



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 5

Physiology of Hearing

(Sound Conduction to the Cochlea 2)

Dr. Samer Mohsen

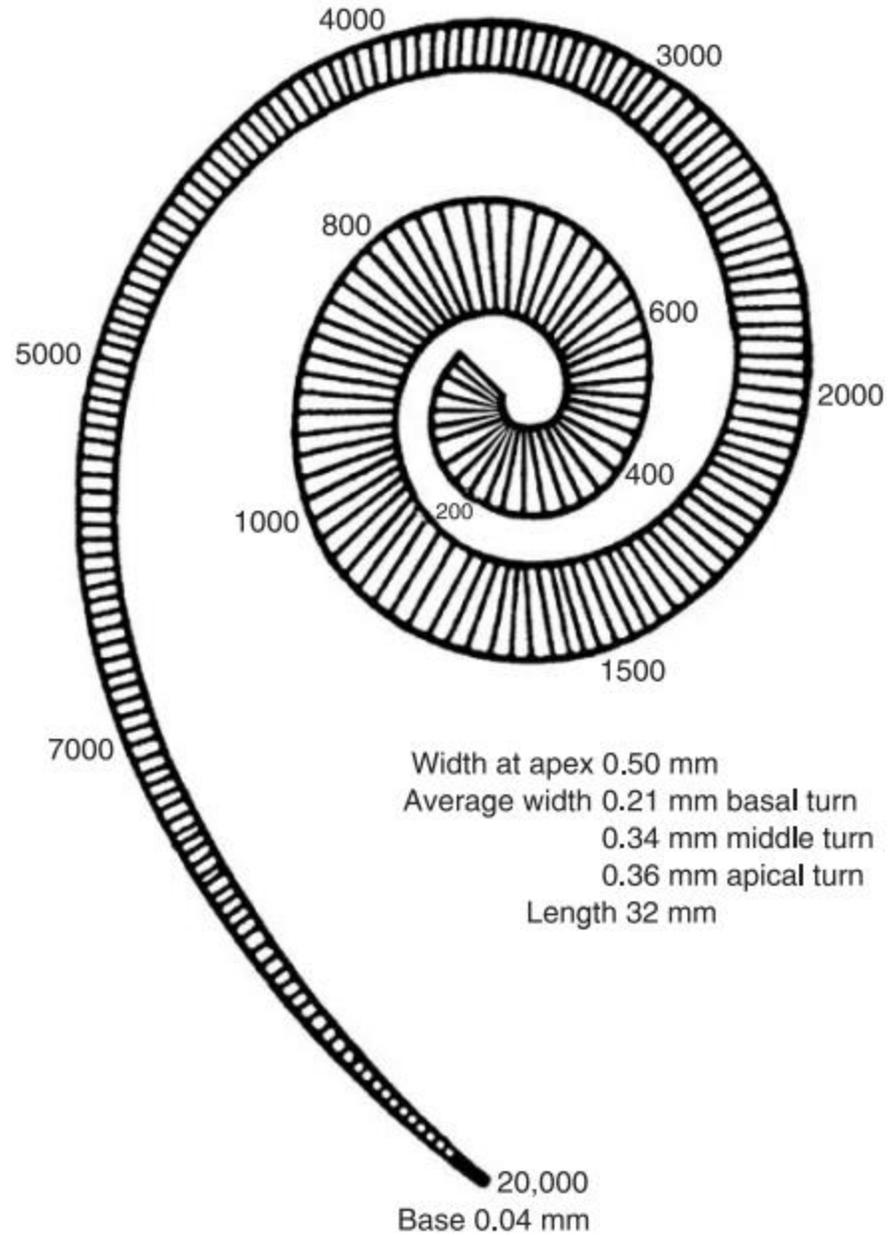
MD., ENT, PhD OF Audiology

Faculty member and Vice Dean in Damascus University

May 2021

وظيفة الأذن الداخلية

- يعتبر الحلزون من أكثر الأعضاء الحسية دقة وروعة في جسم الإنسان حيث أن هذا العضو الصغير بمكوناته المتناهية في صغر الحجم يقوم بوظيفة رائعة بكل إتقان ودقة على طول الحياة بدون تنكس يذكر ولو أن ضجيج الحياة الحديثة له أثر هام على هذه الوظيفة سيناقش لاحقاً.
- يقوم الحلزون بكلتا وظيفتي التحليل الطيفي والزماني للإشارة الصوتية. حيث يقصد بالتحليل الطيفي المقدرة على استخلاص جميع التواترات المختلفة من الإشارة المعطاة. والتحليل الزماني يقوم على كشف أدق التغييرات في الإشارة السمعية خلال فواصل زمنية دقيقة جداً.
- يساعد الحلزون على إدراك رقعة الصوت Pitch وحدته Loudness وهي المرادفات الحسية Psychoacoustic لما يقوم الحلزون بتحليله من خصائص الإشارة الصوتية كالتواتر Frequency والمطال Amplitude يضاف إليها المحتويات الزمنية للإشارة Temporal aspects، تشكل هذه الآليات المرحلة الأولى للمعالجة السمعية Auditory Processing للإشارات الصوتية.



