها در بزرگسالی به دنبال کم‌شنوایی، کاشت حلزون دریافت کرده بودند. هنگامی که این افراد به گفتار قابل فهم گوش می‌دادند، در پاسخ به گفتار پیوسته، تحریک شنوایی کاشت حلزون در یک گوش، منجر به فعال شدن دو طرفه قشر شنوایی اولیه و ثانویه شد.

می‌سازد و اغلب به آن اثر Cocktail Party گفته می‌شود و همچنین تنظیم و پالایش سیگنال شنیداری برای تسهیل پردازش در سطوح بالاتر نقش دارد، اما تمرکز این فصل بر قشر شنوایی است. قشر شنوایی بخشی از سیستم شنوایی است، و محرک‌های صوتی در آن، به‌طور خاص برای شنونده معنا پیدا می‌کنند.

قشر شنوایی اولیه^۱

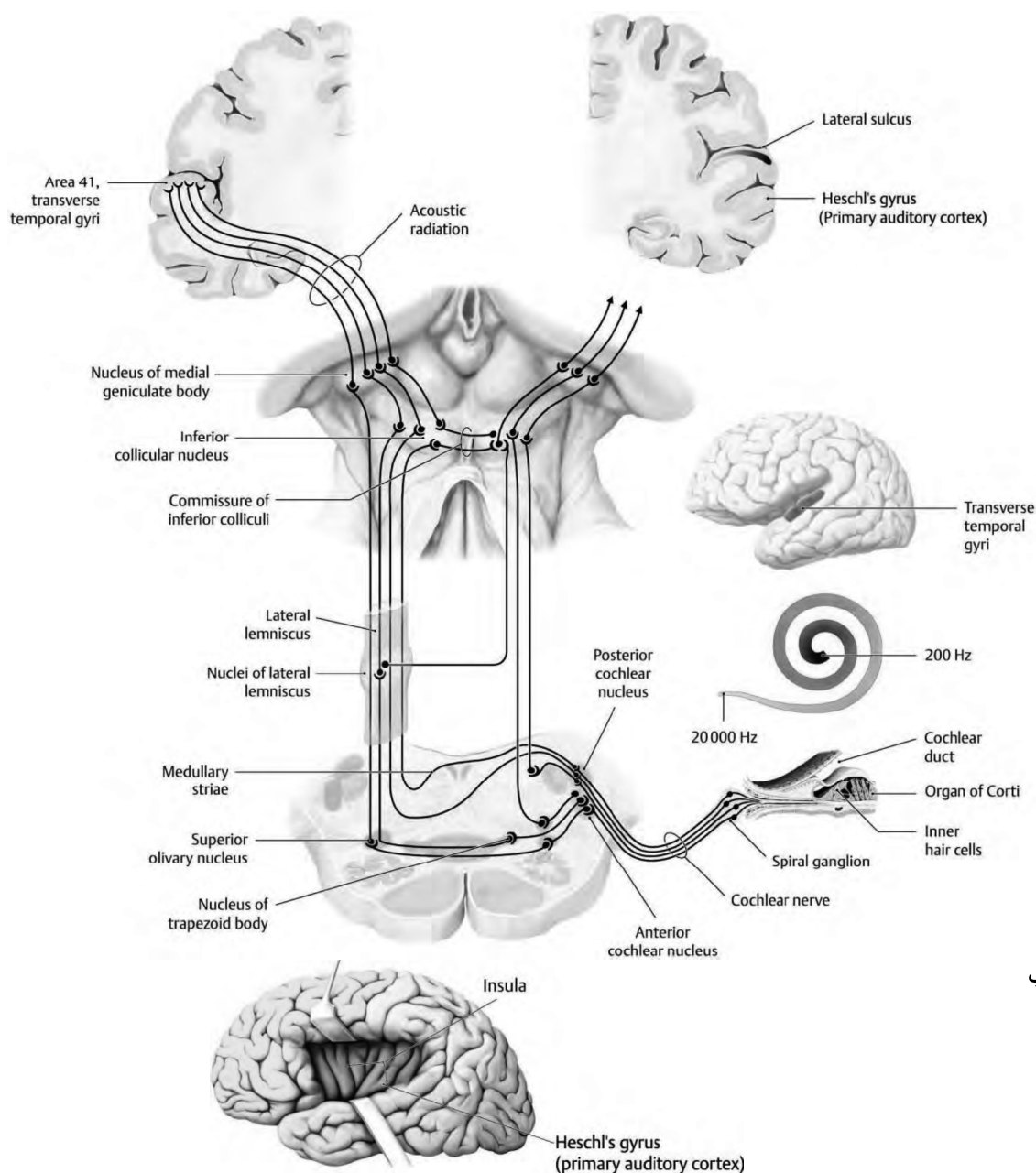
شکل‌های ۱-۱ الف و ۱-۱ ب نمایی از مسیر صعودی شنوایی را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۱-۱ الف مشاهده می‌شود، تمام ورودی‌های شنوایی از ساقه مغز و نواحی تالاموسی به قشر شنوایی اولیه می‌رسند. ویژگی‌های ساختاری قشر شنوایی اولیه ممکن است برای بسیاری از دانشجویان تازه‌وارد رشته شنوایی‌شناسی مبهم باشد، زیرا قشر شنوایی اولیه به‌راحتی قابل مشاهده نیست. با این حال، اگر بخش‌هایی از لوب پیشانی و لوب آهیانه برداشته شوند، قشر شنوایی اولیه که به آن شکنج هشل^۲ نیز گفته می‌شود قابل مشاهده است. این ناحیه به‌صورت برآمدگی از بافت عصبی است که در امتداد شیار سیلوین^۳ به سمت داخل و عقب کشیده شده است (شکل ۱-۱ ب). سازماندهی تونوتوپیک که در حلزون شکل می‌گیرد و در تمام مسیر شنوایی صعودی حفظ می‌شود، در قشر شنوایی اولیه نیز باقی می‌ماند، به‌گونه‌ای که صداها با فرکانس پایین در لبه جانبی شکنج هشل و صداها با فرکانس بالا در لبه میانی پردازش می‌شوند.

