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

دور الأذن الوسطى كناقل معاوق
Middle ear as impedance Transformer

- تمثل وظيفة الاذن الوسطى واحدة من أهم السيناريوهات الفيزيولوجية في البدن، فلو تخيلنا أن نريد التحدث الى شخص وهو تحت الماء فلن يسمعنا لأن معظم الصوت سوف ينعكس على سطح الماء الأمر نفسه بالنسبة للحلزون المليء بالسوائل فمن المفترض أن تنعكس كامل الموجة الصوتية عن سطح النافذة البيضية وذلك بسبب الاختلاف الواسع بين طبيعة الوسط الغازي للأذن الوسطى والسائل للحلزون.

- نظريا يمكن القول أن نقل الصوت الى النافذة البيضية يجب أن يتحسن بمقدار **36 ديسبل** اذا عملت الاذن الوسطى كناقل معاوق مثالي مع نسبة نقل صحيحة. أما واقعيا فإن نسبة نقل الاصوات في الاذن الوسطى لدى البشر تبتعد بشكل بسيط عن المثالية و ذلك بسبب ارتداد جزء من الصوت على غشاء الطبل و هذا يسبب خسارة في الصوت المنقول للقوقعة.

- إن العمل الناقل للمعاوقة في الاذن الوسطى ينجم بشكل أساسي عن فرق المساحة بين القسم الفعال من غشاء الطبل و الصفيحة القدمية للركابة بالإضافة لتدخل كل من تأثير الرافعة لعظيمات السمع والتواء غشاء الطبل.

- إن للاذن الوسطى كتلة Mass و صلابة Stiffness تجعل خواصها الناقلة معتمدة على تواتر الصوت.

آليات الأذن الوسطى

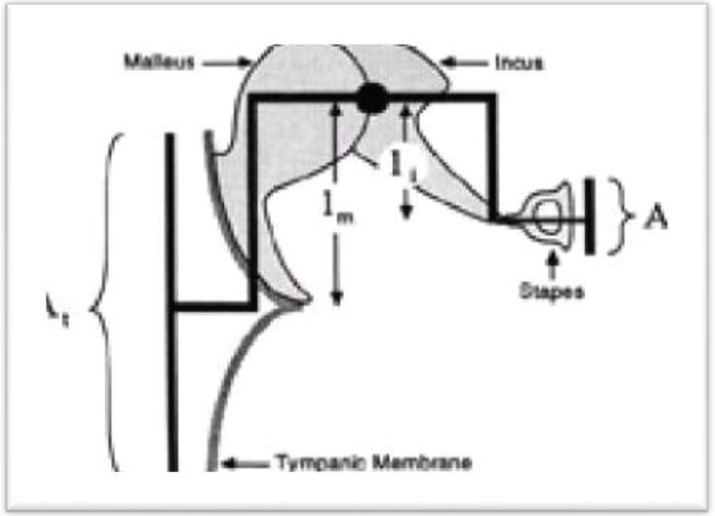
- لقد صممت آليات الأذن الوسطى لزيادة الضغط المقدم الى الحلزون وبالتالي التغلب على مقاومة جريان الطاقة المسمى بالمعاوقة Impedanceوكما نعلم أن:

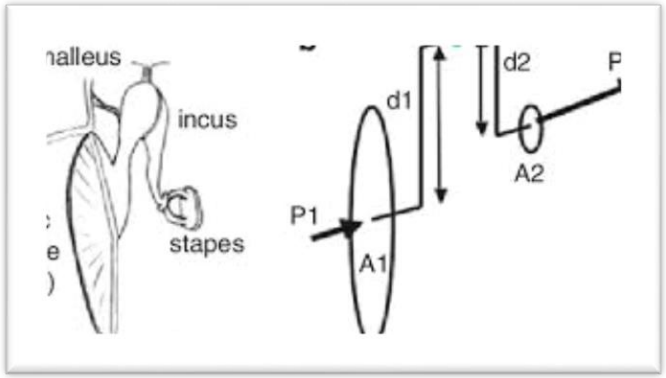
الضغط = القوة / السطح

- فإن زيادة الضغط تقوم على إما زيادة القوة أو إنقاص السطح وتقوم آلية الأذن الوسطى على الطريقة الثانية كوسيلة أساسية للتوفيق بين معاوقة الأذن الخارجية والداخلية وهي الوظيفة الأساسية للأذن الوسطى والتي تتمثل في التوفيق بين كلا الجهازين الناقلين الأذن الخارجية والحلزون.

- **ملاحظة أساسية**: إن نسبة مساحتي غشاء الطيل الى الصفيحة القدمية للركابة تعتمد على تواتر الصوت لأن القسم الفعال من غشاء الطبل و ليس سطحه التشريحي كاملا هو من يشكل نسبة النقل ومن هنا نبدأ بالتصور أن آليات الأذن الوسطى تعتمد على التواتر Frequency Dependent.

آليات الأذن الوسطى



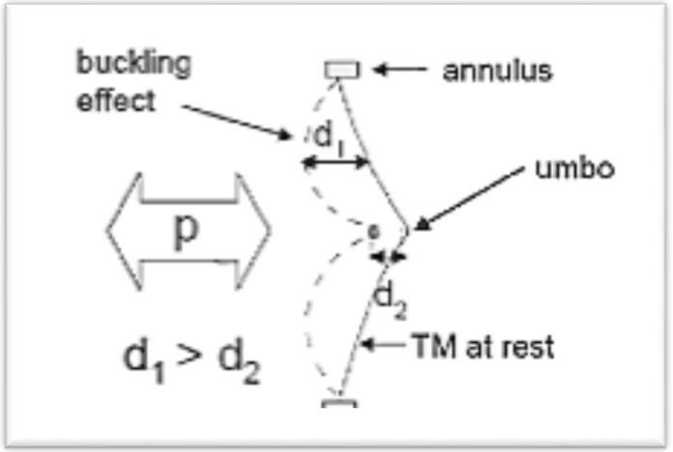


- تقوم الآلية الأولى للأذن الوسطى على مبدأ فرق المساحة Area difference بين غشاء الطبل والنافذة البيضية: حيث تبلغ المساحة الفعالة لغشاء الطبل بحدود ٥٥ مم مربع في حين تبلغ مساحة النافذة البيضية حوالي ٣.٢ مم مربع مما يجعل غشاء الطبل أكبر ب ١٧ مرة من النافذة البيضية وعليه فإن الطاقة الصوتية الواصلة الى غشاء الطبل يتم تجميعها كالقمع باتجاه السطح الأصغر للنافذة البيضية مما يحقق كسب وقدره ١٧ الى ١ والذي يقدر بزيادة حوالي ٢٥ ديسبل.
- أما الآلية الثانية للأذن الوسطى فتعتمد على فرق الرافعة Lever difference حيث أن طول قبضة المطرقة يبلغ حوالي ٩ مم أما طول النائئ الطويل للسندان فهو حوالي ٧ مم مما يعطي كسب قدره ب١/٢ والدي يقدر بزيادة حوالي ٢ ديسبل.