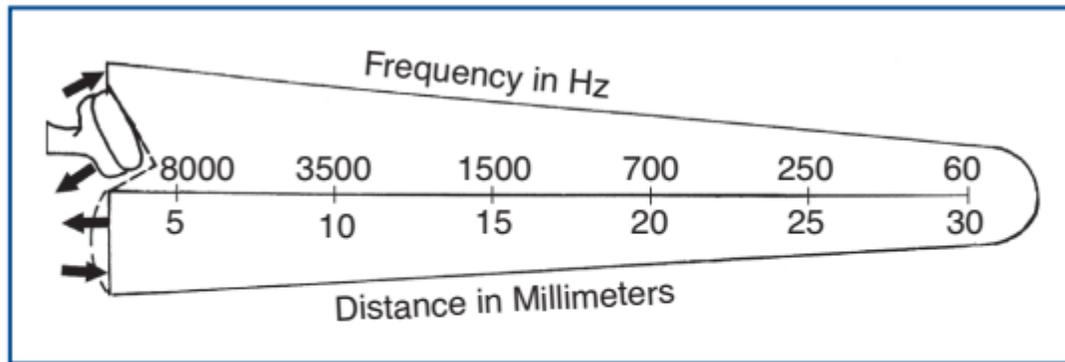
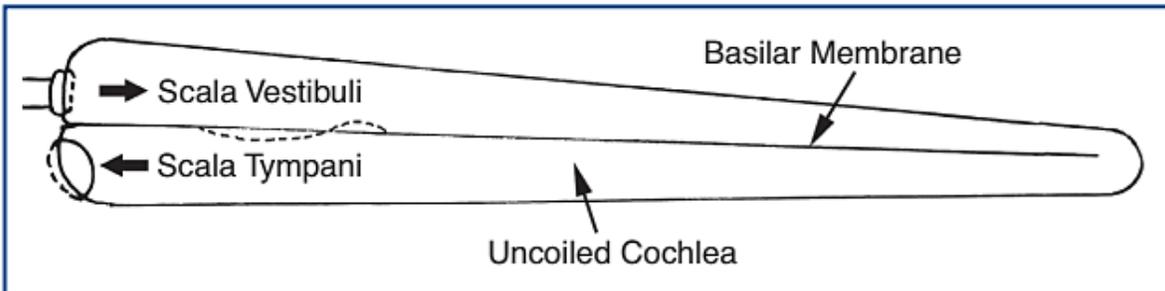
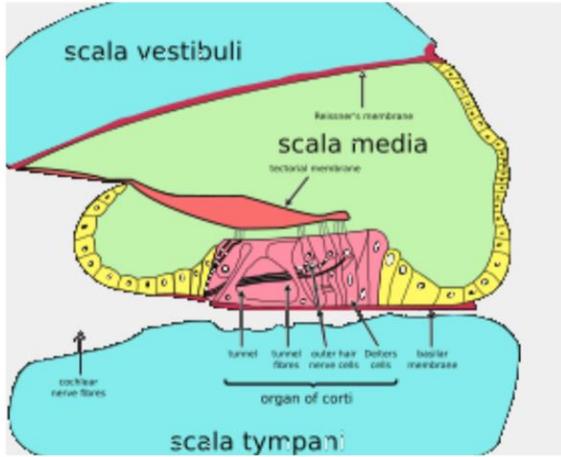


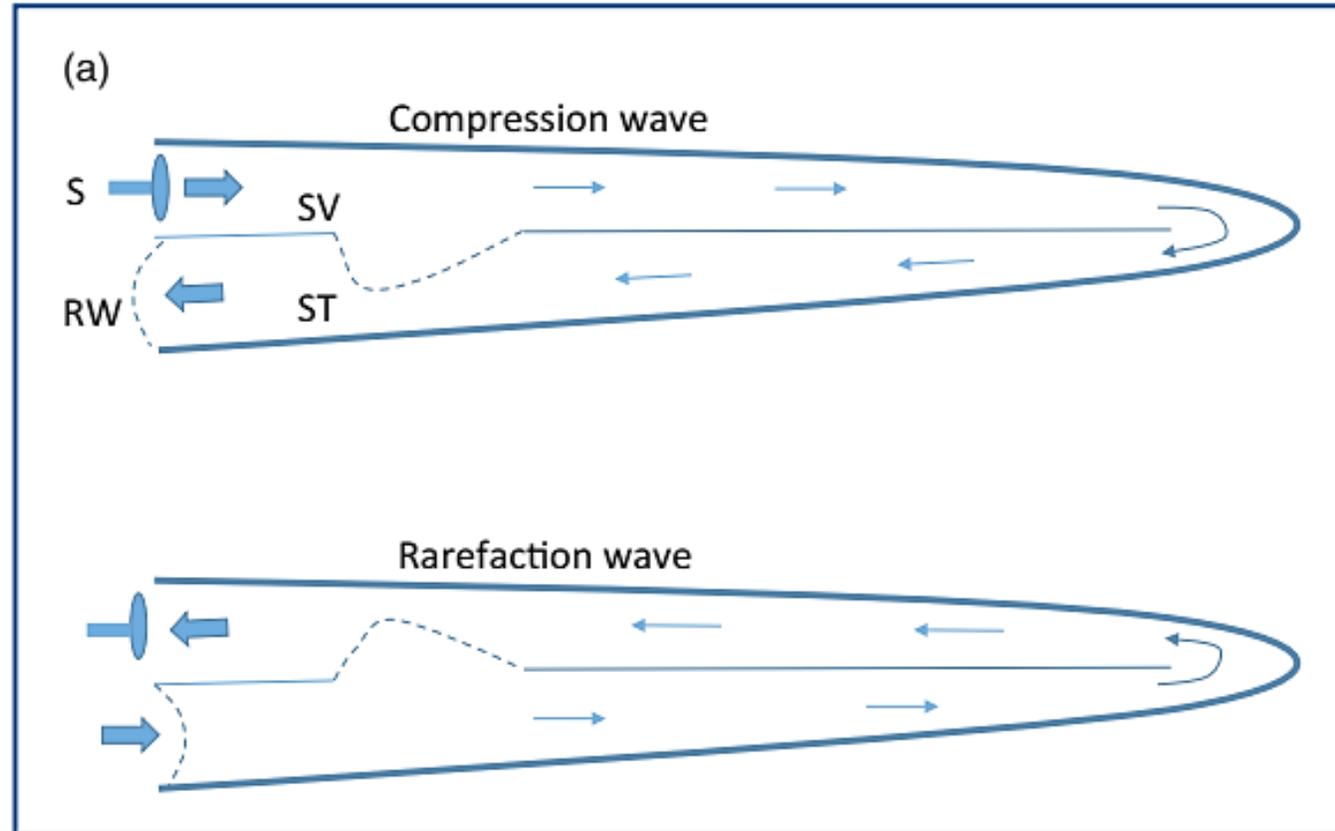
Figure 5-4. The frequency to distance relationship from the stapes to a place along the human basilar membrane.