۱۲ Carl Wernicke
۱۳ Kevin Green
۱۴ Positron Emission Tomography

۷ Supramarginal gyrus
۸ Inferior parietal lobe
۹ Posterior frontal lobe
۱۰ Insula
۱۱ Superior temporal gyrus

۱ Primary auditory cortex
۲ Heschl Gyrus
۳ Sylvian Fissure
۴ Secondary auditory cortex
۵ Planum temporale
۶ Angular gyrus

الف



ب

شکل ۱-۱ قشر شنوایی اولیه

تحریک شده)، بلکه در سمت چپ مغز نیز دیده می‌شود. به بیان ساده، مسیرهای صعودی شنوایی همانسوایی^۱ و همچنین جسم پینه‌ای^۲ باعث ایجاد پاسخ دوطرفه^۳ می‌شوند. اما نکته‌ی مهم‌تر

شکل ۱-۳ نمونه‌ای از مطالعه‌ی گرین را نشان می‌دهد که، یک شرکت‌کننده در حال گوش دادن به گفتار پیوسته با کاشت حلزون در گوش چپ بود. همان‌طور که در تصویر نشان داده شده، پاسخ شنوایی در هر دو قشر شنوایی اولیه و ثانویه دیده می‌شود، و نه تنها در سمت راست مغز (یعنی مخالف با گوش

