OAE

آزمونهای الکتروفیزیولوژیک شنوایی

□ احمدرضا ناظری
عضو گروه آموزشی شنوایی شناسی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی شهید بهشتی

چکیده:

OAE، امروزه جایگاه خاصی در مجموعهٔ آزمونهای الکتروفیزیولوژیک یافته و کارآئی قابل توجهی را بویژه در غربالگری شنوایی نوزادان نشان داده است. در مقالهٔ حاضر، توجه ما به مبانی فیزیولوژیک OAE است و سعی می‌کنیم روند تکامل مطالعات فیزیولوژیک را که نهایتاً به کشف پدیدهٔ "انعکاس حلزونی" توسط آقای Kemp انجامید، تبیین کنیم. با مطالعهٔ مقالهٔ فوق به این نتیجه دست خواهیم یافت که امروزه، گوش داخلی تنها به عنوان یک مبدل که جابجایی مایعات گوش درونی را به پیام عصبی تبدیل می‌کند مطرح نیست بلکه باید گوش داخلی را ارگانی فعال دانست که توانایی تولید انرژی و به عبارت دیگر کنترل فعال مکانیسم‌های درگیر در شنوایی را داراست.

واژه‌های کلیدی: انتشار صوتی گوش ■، سلولهای مویی خارجی ■■، الکترو موتیلیتی ■■■

مقدمه:

دانش ادیولوژی، علی رغم نوپا بودن، دانشی متحول و متحرک است. مطالب ارائه شده در این مجموعه خود شاهد گویایی براین ادعا می‌باشند.

پدیده otoacoustic Emission را از دو دیدگاه متفاوت می‌توان بررسی کرد:

۱- بدلیل این که پدیده مذکور باعث افزوده شدن آزمونی بر مجموعه آزمون‌های ادیولوژیک گشته است. از این دیدگاه می‌توان OAE را لااقل هم تراز دیگرآزمونها بویژه ارزیابی‌های الکترو فیزیولوژیک دانست.

۲- این پدیده را می‌توان از دیدگاه دیگری که مبتنی بر دانش فیزیولوژی شنوایی است، مطرح کرد. این ادعا که با کشف OAE، فیزیولوژی شنوایی دچار انقلابی شگرف شد و تحولی بنیادین و اساسی در آن روی داد، چندان دور از واقعیت نیست، ما در این مقاله به تبیین دیدگاه دوم می‌پردازیم. سعی مابراین است که در این مقالهٔ مختصر، نگرشی اساسی نسبت به مبانی (عملکردی) این پدیده‌نوین داشته باشیم.

تاقبل از دهه ۹۰، تصور دانشمندان از حلزون شنوایی تنها به عنوان یک مبدل غیرفعال بود. این مبدل توانایی تبدیل ارتعاشات مکانیکی حاصله از صوت را به انرژی عصبی داراست. و این تبدیل در سلولهای مویی شنوایی (اعم از خارجی و

■ OTO Acoustic Emmission ■■ Outer Hair cells ■■■ Electromotility

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-01]

داخلی) صورت می‌گیرد. نظریات آقای بکزی شالوده اصلی فیزیولوژی کلاسیک شنوایی را تشکیل می‌دهند. کارهای تجربی آقای بکزی و تئوری " موج در حال حرکت" [1] ایشان که براساس مشاهدات مستقیم تیغه حلزونی و مدل سازی تجربی بدست آمد سالها اساس توجیه فرآیندهای شنیداری بود.

لیکن با پیشرفت ابزارهای مشاهده و اندازه‌گیری حرکات اجزاء گوش درونی، توجه دانشمندان به وجود محتمل فرآیند بسیار دقیق و ظریف‌تری در گوش درونی جلب شد . آقای Gold در سال ۱۹۴۸ وجود یک سیستم باز خورد مثبت مکانیکی [2] را درون حلزون فرض کرد که این سیستم می‌تواند برحرکت غشای قاعده‌ای بیفزاید و او پیش‌بینی کرد که بتوان انتشار، صوتی - گوشی را در مجرای گوش خارجی ثبت کرد. نهایتاً آقای Kemp در سالهای ۱۹۷۸ و ۱۹۷۹ اولین مقالات خویش را در مورد EOAE [3] و SOAE [4] منتشر کرد و توضیح داد که می‌توان این انرژی صوتی ساطع شده از گوش درونی را در مجرای گوش خارجی ثبت کرد. و پس از آنها، سالها مطالعات و تحقیق‌های بسیاری در مورد این پدیده انجام گرفته و امروزه از آن به عنوان یک آزمایش کلینیکی جهت بررسی عملکرد حلزون استفاده شده است.

قبل از اینکه وارد مباحث اصلی این مقاله شویم، ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که هنوز دانش شنوایی نتوانسته است به صراحت و با یقین اصول فیزیولوژیک حاکم بر این پدیده غامض را توصیف نماید. با تداوم پیشرفت‌ها در تجربیات آزمایشگاهی، نگرش ساده انگارانهٔ گذشته نسبت به عملکرد سلولهای موئی شنوایی از بین رفت، اما اینکه عملکرد واقعی این سلولها واجزاء جزئی‌تر آنها چیست؟ مطالعات بسیاری لازم است تا به این سئوال پاسخ قطعی داده شود. اهمیت OAE در همین نکته نهفته است که با کشف آن دروازه جدیدی از مطالعه و تحقیق به روی دانشمندان علاقه‌مند به فیزیولوژی شنوایی گشوده شده است و مطمئناً ما اکنون تنها برآستانهٔ دریای وسیع و مجهولی از اطلاعات در مورد عملکرد گوش درونی ایستاده‌ایم.

