ساز و کارهای شنوائی

ترجمه و اقتباس : حسین ابراهیمی
ازگروه‌آموزشی فیزیک دانشگاه تربیت معلم

بیش از یك قرن است‌که نظریه های مختلف برای تشریح طرز کار دستگاه شنوائی به ویژه روی ساز وکار صداهای آمیخته وخاصیت اساسی شنوائی بیان شده است.

در سال ۱۸۵۷ هلملتز[۱] نظریه رزنانس راکه براساس آن تجزیه صداها به وسیلهٔ گوش انجام می‌گیرد ، پیشنهادکرد ولی راترفورد[۲] درسال ۱۸۸۰ نظریهٔ تلفنی راکه برخلاف نظریه هلملتز بود و جای تجزیهٔ صداها را درمغزمی‌دانست عنوان‌کرد ، پس‌ازآن نظریه‌های دیگری از ترکیب برتری های نظرات فوق ارائه شده است . درحدودچهل سال اخیر طرزعمل‌دستگاه شنوائی به‌طورتجربی مورد مطالعه قرارگرفته است . دراین مقاله پس‌ازشرح نظریه رزونانس و نظریه تلفنی ، روی اصول شناخته شدهٔ ساز وکار شنوائی‌که در زمان حاضر نیز موردبررسی است بحث خواهیم‌کرد .

نظریه های شنوائی :

الف : نظریه رزونانس ـ صداهای آمیخته را به‌کمك دستگاه رزوناتور می‌توان تجزیه کرد ، براساس نظریه هلملتزگوش نیز می‌تواند مانند دستگاههای رزوناتور، صداها را تجزیه کند ، این رزوناتورهاکه به شکل الیاف مجزا فرش شده‌اند درطول حلزون‌گوش درونی به‌شکل

۱- Helmholtz ۲- Rutherford

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-07-23]

تارها درسطح غشاء بازیلر[1] ردیف گشته‌اند وهر کدام تنها دراثر ارتعاشی که با فرکانس آن سازش دارد ، وارد ارتعاش می‌گردند . بنابراین رزوناتورهاکه به تارهای عصب شنوائی متصل هستند ، آنهارا تحریك می‌کنند وهر تارعصب شنوائی برای فرکانس بخصوص وارد عمل وفعالیت می‌گردد و پیامی راکه مشخص کننده احساس است منتقل می‌کند یعنی عصب شنوائی مزبور پیام حسی تجزیه شده را به مغز انتقال می‌دهد: همچنین نظریه هلمهلتز درعین حال که یك نظریه «رزوناتس» است ، « نظریه تمرکز محلی[2] » نیز می‌باشد . به این ترتیب که تجزیه درگوش انجام می‌گیرد ولی دریافت هرفرکانس اختصاص به محل بخصوصی از حلزون دارد . پس‌از بیان این نظریه ، رزوناتس در وضع حساسی قرارگرفت و آن مشکل یافتن رزوناتورها درگوش بوده است تا از روی آن خواص مشخصه شنوائی توجیه‌گردد . هلمهلتز پس‌ازانعطاف توجه خود روی برآمدگی های بسیار ریز به اسم کرتی که به تارها متصل می‌باشند قبول کرده است که رزوناتورها همان تارهای غشاء بازیلر هستند وچون برای آنکه احساس کاملی از صداهای بافرکانس های متفاوت داشته باشیم وجود تعداد زیادی رزوناتور لازم است ، از طرف دیگر ملاحظه می‌شودکه تعداد تارهای غشاء بازیلر نیز به اندازه‌کافی زیاد می‌باشند و خود این امر ظاهراً می‌تواند تأییدی بر نظریه هلمهلتز باشد .

