جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Essentials of Audiology 5

Audiometric Sound Sources

Dr. Samer Mohsen

MD., ENT, PhD OF Audiology

Faculty member and Vice Dean in Damascus University

May 2021

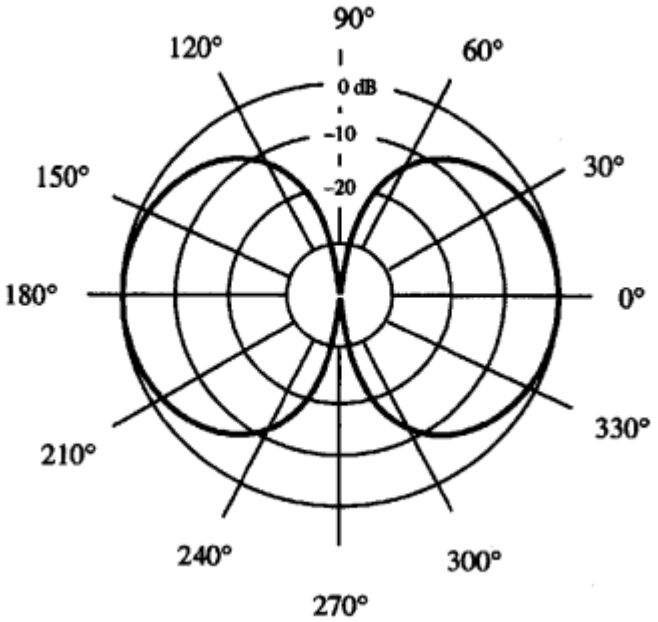
مصادر الصوت الأساسية

- **المصدر البسيط Simple Source:**

هو أي أداة مهتزة أو أي اضطراب موضع في جزيئات الهواء ينتقل على شكل موجة هو مصدر بسيط للأصوات. أغلب المصادر البسيطة للصوت تكون صغيرة نسبة لطول موجة الصوت الذي تولده وبالتالي تؤمن انتشار الصوت دون حدوث تأثير الظل shadow الذي يحذف أو يخمد الصوت ويشترط هنا أيضاً أن يكون المنبع بعيداً وفي حال كان المنبع الصوتي قريباً سيحدث تداخل وعدم تجانس في انتشار الموجة الصوتية. وبالتالي المصدر البسيط للصوت هو الذي ينتشر بشكل متجانس ويكون المنبع بعيداً كما في حالة الحقل الحر free field.

مصادر الصوت الأساسية

- **المصدر المزدوج double source**



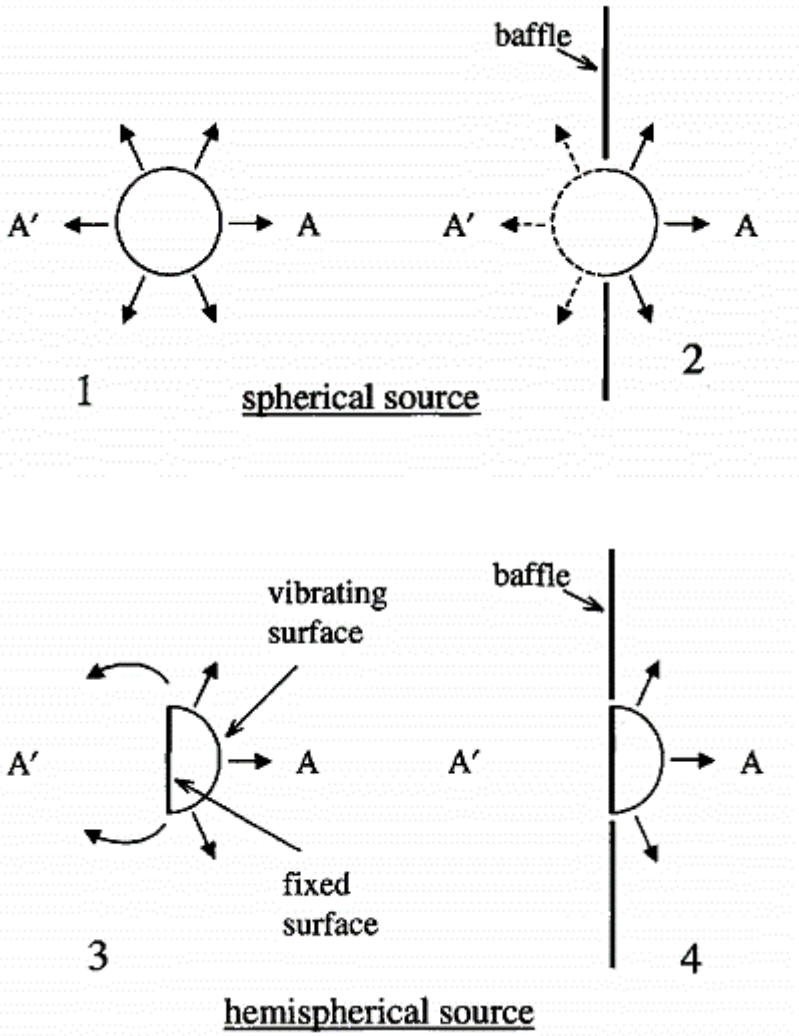
– يحدث عندما يتم إنتاج الصوت من خلال اهتزاز سطحين متقابلين مسبباً حركة الاهتزاز باتجاه معاكس بالطور anti–phase.