تئوری بکزی: آقای بکزی طی یک سری تجربیات طولانی، حرکات اجزای حلزونی را با، بازکردن استخوانهای گیجگاهی انسان و حیوانات مورد بررسی قرار داد. این استخوانها درون محلول نمکین قرار می‌گرفتند ودریچه‌های پلاستیکی جایگزین دریچه بیضی و گرد آنها می‌شد. سپس یک مرتعش شونده مکانیکی به یکی از این دریچه‌ها متصل می‌شد. آقای بکزی با استفاده از مشاهدات میکروسکوپیک و استروبوسکوپیک قادر به تعقیب حرکات ذرات نقره پخش شده به غشای رایسنرو رسم الگوی موج در حال حرکت شد.

نتایج بدست آمده توسط آقای بکزی را می‌توان بدین صورت خلاصه کرد: ارتعاش استخوان رکابی باعث ایجاد موج در حال حرکت "روی غشای قاعده‌ای می‌شود، به ازای یک فرکانس بخصوص دامنه ارتعاش موج افزوده‌شده و به بالاترین میزان می‌رسد و سپس در یک نقطه مشخص دامنه ارتعاش کم شده و موج دچار میرایی می‌گردد. اصواتی با فرکانس بم مسیر طولانی ای را تا نزدیک راس به ارتعاش در می‌آورند و اصواتی با فرکانس زیر تنها مسیر کوتاهی را در نزدیکی قاعده مرتعش می‌کنند.

اگر به منحنی های رسم شده از موج در حال حرکت (شکل ۱) توجه کنیم در می‌یابیم که این منحنی‌ها غشای قاعده‌ای را همانند یک فیلتر پایین گذر در نظر می‌گیرند.

پس از کارهای آقای بکزی مطالعات متعددی در مورد اندازه‌گیری پاسخ غشایی انجام شد و با پیشرفت مطالعات،کارهای قبلی مورد سئوال واقع شدند.محرک تحقیقات جدید در مورد حرکات غشای قاعده‌ای، مطالعاتی بوده‌است که در مورد عصب شنوایی انجام گرفته است. مطالعات در مورد عصب شنوایی با تکیه بر یافته‌های بدست آمده از Tuning curveها شکل گرفته است و ما برای بیان و یژگیهای مورد بحث ناگزیر از توصیف اجمالی این نوع منحنی هستیم .

Tuning curve : منظور از Tuning curve،منحنی‌ای است که پاسخ عصب شنوایی یا سلول موئی شنوایی یاغشای قاعده‌ای را به ازای فرکانسهای مختلف نشان می‌دهد. ثبت این منحنی‌ها، ماحصل پیشرفت در توانائیهای تجربی دانشمندان در مشاهده پاسخ‌های سلولهای موئی و غشای قاعده‌ای و نیز ثبت فعالیتهای الکتریکی عصب شنوایی می‌باشد. ما در این مقاله از توضیح پیرامون تکنیکهای متنوع و پیچیده مشاهده و ثبت عملکرد اجزاء گوش درونی پرهیز می‌کنیم.

در ابتدای امر این منحنی‌ها شکلی پهن داشتند (broadly Tunned) والبته در فرکانس بخصوصی به نام «فرکانس ویژه» منحنی دچار یک افت می‌شد،لیکن شیب افت منحنی در آن هنگام زیاد نبود.بالطبع این منحنی‌ها ناسازگاری چندانی با تئوری " موج در حال حرکت " نداشتند .

بابهبود شرایط آزمایشگاهی و پدید آمدن امکان اندازه‌گیریها، بدون رسیدن آسیب جدی به حلزون شنوایی، شکل منحنی‌ها دچار تغییر شد. هر چقدر که منحنی‌ها در شرایط بهنجارتر، از لحاظ عملکردی بدست آمدند، وجود یک

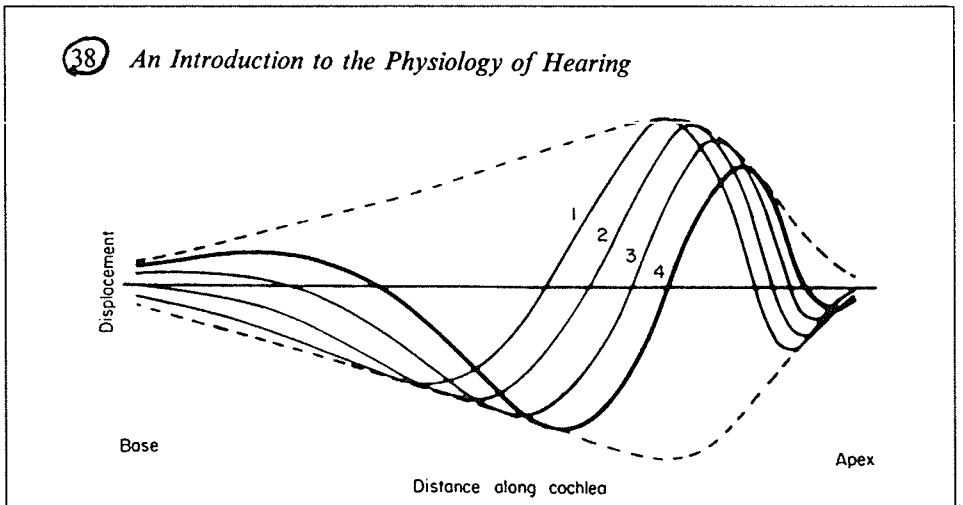
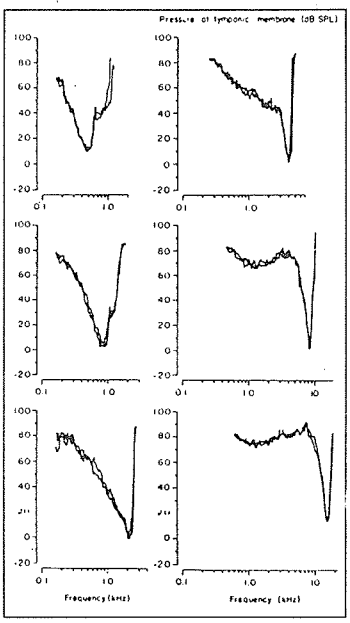