از طرفی اگر قبول کنیم که فرمول تارهای مرتعش برای آنها عملی باشد یعنی :

$$f = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

[فرکانس (f) هرکدام بستگی دارد به طولش (l) ،کشش آن (F) ، جرم واحد طول آن (μ)] می‌بینیم که با در نظرگرفتن ساختمان حلزون ، این سه عامل درجهت مورد نظر و در نسبتی که به نظر کافی می‌رسد تغییر می‌کنند و به این ترتیب پخش فرکانس‌ها را در طول حلزون می‌توان توجیه‌کرد ، جای فرکانس های زیر درقاعده پرده بازیلر وفرکانس های بم در راس آن است . برای توجیه پدیده های شنوائی ، رزوناتورهای هلمهلتز باید دارای دو خاصیت متضاد زیر باشند : خاصیت انتخاب کنندگی[3] و خاصیت میرائی[4] .

تذکر : یك رزوناتوردرصورتی انتخاب کننده است که با دامنه بزرگ فقط برای فرکانس

۱- Les Fibres de la membrane basilaires
۲- Theorie de la localisation
۳- Selectivité ۴- Amortissement

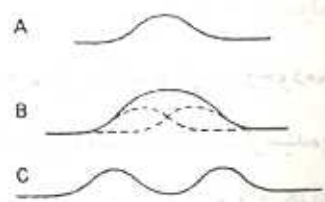
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-07-23]

هائی‌که باآن سازش دارد وارد ارتعاش گردد ، رزوناتورهای گوش بایـد چنین حالتی را داشته باشند . چون صدای با فرکانس معین فقط با ارتفاع خودش شنیده می‌شود و نه با ارتفاع هـای مجاور آن ، پس نتیجه می‌گیریم‌که رزوناتورهای مجاور ارتعاش نمی‌کنند و یا درصورت‌ارتعاش دامنه آنها بسیارکوچك است .

یك رزوناتور درصورتی خیلی میرا است‌که دامنه ارتعاشات آن به علت نیروی مالش قابل ملاحظه به طور سریع‌کم‌گشته ازبین برود ، درموردگوش چنین حالتی‌هست زیراپایداری احساس شنوائی بعداز $\frac{1}{10}$ ثانیه از بین می‌رود .

بنابراین دررزوناتورهائی‌که طبیعتاً میرائی آنها زیاد باشد خاصیت انتخاب‌کنندگی آنها کم می‌گردد ومتقابلا رزوناتور با خاصیت انتخاب‌کنندگی زیاد ، درمدتی‌طولانی ارتعاش‌می‌کند زیراکه رزوناتور به وسیله ارتعاشاتی‌که فرکانس آنها برابر فرکانس مخصوص آن باشد تحریك می‌گردد . به همین ترتیب‌یك دیاپازون درصورتی‌درهوا تشدید می‌گرددکه تحت تأثیر ارتعاشاتی قرارگیردکه فرکانس آنها برابر فرکانس دیاپازون و یا خیلی نزدیك بـه آن باشد ، دراین حال دیاپازون به ارتعاشات خود در زمانی طولانی‌ادامه خواهد داد . برعکس درآب‌که درآن مالش براثر چسبناکی زیاد است ، رزوناتور می‌تواند درگام وسیعی‌ازفرکانس ، حول فرکانس مخصوص خود وارد رزونانس‌گردد ، ولی فقط پس‌از چند ارتعاش بحال تعادل باز می‌گردد (پایان‌تذکر).

از طرفی تارها آزاد نبوده درغشاء بازیلر قرارگرفته‌اند و بین خودشان وابستگی هـای مشترك دارند ، بهمین دلیل قبول‌کرده‌اندکه رزونانس سبب ارتعاش یك تار تنها نمی‌گردد بلکه موجب ارتعاش‌یك ناحیه‌کم وبیش وسیع ازغشاء بازیلر می‌گردد، که دروسط این‌ناحیه‌ماکزیمم دامنه ارتعاش قرارگرفته است شکل (A_۱).



(شکل ۱)

شکل (۱) ناحیه ارتعاش غشاء بازیلر در مورد :
(A) فقط یك صدای محرك .
(B) دو صدای خیلی نزدیك به هم :
ناحیه ارتعاش تنها یك ماکزیمم دامنه دارد .
(C) دو صدا با فرکانس خیلی متفاوت :
ناحیه ارتعاش با دوماکزیمم .