وظيفة الأذن الداخلية

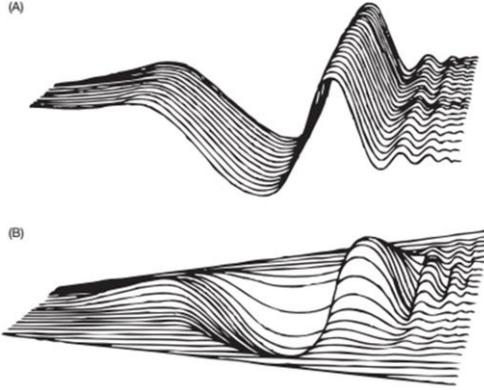
○ تنتقل الموجة الصوتية من خلال انزياح الذرات في الهواء مسببة حركة غشاء الطبل والعظيومات التي تنقل الاهتزازات الى النافذة البيضية عبر قاعدة الركابة Stapes Footplate، بحيث يحدث دفعها للداخل عندما تكون الموجة انضغاطية Condensation وسحبها للخارج عندما تكون انبساطية Rarefaction وعليه فإن كل التعقيد الموجود في الموجة الصوتية يتم ترجمته بشكل مباشر الى سوائل الحلزون توسط قاعدة الركابة.

○ عندما تضغط الركابة اللمف الباطن Perilymph في السقالة الدهليزية Scala Vestibuli فإن غشاء رايسنر Reissner's membrane يتمدد باتجاه السقالة الوسطى Scala media ويتمدد الغشاء القاعدي Basilar membrane باتجاه السقالة الطبلية Scala Tympani. وبالتالي فإن أي انضغاط للسوائل في السقالة يسبب انزياح مباشر للغشاء القاعدي.





آلية الموجة المسافرة

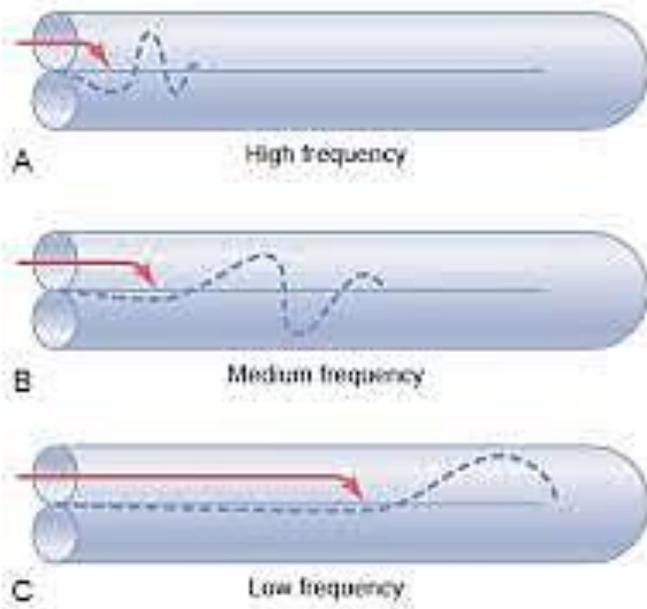


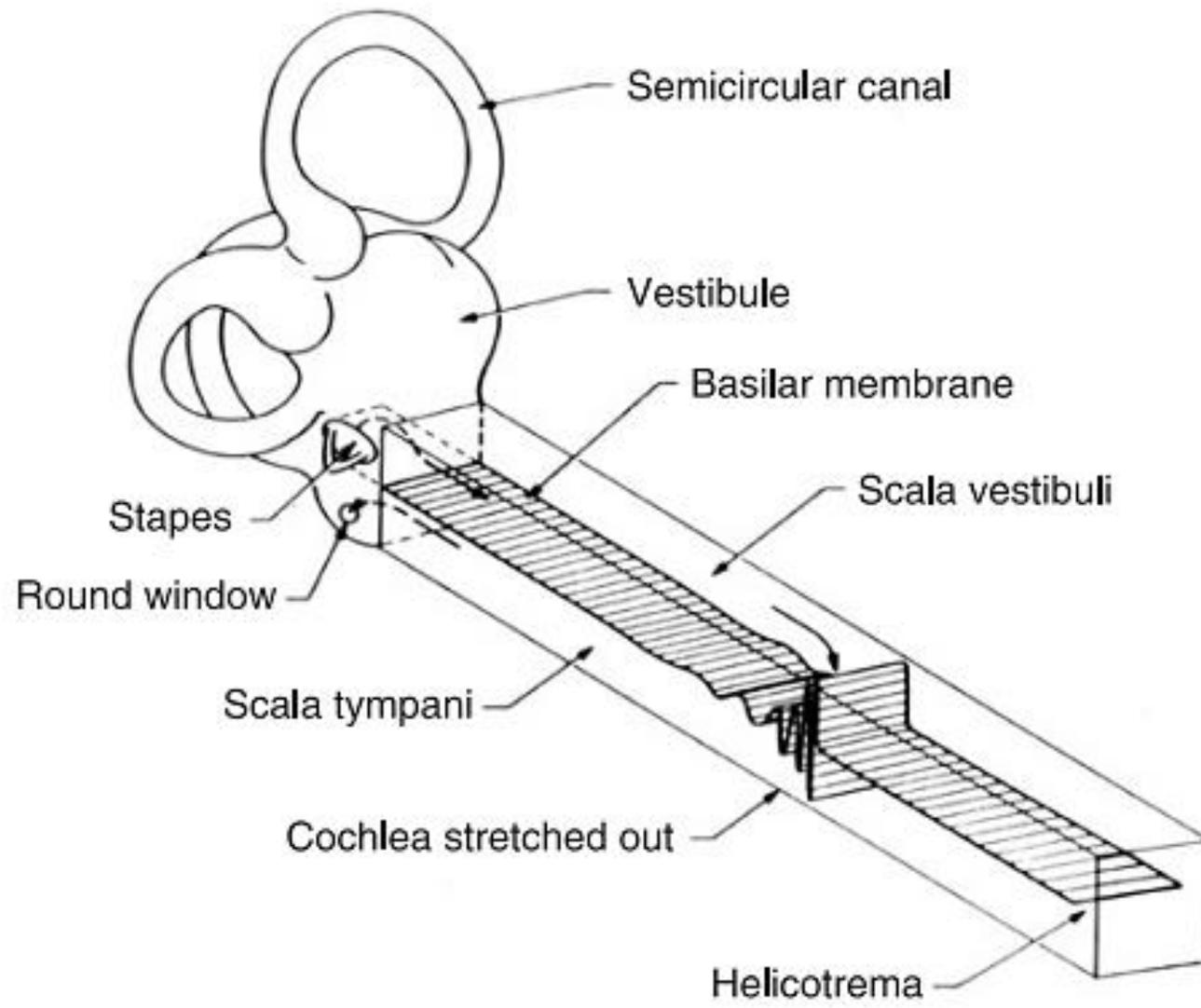
○ كما هو معروف فإن تواتر الصوت يحدد بعدد الذبذبات أو الاهتزازات في الثانية وبالتالي فإن إشارة صوتية تواترها 100 هرتز ستسبب حركة قاعدة الركابة (معقد غشاء الطبل - عظيما - قاعدة الركابة) بمعدل 100 مرة بالثانية داخلاً وخارجاً وتنتقل هذه الحركة الدورية Periodic إلى الغشاء القاعدي حيث ينشأ ما يسمى بالموجة المسافرة Travelling wave.