Fig. 3.7 Travelling waves in the cochlea were first shown by von Békésy. The full lines show the pattern of the deflection of the cochlear partition at successive instants, as numbered. The waves are contained within an envelope which is static (dotted lines). Stimulus frequency: 200 Hz. From von Békésy (1960, Fig. 12.17).

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-01]



شکل ۲- نمودار منحنی‌های شنوایی T.C از عصب

منطقه بسیار حساس و Sharply Tunned در منحنی‌ها بیشتر به چشم خورد.

به عبارت دیگر می‌توان گفت که اگر حلزون شنوایی در شرایط بهنجار از نظر عملکردی قرار داشته باشد در آن صورت سلولهای موئی شنوائی در فرکانس خاصی، پاسخ بسیار شدیدی نشان می‌دهند و آستانه ایجاد تحریک در سلول در آن فرکانس خاص (CF) بسیار پایین است. در این حالت گفته می‌شود منحنی در آن فرکانس خاص Sharply Tunned است. (ما از این به بعد بجای اصطلاح Sharply Tunned ازواژه تیزی منحنی استفاده خواهیم نمود).

بنابراین به طور خلاصه می‌توان گفت که منحنی T.C اگر در شرایط بهنجار بدست آمده باشد واجد یک بخش تیز (و حساس)و یک دنباله پهن است. (شکل ۲)

نتایج ابتدایی مطالعه این منحنی‌ها پاسخهایی شبیه پاسخهای یافته‌های بکزی را نشان داد.

Johnston (۱۹۷۵) و Willson , Bayre , Johnstone (۱۹۷۶)

اما نتایج بدست آمده توسط آقای Rhode (۱۹۷۸ و ۱۹۷۱)، پاسخهایی متفاوت باکارهای آقای بکزی ارائه دادند و ایشان دریافت که ویژگیهای میان گذر [۵] در غشای قاعده‌ای دیده می‌شود و نیز ارتعاش غشای قاعده‌ای غیرخطی [۶] است، بطوریکه پاسخها در شدتهای پایین حساستر و تیزتر هستند.

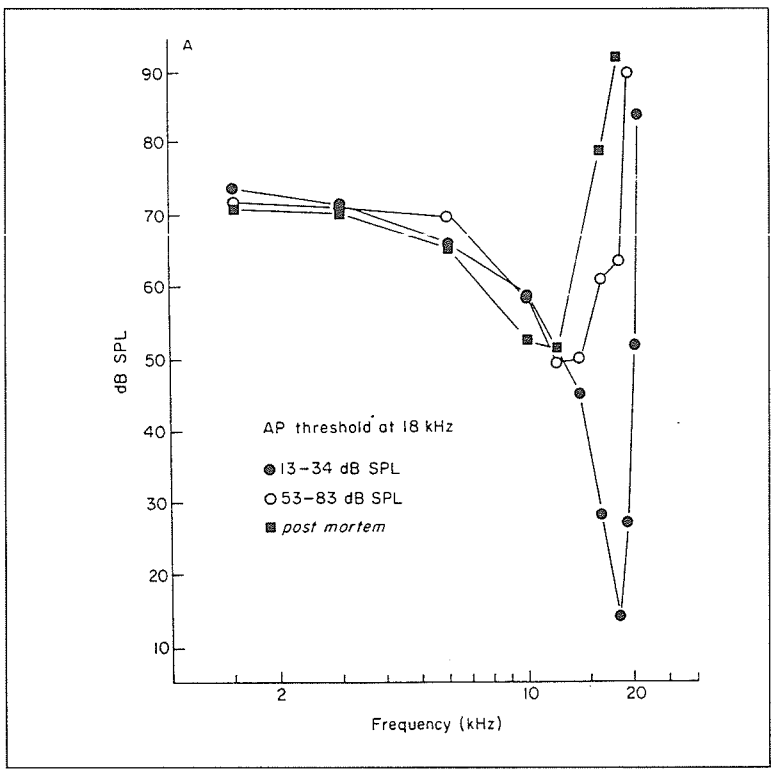
اندازه‌گیریهای جدید و قطعی آقای Sellick (۱۹۸۲) نتایج آقای Rhode را تایید کردند.