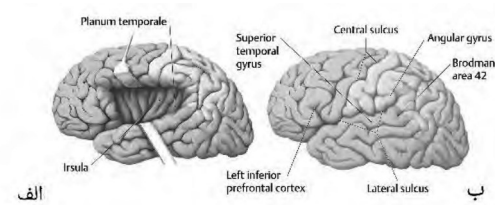
3 Bilateral

2 Corpus callosum

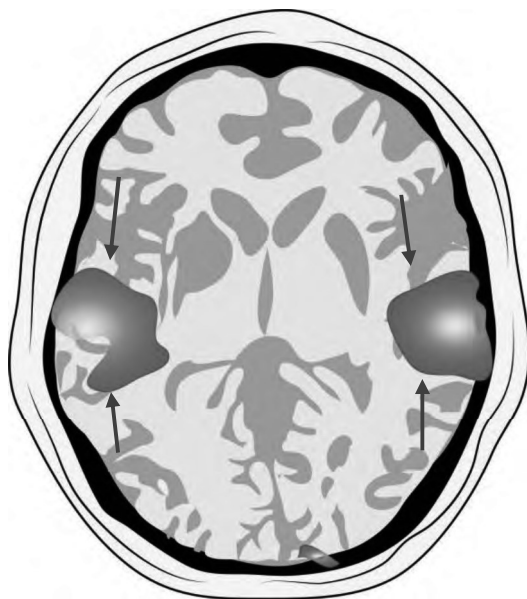
1 Ipsilateral

است، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که این ارتباطات و ابران پاسخ قشر شنوایی اولیه را تعدیل می‌کنند، تا بر سیگنال‌های اصلی و مهم تمرکز نماید. در طول زندگی، شنوندگان هم‌زمان با حجم زیادی از اصوات مواجه هستند که از نظر طیفی و زمانی با یکدیگر هم‌پوشانی دارند. برای پردازش اصواتی که از نظر معنا یا جذابیت بیشترین اهمیت را دارند، شنونده باید بتواند بر مؤلفه‌های صوتی تمرکز کند که ویژگی‌های منحصربه‌فرد را برای صدای مورد نظر او دارند، توانایی که به آن استخراج ویژگی^۶ یا بازنمایی ویژگی^۷ گفته می‌شود.

این است که تحریک شنوایی باعث ایجاد پاسخ گسترده و قوی می‌شود که تمام قشرهای شنوایی اولیه و ثانویه را در بر می‌گیرد.



شکل ۱-۲ قشر شنوایی ثانویه



شکل ۱-۳ تصویر توموگرافی گسیل پوزیترون (PET) از نواحی مغزی که هنگام گوش دادن به گفتار قابل فهم توسط بزرگسالانی که پس از یادگیری زبان دچار ناشنوایی شده بودند و از کاشت حلزون استفاده می‌کردند نیز با فلش قرمز مشخص شده‌اند.

قابلیت پاسخ قشر شنوایی ثانویه نسبت به گفتار و دیگر صداها اهمیت زیادی دارد، زیرا این قشر به‌طور عملکردی سیستم عصبی شنوایی را به سایر نواحی مغز متصل می‌کند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که قشر شنوایی ثانویه اتصالات فراوان با دیگر نواحی مغز (از جمله نورون‌های قشری در لوب‌های پیشانی، آهیانه و پس‌سری و همچنین مراکز عمقی مغز مانند هیپوکامپ^۱ و آمیگدال^۲) دارد. این ارتباطات بین قشر شنوایی ثانویه و سایر بخش‌های مغز، مسیرهای عصبی درون‌نیم‌کره‌ای^۳ نام دارند.

اکثر متخصصان مراقبت‌های شنوایی کودکان، با دسته‌های بین‌نیم‌کره‌ای مانند جسم پینه‌ای آشنا هستند که اطلاعات را بین نیم‌کره‌ی راست و چپ مغز جابه‌جا می‌کند. اما مسیرهای عصبی درون‌نیم‌کره‌ای اطلاعات را بین نواحی مختلف در همان نیم‌کره (راست یا چپ) منتقل می‌کنند. دسته‌ی قوسی^۴، که در شکل ۱-۴ نشان داده شده، نمونه‌ای از یک مسیر درون‌نیم‌کره‌ای است که اطلاعات را از نواحی شنوایی مغز به لوب پیشانی برای پردازش‌های سطح بالاتر منتقل می‌کند. مسیرهای درون‌نیم‌کره‌ای متعدد دیگری نیز وجود دارند که قشرهای شنوایی مغز را با سایر نواحی قشری و ساختارهای پایین‌تر از مغز (مانند آمیگدال) مرتبط می‌سازند.