○ لقد اكتشف Bekesy أن الغشاء القاعدي مصمم لدعم وتسهيل تشكيل الموجة المسافرة الموافقة لتواتر اهتزاز الموجة الصوتية.

○ عندما ترتطم الأصوات عالية التواتر بالأذن الداخلية فإن الجزء القاعدي للحلزون يقوم بالاهتزاز (قرب الدهليز)، في حين الأصوات منخفضة التواتر تسبب اهتزاز الغشاء القاعدي في الأجزاء الرأسية (قمة) الحلزون قاطعة مسافة طويلة على طول الغشاء القاعدي (الأمر يتعلق بطول الموجة والذي يتناسب عكساً مع التواتر).

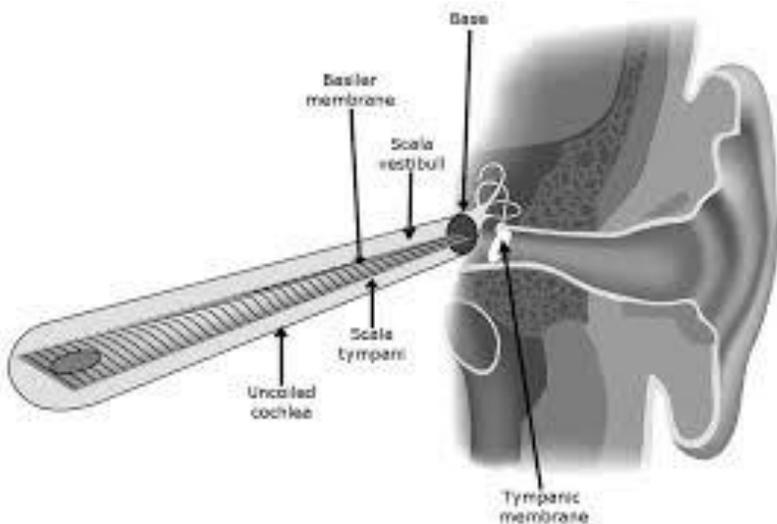
○ على هذا الأساس يقوم الموج المسافر بفصل المكونات التواترية للأصوات المركبة مكانياً حيث يعالج الأصوات عالية التواتر عند القاعدة و المنخفضة التواتر عند القمة (Apex).