تنها این ماکزیمم است‌که می‌تواند تارهای عصبی شنوائی را تحریك‌کند و نیزموضع آن ارتفاع صوت را معین می‌کند . دراین فرض اگردو فرکانس‌خیلی نزدیك به هم موجب تحریك

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-07-23]

گوش گردند ، اجزای غشاء بازیلر که ارتعاش می‌کنند بطور ناحیه‌ای مرتعش می‌گر
ناحیه ارتعاش تنها ماکزیمم دوکی شکل نمایان می‌شوند ، به این ترتیب درك صدای ز
می‌گردد و از آنجا ارتفاع صوت شنیده شده ، واسطه بین ارتفاع هـای دوصوت دریافت
گوش می‌باشد (شکل ۱ـB) . چنانچه تفاوت فرکانس های این دوصوت زیادگردد ،
فعالیت غشاء بازیلر از یکدیگر دور می‌گردند و در نتیجه دوماکزیمم دامنه به وجود
هرکدام از آنهاجداگانه دریافت می‌گردد (شکل ۱ـ C) .

اگر توضیحات مزبورکه درك زنش ها را توجیه می‌کند ، قسمت تضادبین میرائی
کنندگی را از میان برمی‌دارد. مشکل دیگری را برمی‌انگیزد : چگونه است‌که تار
شنوائی فقط دریك نقطه‌که در آنجا دامنه ارتعاش ماکزیمم است تحریك می‌گردند، و
مجاورآن تحت اثر تحریك قرار نمی‌گیرند ؟ .

ملاحظه می‌گردد که فهم و درك رزونانس درگوش ساده نمی‌باشد و به همین لحـ
هلملتز با بسیاری از نظرات شنوائی دیگر متعاقباً پی‌گیری‌گردیده است .

اثر ضایعات صوتی (مانندکلیهٔ‌کری‌هائی‌که براثرصداهای شدید و مداوم بوجو
ازقبیل‌کری شغلی) وجود فرض «تمرکز محلی» را محرزمی‌گرداند . همچنین دربعضی
« تمرکزمحلی » فرکانس ها را بدون آنکه ازخاصیت رزونانس استفاده‌کنند پذیرفته‌اند
دیگراصولا نظریهٔ « تمرکزمحلی» را قبول نکرده‌اند .

با وجود تمام مشکلاتی‌که درنظریـه رزونانس وجود دارد ، مع‌الوصف اهمیت
متمایز آنرا نباید فراموش‌کرد و آنچه که مسلم است این نظریـه تحرکی در تحقیق
به شنوائی ایجادکرده است .

ب ـ نظریه تلفنی را ترفورد :

راترفورد بابیان نظریه تلفونی درباره شنوائی ، نظریه هاملتز را که مبنی بر
مخصوص برای هرفرکانس باشد ردکرد ، زیرا درزمان او هنوز این مطلب به اثبات
به عقیده اوکلیه سلول های مژه دار متعلق به پردهٔ بازیلر می‌توانند بوسیله تمام
تحریك‌گردند وکافی‌است‌که یکی‌از این سلول‌ها برای ما احساس ارتفاع را ایجادک
فرض تمام اعضاءکرتی‌تحت اثرصدائی‌غیرمشخص مرتعش می‌گردند، همچنین‌کلیه تا
شنوائی تحریك می‌شوند .