قشر شنوایی ثانویه همچنین از طریق مسیرهای عصبی و ابران^۵ به قشر شنوایی اولیه پیام‌هایی را باز می‌فرستد. اگرچه عملکرد دقیق این مسیرهای و ابران هنوز به‌طور کامل مشخص نشده

استخراج ویژگی

استخراج ویژگی شامل توانایی شنونده در تمرکز انتخابی بر مؤلفه‌های صوتی است، که برای رمزگشایی صدای مورد نظر کافی باشند و بازنمایی مناسبی از آن صدا باشند تا تشخیص و شناسایی موفقیت‌آمیز آن ممکن شود. برای توضیح بیشتر، فیزیولوژیست

7 Feature representation

4 Arcuate fasciculus

5 Efferent tracts

6 Feature extraction

1 Hippocampus

2 Amygdala

3 Intrahemispheric

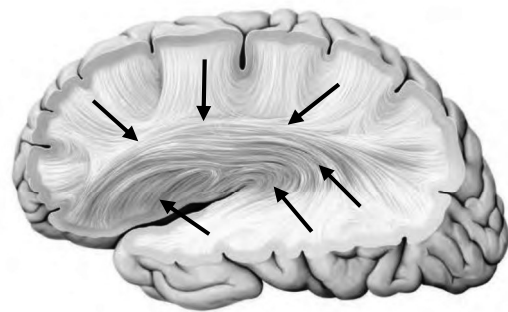
ادغام عملکرد قشر شنوایی ثانویه با سایر بخش‌های مغز برای ایجاد تجربه معنادار از صدا، صرفاً یک شناسایی ساده نیست بلکه بسیار ضروری است. باید پذیرفت که فیزیولوژیست‌های شنوایی هنوز به‌طور کامل درک نکرده‌اند که چگونه اهداف شنیداری (مانند گفتار، صداهای محیطی یا موسیقی) در مغز بازنمایی و رمزگشایی می‌شوند. با این حال، متون علوم اعصاب نشان می‌دهد که هر سیگنالی که از سیستم‌های حسی وارد ذهن ما می‌شود، به الگوهایی از فعالیت عصبی تبدیل می‌شود. به بیان دیگر، هر تجربه شناختی ما توسط شبکه‌ای منحصر به فرد از نورون‌ها نمایش داده می‌شود که در پاسخ به ورودی‌های سیستم‌های حسی ما فعال می‌شوند و واقعیتی را که درک می‌کنیم، ایجاد می‌کنند.

برای مثال، واژه «ترم» را در نظر بگیرید. وقتی واژه نرم را می‌شنویم، مجموعه‌ای خاص از نورون‌ها در سراسر مغز فعال می‌شوند تا تصاویر شناختی را که تجربه می‌کنیم، ایجاد کنند. مؤلفه‌های صوتی واژه نرم در قشر شنوایی اولیه، از طریق تعداد نورون‌های فعال‌شده، زمان‌بندی شلیک آن‌ها و مکان‌های تونوتوپیک فعالیت آن‌ها، نمایان می‌شوند. همان‌طور که در نمونه‌ای از پژوهش گرین و همکاران در شکل ۳-۱ مشاهده شد، نورون‌های قشر شنوایی ثانویه نیز پاسخ می‌دهند، و ممکن است نقش تنظیم پاسخ قشر شنوایی اولیه را ایفا کنند، اما مهم‌تر از آن، این نورون‌ها تحریکات شنیداری را به سایر نواحی مغز توزیع می‌کنند و یک شبکه برای پردازش صدا ایجاد می‌کنند. شکل ۵-۱ الف یک تصویر ساده از شبکه نورونی است که ممکن است در پاسخ به واژه نرم در سراسر مغز فعال شود. بیشتر این نورون‌ها در قشرهای شنوایی اولیه و ثانویه قرار دارند، اما نورون‌هایی در لوب آهیانه‌ای تحتانی^۵، لوب پیش‌پیشانی خلفی^۶، نواحی پس‌سری و نواحی چندحسی قشر شنوایی ثانویه نیز فعال می‌شوند.

مشارکت لوب پیشانی تحتانی باعث استخراج معناها سطح بالاتر از واژه نرم می‌شود. برای مثال، ممکن است این واژه را با یک تشک نرم برای تخت‌خواب تداعی کنیم، یا آن را با احساس راحتی پیوند دهیم، یا برعکس، ممکن است آن را موجب تشدید کمردرد خود

برجسته شنوایی، اندرو کرال^۱ و همکارانش بیان کردند که مدولاسیون قشر شنوایی اولیه توسط قشر شنوایی ثانویه این امکان را فراهم می‌آورد تا ویژگی‌های صوتی مهم برای شناسایی صدا توسط شنونده تشخیص داده شوند. علاوه بر این، کرال نشان داد که قشر شنوایی ثانویه و سایر نواحی سطح بالای مغز، این ویژگی‌های صوتی پایه را با یکدیگر ترکیب کرده و آن‌ها را به بازنمایی‌های معنادار (یعنی اشیای شنیداری^۲) تبدیل می‌کنند که در نهایت، امکان شناسایی و درک صدا را برای شنونده فراهم می‌سازد.

