تئوری جدید شنوایی

مؤلف: پیتر دالوس و روبرت ل. مارتین.

مترجم:

□ نعمت‌ا... روحبخش

بینش ما از نحوهٔ «شنیدن» انسان‌ها از سه دورهٔ تاریخی نشأت می‌گیرد. نخستین دوره توسط دانشمند آلمانی آقای هلمهولتز در قرن نوزدهم بنا نهاده‌شد. ایشان معتقد بودند، گوش حاوی اجزای تشدیدکنندهٔ مکانیکی است که تجزیه و تحلیل طیفی را انجام می‌دهد. دومین دوره که از اواخر دههٔ چهل تا هفتاد بطول انجامید، بوسیله تحقیقات فون‌بکزی درمورد امواج‌متحرک(۱) محرز گردید. ایشان با استفاده از گوش‌های اجساد (انسان) در مطالعهٔ فعالیتهای مکانیکی حلزون، مدلهای گوش برای توجیه و نشان‌دادن یافته‌هایش ساخت. وی معتقد بود که گوش، یک تحلیلگر فرکانسی پهناور و گسترده (۲) می‌باشد. ما اکنون می‌دانیم نتایج این تحقیق بوسیلهٔ وضعیت و شرایط غیرحیاتی بافتهای گوشهای مورد مطالعه، متأثر گردیده‌است.

اکنون ما در آستانهٔ سومین عصر می‌باشیم. می‌دانیم موج متحرکی که بوسیلهٔ فون‌بکزی مشاهده‌شد به‌خودی خود قادر به تحریک سلولهای مویی حسی در محدودهٔ کامل حساسیت شنوایی نمی‌باشد. پیشرفت تکنولوژی به ما این توانایی را داده که فعالیت گوش داخلی را بدون هیچ مشکلی در گوش‌های طبیعی اندازه‌گیری نماییم. این اطلاعات (داده‌ها) بیانگر توانایی‌های عالی و دقیق (۳) تجزیه و تحلیل فرکانسی می‌باشد.

تحقیقات جاری بیشتر برروی عمل حرکتی (۴) سلولهای مویی خارجی (۵) و چگونگی تقویت و تشدید محرکات از سوی این دسته از سلولها برروی سلولهای مویی داخلی (۶) ، متمرکزشده واین مطالعات منجربه تشکیل و تکوین تئوری نوین شنوایی یعنی «تئوری حرکتی» شده‌است.

مروری مختصر بر ساختار حلزون

قبل از پرداختن به عمل سلولهای مویی خارجی و تئوری حرکتی، اجازه‌بدهید مروری مختصر بر ساختار حلزون داشته‌باشیم. دو دسته از فیبرهای عصبی آوران و وابران در محل حلزون با سلولهای مویی شنوایی درتماس می‌باشند. فیبرهای عصبی‌آوران شنوایی، علایم را از گوش بسوی مغز هدایت می‌نمایند. فیبرهای وابران نیز محرکات را از سیستم عصبی مرکزی به‌سمت گوش حمل می‌نمایند. حدود ۹۰٪ فیبرهای عصبی آوران به سلولهای مویی داخلی متصل می‌شوند و تنها حدود ۵٪ از این فیبرها با سلولهای مویی خارجی درتماسند. بنابراین گوش انسان حاوی حدود ۳۵۰۰ سلول مویی داخلی و حدود ۱۲۰۰۰ سلول مویی خارجی می‌باشد.

بلندترین سیلیای سلولهای مویی خارجی به غشأ سقفی (۷) چسبیده‌است. همانطورکه می‌دانیم هیچ‌کدام از سیلیاهای سلولهای مویی داخلی چنین وابستگی و تماس نزدیکی را با غشاء سقفی دارانمی‌باشند. سیلیاها