* تا اینجا دریافتیم که اندازه‌گیریهای جدید روی عصب شنوایی و سلولهای موئی منحنی‌هایی تیزتر و حساستر از اندازه‌گیریهایی که از Tuning مکانیکی غشای قاعده‌ای و براساس مدل آقای بکزی بدست آمده بود[۷]، ارائه داد و گفته شد که بعدها با پیشرفت تکنیک، اندازه‌گیری حرکات تیغه حلزونی با دقت و در شرایط آزمایشگاهی ایده‌آل‌تری صورت گرفت ونهایتاً منحنی‌های میزانش مکانیکی بدست آمده از تیغه حلزونی نیز همانند منحنی‌های فیبرهای عصب شنوایی و سلولهای موئی واجد نواحی بسیار حساس و تیز گشتند. و هرچه قدر اندازه‌گیریهای دقیقتری صورت گرفت هم شکلی بیشتری بین منحنی‌های بدست آمده از غشای قاعده‌ای، سلولهای موئی شنوائی و فیبرهای عصب شنوایی مشاهده شد.

حال باید به این سوال پاسخ دهیم که این حساسیت ویژه و تیزی در منحنی‌های بدست آمده از فیبرهای عصب شنوایی و سلولهای موئی شنوایی از کجا منشاء می‌گیرد؟ برای پاسخ به این سئوال به ذکر شواهدی می‌پردازیم.

همانگونه که در شکل (۳) مشاهده می‌کنید توام بازوال شرایط حیاتی حلزون شنوایی، منحنی حالت تیزی و حساسیت خود را در منطقه فرکانس ویژه از دست می‌دهد. با دقت به شکل در می‌یابیم که پس از مرگ فیزیولوژیک حلزون، منحنی کوک تقریباً عریض [۸] است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مکانیسم مسئول این پدیده، تنها در شرایط بهنجار حلزون از نظر عملکردی، نقش خویش را ایفا می‌کند. الگوی ارتعاشی غشای قاعده‌ای پس از مرگ حلزون شبیه پاسخ غیرحساس و اساسا به صورت فیلتر پایین گذری است که آقای بکزی مطرح نموده است.

آقای Kiang و همکارانش در سال ۱۹۷۵ با استفاده از داروی اتوتوکسیک kanamycin آزمایشاتی را در گربه انجام دادند.این دارو می‌تواند تاثیر مخربی بر سلولهای موئی شنوایی خارجی داشته باشد. (بدون اینکه تاثیر آشکاری بر سلولهای موئی داخلی بگذارد) منحنی‌های بدست آمده از رشته‌های عصب شنوایی که مناطقی را از ارگان کرتی که سلولهای موئی خارجی تخریب شده، در آن واقع بودند را عصب می‌دهد نشان داد که قله تیز و واجد آستانه پایین منحنی کوک عصب، به طور مشهودی محو شده بود. یا به عبارت دیگر آستانه تحریک عصب در CF یا فرکانس زیر، بالا رفته و از تیزی منحنی ، بسیار کاسته شده بود در صورتیکه دنباله واقع در فرکانسهای بم و واجد آستانه بالا ، بدون تاثیر



[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-01]

مانده بود. نتیجه، یک منحنی عریض و دارای آستانه بالا بود.(یعنی منحنی‌ای که شبیه الگوی بکزی شده بود.)

آزمون‌های متفاوت دیگری به انحاء مختلف امکان درگیری سلولهای موئی شنوایی بویژه سلولهای موئی خارجی در یک مکانیسم فعال مولد انرژی در درون گوش داخلی را مطرح کردند.

* اشاره‌ای به نحوه عصب دهی سلولهای موئی:

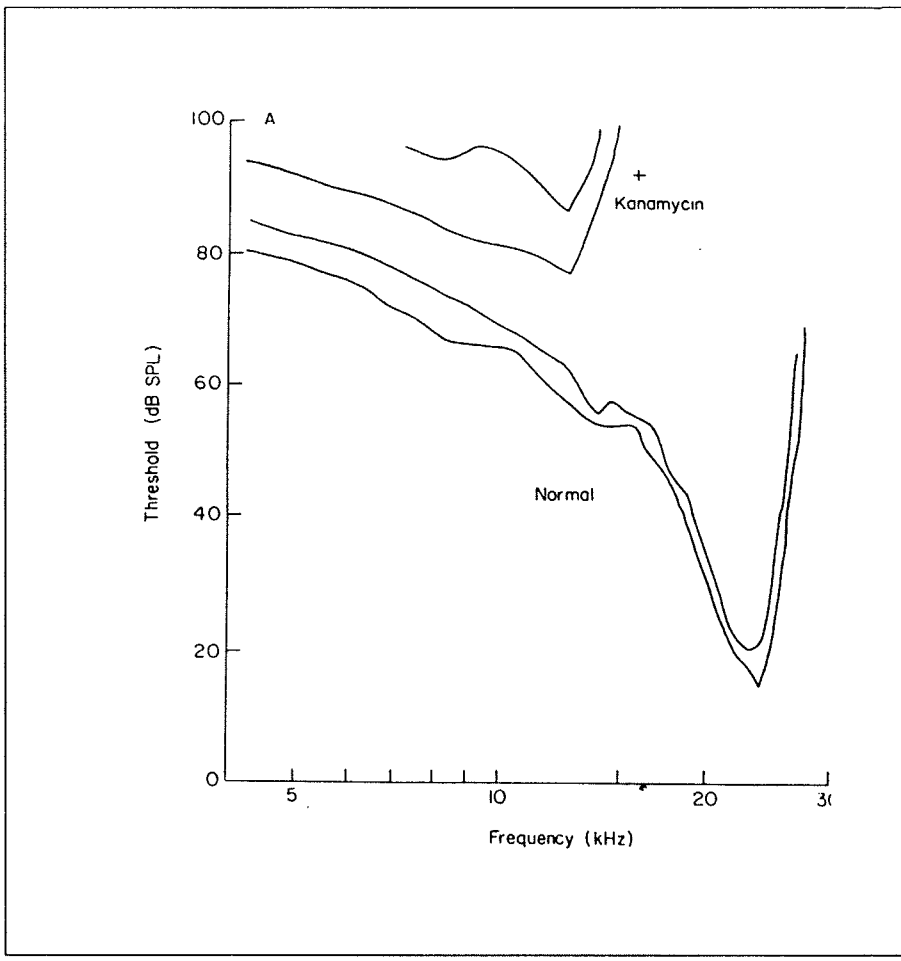
گزارش‌های اولیه‌ای که در مورد نحوه عصب دهی سلولهای موئی منتشر شد، تناقضات گیج کننده‌ای را مطرح نمود. و البته این تناقضها تا دهه ۹۰ حل نشده باقی ماندند. آقای Spoendlin در سالهای ۱۹۶۶ و ۱۹۶۹ گزارش نمود که تنها ۵ تا ۱۰ درصد از نرونهای آوران گانگلیون حلزونی به سلولهای موئی خارجی ختم می‌شوند. و حال آنکه تعداد سلولهای موئی خارجی ۳/۵ برابر سلولهای موئی داخلی است. و بدین ترتیب یکی از سئوالات کلاسیک مهم در دانش شنوایی این بوده است که نقش عملکردی سلولهای موئی بویژه سلولهای موئی خارجی چیست؟ والبته تاکنون پاسخ قابل قبولی به این سئوال داده نشده است.