– مثال 1: لو استخدم مكبر الصوت بدون وضع السطح الحاجز baffle فإن ذلك سيسبب انتشار الصوت من ارتطامه بسطحين متقابلين للمخروط (الجهاز)

– مثال 2: عند نقص شعبتي الرنانة tuning fork يحدث اهتزاز كلا السطحين مسبباً تداخل بالموجتين الصوتيتين وكما أصبح معروفاً هذا التداخل قد أن يكون هداماً أو بناءً.

– يطلق مصطلح ثنائية القطب السمعية acoustic dipole على مولد الصوت المزدوج الذي يحوي سطحين يولد موجتين متماثلتين بالقوة ومتعاكستين بالطور.

مصادر الصوت الأساسية



○ البافل اللانهائي infinite baffle

- يتم عادة حذف الصوت المتولد من الجهة الخلفية لمكبر الصوت باستخدام البافل (الحاجز). حيث يتألف البافل من سطح مستو صلب بفتحة تلائم المصدر فقط.

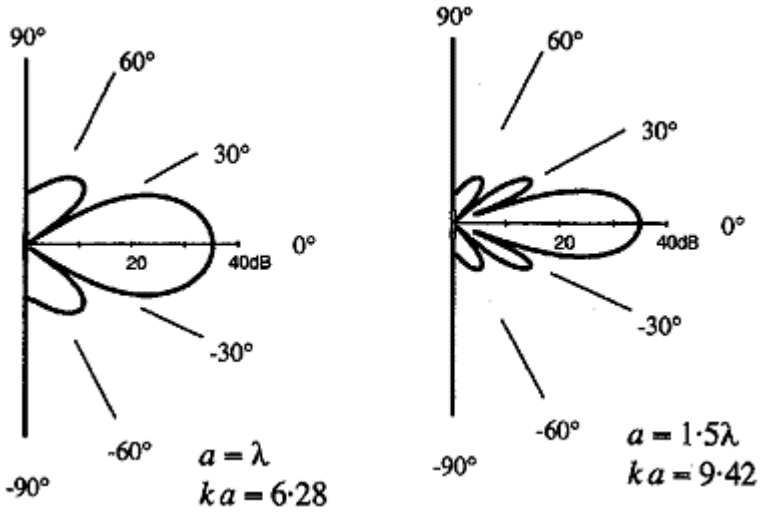
- من الصعب توصيف التبدلات التي تحدث أمام البافل ولكن يوجد بعض النماذج المذكورة وأكثرها شيوعاً هو نموذج الحاجز (البافل) اللانهائي.

- في المثال المرفق بالشكل عندما نستخدم منبع كروي للصوت ينتشر الصوت بجميع الاتجاهات وبطاقة متساوية وبالتالي تكون النقطتين A و A'متساويتين بسعة الاهتزاز وعند وضع حاجز بالمنتصف لن يتغير شيء في انتشار الصوت في حين لو استبدل القسم الخلفي بقسم ثابت غير مهتز سوف يتم حذف اهتزازات النقطة A'وعدم تغير A .

- أما في حالة استخدام منبع نصف كروي مع بافل خلفه هنا ستهتز النقطة Aبطاقة تناسب حجم المنبع الصغير ولكن يمكن أن يلعب البافل اللامتناهي دوراً في زيادة سعة اهتزاز هذه النقطة وتوليد ضغط بالموجة الصوتية هو ضعف مقداره في حال عدم وجود الحاجز.