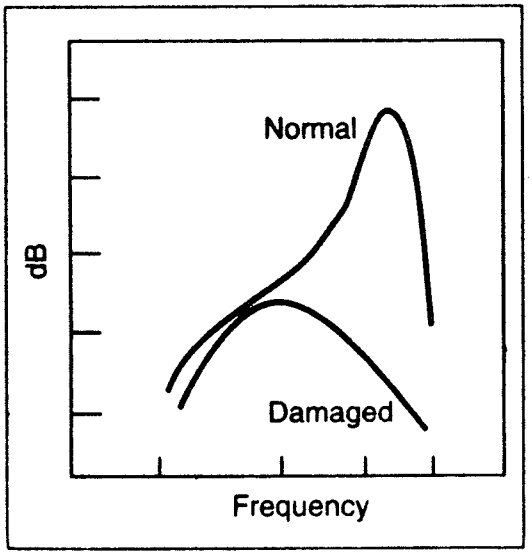
1. Travelling wave
2. Broad frequency analysis
3. Fine (not broad)
4. Motor action
5. Outer hair cells
6. Inner hair cells

نقش‌های حایز اهمیتی در شنوایی بصورت ریزاهرمها[8] داشته و ارتعاشات را به سلولهای گیرندهٔ حسی انتقال می‌دهند. همچنین، آنها جریان الکتریکی محلی و ناحیه‌ای را که به درون سلولهای مربوطه جاری است، تعدیل و تنظیم می‌نمایند. بعلاوه، اعتقاد براین است که آنها انرژی مکانیکی را از سلولهای مویی خارجی به غشاء سقفی پس می‌خورانند[9] (فیدبک می‌نمایند).

سلولهای مویی حسی برروی سلولهای حمایتی[10] قرارداشته و سلولهای اخیر نیز بنوبهٔ خود برروی غشاء قاعده‌ای[11] و درست زیر غشاء سقفی قرارگرفته‌اند. غشاء قاعده‌ای در مقایسه با غشاء سقفی که بسیار انعطاف‌پذیر است، سخت می‌باشد.

سلولهای مویی بوسیلهٔ حرکت چینشی[12] موج متحرک تحریک می‌گردند. برای عینی نمودن این چینش مقایسهٔ بین دو لایه‌ای که برروی تختخواب قرارگرفته‌اند، مورد ملاحظه قراردهید. لایهٔ زیرین (درقیاس با غشاء قاعده‌ای) با استحکام خاصی برروی تختخواب قرارگرفته‌است، حال‌آنکه لایهٔ بالایی (شبیه غشاء سقفی) شل و نرم می‌باشد. اگر جریان هوا بین لایه‌ها دمیده‌شود (در مقایسه با ارتعاش)، لایهٔ فوقانی بسهولت حرکت‌خواهدکرد، درصورتی‌که لایهٔ زیرین تنها اندکی حرکت‌می‌نماید. غشاء سقفی بدلیل این ساختار و نیز نقطهٔ چسبندگی و اتصالش نسبت به غشاء قاعده‌ای بسیار آزاد و سیار می‌باشد که این حالت به سیلیاها اجازه‌می‌دهد تا با چینش ناشی از موج صوتی خم گردد.

آناتومی سلولهای مویی خارجی پیچیده می‌باشد. اینها علاوه‌بر داشتن سطوح رأسی (سیلیاها) و زیرین (عصبی) پیچیده، دارای ساختارهای سلولی در دیواره‌های کناری می‌باشند که بیشتر شبیه سلولهای جنبان[13] (حرکتی) می‌باشند تا سلولهای حسی. برای نمونه، دیوارهٔ داخلی دارای لایه‌های



شکل -۱

متعددی از غشاء سطحی و مشابه با ساختاری است که در سلولهای انقباضی رؤیت می‌گردد. در نزدیکی این غشاء میتوکندری‌های متعددی وجود دارد که انرژی اجزای سلولهای جنبنده را تأمین می‌نمایند.

فعالیت‌های مکانیکی و الکتریکی گوش با تغییرات آن از حالت و وضعیت طبیعی‌اش با درجات گوناگونی از آسیب شنوایی تغییرمی‌نماید. گوشهای سالم‌دارای میزانهٔ[14] بسیار تیز[15] می‌باشند. بدین معنی گوش می‌تواند به محرک خیلی ضعیفی که منحصربه ناحیهٔ باریکی در طول غشاء قاعده‌ای است پاسخ‌دهد. بنابراین هنگامی که بافت گوش آسیب‌می‌بیند، توانایی‌اش در ایجاد میزانهٔ بی‌نظیر و عالی فرکانس‌های ویژه[16] کاهش می‌یابد. شکل ۱ تفاوت (درگوشهای چین‌چیلا) بین جابجایی غشاء قاعده‌ای درگوش طبیعی با میزانهٔ بهرهٔ خیلی تیز و دقیق‌را با گوشهای ناشنوا[17] با منحنی بهرهٔ مدور و صاف (دایره‌ای شکل) نمایش می‌دهد.