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-07-23]

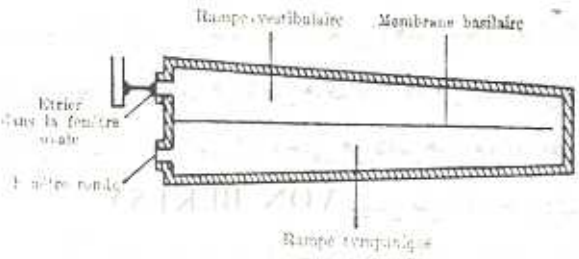
بنابراین نظریه، عصب‌شنوائی پیام عصبی راکه به‌مغز منتقل می‌کند، کاملا دارای فرکانس وشکل ارتعاش صوتی است. به‌این ترتیب عصب‌شنوائی مانند یک‌خط تلفنی عمل می‌کند (نام نظریه) وتجزیه صداها یک‌پدیده روانی است‌که به‌کمک مغز انجام می‌شود وپدیده‌ای مرکزی است نه‌محیطی. یادآوری می‌شودکه نظریهٔ تلفنی‌موفق نشده که جانشین نظریه هلملتز گردد.

طرز عمل گوش داخلی- بخشی از گوش داخلی که در شنوائی دخالت دارد حلزون (Cochlee یا limaçon) می‌باشد. حلزون مقر پدیده‌های مکانیکی (حرکات مایعات و غشاءها) وپدیده‌های الکتریکی (میکرفنی مربوط به‌حلزون) به‌شرح زیر است:

الف - پدیده‌های مکانیکی حلزون - معاصران و جانشینان هلملتز نتوانسته‌اند نظریه‌هائی تدوین کنندکه روشن‌کند درگوش چه‌می‌گذرد وچگونه مایعات و غشاءهای گوش داخلی تحت‌اثر صداها مرتعش می‌گردند.

امروزه برپایهٔ کارهائی که در حدود سال ۱۹۳۰ G. von Bekesy فیزیکدان و فیزیولوژیست مجارستانی انجام داده است، بخش طرز عمل مکانیکی حلزون را می‌شناسیم، این‌کار تا سال‌های اخیر پی‌گیری شده ودرسال ۱۹۶۱جایزه نوبل برای این‌تحقیقات نصیب‌محقق آن گردید.

von Bekesy اولین مشاهدات خودرا روی نمونه‌ای ازحلزون‌که ساده و بزرگ ساخته بود انجام‌داد. درجریان تجربه تغییرات شکل و ابعاد آن اثرقابل توجهی روی سازوکار اصلی آن نداشته است، به‌ویژه‌آنکه‌مجراخواه پیچیده (مثل حلزون) یامستقیم باشد تفاوتی درطرز کارطبیعی آن ایجاد نمی‌گردد وهمین خاصیت‌است‌که ساختمان بسیار ساده مدل‌را تائیدمی‌کند. ابتدا به‌طورخلاصه این مدل را شرح می‌دهیم: دریک تیغه‌فلزی به‌شکل هرم‌شکاف طول وپهنی ازیک انتها به‌انتهای دیگر آن ایجادکرده ودرون شکاف‌را به‌وسیله غشاء نازک کائوچوئی‌که نمایشگر غشاء بازیلاراست به‌دودالان تقسیم نمودند. (شکل۲).



شکل۲ حلزون‌نمونه Von Bekesy

دریکی از دو انتهای تیغه دو سوراخ ایجاد می‌کنندکه یکی به دالان بالا و دیگری به

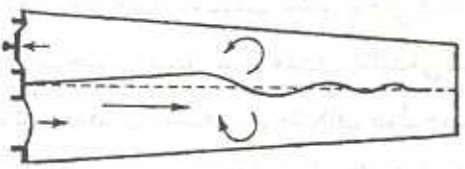
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-07-23]

فلزی (رکابی) را قرار داده‌اندکه به وسیله دیاپازون الکتریکی قادر به حرکت
حلزون حقیقی دو دالان واقع دربالا و پائین به وسیله انتهای حلزون بیکدیگر
ارتباط دارند . بالاخره‌نمونه را با مخلوطی ازآب‌وگلیسیرین‌که دارای‌چسبناکی‌م
پرمی‌کنند . برای‌آنکه حرکات به خوبی دیده شود ، ذرات فلزی بسیار ریزی
معلق می‌سازند .