آليات الأذن الوسطى

- أما الآلية الثالثة فتتمثل بالتواء غشاء الطبل: Buckling حيث أنه عندما تصل الموجة الصوتية لتحرك غشاء الطبل فإنه يلتوي قليلا دافعا قبضة المطرقة قليلا الى أبعد من غشاء الطبل المتحرك مؤدياً إلى كسب وزيادة في الضغط بحدود ٤-٦ ديسبل.

- مجتمعةً معا فإن: فرق الصفحة - الرافعة والالتواء تسبب كسب يقدر بحدود ٣١ ديسبل من غشاء الطبل وصولا الى الحلزون وذلك حسب تواتر المنبه وعليه فإن غياب الأذن الوسطى سيحتم خسارة تضخيم بحدود ٣١ ديسبل من مجرى السمع إلى الحلزون أي أن الوظيفة المحولة (المعدلة) Transforming للأذن الوسطى هامة جداً لحدوث السمع audition وأن العوامل التي تسبب اضطراب وظيفة الأذن (حالات الالتهاب – التصلب - الورم الكبي الوداجي) يكون لها تأثير خطير على آليات نقل الصوت إلى الأذن الداخلية.



The footplate of stapes acts like a small piston on the cochlear fluid through a membraneous connection that seals the oval window of the cochlea. The buckling motion of the tympanic membrane decreases the velocity two-fold and increases the force two-fold, changing the impedance ratio four-fold.

- إن كفاءة الاذن الوسطى كناقل معاوق تعتمد على تواتر الصوت حيث تعيق صلابة الاذن الوسطى الحركة عند سماع الأصوات ذات التواتر المنخفض بينما تخمد الكتلة الحركة عند ورود الاهتزازات ذات التواتر المرتفع.
- يتسبب الاحتكاك في الأذن الوسطى في فقدان الطاقة بشكل مستقل عن تواترالصوت.
- إن نسبة الرافعة قد تكون متعلقة بتواتر الصوت لأن نمط اهتزاز السلسلة العظمية يختلف باختلاف تواترالصوت المسموع .
- تتعلق مساحة المنطقة الفعالة من غشاء الطبل بتواترالصوت المسموع وهذا بدوره يقود الى اعتماد ناقلية الأذن الوسطى على تواتر الصوت.
- بما أن نقل الصوت عبر الأذن الوسطى يعتمد على تواتره، فان عمل الاذن الوسطى كناقل للاهتزازات الصوتية لا يمكن تقديره أو التعبيرعنه برقم واحد ثابت بل يجب التعبير عن نسبة نقل الصوت في الأذن الوسطى على انه تابع للتواتر، وهو ما يسمى وظيفة النقل (التحويل) Transformation .

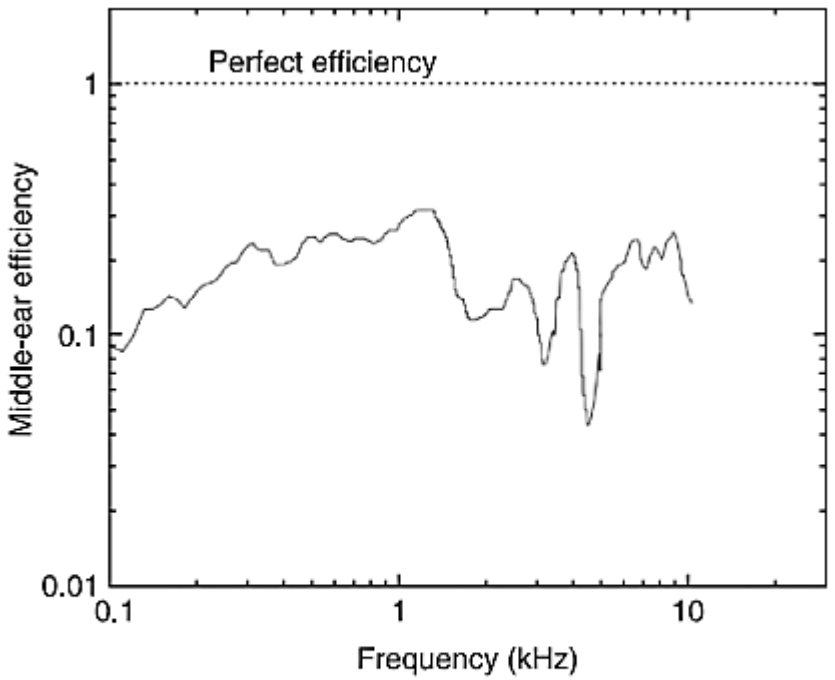


FIGURE 2.9 The efficiency of the cat's middle ear, showing the fraction of sound power entering the middle ear that is delivered to the cochlea (after Rosowski, 1991, with permission from the American Institute of Physics).

تجارب على الحيوانات المخدرة والجثث البشرية

- إن تقدير الكسب الذي تحرزه الأذن الوسطى يختلف باختلاف الأبحاث المجراة حيث لوحظ وجود اختلافات جوهرية بين النتائج التي تم الحصول عليها بين البشر و الحيوانات .
- إن كفاءة النقل في الأذن الوسطى البشرية الكلية هي حوالي 10 ديسيبل تقريبًا أقل من القدرة المثالية لنقل الترددات حتى 200 هرتز وإن أعلى كفاءة لها قد تم الوصول إليها هي حول التواتر1 كيلو هرتز حيث تكون حوالي 3 ديسيبل أقل من المعاوقة المثالية للنقل.
- هذا يعني أن الأذن الوسطى تنقل ما يقارب ثلث الطاقة الصوتية إلى القوقعة في نطاق هذا التواتر.
- أظهرت التجارب على القطط أنه فوق فوق تواتر ال 1.5 كيلو هرتز تختلف الكفاءة في النقل (كنسبة مئوية من الطاقة المنقولة إلى القوقعة) حوالي 20٪ عنها عند التواتر 4 كيلو هرتز مما يعني ضياع في الطاقة حدود 7 - 14 ديسيبل).

تجارب على الحيوانات المخدرة والجثث البشرية

- في التجارب المذكورة أعلاه، تم ايصال المنبه الصوتي إلى نافذة واحدة فقط من نافذتي القوقعة في وقت واحد كما يحدث في الحالة الفزيولوجية حيث يصل الصوت إلى النافذة البيضية.

- لو أن الصوت تم ايصاله الى جوف الاذن الوسطى سينكون امام وضع مختلف حيث ان الصوت سيتوزع على النافذتين البيضية و المدورة بنفس الشدة تقريبا.

