ساز و کارهای شنوائی

ترجمه و اقتباس : حسین ابراهیمی
از گروه آموزشی فیزیک دانشگاه تربیت معلم

بیش از یك قرن است که 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[1] نظریه رزنانس راکه براساس آن تجزیه صداها به وسیلهٔ گوش انجام می‌گیرد ، پیشنهادکرد ولی راترفورد[2] 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 فرض شده‌اند درطول حلزون‌گوش درونی به‌شکل

۱- Helmholtz ۲- Rutherford

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-28]

تارها درسطح غشاء بازیلر[1] ردیف گشته‌اند وهر کدام آنها 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 مـزبور پیام حسی تجزیه شده را به مغز انتقال می‌دهد: همچنین نظریه هلملتز درعین حال که یك نظریه «رزونانس» است ، « نظریه تمرکز محلی[2]» نیز می‌باشد . به این ترتیب کـه تجزیه درگوش انجام می‌گیرد ولی دریافت هرفرکانس اختصاص به محل بخصوصی از حلـزون دارد . پس از بیان این نظریه ، رزونانس در وضع حساسی قرارگرفت و آن مشکل یافتن رزوناتورها درگوش بوده است تا از روی آن خواص مشخصه شنوائی توجیه گردد . هلملتز پس ازانعطاف توجه خود روی برآمدگی های بسیار ریز به اسم کرتی کـه به تارها متصل می‌باشند قبول کرده است کـه 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 اندازه کافی زیاد می‌باشند و خود این امـر ظاهراً می‌تواند تأییدی بر نظریه هلملتز 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 نظر گرفتن ساختمان حلزون ، این سه عامل درجهت مورد نظـر و در نسبتی که به نظر کافی می‌رسد تغییر می‌کنند و به این ترتیب پخش فرکانس‌ها را در طول حلزون می‌توان توجیه کرد ، جای فرکانس های زیر درقاعده پرده بازیلر وفرکانس های بم در راس آن است . برای توجیه پدیده های شنوائی ، رزوناتورهای هلملتز باید دارای دو خاصیت متضاد زیر باشند : خاصیت انتخاب کنندگی[3] و خاصیت میرائی[4] .

تذکـر : 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

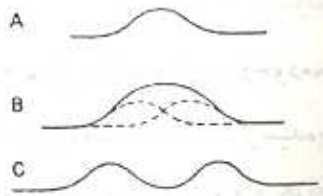
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-28]

هائی که با آن سازش دارد وارد ارتعاش گردد ، رزوناتورهای گوش باید چنین حالتی را داشته باشند . چون صدای با فرکانس معین فقط با ارتفاع خودش شنیده می‌شود و نه با ارتفاع های مجاور آن ، پس نتیجه می‌گیریم که رزوناتورهای مجاور ارتعاش نمی‌کنند و یا درصورت ارتعاش دامنه آنها بسیار کوچك است .

یك رزوناتور درصورتی خیلی میرا است که دامنه ارتعاشات آن به علت نیروی مالش قابل ملاحظه به طور سریع کم گشته ازبین برود ، درموردگوش چنین حالتی هست زیرا پایداری احساس شنوائی بعداز $\frac{1}{10}$ ثانیه از بین می‌رود .

بنابراین دررزوناتورهائی که طبیعتاً میرائی آنها زیاد باشد خاصیت انتخاب‌کنندگی آنها کم می‌گردد ومتقابلا رزوناتور با خاصیت انتخاب‌کنندگی زیاد ، درمدتی طولانی ارتعاش می‌کند زیراکه رزوناتور به وسیله ارتعاشاتی که فرکانس آنها برابر فرکانس مخصوص آن باشد تحریك می‌گردد . به همین ترتیب یك دیاپازون درصورتی درهوا تشدید می‌گردد که تحت تأثیر ارتعاشاتی قرارگیرد که فرکانس آنها برابر فرکانس دیاپازون و یا خیلی نزدیك به آن باشد ، دراین حال دیاپازون به ارتعاشات خود در زمانی طولانی ادامه خواهد داد . برعکس درآب که درآن مالش براثر چسبناکی زیاد است ، رزوناتور می‌تواند درگام وسیعی ازفرکانس ، حول فرکانس مخصوص خود وارد رزونانس گردد ، ولی فقط پس از چند ارتعاش بحال تعادل باز می‌گردد (پایان تذکر).