از سوی دیگر، بسیاری از نورون‌ها در قشر شنوایی ثانویه، می‌توانند به چند نوع محرک مختلف پاسخ دهند، ویژگی که به آن چندظرفیتی^۳ گفته می‌شود. برای مثال، برخی از نورون‌های قشر شنوایی ثانویه، به‌طور هم‌زمان به محرک‌های شنیداری و بینایی پاسخ می‌دهند، در حالی که برخی دیگر به محرک‌های شنیداری و لامسه‌ای واکنش نشان می‌دهند. احتمالاً، این نورون‌های چندظرفیتی در قشر شنوایی ثانویه، ادغام چندحسی^۴ را ممکن می‌سازند. برای نمونه، ادغام اطلاعات شنیداری و بینایی به شنونده کمک می‌کند تا صدای خاص (مانند شکستن شیشه) را با تصویری خاص (مانند شکستن شیشه توسط بیسبال) ارتباط دهد. با این حال، پژوهش‌های بیشتر لازم است تا نقش نورون‌های چندظرفیتی قشر شنوایی ثانویه در تشخیص، شناسایی و درک صدا به‌روشنی مشخص گردد.



شکل ۴-۱ مسیرهای عصبی درون نیمکره‌ای

6 Posterior Frontal

3 Pluripotency
4 Multimodal integration
5 Inferior Parietal

۱ Andrej Kral
2 Auditory objects

صدای گروه مارش، هنگام نواختن سرود حماسی دانشگاه پاسخ می‌دهند.

شکل ۵-۱ ب نمایشی ساده از یک شبکه عصبی متفاوت اما منحصربه‌فرد را نشان می‌دهد که در پاسخ به صدای مارش گروه موسیقی مدرسه که سرود حماسی دانشگاه را می‌نوازد، فعال می‌شود. در این مثال، شبکه‌ای بزرگ‌تر و گسترده‌تر از نورون‌ها درگیر می‌شود، احتمالاً به این دلیل که سرود حماسی پاسخ عمیق‌تر و پیچیده‌تری نسبت به واژه «نرم» ایجاد می‌کند.

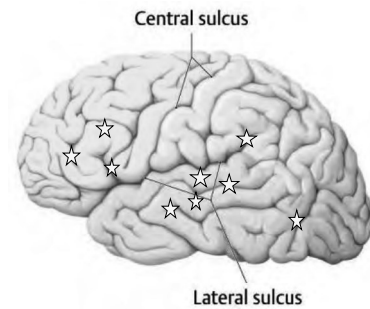
بار دیگر، شاهد فعال‌سازی گسترده و قدرتمند قشر شنوایی اولیه و ثانویه هستیم. همچنین، از آنجا که قشر شنوایی ثانویه مانند سکوی پرتابی عمل می‌کند که از طریق آن صدا به سایر بخش‌های مغز توزیع می‌شود، فعال‌سازی در بخش‌های دیگر مغز نیز دیده می‌شود. در چشم ذهن خود، این پدیده باز هم به دلیل یکپارچگی و تعامل نورون‌های پاسخ‌دهنده به صدا در قشر شنوایی ثانویه با نورون‌های پاسخ‌دهنده به محرک‌های بینایی رخ می‌دهد. همچنین ممکن است هنگام شنیدن این سرود، احساس غرور و شادی کنیم، زیرا قشر شنوایی ثانویه با لوب پیشانی و دیگر نواحی مغزی مرتبط با هیجان، مانند آمیگدال، درگیر می‌شود. ممکن است خاطرات خوش حضور در مسابقات همراه با دوستان و خانواده به ذهن‌مان بیاید. حتی ممکن است بوی هات‌داگ‌های غرفه خوراکی‌ها را نیز حس کنیم که ناشی از ارتباط بین قشر شنوایی ثانویه و دستگاه بویایی است.