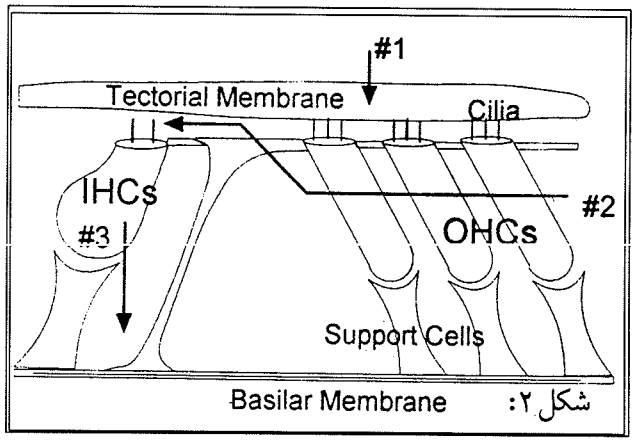
دربارهٔ عملکرد سلولهای مویی با مشاهدهٔ تغییرات ناشی از داروهای ویژه مطالب زیادی آموخته‌ایم، برخی داروها منحصراً برای سلولهای مویی خارجی سمی‌اند. هنگامی‌که گوش‌ها در معرض چنین داروهایی قرارمی‌گیرند، معمولاً سلولهای مویی خارجی تخریب‌می‌شوند. درحالی‌که محدودهٔ وسیعی از سلولهای مویی داخلی بدون آسیب می‌مانند. بنابراین اگر این آسیب منحصربه سلولهای خارجی باشد، گزینش فرکانسی گوش بطور قابل‌توجهی کاهش‌یافته و یک کاهش شنوایی متوسط را می‌توان رؤیت‌نمود. در این حالت‌صدورات‌صوتی گوش[18] نیز ناپدید می‌شوند. صدورات صوتی گوش صداهایی هستند که در داخل گوش و در پاسخ به محرکات صوتی تولیدمی‌شوند. اینها در گوشهای آسیب‌دیده وجودندارند و تنها در گوشهای سالم رؤیت‌می‌شوند.

7. Tectorial membrane
8. Microlevers
9. Feedback
10. Support cell
11. Basilar membrane
12. Shearing action
13. Motile cell
14. Tuning
15. Sharp

تئوری حرکتی

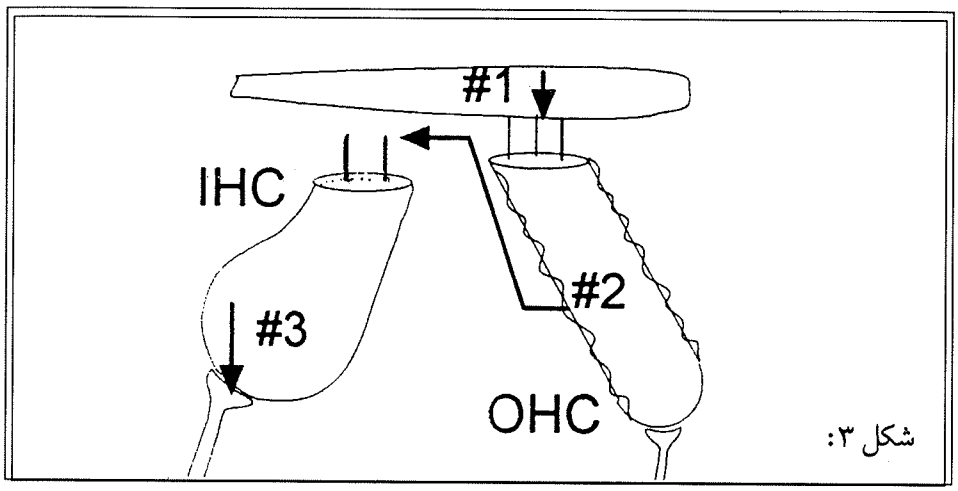
تحقیقات اخیر نشان‌داده‌اند که سلولهای مویی خارجی قادرند بصورت واحدهای حرکتی و همچنین واحدهای حسی عمل نمایند. ارتعاشات نه‌تنها موجب حرکت سلولهای مویی خارجی بطور غیرفعال می‌گردد، بلکه سلولهای مویی خارجی نیز به‌نوبهٔ‌خود واکنشی (بصورت انقباض یا انبساط «کشش») در پاسخ به ارتعاشات مذکور و مشابه با آنها به شکل فعال ازخود بروزمی‌دهد. این عمل حسی توأم با حرکت [19] درمیان سلولهای بدن انسان بی‌نظیر و بی‌مانند می‌باشد.