کار این « حلزون » ساده چیست ؟

وقتی‌که رکابی بوسیله دیاپازون جابجاگشته در دریچه بیضوی ارتعاش تو
از غشاء بازیلر که نزدیك دریچه‌ها قرار دارد نیز با دامنه‌ای‌که پس‌از رکابی تا
غشاءکائوچوئی افزایش می‌یابد ، مرتعش می‌گردد (شکل ۳).

بعد ازاین‌نقطه مشاهده می‌گرددکه امواج‌درجهت انتهای مقابل دریچه‌هامن
ولی مقداردامنه‌آنها به سرعت‌کاهش می‌یابد وانتهای‌آزاد غشاء بازیلر تقریباً بی‌ح
درنقطه‌ای‌که دامنه حداکثر است . درمایع وغشاء بازیلر چرخش هائی ایج



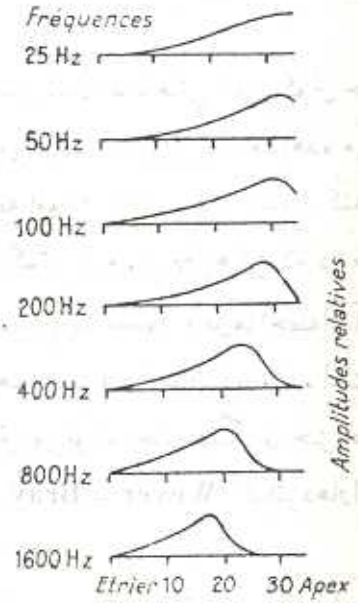
شکل۳ـ ارتعاش غشاء بازیلر در حلـزون نمونه

خط منقطع جای غشاء در حالتی
مرتعش نمی‌گردد ، فلش‌های‌کوتا
نشان دهنده جابجائی‌های مجمـو
دریچه‌گرد است . فلش‌بلند جهت
را درطول‌غشاء بازیلر نشان می‌د
نقطه‌ای‌که درآنجا دامنه ارتعاش
چرخش‌مایع در دو دالان بالا و
مربوط نشان داده شده است

چنانچه فرکانس ارتعاشات را تغییردهد ، محل حداکثر دامنه و چرخش ها
این جابجائی برای فرکانس های بالا به طرف رکابی و برای فرکانس های پائین
دیگراست (این تمرکز محلی فرکانس‌ها ، موید نظریه رزونانس درگوش است
VON BEKESY سپس طرزکار حلزون انسانی را مورد مطالعه قر
پس از آنکه سوراخهای‌کوچکی در نقاط مختلف جدار لیماسون ایجادکرد تا
قابل رویت باشند، دانه‌های بسیارریزی ازنقره روی غشاء هائی‌که در داخل‌حلزون

[Downloaded from c412016.khu.ac.ir on 2024-07-23]

اومی‌توانست این غشاءها را بدکمک میکروسکپ ایمرسیون[1] و یا پر توافکنی استربوسکپی[2] مشاهده کند، این عمل متعاقباً در تمام دورهای مارپیچ تکرار گردید. وقتی در گوش داخلی حرکات ایجادمی‌شوند، تمام اعضائی که دودالان بالا و پائین را ازهم جدا می‌کنند (غشاء ریسنر، غشاء بازیلر غشاء کرتی، غشاء تکتوریال) جمعاً جابجامی‌گردند. آنها واحدی را بنام واحد جدارحلزونی تشکیل می‌دهند. طرزکار حلزون مشابه باطرزکار نمونه‌ایست که قبلاشرح داده‌ایم. مشاهده می‌گردد که ارتعاشات مربوط به‌رکابی موجب حرکات جدارحلزونی می‌گردد ومانند نمونه مصنوعی نقطه‌ای که درآنجا این حرکات دارای حداکثر دامنه هستند، به‌پیروی ازمقدار فرکانس جابجا می‌شود. ولی برای فرکانس‌هائی کمتر از ۳۰ هرتز حداکثر دامنه دررأس[3] حلزون یافت می‌شود. برعکس برای فرکانس‌هائی بیش‌از ۸۰۰ هرتز بخش‌رأس جدار حلزونی ساکن است، وبه‌همان اندازه‌که مقدار فرکانس افزایش می‌یابد، حداکثر دامنه نیز به‌رکابی نزدیک‌می‌گردد(شکل۴).