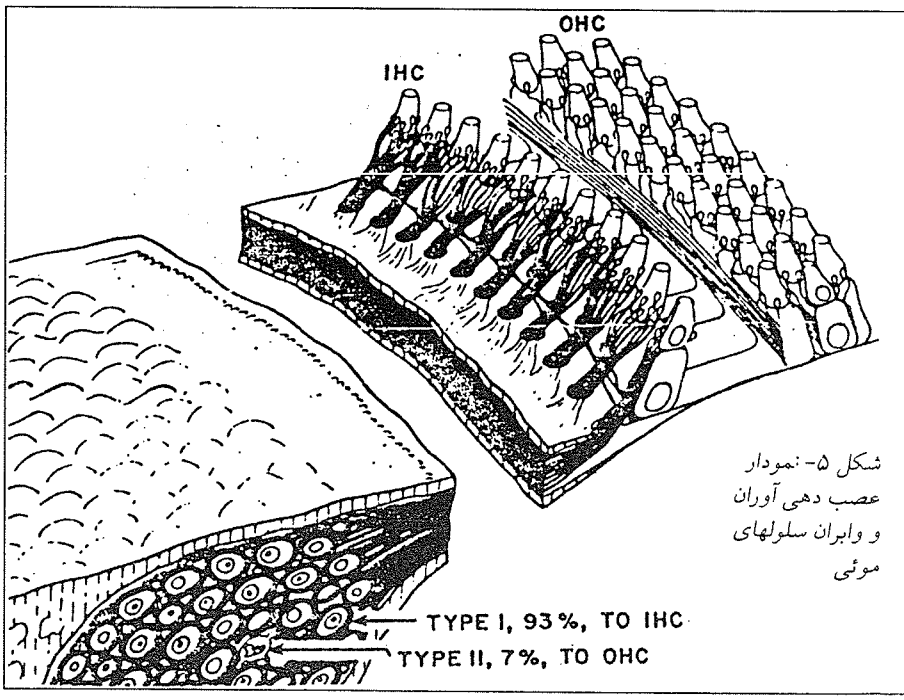
طریق دیگری که بتواند منحصراً به سلولهای موئی خارجی اثر بگذارد. تحریک[9] (دسته زیتونی - حلزونی تقاطع یافته) می‌باشد.

اصولاً از نظر عصب دهی و ابران می‌توان گفت که جزء تقاطع یافته از این دسته، از مجموعه زیتونی فوقانی دگرسویی، به طور اساسی به سلولهای موئی خارجی ختم می‌شود.

با تحریک این مجموعه رشته عصبی وابران (COCB) که غالبا سلولهای موئی خارجی را عصب می‌دهد، منحنی‌های کوک عصبی عریض شده ودارای آستانه بالاتری می‌گردند (به عبارت بهتر قسمت حساس و تیز منحنی از بین می‌رود).

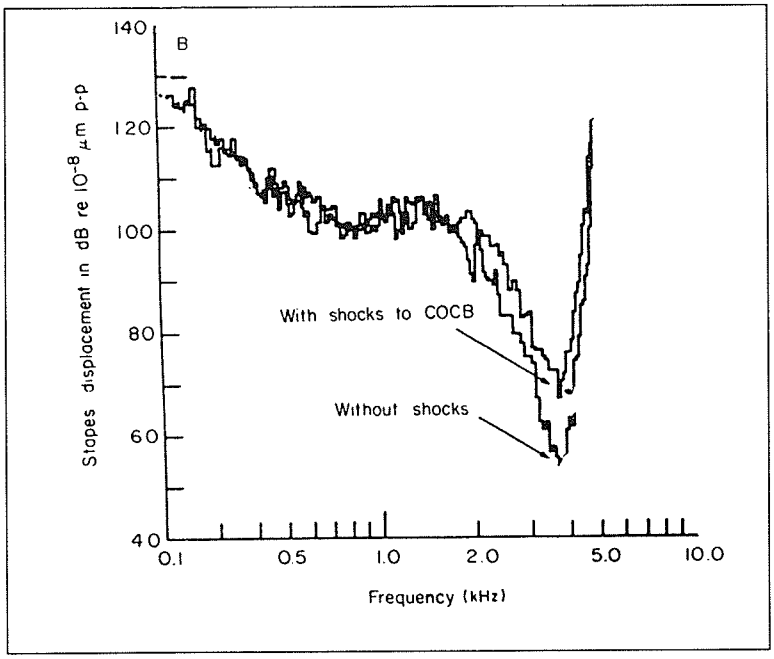
باتوجه به شواهد مذکور در می‌یابیم که سلولهای موئی خارجی به نحوی درپدیده فعالیت مکانیکی موجود در حلزون درگیر هستند. و بدین ترتیب الگوهای نوینی از عملکرد تیغه حلزونی در ذهن محققان نقش بسته است.