مصادر الصوت الأساسية

○البستون الدائري Circular piston



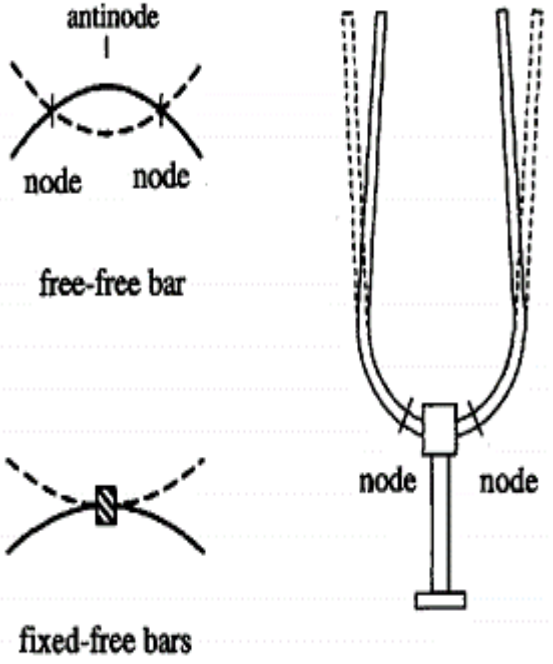
– هذا النموذج نظري بالمجمل وليس تطبيقي حيث يفترض أن منبع الصوت هو سطح دائري يتموضع في مركز فتحة البافل وعليه فإنه عندما يهتز يولد موجة جيبية تنتشر بشكل عمودي على السطح مولدة نموذج البستون.

– رغم عدم واقعية النموذج ولكنه يشكل الفكرة الأساسية في تصميم المكروفونات الاتجاهية وكما نشاهد في المقابلات التلفزونية أو عند تسجيل الصوت في الاستديوهات النموذجية يتم تركيب المكروفونات على جدار أو سطح عازل ليتم انتشار الصوت باتجاه واحد نحو الأمام فقط وبالتالي لا يحدث تداخل أو تبدل بالصوت المنتشر.

مصادر الصوت المطبقة في اختصاص السمعيات

- تستخدم هذه المصادر بشكل أساسي في التقييم السمعي كالرنانات والمكبرات والسماعات الأذنية بأنواعها.
- كما تستخدم أيضا في الأجهزة المساعدة على السمع كمستقبلات المعينات السمعية Receivers.
- تستخدم أيضا مصادر الصوت في علم السمعيات في الدراسات والأبحاث الصوتية (الأكوستيكية).
- واخيرا تستخدم في التأهيل السمعي وعلاج الطنين كمولدات الضجيج وفي برامج التدريب السمعي المختلفة.

1- الشوكات الرنانة Tuning Forks



- تعتبر الشوكات الرنانة نموذجاً معقداً لتوليد الصوت لأنه ليس بالأمر السهل تقديم تحليل كامل لطريقة الاهتزاز وانتاج الصوت من خلالها.
- تصدر الرنانات نغمة صافية (جيبية بسيطة) بتواتر ثابت بشكل ملحوظ نظراً لكونها صغيرة الحجم وبسيطة التركيب تعتبر من أهم منابع الصوت المستخدمة كأداة محمولة في التقييم السمعي.
- تستخدم الشوكات الرنانة في التقييم السمعي بالدرجة الأولى من قبل أطباء الأذنية وبشكل داعم (مبدأ التصالب cross check) في التقييم السمعي من قبل اختصاصيي السمعيات.
- شكلها المميز الذي يضم شوكتين مهتزتين متصلتين بشكل U على عمود يؤدي إلى توليد موجة جيبية مستقرة ذات عقد وبطون ثابتة عند مركز المسافة بين الشوكتين. يختلف التواتر الذي تولده كل رنانة بحسب كتلة وقساوة وطول كلا الشوكتين.