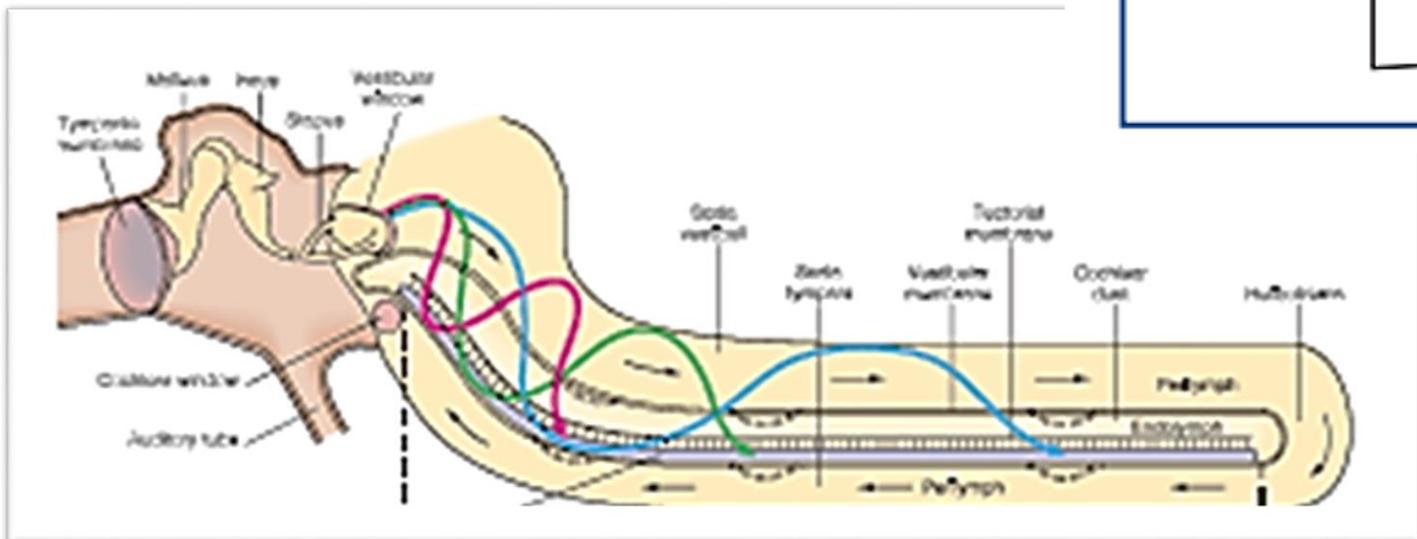
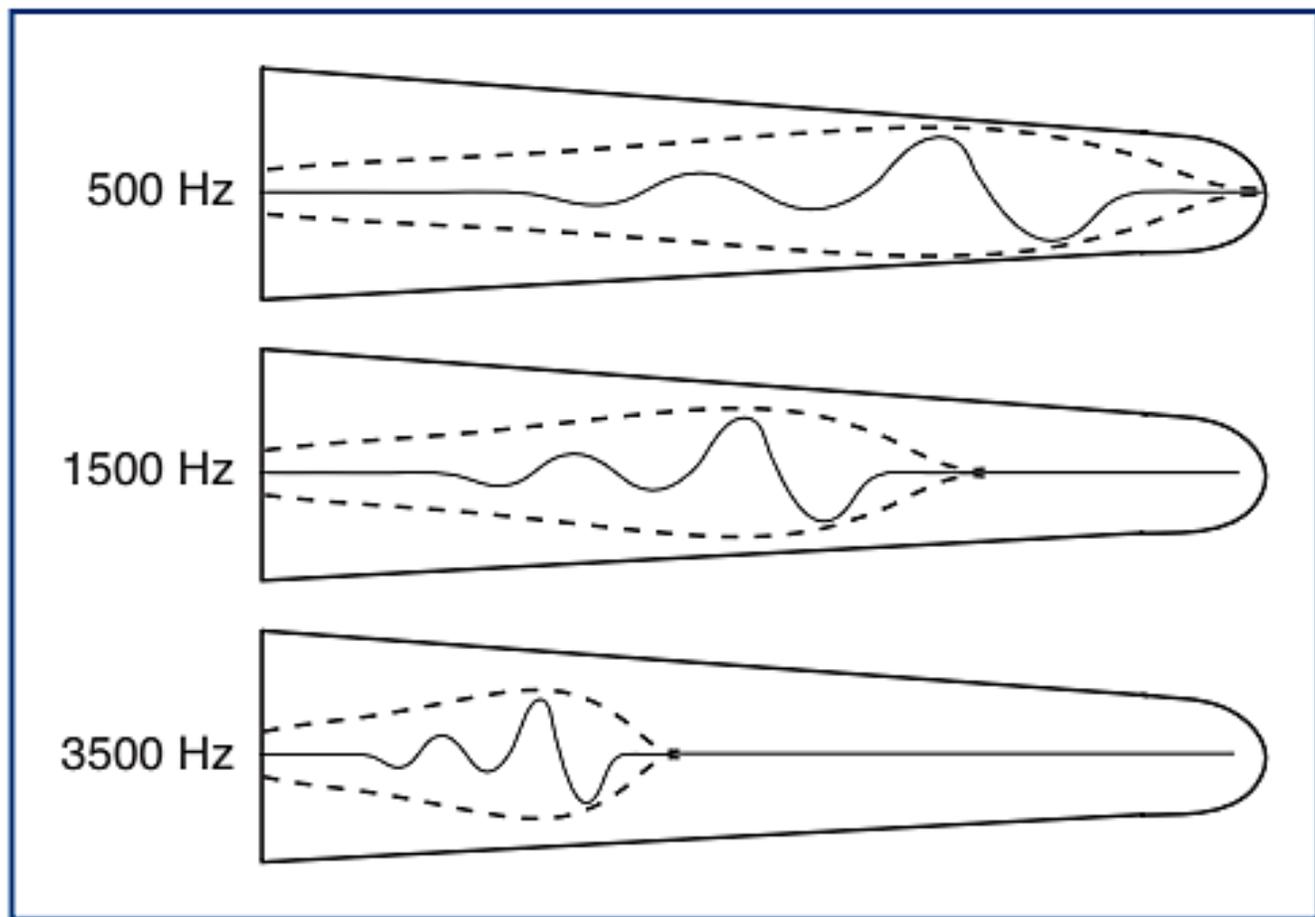
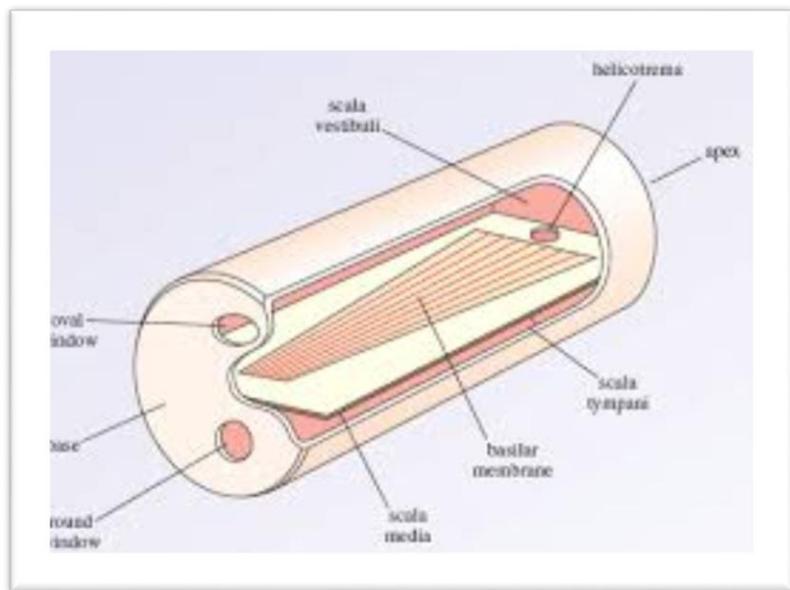


الموجة المسافرة وخصائص الغشاء القاعدي

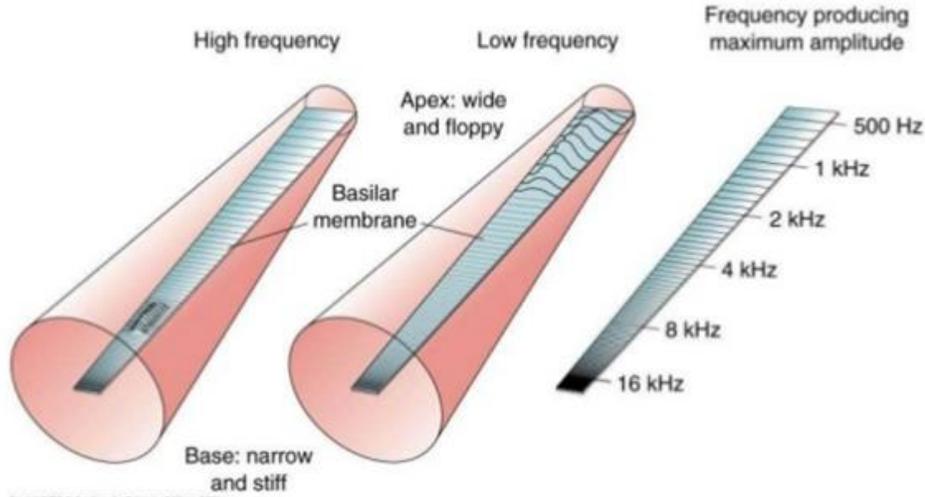
○ يمكن تشبيه الموج المسافر بأموج البحر حيث تصل إلى أعلى ارتفاعها لتتخامد عند الشاطئ، كذلك الحال يبلغ الموج المسافر أعلى ذروة له على الغشاء القاعدي في نقطة معينة تشكل النقطة الأساسية لتفعيل الخلايا المشعرة داخل عضو كورتي ومنها النهايات العصبية. وعليه يمكن القول يتشكل الموج المسافر عند قاعدة الحلزون ويستمر بالتشكل والانتفاخ على طول الحلزون ليصل إلى نقطة يبلغ فيها أعلى ذروة له ثم يتخامد بسرعة وبشكل شبه نهائي بعد الذروة. وعليه فإن الأصوات منخفضة التواتر تسبب تكسر (تموت) الموج المسافر عند ذروة الحلزون وأن النقطة التي تمثل أكبر انزياح للغشاء القاعدي تحدد المعلومات التواترية Frequency information والتي يتم توصيلها إلى الدماغ.