- إن القياس المباشر لنقل الصوت عبر الاذن الوسطى كتابع للتواتر تمت تجربته لدى حيوانات تم تخديرها و كذلك على جثث البشر. لقد تمت دراسة وظيفة النقل عبر الاذن الوسطى عند الفئران المخدرة بقياس مدى (سعة) اهتزاز الركابة باستخدام مجهر مزود باضاءة ستروبوسكوب او باستخدام بروب سعوي لقياس اهتزاز النافذة المدورة

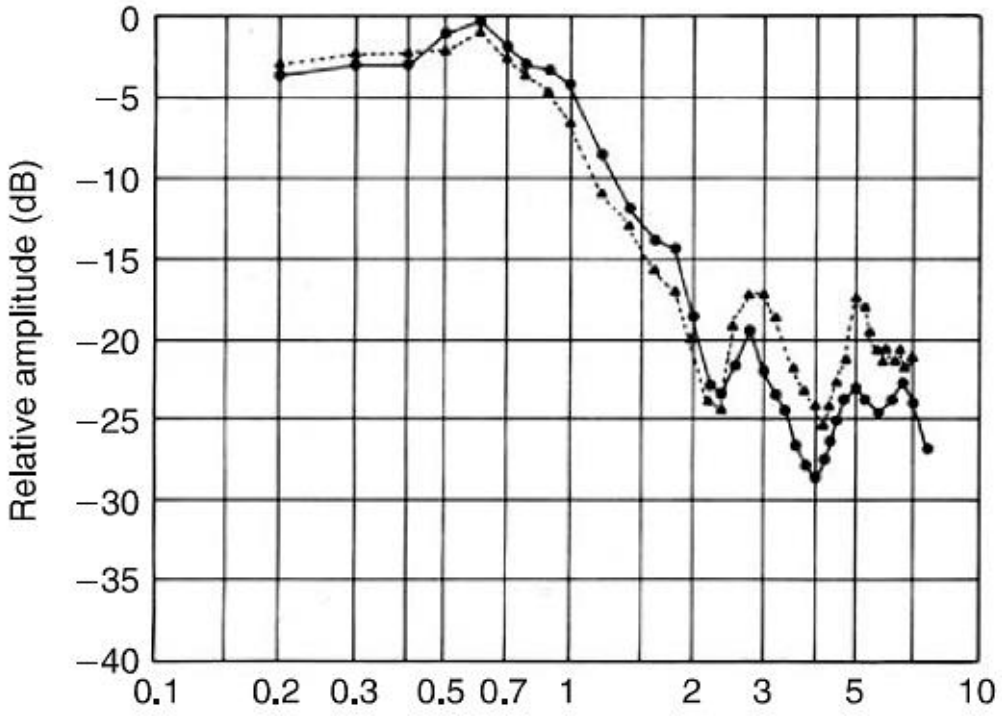
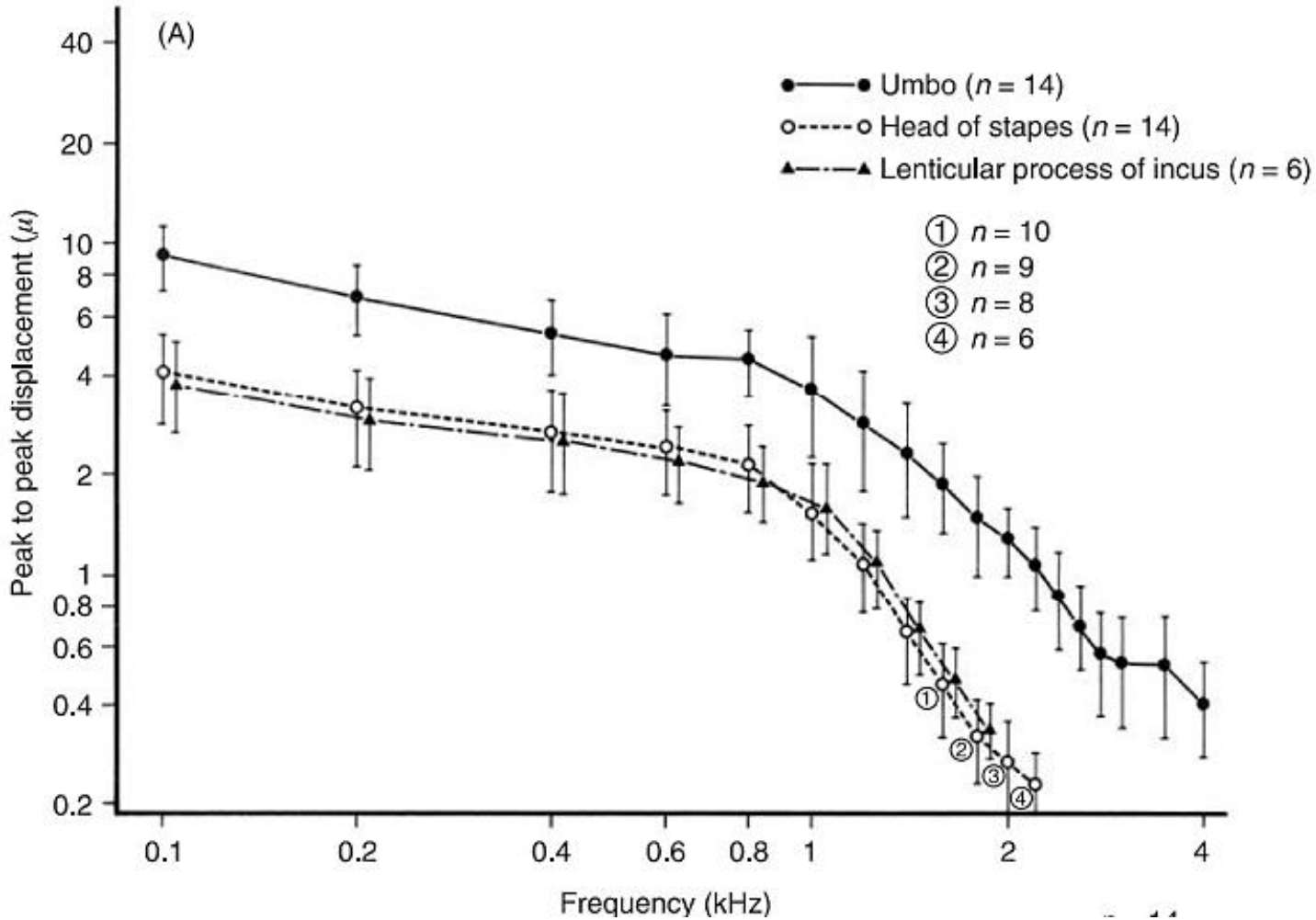