شکل ۵- نمودار عصب دهی آوران و وابران سلولهای موئی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-01]



شکل ۶- نشان می‌دهد که با تحریک دسته زیتونی حلزونی تقاطع یافته منحنی حساسیت خویش را مقداری از دست می‌دهد.

با عبور موج در حال حرکت از منطقه خاص(منطقه‌ای که فرکانس ویژه در آن قرار دارد)، سلولهای موئی تحریک می‌شوند و بواسطه مکانیسم فعال و مولد انرژی که به سلولهای موئی خارجی (ربط داده می‌شود)، انرژی مکانیکی بایک منشاء بیولوژیک، بسوی موج در حال حرکت بازگردانده می‌شود. (۱۰) (Kim , Neely 1986 - 1983)

این باز خورد (۱۱) باعث رشد حرکت موج در حین عبور از منطقه فعال می‌گردد که این افزایش در دامنه موج ، بالطبع خود باعث تحریک بیشتر سلولهای موئی خواهد شد و لذا ورودی بیشتری از انرژی مکانیکی ایجادخواهد گشت، و موج در حال حرکت باشیب بیشتر و بیشتری رشد می‌کند. اما باعبور موج از ورای منطقه فعال، دامنه به تندی افت خواهد کرد.

مدلهایی که این فرضیات در آنها دخالت داده شد، قادر بودند منحنی‌هایی مشابه با آنهایی که در پاسخهای غشای قاعده‌ای و رشته‌های عصب شنوایی دیده شده بود ایجاد کنند. (۱۲)

این یافته‌ها، این ایده را مطرح می‌کنند که موج در حال حرکت شامل دو جزء است، یک جزء بادامنهٔ نسبتاکوچک و به صورت broadly Tunned که تنها به فرآیندهای مکانیکی غیر فعال بستگی دارد و یک جزء فعال تیز (Sharply.T) و با دامنه زیاد که به جزء غیرفعال قبلی اضافه گشته است و تنها در حلزونی که در شرایط فیزیولوژیک خوبی واقع باشد دیده می‌شود.

سلولهای موئی خارجی وارتباط آنها با OAE:

گفته شد که گوش درونی انسان، خود توانایی تولید صدادارد. منشاء تولید این صدا وجود یک تقویت کننده مکانیکی فعال (۱۳) در گوش درونی فرض شده و شواهدی درباره اینکه سلولهای موئی خارجی مسئول محتمل این فرآیند هستند ذکر شده است. در این قسمت بیشتر به خود سلولهای موئی شنوایی خارجی می‌پردازیم.

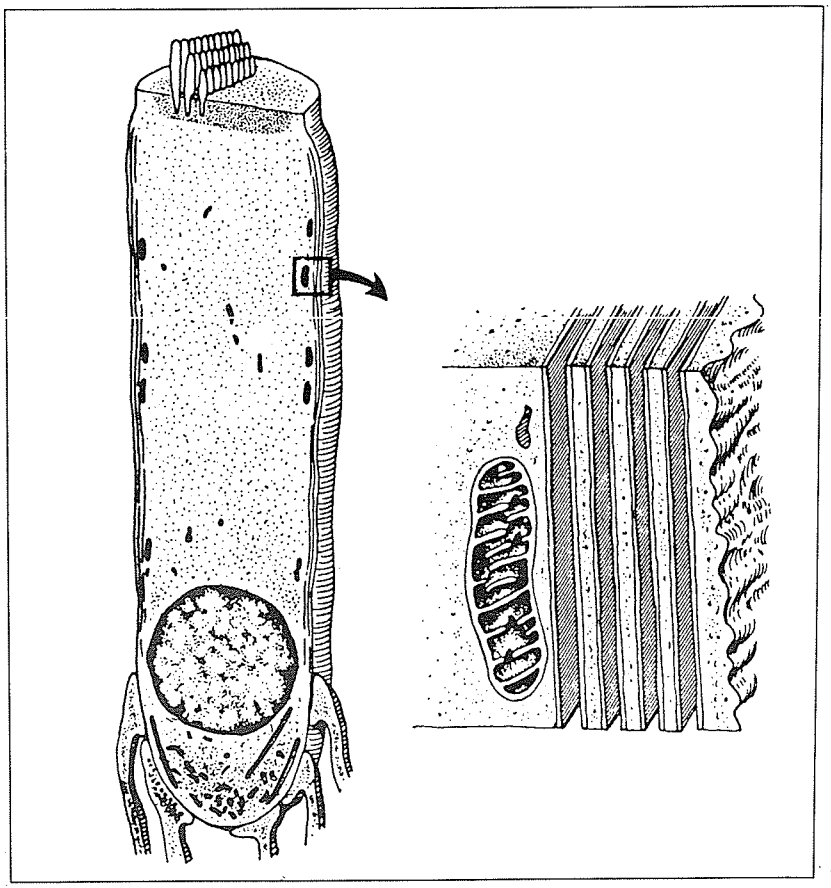
ویژگی خاص سلولهای موئی خارجی که گفته می‌شود مسئول توانایی شگفت‌آور حلزون در تولید صدا هستند، electromotility نامیده می‌شود.