○ يتعلق اهتزاز الغشاء القاعدي بدرجة القساوة stiffness حيث تكون القساوة أكثر ما يمكن عند القاعدة وتتناقص بشكل تدريجي منسق باتجاه القمة. يضاف إلى ذلك عامل الكتلة Mass حيث أنه كلما زادت الكتلة كلما نقص التواتر الطنيني وتزايد كتلة الغشاء القاعدي تدريجياً من القاعدة إلى القمة. وأخيراً فإن الغشاء القاعدي يصبح أعرض Wider بالتدرج من القاعدة إلى القمة.



خصائص الغشاء القاعدي



○ وبالتالي هذه العناصر الثلاثة للغشاء القاعدي : القساوة

– الكتلة و العرض مجتمعةً تجعل من الغشاء القاعدي

محلل تواتري ممتاز Excellent Frequency Analyzer.

○ **ملاحظة هامة:** أيًا كانت نقطة بدء تشكّل الموجة المسافرة

على طول الحلزون فإنّ اتجاه مسيرها يكون دائماً باتجاه

القمة وذلك تبعاً للخصائص أنفة الذكر للغشاء

القاعدي.

Non-Linearity

اللاخطية في الغشاء القاعدي

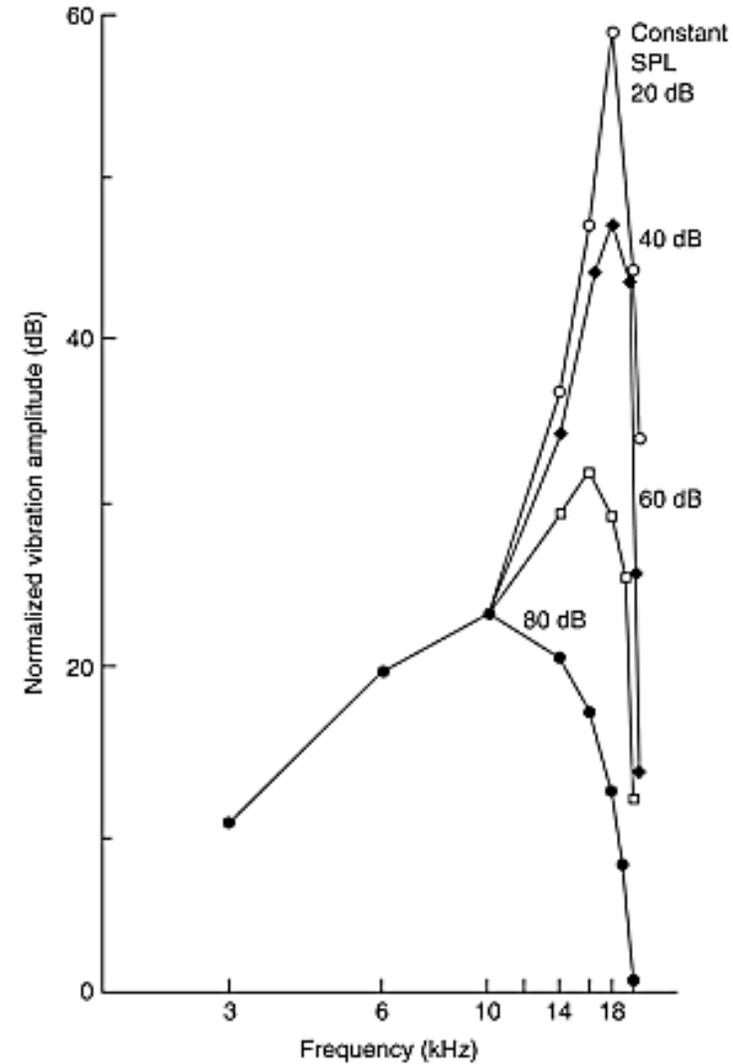


FIGURE 3.4 Amplitude of vibration of a single point on the basilar membrane in an anesthetized guinea pig in response to pure tones of 4 different intensities, at 20 dB intervals, as a function of the frequency. The curves were shifted so that they would have coincided if the cochlea had been a linear system (adapted from Johnstone et al., 1986).