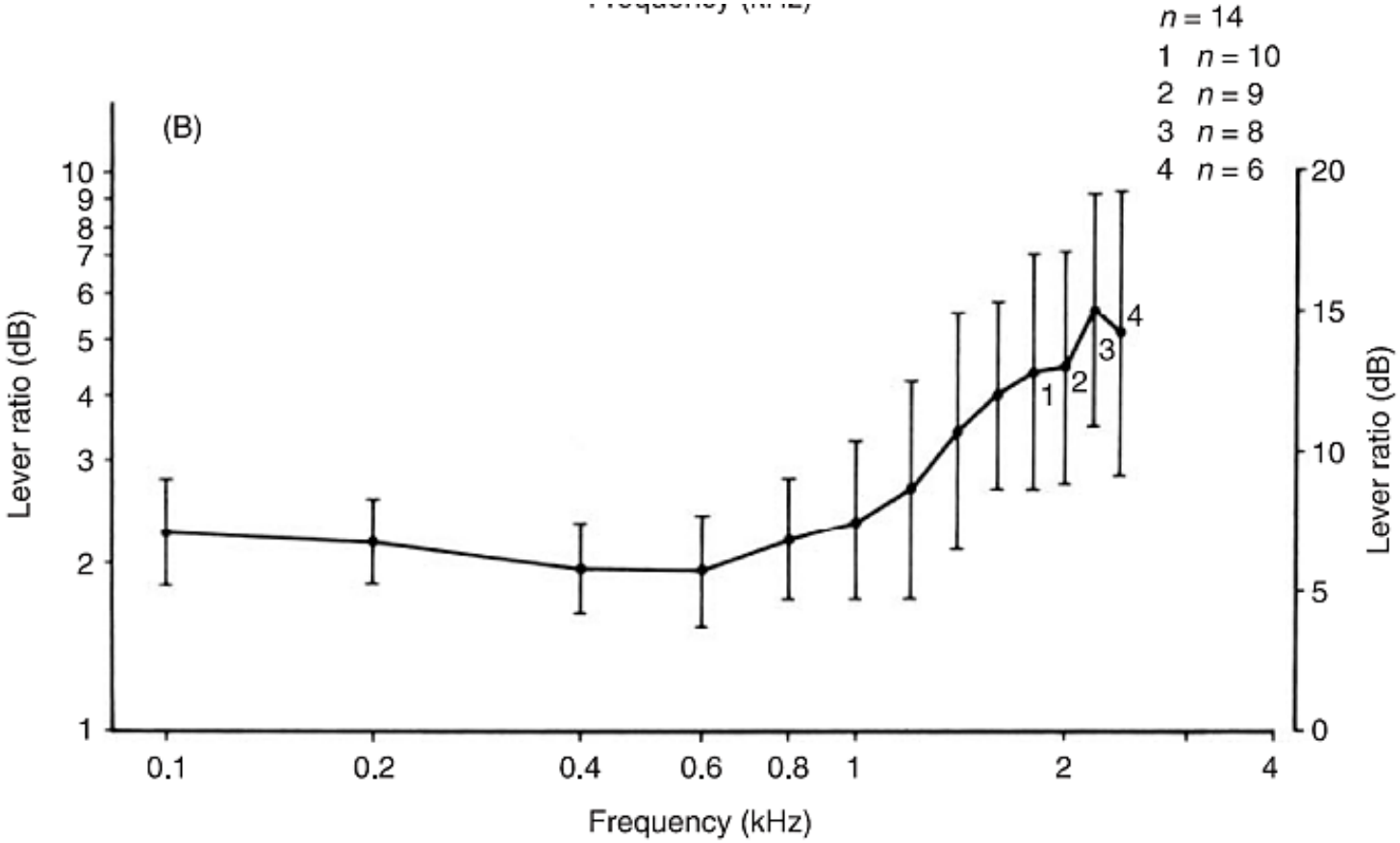
FIGURE 2.11 Vibration amplitude of the round window (circles and solid lines) and the incus (triangles and dashed lines) of the ear of a cat, for constant sound pressure at the tympanic membrane. The vibration amplitude was measured using a capacitive probe (from Møller, 1983; based on Møller, 1963, with permission from the American Institute of Physics).

وظيفة النقل للأذن الوسطى البشرية

- تختلف الأذن الوسطى عند البشر عنها عند الحيوانات، وهي التي تستخدم عادة في التجارب السمعية، وهذا يجعل من المهم التمييز بين النتائج التي تم الحصول عليها بين البشر والحيوانات.
- إن اول الدراسات حول وظيفة النقل في الاذن الوسطى تمت من قبل فون بيكسي عام 1941. حيث تقتصر دراسة وظيفة نقل الأذن الوسطى البشرية على الدراسات في الجثث.
- إن سعة اهتزاز العظيمات السمعية ثابت تقريبا عند التواترات المنخفضة حتى 900 هرتز. هذه النتائج مشابهة لتلك التي تم الحصول عليها من قبل فون بيكيسي قبل 50 عامًا تقريبًا.وان هذا التشابه بين هذه النتائج وتلك التي تم الحصول عليها باستخدام التقنيات الحديثة ملفت للنظر في ضوء الصعوبات التقنية المرتبطة بهذا القياس في ذلك الوقت الذي أجرى فيه فون بيكيسي هذه الدراسات.
- أي اختلاف في نتائج الدراسات المختلفة يمكن أن يعزى للاختلاف في طبيعة غشاء الطبل بين الأشخاص.
- إن الاختلافات في نتائج دراسات وظيفة الاذن الوسطى تشير الى ان هذه الوظيفة اعقد من ان يتم التعبير عنها تبعا لبعض العوامل كالكتلة و الصلابة لذلك فقد نشأت عدة نماذج للاذن الوسطى خلال العقود الأخيرة للتعبير عن هذا التعقيد.



شكل يوضح النسبة بين سعة الاهتزاز للعظميات (السرة والركابة) في اذن الجثة البشرية و ضغط الصوت بجانب غشاء الطبل.



شكل يوضح نسبة تأثير الرافعة مقابل موجة صوتية ذات ضغط 124 ديسبل spl بجانب غشاء الطبل.