شبکه‌های ارتباطی یا شبکه‌های عصبی

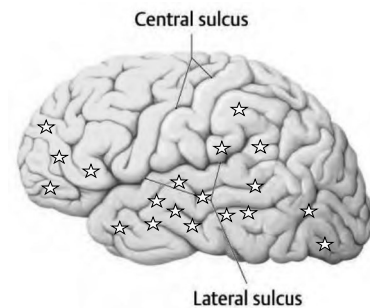
به‌طور خلاصه، هر صدایی که از طریق گوش‌ها وارد ذهن ما می‌شود، به الگوی منحصربه‌فردی از فعالیت عصبی در سراسر مغز تبدیل می‌شود. برای آنکه تجربه شنیداری ما فراتر از صرفاً شناسایی ساده صدا باشد و معنای سطح‌بالا پیدا کند و به‌اصطلاح زنده شود، تحریک شنیداری باید از قشر شنوایی اولیه فراتر رفته و به قشر شنوایی ثانویه برسد، جایی که این اطلاعات به دیگر نواحی مغز انتقال می‌یابند تا ارتباطاتی به نام شبکه عصبی یا کانکتوم^۲ شکل بگیرند. کانکتوم، نقشه‌ای از ارتباطات عصبی عملکردی در مغز است و می‌توان آن را مانند نقشه سیم‌کشی

بدانیم. علاوه بر این، فعال شدن نورون‌ها در مراکز بینایی مغز یا نورون‌های چندطرفیتی در قشر شنوایی ثانویه باعث می‌شود بتوانیم تصویر ذهنی از نرمی در چشم ذهن خود مجسم کنیم. برای نمونه، ممکن است واژه نرم را با بالش، حوله حمام، تکه‌ای پنبه نرم یا پر سبکی که در نسیم ملایم می‌رقصد تداعی کنیم. همه این تصاویر بصری با شنیدن واژه نرم در ذهن ما پدید می‌آیند، چراکه بین نواحی شنوایی و بینایی مغز یکپارچگی ایجاد می‌شود. به همین ترتیب، می‌توانیم حس لامسه پنبه‌ای را بین انگشتانمان مجسم کنیم، زیرا بین نواحی شنوایی، آهیانه‌ای و پیش‌پیشانی مغز ادغام رخ می‌دهد. در نهایت، می‌توانیم خود واژه نرم را نیز تلفظ کنیم، زیرا شبکه‌ای که بین سیستم شنوایی و قشر پیش‌پیشانی تحتانی چپ (LIPC)^۱ یعنی ناحیه بروکا^۲ شکل گرفته، باعث آگاهی واج‌شناختی و تولید صداهایی که در سیستم شنوایی مدلسازی شده‌اند، می‌شود.

الف

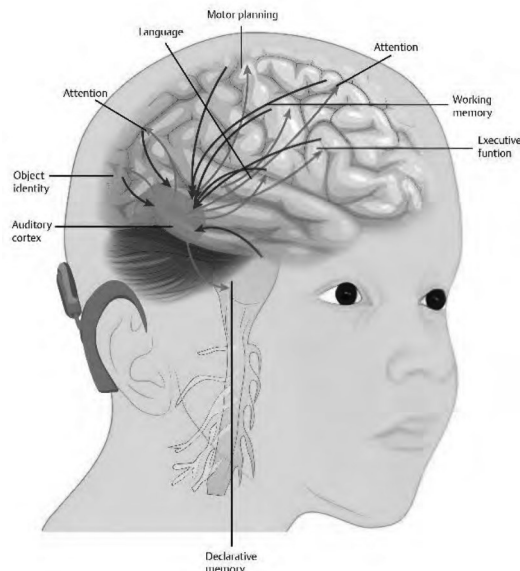


ب



شکل ۵-۱ الف) نمایش شبکه‌ای از نورون‌ها که ممکن است در پاسخ به واژه نرم در سراسر مغز فعال شوند. ب) نمایشی از یک شبکه عصبی متفاوت اما به همان اندازه منحصربه‌فرد، یا الگویی از نورون‌ها که به

سیگنال‌های بی‌هدف از تعداد زیادی اتصال عصبی مواجه می‌شد که بسیاری از آن‌ها اطلاعات مفیدی درباره محیط فرد ارائه نمی‌دادند. هرس سیناپسی باعث حذف سیناپس‌هایی می‌شود که سیگنال‌های معنادار نسبت به محیط فرد فراهم نمی‌کنند، در حالی که اتصالات عصبی که اطلاعات مفید و ضروری برای بقا و موفقیت در محیط را فراهم می‌کنند، حفظ می‌شوند. هرس سیناپسی موجب می‌شود که مغز منابع پردازشی خود را بر محرک‌ها و اطلاعات محیطی که بیشترین اهمیت را برای سلامت و راحتی ما دارند، متمرکز کند.