Non-Linearity

اللاخطية في الغشاء القاعدي

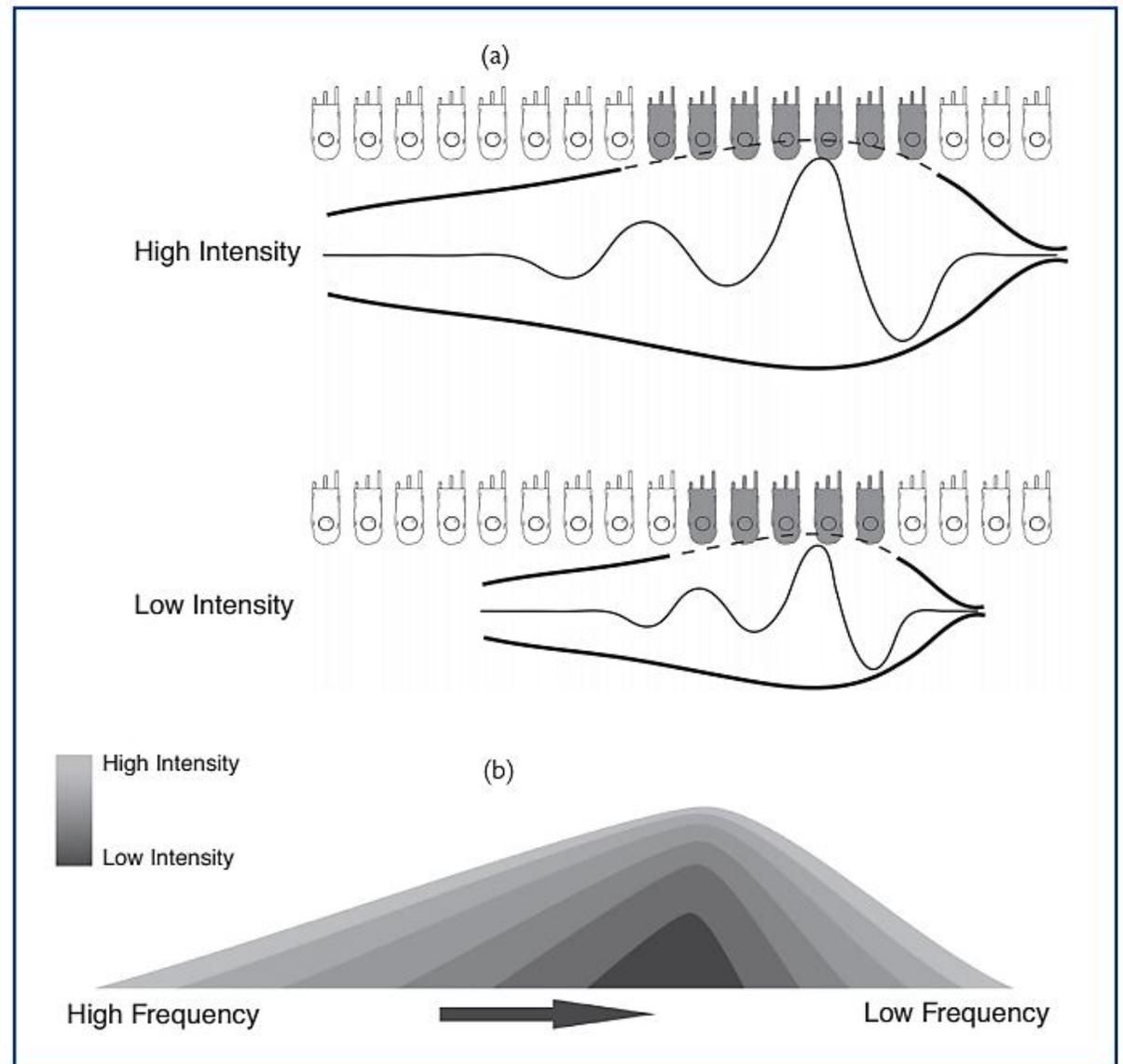


Figure 5-5. (a) The increase in the number of hair cells stimulated as the basilar membrane deflection increases with higher intensities. (b) Basilar membrane displacement associated with intensity increments. Note the amplitude compression, lack of sharpness, and greater displacement at the higher intensities.