المعاوقة السمعية للأذن الوسطى

- إن المعاوقة السمعية للأذن تعبر عن مقاومة غشاء الطبل للاستجابة للمنبه الصوتي.
- إن دراسة المعاوقة السمعية للأذن يمكنها أن تعطي لمحة هامة حول عمل الأذن الوسطى تتضمن دور كل من أجزاء الأذن الوسطى لإبصال الاهتزازت إلى سائل اللمف.
- إن دراسة المعاوقة السمعية للأذن مهم أيضا لدراسة أمراض الأذن الوسطى حيث أنه لا يقتصر على البحث العلمي و إنما يتعداه إلى الممارسة السريرية الروتينية حيث أن اختبار مخطط الطبلة Tympanometry يستخدم في العيادات لتقييم وظيفة الأذن الوسطى و تحديد ضغط الهواء في جوف الاذن الوسطى.
- كما ان قياس التبدلات في معاوقة الاذن الوسطى السمعية يستخدم لتسجيل تقلصات عضلات الاذن الوسطى و هذا ما يعرف بمنعكس الركابة وله استخداماته في تشخيص الاضطرابات الاذنية العصبية.

العبور Immittance

- وهو مصطلح يمثل مركبا لمفهومين أساسيين في علم الصوتيات وهما المعاوقة Impedance والقبول أو التسهيل Admittance.
- Acoustic Immittance: وهي مفهوم يعبر عن كمية طاقة الصوت التي تعبر الوسط بغض النظر عن طريقة قياسها.
- المعاوقة السمعية Acoustic impedance: وهي ممانعة الأذن الوسطى لعبور الصوت خلالها إلى حد معين.
- القبول Acoustic Admittance: وهي كمية الطاقة المنتقلة من اهتزاز غشاء الطبل بفعل تغيرات ضغط الموجة الصوتية والواصلة إلى الحلزون وتسبب حركة السوائل فيه. (أي مقدار الطاقة الواصلة من الموجة الصوتية عبر الأذن الوسطى).
- المطاوعة Compliance: وهي خصائص الأذن الوسطى التي تيسر انتقال الصوت عبرها.
- خلاصة عمليتي الممانعة والتسهيل تحدد كمية أو مقدار الطاقة الصوتية التي تعبر الأذن الوسطى وتقدم للأذن الداخلية.

العلاقة بين المفاهيم السابقة

Immittance Relationships

	Probe tone energy passed	Probe tone energy reflected	Compliance
High impedance	Low	High	Low
Low impedance	High	Low	High

ما هي المعاوقة السمعية؟

- **المعاوقة السمعية** هي ممانعة الوسط لحركة الموجة الطولية.
- يعتمد مقدار المعاوقة على كل من خصائص الوسط ونوع الموجة المنتشرة عبره. وهي تميز العلاقة بين ضغط الصوت المطبق وسرعة الجسيم الناتجة عنه و تسمى هذه الممانعة بالمعاوقة الصوتية النوعية (Specific acoustic impedance) للوسط لأنها تميز الوسط نفسه.
- بماذا يذكر هذا النموذج؟

$$z(x) = \frac{p(x)}{u(x)}$$

Air Pressure

Specific Acoustic Impedance

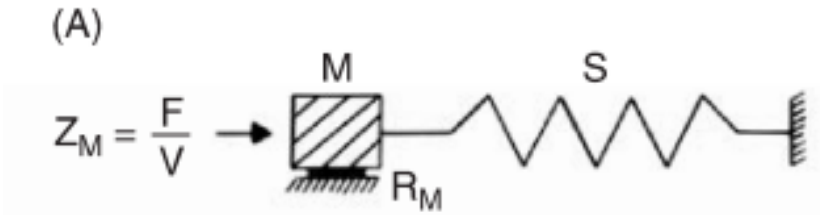
Longitudinal Particle Velocity

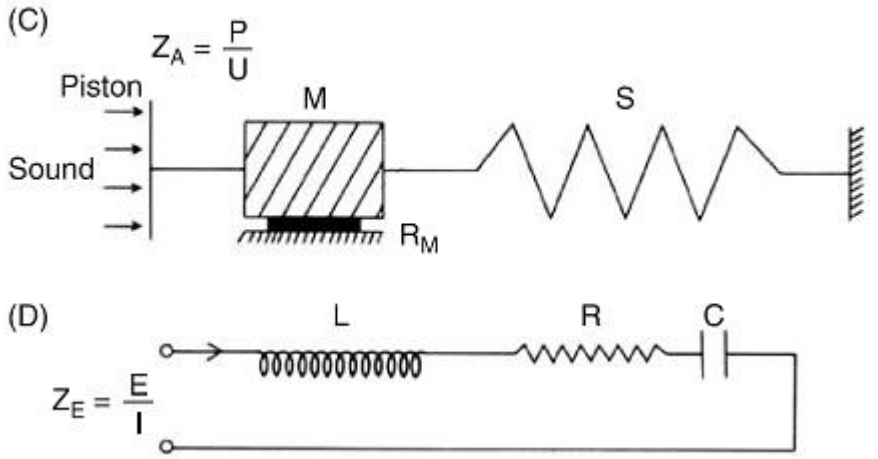
Electrical versus Mechanical systems

- Electrical circuits and mechanical systems are analogous in many ways. Thus in an electrical circuit, electrical current corresponds to vibration velocity and electrical voltage corresponds to mechanical force. The mechanical impedance, Z, is therefore the ratio between force, F, and velocity, V.
- Mechanical friction corresponds to an electrical resistance, mass (or inertia) corresponds to inductance and a spring (elasticity) to capacitance.
- In an acoustic system, volume velocity corresponds to electrical current, sound pressure corresponds to voltage and friction corresponds to electrical resistance. The acoustic impedance is thus the ratio between sound pressure and volume velocity.

تمثيل المعاوقة السمعية وفق نموذج ميكانيكي

- عند تمثيل المعاوقة السمعية حسبما تم شرحه، نجد ان الأذن الوسطى بآلياتها تتحول إلى نظام ناقل صوتي يطبق قوة ميكانيكية على الحلزون، وأن هذه القوة تصل إليه من خلال حركة بستونية لغشاء الطبل على الكتلة الأساسية Mass، وبالتالي في حال كانت حركة غشاء الطبل بستونية بشكل مثالي سنجد أن المعاوقة الميكانيكية هي عبارة عن المعاوقة الصوتية مقسمة على مساحة غشاء الطبل.
- وبالتالي لفهم العلاقة بين المعاوقة السمعية والآليات الميكانيكية في الأذن الوسطى يجب تصميم نموذج يحقق كامل محتويات هذا النظام وهي: الكتلة، الاحتكاك، المرونة أو النابض، والبستون كما في الشكل أدناه.