از طرفی تارها آزاد نبوده درغشاء بازیلر قرارگرفته‌اند و بین خودشان وابستگی های مشترك دارند ، بهمین دلیل قبول کرده‌اند که رزونانس سبب ارتعاش یك تار تنها نمی‌گردد بلکه موجب ارتعاش یك ناحیه کم وبیش وسیع ازغشاء بازیلر می‌گردد، که دروسط این ناحیه ماکزیمم دامنه ارتعاش قرارگرفته است شکل (A ـ 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 است که می‌تواند تارهای عصبی شنوائی را تحریك کند و نیزموضع آن ارتفاع صوت را معین می‌کند . دراین فرض اگردو فرکانس خیلی نزدیك به هم موجب تحریك

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-28]

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
هر کدام از آنهاجداگانه دریافت می‌گردد (شکل ۱ـ C) .

اگر توضیحات مزبور که درك زنش ها را توجیه می‌کند ، قسمت تضادبین میرائی
کنندگی را از میان برمی‌دارد. مشکل دیگری را برمی‌انگیزد : چگونه است که 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 پی‌گیری گردیده است .

اثر ضایعات صوتی (مانندکلیهٔ کری‌هائی که براثرصداهای شدید و مداوم بوجو
ازقبیل کری 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
تحریك گردند وکافی‌است‌که یکی‌از این سلول‌ها برای ما احساس ارتفاع را ایجادکند
فرض تمام اعضاءکرتی تحت اثرصدائی‌غیرمشخص مرتعش می‌گردند، همچنین‌کلیه تا
شنوائی تحریك می‌شوند .

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-28]

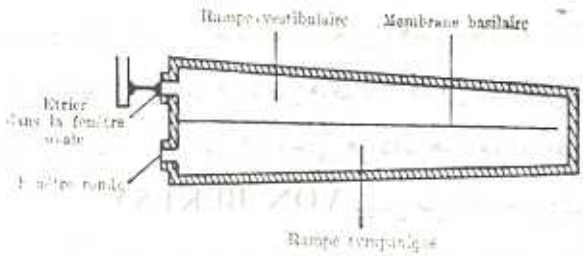
بنابراین نظریه، عصب‌شنوائی پیام عصبی‌راکه به‌مغز منتقل می‌کند، کاملا دارای‌فرکانس وشکل ارتعاش صوتی است. به‌این ترتیب عصب‌شنوائی مانند یك‌خط تلفنی عمل می‌کند (نام نظریه) وتجزیه صداها یك‌پدیده روانی است‌که به‌کمك مغز انجام می‌شود وپدیده‌ای مرکزی است نه‌محیطی. یادآوری می‌شودکه نظریهٔ تلفنی‌موفق نشده که جانشین نظریه هاملتز گردد.

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

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

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 بزرك 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 کارطبیعی‌آن ایجاد نمی‌گردد وهمین خاصیت‌است‌که ساختمان بسیار ساده مدل‌را تائیدمی‌کند. ابتدا به‌طورخلاصه این مدل را شرح می‌دهیم: دریك تیغه‌فلزی به‌شکل هرم‌شکاف طول وپهنی ازیك انتها به‌انتهای دیگر آن ایجادکرده ودرون شکاف‌را به‌وسیله غشاء نازك کائوچوئی‌که نمایشگر غشاء بازیلز است به‌دودالان تقسیم نمودند. (شکل۲).