شکل(۴)
جای حداکثر دامنه برای فرکانس‌های مختلف در حلزون گوش انسان.
فاصله‌ای که رکابی ونقطه‌ای را که درآنجا دامنه حداکثر است جدا می‌کند، روی محور افقی برحسب‌میلی‌متر برده شده است.
(بنابر VON Bekesy)

پس توزیع معینی ازفرکانس‌ها درحلزون وجود دارد، یعنی «تمرکز محلی» فرکانس‌ها مسلم می‌باشد، ولی نه خاصیت‌های مکانیکی و نه مد ارتعاش جدار حلزونی مؤید وجود رزوناتورهای ردیف‌گشته درحلزون (نظریه‌هلملتز) نیستند. پس رزونانس نمی‌تواند پایه اصلی

۱- Microscope immersion
۲- Eclairage Stroboscopique
۳- L' apex

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-07-23]

تشریح وتوجیه تجزیه صداها باشد.

ب- پدیده میکروفنی حلزون. وقتی‌که ارتعاشات صوتی به‌گوش داخلی می‌رسند
مقر تغییرات‌پتانسیل الکتریکی‌می‌گرداند. این‌موضوع درسال ۱۹۳۲ به‌وسیله دوفیزیو
امریکائی به‌نامهای Wever و Bray کشف‌گردید و با نام **اثر میکروفنی حلزون** مشه
پدیده الکتریکی مزبور منحصراً مخصوص به‌گوش نیست. طرزکار تمام اعضاء
ماهیچه‌ها، قلب، اعصاب ومغز همراه بافعالیتی الکتریکی است.

مطالعه میکروفنی حلزون: برای مطالعه میکروفنی حلزون ، حیوانی‌را بیهوش
استخوان‌شقیقه تاحفره صماخ‌آن‌را سوراخ‌می‌کنند. تغییرات پتانسیل‌را باقراردادن یا
روی حلزون والکترد دیگر روی ماهیچه‌گردن می‌توان بدست‌آورد.

صوتی‌را به گوش حیوان می‌فرستند چنانچه دوالکترد را به ورودی‌اسیلوسکو
وصل‌کنند، علائم نوسانات الکتریکی روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده می‌گرددکه
دوباره امواج صوتی است.

چنانچه نوسانات الکتریکی مزبوررا به‌بلندگو وصل‌کنیم، صداهائی که به‌گوش
می‌فرستیم به‌وسیلهٔ بلندگودوباره تبدیل به‌امواج صوتی می‌گردد. به‌این‌ترتیب مشاهد
که‌گوش مانند یك میکروفن می‌تواند امواج صوتی را به امواج الکتریکی تبدیل
تغییرات پتانسیل درحدود 10^{-6} ولت است، یعنی خیلی‌کمتر از میکروفن‌هائی که
ساخته‌شده می‌باشد ولذا برای اندازه‌گیری‌تغییرات پتانسیل باید به‌طور قابل‌ملاحظه
تقویت‌کرد. اثر میکروفنی حلزون نزد تمام حیوانات وهمچنین نزد انسان دیده‌شده
محل مشاهده تغییرات پتانسیل پخش شده درگوش می‌تواند جای دیگری‌ج
داشته باشد ازجمله روی عصب‌شنوائی، برای‌این‌منظور Wever – Bray الکترد
عصب‌شنوائی قرارداده‌اند.

درنتیجه دیده شدکه پتانسیل حلزونی‌که ازحلزون‌بدست می‌آید تقریباً خ
پتانسیل بدست‌آمده ازعصب شنوائی مخلوطی است باپتانسیل عمل‌عصب واز اینر
باهم‌متمایز می‌گردند. اثر میکروفنی‌حلزون‌یك‌پدیده عصبی نیست. این‌اثر پس ا
بعداز قطع جریان وتأثیر موضعی‌کوکائین یاکلروفورم مدتی باقی می‌ماند.