الکترومو تیلیتی را می‌توان به طور خلاصه توانایی جنبش یا حرکت سلول موئی خارجی در پاسخ به تحریک الکتریکی توصیف کرد. البته این سلولها همین توانایی را در قبال تحریک مکانیکی نیز نشان میدهند. که بدان خواهیم پرداخت.

اکنون به برخی ویژگیها و خواص سلولهای موئی خارجی در ارتباط با توانایی ویژه آنها (electromotility) اشاره می‌نمائیم:

خواص مکانیکی استاتیک (ایستا):

سلولهای موئی خارجی را از ارگان کرتی جدا نموده و در محیطهای ویژه نگهداری نموده‌اند. سلولهای موئی خارجی در این



شکل شماره ۷: شکل سلولهای موئی خارجی در این نما نشان داده شده است. به ساختمان بخصوص فیلامنتی دیواره سلول که قابلیت انعطاف مخصوص به آن را ایجاد می‌کند در سمت راست شکل توجه فرمائید

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-01]

محیطها تا ۴ روز زنده‌مانده‌اند و خواص ویژه‌ای از خویش نشان داده‌اند [۱۴] این ویژگیها منحصر به همین سلولها می‌باشند سلول سالم چون یک "استوانه متورم" [۱۵] رفتار می‌کند. این سلول در مقابل خم کردن مقاومت می‌کند. غشای سیتوپلاسمیک سلول در برابر ایجاد تغییر شکل بوسیله پروب مقاومت می‌کند. این تورم را ناشی از فشار هیدرواستاتیک مثبت می‌دانند زیرا صدمه به غشای پلاسمایی باعث نشت سیتوپلاسم از سلول می‌شود. به نحوی که سیتوپلاسم در حال نشت نیروی کافی برای بیرون راندن هسته از درون سلول را داراست.

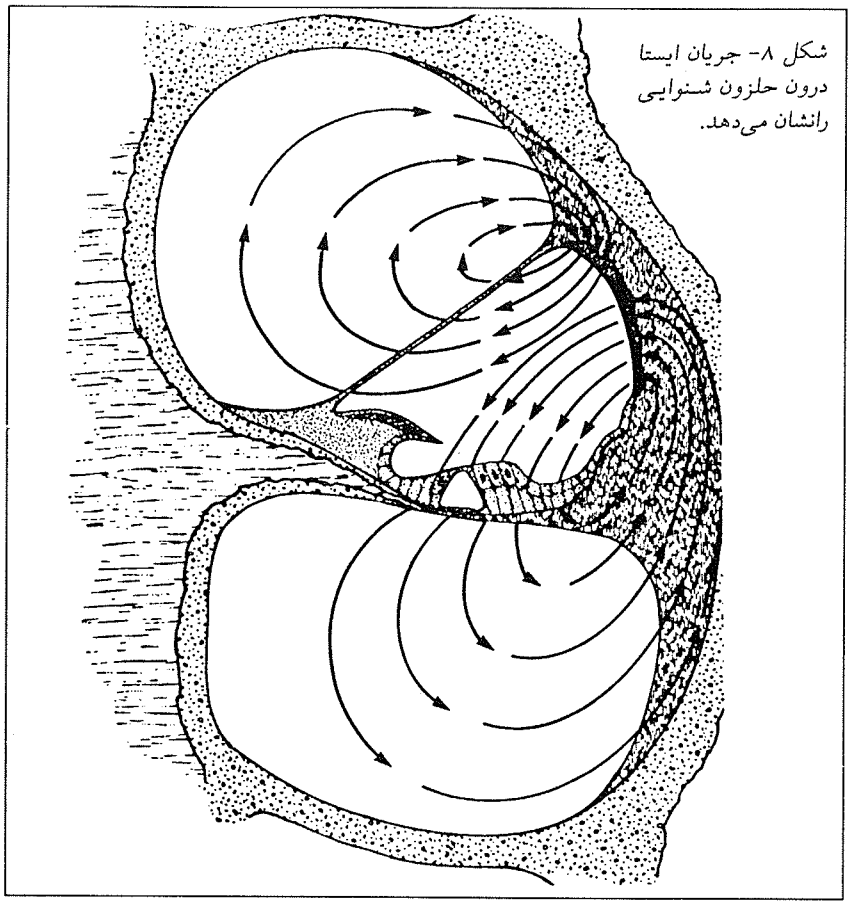
* تغییرات شکل سلول موئی خارجی:

بارزترین تغییر شکل ایجاد شده، متعاقب ایجاد تحریک الکتریکی تغییر طول است، که این تغییر طول به دو صورت "درازشدگی" [۱۶] و کوتاه‌شدگی [۱۷] بروز می‌یابد. شاید بتوان شکل استوانه‌ای این سلولها را علتی برای بروز تغییر شکل به صورت تغییر طول قلمداد کرد. نیروی ایجاد شده در درون سلول موئی خارجی هیچگاه مستقیماً اندازه‌گیری نگردیده است، لیکن آنقدر هست که توانایی حرکت دادن گروهی از سلولها که از نظر جرم چندین برابر سلول موئی خارجی هستند را داشته باشد. نیروی ایجاد شده در سلول موئی خارجی درجهات مختلف می‌تواند اعمال شود و این مسئله electromotility سلول موئی خارجی را از توانائیهای جنبشی سلولهای عضلانی متمایز می‌کند.