Non-Linearity

اللاخطية في الغشاء القاعدي

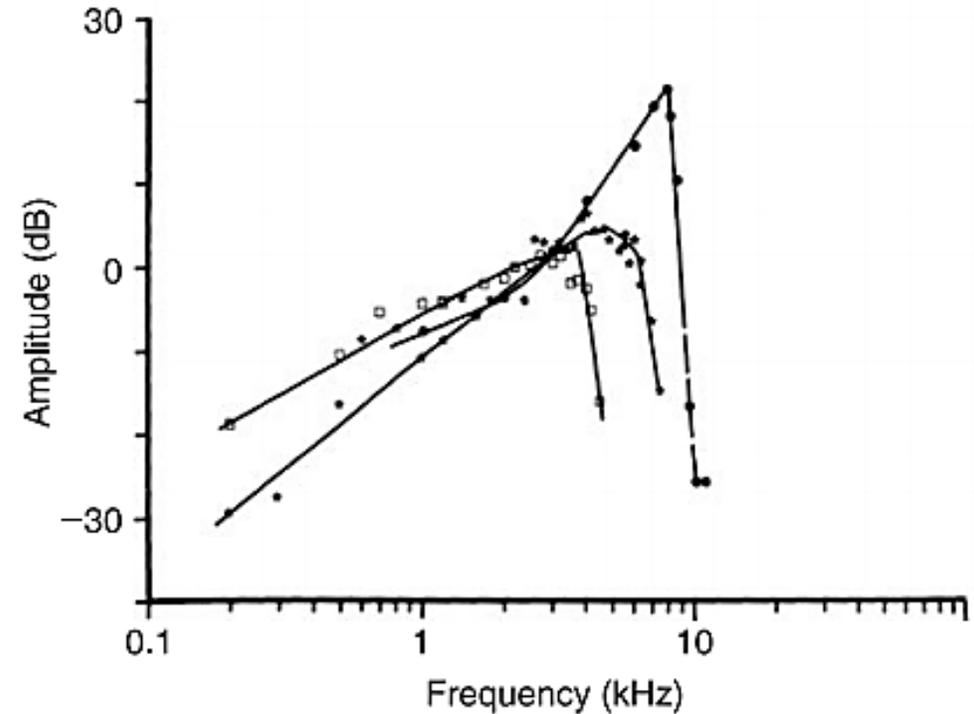
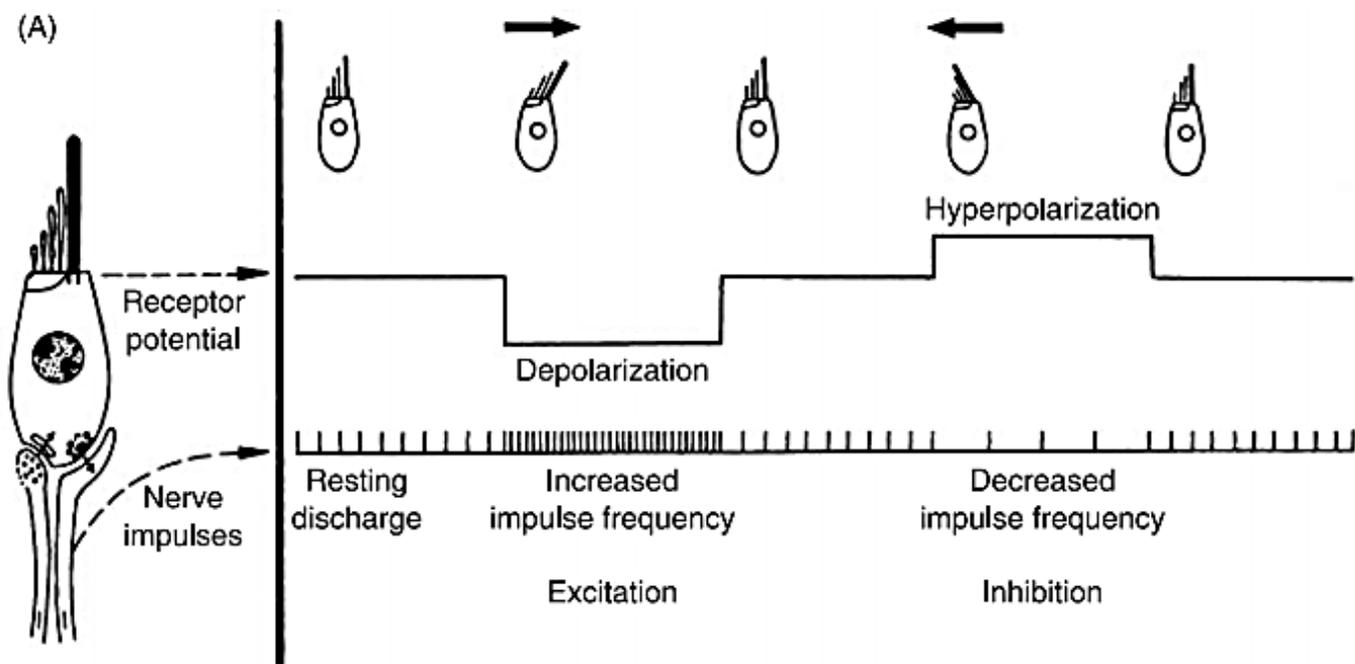
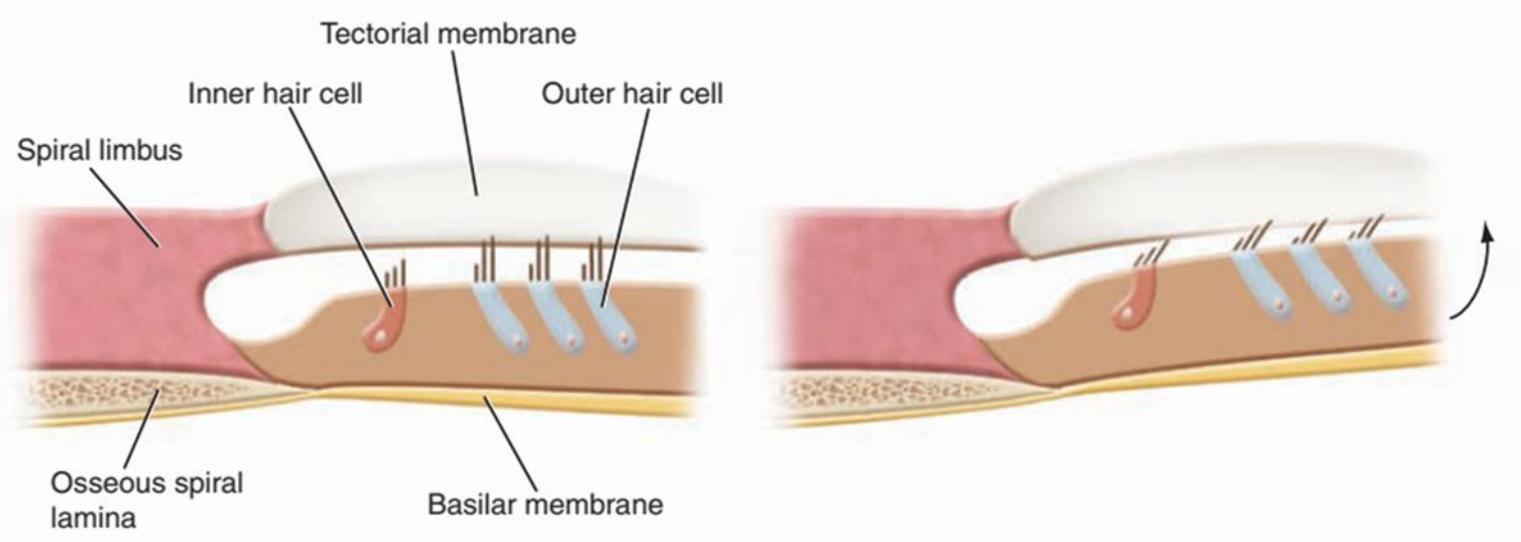


FIGURE 3.5 The amplitude of the displacement of the basilar membrane in a monkey obtained in a similar way as the results shown in Fig. 3.4. The top curve shows the results when the monkey was alive (anesthetized), and the two other curves show results obtained 1 h after the death of the monkey and 7 h after the death

آليات الخلايا المشعرة في الحلزون

- ينتج عن انزياح الغشاء القاعدي تشكل الموج المسافر الذي يسبب حركة اللمف الباطن حول الخلايا المشعرة الأمر الذي يؤدي إلى تحرك أهداب الخلايا المشعرة الداخلية وإطلاق سلسلة من التفاعلات التي تؤدي إلى تنبيه المشابك العصبية بين الخلايا المشعرة الداخلية ونهايات ألياف العصب السمعي فورية لتشكل كمون العمل الذي يطلق عملية انتقال الإشارة عبر السبيل السمعي المركزي .
- إن حركة الأهداب باتجاه الهدب المركزي تسبب تفعيل (نزع استقطاب) وبعيدا عنه تسبب تثبيط (فرط استقطاب).
- تختلف وظيفة الخلايا المشعرة الداخلية عن الخارجية : فالخلايا المشعرة الداخلية وظيفتها ترميز التواتر عبر ألياف العصب السمعي Frequency coding.
- أما الخلايا المشعرة الخارجية فتهتم بترميز الشدة Intensity coding، ولكن على ما يبدو فإنها لا تتفعل عندما تكون شدة الإشارة الصوتية الواردة أقل من 40 د سي بل SPL.
- إن فقدان الخلايا المشعرة الخارجية لوظيفتها لا يسبب فقداً كاملاً للسمع وإنما يؤدي إلى ارتفاع في عتبات السمع.



أي سؤال؟؟