چون درتمام این‌حالات جریان عصبی فوراً و کلا محو می‌گردد ولی اثر میکر
می‌شود، بنابراین برای یافتن این‌اثر، حلزون‌را سوراخ کرده والکترودرا در تماس

Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-07-23

لابیرنتی قرار می‌دهندکه دراین‌صورت اثر میکروفنی بادامنه قابل ملاحظه‌ای در آن مشاهده می‌گردد. هم‌چنین پتانسیل میکروفنی پس‌از قطع عصب‌شنوائی وفاسد شدن این‌عصب و عقده کرتی مدتی پایدارمی‌ماند. تجربیاتی‌که روی خزندگان‌انجام شده‌است نشان می‌دهد که‌برعکس فعالیت‌های عصبی پتانسیل میکروفنی به‌درجه حرارت بستگی ندارد.

بالاخره پتانسیل میکروفنی از قانون (همه یاهیچ) پیروی نمی‌کند: مقدار پتانسیل میکروفنی تابع‌شدت صدای دریافتی به‌وسیله گوش است وبرای صداهای خیلی ضعیف به‌کمك وسایل واسباب‌های مربوط وجودآن بطورآشکارامسلم می‌گردد.

فاصله‌زمانی تحریك تاشروع پاسخ اثر میکروفنی (ثانیه $\frac{1}{10000}$) به‌طور قابل‌ملاحظه ازفاصله زمانی تحریك تاشروع پاسخ پتانسیل‌های عمل عصب‌شنوائی (ثانیه $\frac{1}{1000}$) کوچکتر است واین تأیید می‌کندکه وقتی‌گوش بوسیله صدائی تحریك می‌گردد، پاسخ میکروفنی‌خیلی زودتر ازپاسخ عصبی ظاهر می‌گردد. هرگونه تغییراتی‌که درهـرلحظه درفـاز ارتعاشات ایجاد می‌گردد، درپتانسیل میکروفنی نیز درهمان‌لحظه به‌وجود می‌آید. میکروفنی حلزون، صداها رابافرکانسی‌که درباند فرکانس‌قابل درك وحتی بیش‌ازآن‌است ایجاد می‌کند وتوانسته‌اندآن‌را نزدخوکچه هندی تافرکانس H_z ۴۰۰۰۰ ونزدخفاش‌ها تافرکانس H_z ۱۰۰۰۰۰ بدست‌آورند. برعکس برای‌عصب‌ها فرکانس پتانسیل‌های عمل از۱۰۰۰ درثانیه نمی‌تواند تجاوزکند. پس‌اثر میکروفنی یك‌پدیده عصبی نیست وهمچنین مانند فعالیت عصبی به‌زندگی حیوان ارتباط ندارد. بدون‌شك مبنا واصل میکروفنی حلزون‌را باید درعضوکرتی جستجوکرد وبنابر قیاس می‌توان آن‌را نتیجه ارتعاش غشاء پلاریزه (غشاء بازیلر، غشاء تکتوریال) دانست پس چنین غشائی در حال ارتعاش ایجاد پدیده‌میکروفنی می‌کند. امروزه‌عموماً پذیرفته‌اندکه اثر میکروفنی‌حلزون براثر تغییر شکل سلول‌های مژه‌دار عضوکرتی ایجاد می‌گردند بالاخره وظیفه اثر میکروفنی حلزون چیست؟ این‌نکته هنوز نیزکاملاروشن‌نشده است ولی‌آنچه‌که مسلم‌است اثر میکروفنی همیشه‌احساس‌را همراهی میکند.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-07-23]

cnce:

1- Que sais - je? André Gribenski
France 1964 (Press universitaire)
2- Acoustique - électroacoustique
A- Diber 1964
3- Vibration Mécanique - Acoustique
P. Fleury et J.P Mathieu 1968

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-07-23]