عدم وابستگی به ATP:

حرکات سلولهای موئی خارجی نیازی به ذخیره‌های ATP ندارند. سلولهای عضلانی به منظور انقباض، ذخیره‌های انرژی شیمیایی را مصرف می‌کنند و این یکی دیگر از وجوه تمایز سلولهای موئی خارجی وسلولهای عضلانی است.

آنزیمهای Na^+ , K^+ - ATPase در سلولهای موئی خارجی وجود ندارند و عدم وجود این آنزیمها با غیروابسته بودن حرکات سلولهای موئی خارجی به ATP سازگار است. عدم وجود این آنزیمها نیز یکی دیگر از ویژگیهای منحصر بفرد سلولهای موئی خارجی است.



شکل ۸- جریان ایستا درون حلزون شنوایی رانشان می‌دهد.

* منبع انرژی سلولهای موئی خارجی:

به نظر می‌رسد که الکتروموتیلیتی سلولهای موئی خارجی به وسیله پتانسیل گیرنده ایجاد می‌شود. پتانسیل گیرنده در سلول موئی خارجی خود ناشی از جریان ایستایی است که درون ارگان کرتی ایجاد می‌شود. این جریان ایستا حاصل یک پمپ الکتروژنیک در سلولهای حاشیه‌ای ارگان کرتی است، که انرژی خویش را از ATP تولید شده، در استریا و اسکولاریس بدست می‌آورد.

پاسخ فرکانسی:

سلولهای موئی خارجی در محدوده فرکانسی وسیعی فعالیت مکانیکی خویش رانشان می‌دهند، (که این مسئله در هیچ سلول عضلانی دیده نمی‌شود). پاسخ این سلولها لااقل در محدوده فرکانسی شنیداری مورد مشاهده قرارگرفته است. این سلولها در فرکانسهای بم بیشترین پاسخ را دارند و با افزایش فرکانس از پاسخ آنها کاسته می‌گردد.

عدم تقارن در حرکات سلولهای موئی خارجی

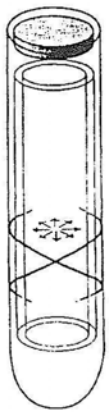
دیده شده است که تکانه‌های هیپرپلاریزه باعث درازشدگی سلولها و تکانه‌های دپلاریزه منجربه کوتاه‌شدگی سلولها می‌گردد. تحقیقات جدید وجود جابجایی‌های غیر قرینه و غیر خطی در سلول موئی خارجی را تایید می‌کنند. درگستره‌ای از پتانسیل‌های غشایی، پاسخهای مکانیکی سلول خطی است اما هنگامیکه پتانسیل نزدیک ۶۰ - میلی‌وات نگاه داشته می‌شود، پاسخ غیرخطی می‌گردد، بدینصورت که "درازشدگی" اشباع شده و "کوتاه‌شدگی" غالب می‌شود. البته در پتانسیل‌های کمتر از ۶۰- میلی‌ولت، پاسخ مکانیکی در گسترهٔ خطی واقع است. نامتقارن بودن پاسخ توجیه منطقی وجود نوع برانگیخته Distortion product از انواع OAE می‌باشد.

گفته شد که سلول موئی خارجی می‌بایست قابلیت انعطاف داشته باشد، لذا داخل سلول از مواد سیتواسکلتون معمولی که باعث قوام سلول می‌شود عاری است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-01]

در عین حال جهت برقرار ماندن قوام سلول، فشار سیتوپلاسمی بخصوصی درون سلول تعبیه شده.

آقای Brownell ، سلول موئی خارجی را به گلدانی آکنده از فشار تشبیه کرده‌است. که در عین اینکه ایستایی و قوام خویش را حفظ می‌کند توانایی انعطاف و کشش را بخاطر عناصر تعبیه شده در ساختمان خویش دارا است. برای درک مطالب فوق به شکل ۹ توجه فرمائید.



شکل ۹- سلول موئی خارجی دارای ساختمانی بخصوصی است بطوری که فیبرهای اطراف سلول قابلیت انعطاف و فشارسیتوپلاسمی درون سلول قابلیت قوام وابستادگی به آن می‌دهد.

منابع:

1. *An Introduction to the physiology of Hearing.*
   James O. Pickles - 1988 - ACADEMIC PRESS
2. *Hearing science / Charles Berlin / 1985*
3. *Ear and Hearing / Special issue/ 1990.*
4. *Advances in Audiology / OAE / 1990*
   Karger

زیرنویس:

1. *Traveling wave*
2. *Mechanical positive feedback*
3. *Evoked otoacoustic Emission*
4. *Spontaneous O.A.E*
5. *band pass*
6. *Nonlinear*
7. *Kioing, watanabe, Thomas & Clork (1965)*
8. *broadly Tunned*
9. *crossed olivo - cochlear bundle*
10. *Debore 1983 , kim, Neely 1986 - 1983.*
11. *feed - back*
12. *kim , Nelly 1986*
13. *Active mechanical Amplifire*
14. *Brownell 1985*
15. *Turgid Rod*
16. *Elongation*
17. *Shortening*

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-01]