شکل ۱-۶ تصویری از بخش شنوایی شبکه عصبی مغز انسان.

اگرچه فرآیندهای شاخه‌زایی، سیناپتوژنز و هرس سیناپسی در تمام طول عمر رخ می‌دهند، اما این پدیده‌ها در سال‌های ابتدایی زندگی (یعنی دوران بحرانی رشد و بلوغ) فراگیرتر هستند و در طول دوران کودکی به طور چشمگیری کاهش می‌یابند. در نتیجه، انعطاف‌پذیری مغز (یا توانایی آن برای تغییر و ایجاد اتصالات عملکردی جدید) در سال‌های اولیه کودکی به بیشترین حد خود می‌رسد. براساس یافته کرال و همکارانش، محرومیت شنوایی در دوران رشد اولیه باعث جلوگیری از بلوغ عملکردی، تأخیر در ایجاد سیناپس‌های قشری و افزایش حذف سیناپس‌ها می‌شود که در نهایت بر عملکردهای مرکزی از جمله رمزگذاری

مغز در نظر گرفت. اندرو کرال و همکارانش یک تصویر مفهومی از بخش شنوایی کانکتوم مغز انسان ارائه داده‌اند (شکل ۱-۶). همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، قشر شنوایی ثانویه مانند سکوی پرتاب عمل می‌کند و از طریق تعامل و یکپارچه‌سازی با دیگر بخش‌های مغز، شبکه عصبی لازم شکل می‌گیرد.

کانکتوم عصبی طبیعی در چند سال اول زندگی از طریق فرآیندهای وابسته به تحریک ایجاد می‌شود. نخست، از طریق فرآیندی به نام سیناپتوژنز^۱ (تشکیل سیناپس، یعنی ساختارهایی که سیگنال‌ها را بین دو نورون منتقل می‌کنند)، تماس نورون به نورون برقرار شده و مسیرهای عصبی در سراسر مغز ایجاد می‌شود. سیناپس‌های جدید از طریق فرآیندی به نام شاخه‌زایی^۲ برگرفته از کلمه لاتین arbor به معنای درخت شکل می‌گیرند، در این فرآیند، آکسون‌های ارسال‌کننده و دندریت‌های دریافت‌کننده نورون‌ها رشد کرده و منشعب می‌شوند تا با نورون‌های مجاور تماس برقرار کرده و سیناپس تشکیل دهند. تعداد سیناپس‌ها در فاصله بین سال‌های اول تا چهارم زندگی به حداکثر می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد.

نکته طلایی

سیناپس‌های سراسر مغز زمانی حفظ می‌شوند که ورودی‌های مداوم و معنادار از سیستم‌های حسی محیطی یا سایر نواحی مغز دریافت کنند و در صورتی که چنین ورودی‌هایی دریافت نکنند، حذف یا هرس می‌شوند. این پدیده را می‌توان با عبارت «استفاده کن یا از دست بده» خلاصه کرد.

ایجاد و حفظ سیناپس‌های عملکردی وابسته به تجربه است. سیناپس‌های موجود در سراسر مغز زمانی پایدار می‌مانند که ورودی‌های منظم و معناداری از سیستم‌های حسی یا سایر نواحی مغز دریافت کنند. در مقابل، سیناپس‌هایی که استفاده نمی‌شوند (مثلاً با ورودی از سیستم حسی تحریک نمی‌شوند)، دچار هرس سیناپسی^۳ می‌شوند، یعنی حذف سیناپس‌ها در مسیرهای عصبی که تحریک معنادار دریافت نمی‌کنند. هرس سیناپسی فرآیندی ضروری است، زیرا در غیر این صورت، مغز با انبوهی از