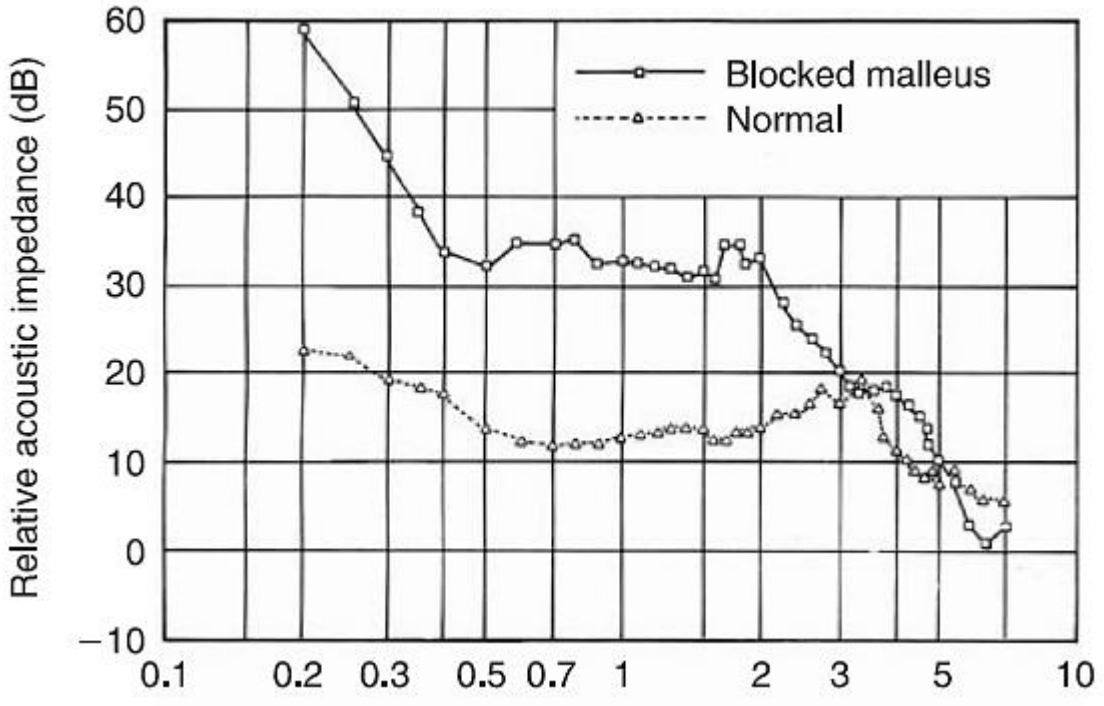


مكونات المعاوقة السمعية

- يعرف التسهيل أو الناقلية admittance, Y, بأنها معكوس المعاوقة impedance, 1/Z. وتعرف أيضا بالمطاوعة compliance.
- كهربائيا تعرف الناقلية أو المطاوعة بمقدار التسهيل أمام جربان التيار واما ميكانيكيا فهي تعبر عن مقدار السهولة في إطلاق الاهتزاز في جسم ميكانيكي بفعل قوة خارجية.
- كهربائيا تعرف الناقلية بأنها حاصل قسمة الجريان على الفولتاج، أما ميكانيكيا فهي حاصل قسمة سرعة الاهتزاز على القوة.
- المطاوعة الصوتية هي حاصل قسمة السرعة الحجمية Volume Velocity على ضغط الصوت.
- في الواقع لكل وسط ميكانيكي ناقليته النوعية التي يمكن قياسها وفق ماسبق ذكره، ولكن في الأذن الوسطى إن هذه القياسات لن تكون واقعية ومفيدة سريريا سواء بالدراسات الحيوانية أو على البشر إلا إذا تم دراستها وظيفيا بالمقارنة مع العوامل والأليات الأخرى في الأذن الوسطى كضغط الهواء وحجم الجوف وأي آلية غمراضية أخرى تؤثر على الكتلة أو القساوة.
- كل هذه التفاصيل سيتم دراستها والتوسع بها في الفصل القادم في مقرر المعاوقة السمعية وقياس الطبلة.

دور كل من الأجزاء المختلفة للاذن الوسطى في معاوقتها

- تمت دراسة هذا الدور عند الحيوانات بسبب الإمكانية المحدودة لإجراء هذه الدراسات عند البشر . إن انعدام حركية عظيمات السمع الذي يحدث لدى مرضى تصلب العظيمات تم استخدامه لوضع نماذج كهربية و رياضية للاذن الوسطى البشرية.
- تمت دراسة خصائص غشاء الطبل بقياس معاوقة الاذن عند منع الاهتزاز من الوصول إلى قبضة المطرقة بالتالي تعبر معاوقة الاذن عندها عن غشاء الطبل بذاته.
- عند القطط، تكون المعاوقة الصوتية لغشاء الطبل مع تثبيت المطرقة عالية جدًا للتواترات التي تقل عن 3 كيلو هرتز مما يشير إلى أنه يعمل بطريقة مماثلة لبستون صلب عند هذه التواترات.



دور كل من الأجزاء المختلفة للاذن الوسطى في معاوقتها

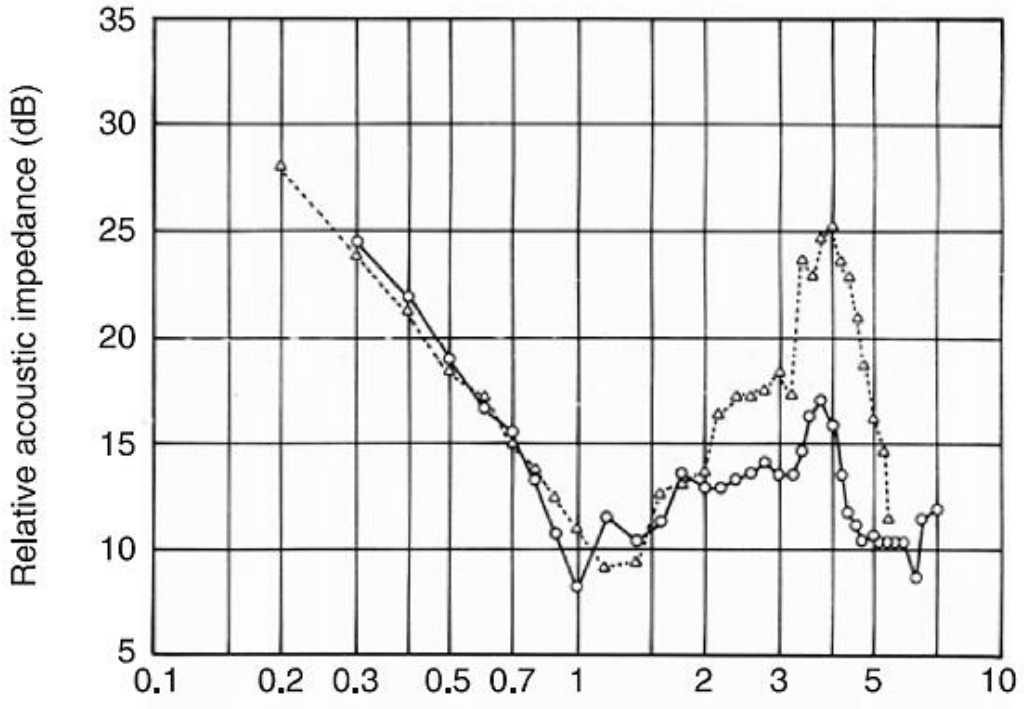


FIGURE 2.18 Comparison of the acoustic impedance at the tympanic membrane with the inverse velocity of the malleus for constant sound pressure at the tympanic membrane in a cat. The impedance is given in decibels relative to 100 cgs units and the inverse vibration velocity is given in arbitrary decibel values. Circles = accoustic impedance at the tympanic membrane; triangles = sound pressure at the tympanic membrane divided by the veloicty of the malleus (reprinted from Møller, 1963, with permission from the American Institute of Physics).