بنابراین تنها دراین‌صورت است که ماهیت واکنش‌های مکانیکی، شیمیایی و الکتریکی سلولهای مویی خارجی مشخص می‌شود. مدارک و شواهد دال‌براین است که نوعی عمل انقباضی در سلولهای مویی خارجی وجود دارد، این مسئله بدین‌صورت آشکارمی‌شود که ارتعاشات



شکل ۲:

ضعیف سلولهای مویی خارجی را تحریک می‌کنند. این سلولها به‌نوبهٔ خود ارتعاشات را به اندازهٔ کافی و مناسب برای تحریک سلولهای مویی داخلی تقویت می‌نمایند. شکل ۲ و ۳ بصورت طرحواره، نمودهای واقعی تئوری حرکتی برای یک سیگنال



شکل ۳:

دارای شدت پایین درگوش طبیعی را به تصویر کشیده‌است.

براساس این تئوری مراحل ذیل در رویداد شنوایی بوقوع‌می‌پیوندد:

۱- موج‌متحرک یک چینش‌شعاعی مابین غشاء مشبک [20] (سطح فوقانی-رأسی-سلولهای مویی) و غشاء تولیدمی‌نماید.

۲- سلولهای مویی خارجی، شکل خویش را تغییرمی‌دهند و متعاقب آن میکرومکانیکهای داخل ارگان کرتی تاجایی که شدت سیگنال محرک برای تحریک سلولهای مویی داخلی کافی‌باشد، تغییرمی‌یابد. سلولهای مویی خارجی از یک منبع انرژی موضعی - محلی[21] برای تقویت موج تغییر شکل یافته [22] استفاده‌می‌نمایند.

۳- سلولهای مویی داخلی به محرکات تقویت‌شده پاسخ‌می‌دهند و پتانسیل‌های عمل در فیبرهای عصبی آوران واقع در پایه‌هایشان را برمی‌انگیزند. فیبرهای عصبی نیز به‌نوبهٔ خود این سیگنال را بسوی مغز حمل می‌نمایند.

خلاصه:

تحقیق اخیر این موضوع را می‌رساند که سلولهای مویی خارجی دو عملکرد مهم انجام‌می‌دهند، یکی عمل حسی و دیگری عمل حرکتی. پرواضح‌است که سلولهای مویی خارجی به سیگنال‌های خیلی ضعیف در فرآیند تحریک سلولهای مویی داخلی پاسخ می‌دهند. این فعالیت حساسیت شنوایی فوق‌العاده‌ای را باعث می‌شوند با افزایش سطوح سیگنال پاسخ سلولهای مویی خارجی به‌اشباع‌می‌رسند، درنتیجه اثر تقویت‌کنندگی آنها کاهش‌می‌یابد. صدورات صوتی نیز احتمالاً ارتعاشات تولیدشدهٔ ناشی از پاسخ سلولهای مویی خارجی می‌باشند. کاهش سلولهای مویی خارجی توانایی شنوایی را بطرز بارزی بوسیلهٔ انفصال مکانیک‌هایی که برای میزانش عالی[23] در داخل ارگان کرتی موردنیازاست، کاهش‌می‌دهد.

منبع

The Hearing Journal February., 1994 Vol 47 NO 2.

16. Fine-Tune specific frequency
17. Dead ears
18. otoacousticemissions(OAEs)
19. Sensory-Plus-Motor
20. Reticular membrane
21. Local energy source
22. Amplify the wave induced deformation
23. Fine-Tuning