شکل۲ حلزون‌نمونه Von Bekesy

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

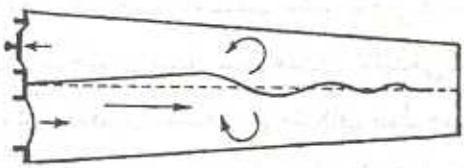
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-28]

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 دارای‌چسبناکی
پرمی‌کنند . برای آنکه 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 وانتهای آزاد غشاء بازیلر تقریباً بی‌ح
درنقطه‌ای‌که دامنه حداکثر است . درمایع وغشاء بازیلر چرخش هائی ای



شکل۳ـ ارتعاش غشاء بازیلر در حلزون نمونه

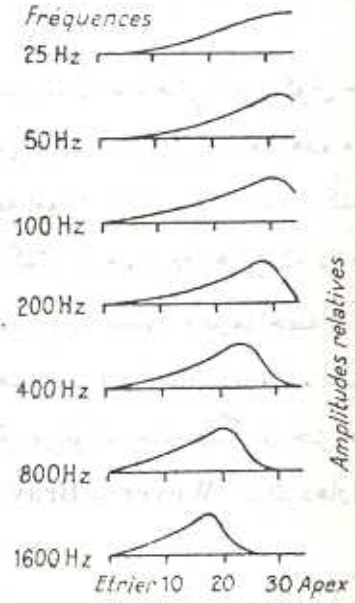
خط منقطع جای غشاء در حالتی
مرتعش نمی‌گردد ، فلش‌های کوتا
نشان دهنده جابجائی‌های مجمو
دریچه‌گرد است . فلش‌بلند جهت
را درطول‌غشاء بازیلر نشان می‌ده
نقطه‌ای‌که درآنجا دامنه ارتعاش
چرخش‌مایع در دو دالان بالا
مربوط نشان داده شده است

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

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-28]

(این غشاءها غیرقابل رؤیت هستند).

او می‌توانست این غشاءها را به کمک میکروسکپ ایمرسیون[1] و یا پرتو افکنی استروبوسکپی[2] مشاهده کند، این عمل متعاقباً در تمام دورهای مارپیچ تکرار گردید. وقتی در گوش داخلی حرکات ایجاد می‌شوند، تمام اعضائی که دودالان بالا و پائین را از هم جدا می‌کنند (غشاء ریسنر، غشاء بازیلر غشاء کرتی، غشاء تکتوریال) جمعاً جابجا می‌گردند. آنها واحدی را بنام واحد جدار حلزونی تشکیل می‌دهند. طرز کار حلزون مشابه با طرز کار نمونه‌ایست که قبلا شرح داده‌ایم. مشاهده می‌گردد که ارتعاشات مربوط به رکابی موجب حرکات جدار حلزونی می‌گردد و مانند نمونه مصنوعی نقطه‌ای که در آنجا این حرکات دارای حداکثر دامنه هستند، به پیروی از مقدار فرکانس جابجا می‌شود. ولی برای فرکانس‌هائی کمتر از ۳۰ هرتز حداکثر دامنه در رأس[3] حلزون یافت می‌شود. برعکس برای فرکانس‌هائی بیش از ۸۰۰ هرتز بخش رأس جدار حلزونی ساکن است، و به همان اندازه که مقدار فرکانس افزایش می‌یابد، حداکثر دامنه نیز به رکابی نزدیک می‌گردد (شکل ۴).



شکل (۴)
جای حداکثر دامنه برای فرکانس‌های مختلف در حلزون گوش انسان.
فاصله‌ای که رکابی و نقطه‌ای را که در آنجا دامنه حداکثر است جدا می‌کند، روی محور افقی برحسب میلی‌متر برده شده است.
(بنابر VON Bekesy)

پس توزیع معینی از فرکانس‌ها در حلزون وجود دارد، یعنی «تمرکز محلی» فرکانس‌ها مسلم می‌باشد، ولی نه خاصیت‌های مکانیکی و نه مد ارتعاش جدار حلزونی مؤید وجود رزوناتورهای ردیف گشته در حلزون (نظریه هلملتز) نیستند. پس رزونانس نمی‌تواند پایه اصلی

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

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-28]

تشریح وتوجیه تجزیه صداها باشد.

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** مشهو

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 بدست آورد.

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 خاص
پتانسیل بدست‌آمده ازعصب شنوائی مخلوطی است باپتانسیل عمل‌عصب واز اینرا
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

J Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-28]

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 بدوسیله 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 2024-04-28]

ence:

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 2024-04-28]