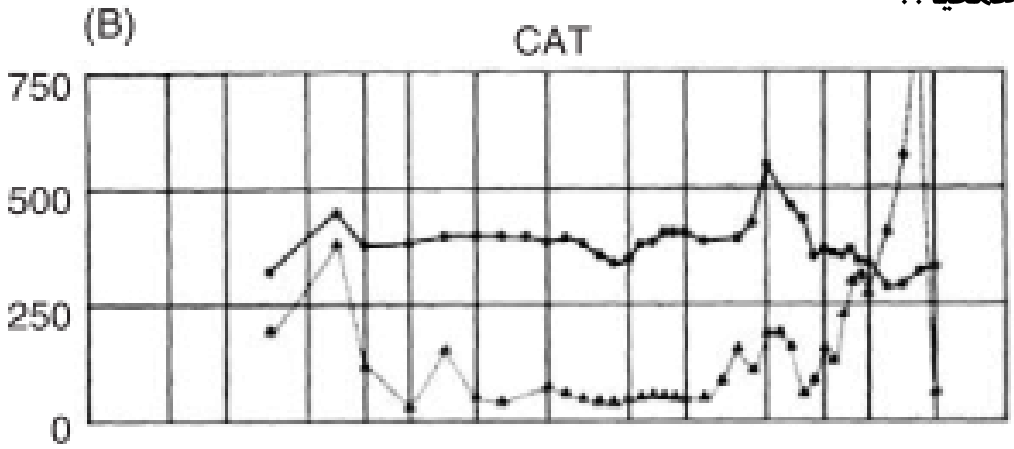
- إن مقارنة المعاوقة السمعية للأذن مع سرعة اهتزاز المطرقة عند التعرض لضغط صوتي ثابت تعطي معلومات حول قدرة غشاء الطبل على تحويل الصوت الى اهتزازات لقبضة المطرقة.
- ان المخططين في الشكل يظهران أن المعاوقة السمعية و مقلوب السرعة (كفهوم معاكس للاهتزاز) لمطرقة أذن القطة يكونان متطابقين عند سماع الأصوات ذات التواتر المنخفض (حتى 2 كيلوهرتز تقريبا) و يفترقان على التواترات الأعلى مما يشير الى أن غشاء الطبل يعمل بشكل مشابه للبستون الصلب للتواترات الأقل من 2 كيلو هرتز.
- طبعا هذه النتائج لايمكن تعميمها على الأذن البشرية بسبب اختلاف طبيعة وقساوة ونمط اهتزاز غشاء الطبل بين البشر والقطط.

دور كل من الأجزاء المختلفة للاذن الوسطى في معاوقتها

- بين الدراسات على الأذن البشرية عند الجثة بأن الأصوات ذات التواتر المرتفع تحرك مساحة أقل من غشاء الطبل نسبة بالأصوات ذات التواتر المنخفض. وبالتالي يكون الدور المعاوق لغشاء الطبل أكبر على التواترات المرتفعة منها في المنخفضة (العلاقة بين المعاوقة النوعية ومساحة غشاء الطبل الفعالة).

- في تجارب على الأرانب والقطط تم إجراء تفريق اتصال بين السندان والركابة مما تسبب بنقص كبير في المعاوقة على التواترات أقل من 4000 هرتز لقيم صغيرة جدا (انظر الشكل) مما يؤكد أن العامل الأساسي لقوى الاحتكاك المعيقة يتمثل في سوائل الحلزون وما تطبقه من احتكاك عبر الركابة على السلسلة العظمية. في حين يبدو تأثير هذا القطع على التواترات أعلى من 4 كيلوهرتز معقدا وغير مفهوما بل ومعكوسا أحيانا.

- إن إزالة الاحتكاك من الأذن الوسطى يجعلها وسطا رنانا بشكل ملحوظ. فهل هذا مفيد سمعيا؟!



دور كل من الأجزاء المختلفة للاذن الوسطى في معاوقتها

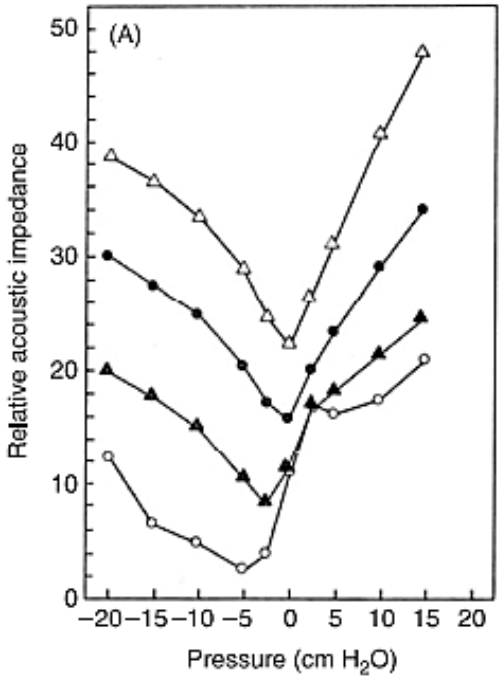
- أظهرت التجارب على الحيوانات أن المكون التفاعلي لمعاوقة الاذن للاصوات ذات التواترات الأقل من 3 كيلوهرتز ينقص عند فتح جوف الاذن الوسطى و هذا يعود لأن جوف الاذن الوسطى يضيف قساوة للاذن الوسطى. إن ضغط الهواء في الاذن الوسطى يكون مماثلا للضغط المحيط و تتم المحافظة على هذا التساوي بالضغوط عبر نفير اوستاش و عندما يحدث اختلاف في الضغط على جانبي غشاء الطبل تضطرب وظيفة الاذن الوسطى مسببة نقصا في نقل الاهتزازات الى القوقعة و تتغير المعاوقة السمعية.

- يكون تأثير تبدل الضغط في الأذن الوسطى أكثر وضوحا على الأصوات ذات التواتر المنخفض مقارنة بالاصوات ذات التواتر المرتفع و هو أكبر عند وجود ضغط سلبي في الاذن الوسطى مقارنة بوجود ضغط إيجابي (مقارنة بضغط مجرى السمع الظاهر).

- إذا أي تبدل في ضغط الأذن الوسطى يسبب ازدياد في المعاوقة والتي تكون بأدنى مقدار

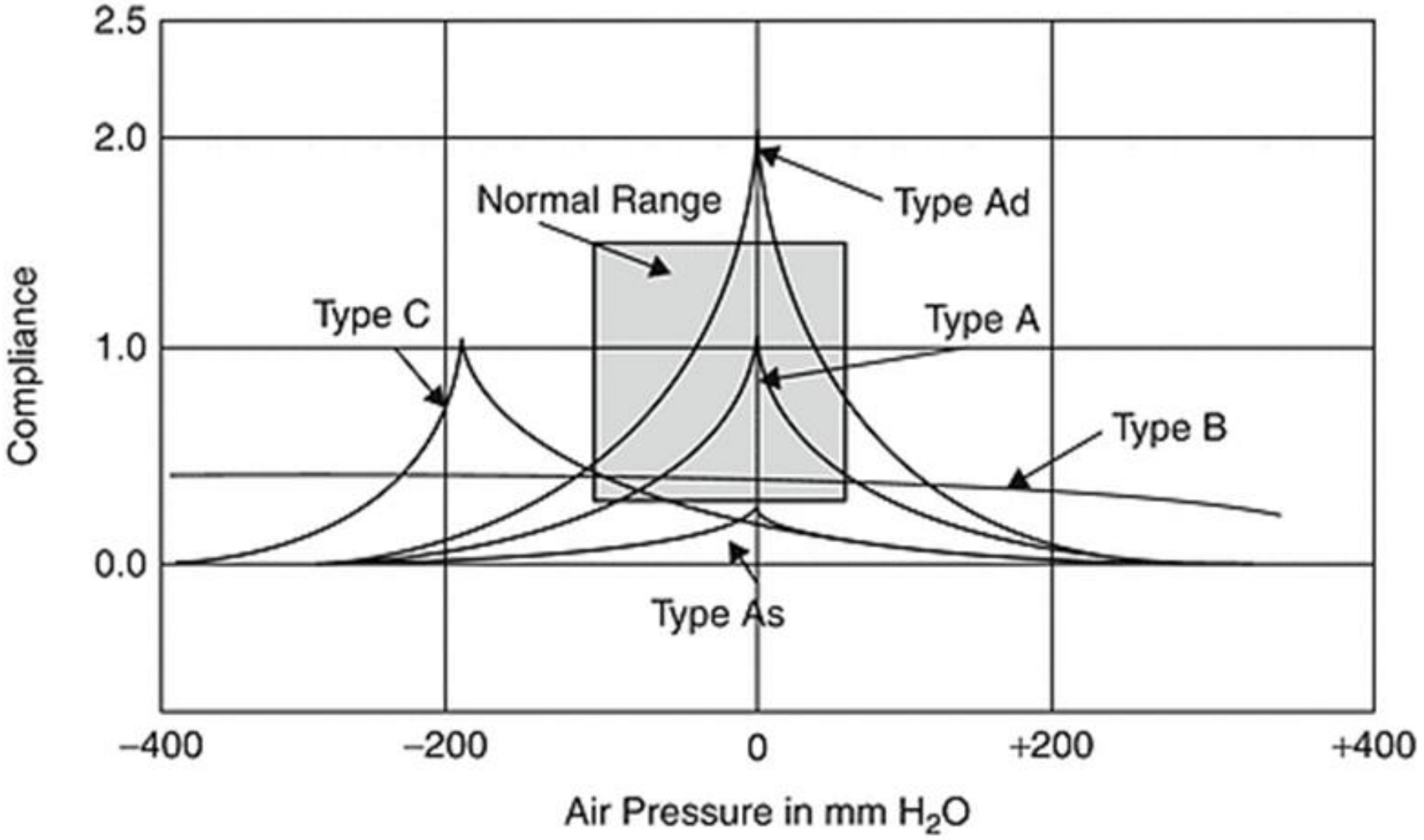
عند تساوي الضغط على طرفي غشاء الطبل. وهذا مبدأ هام في تبدل نتائج قياس الطبلة

Tympanometry حسب حالة الأذن الوسطى.



Open triangles = 0.5 kHz; filled circles = 1 kHz; filled triangles = 2 kHz; open circles = 3 kHz

Tympanometry



دور عضلات الأذن الوسطى

- تنقبض عضلات الأذن الوسطى عادةً كرد فعل للصوت المرتفع الشدة يسمى المنعكس السمعي Acoustic Reflex.
- إن انقباض العضلة موترة الطبلة يسحب قبضة المطرقة إلى الداخل، مما يزيد من صلابة الأذن الوسطى و يسبب انزياح غشاء الطبل إلى الانسي.
- بينما تسحب العضلة الركابية الركابة في الاتجاه الذي هو عمودي على حركتها البستونية الشكل مما يتسبب في حركة انزلاقية في المفصل السنداني الركابي.
- إن هاتين الآليتين تسميات آليات توهين الصوت في الأذن الوسطى وتعملان بشكل انعكاسي بهدف حماية الأذن من انتقال الأصوات الشديدة إلى الحلزون وحدوث أذية سمعيا ولكن في الحقيقة لهما دور مفصل أبعد من ذلك يتم دراسته في مقرر لاحق.
- أظهرت الدراسات الحيوانية بأن تقلص العضلة موترة الطبلة يسبب انسحاب غشاء الطبل للداخل وإنقاص نقل الصوت وزيادة المعاوقة في الأذن الوسطى. في حين يؤدي تقلص العضلة الركابية إلى نقصان النقل وزيادة المعاوقة بدون التأثير على حركية غشاء الطبل.

دور عضلات الأذن الوسطى

- إن تقلص العضلتين معا يسبب ازدياد كبير في المعاوقة دون تأثر مهم في حركة غشاء الطبل بسبب معاكسة عمل الركابية لموترة الطبلة في تحريكه.
- تتقلص العضلة موترة الطبلة مع البلع وانفتاح نفير اوستاش لتسهل تبدل الهواء في الأذن الوسطى وتعويض الكسجين الممتص من المخاطية.
- يكون تأثير تقلص العضلة الركابية أشد على التواترات المنخفضة للأصوات العادية في حين يمتد للتواترات المرتفعة أيضا للأصوات الشديدة.
- قد يكون للمنعكس الركابي على التواترات المنخفضة أهمية في عدم سماع الأصوات منخفضة التواتر داخل الرأس والتي من المفترض أنها مزعجة للشخص.
- قدرت التجارب الحيوانية على القطط بان مقدار التوهين الذي يؤمنه المنعكس الركابي يتراوح بين 8-10 ديسبل.

أي سؤال ؟؟