1- الشوكات الرنانة Tuning Forks

- عند قرع الشوكة بشكل ناعم فإنها تولد الصوت بالتواتر الأساسي المناسب لشكلها ولكن يمكن أحياناً أن تولد نغمات اضافية over-tones يحدث ذلك عند قرعها بشكل شديد لتأمين اهتزاز اقوى وهذه النغمات ليست من مضاعفات التواتر الأساسي (Harmonics) وإنما ذات تواترات مختلفة ومشوشة ولذا فإنه من حسن الحظ أن هذه النغمات الإضافية سرعان ما تتخمد ويبقى اهتزاز الرنانة بالتواتر الأساسي مستمر لفترة لا بأس بها تسمح بإجراء الاختبار التشخيصي قبل أن تتخامد.

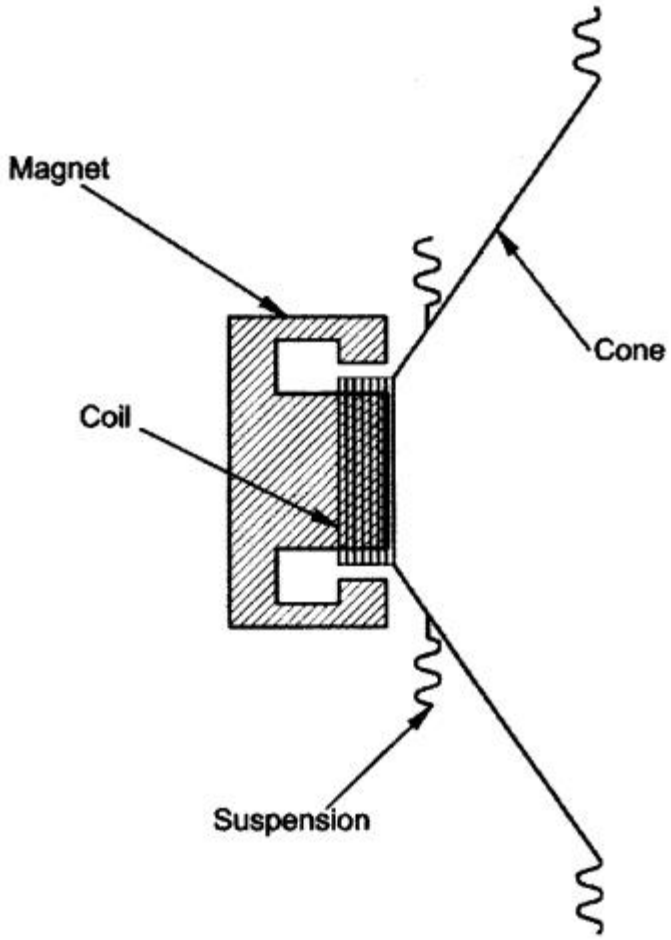
- الاستخدامات السريرية للرنانة في اختصاص الأذنية:

يمكن استخدام الرنانة لمقارنة الطريق الهوائي والطريق العظمي بنفس الأذن لتشير لوجود نقص سمع توصيلي بها أو لمقارنة الطريق العظمي بين الأذنين أو لمقارنة الطريق الهوائي بين أذن المريض وأذن الفاحص، فيما يلي أهم اختباراتها:

أكثر الرنانات استخداماً في السمعيات هي ذات التواترات 500-1000-2000 هرتز وبشكل أقل ال 250 هرتز في حين تستخدم الرنانة 125 هرتز من قبل اختصاصي العصبية لتوليد حس الاهتزاز في الفحص العصبي الحسي.

أهم اختبارات الرنانات هي اختبار رينيه، وبر، شفاباخ، وبينغ.

2- مكبرات الصوت Loudspeakers



- تمتاز مكبرات الصوت بأنها تنشر الصوت باتجاه غير محدد عادةً بعكس السماعات الأذنية والتي تقدم الصوت مباشرة إلى الأذن.
- عادة ما يكون مصدر الصوت في المكبرات عبارة عن غشاء مهتز يتم تحريكه ديناميكياً أو كهربائياً عن طريق تمرير ملف coil داخل الحجاب.
- معظم مكبرات الصوت هي من النوع الكهروديناميكي عادة ما يكون الغشاء ذو شكل مخروطي قليل العمق ومركب من الورق خفيف الوزن ومدعوم من المحيط بحلقة من مادة مموجة تسمح بالحركة المحورية وتخمد التشعع الجانبي للصوت.
- تختلف خصائص المكبرات بحسب الخصائص الكهربائية والميكانيكية والصوتية لمكوناتها بخصوص الملف والحاجز ومولد الاهتزاز.

2- مكبرات الصوت Loudspeakers

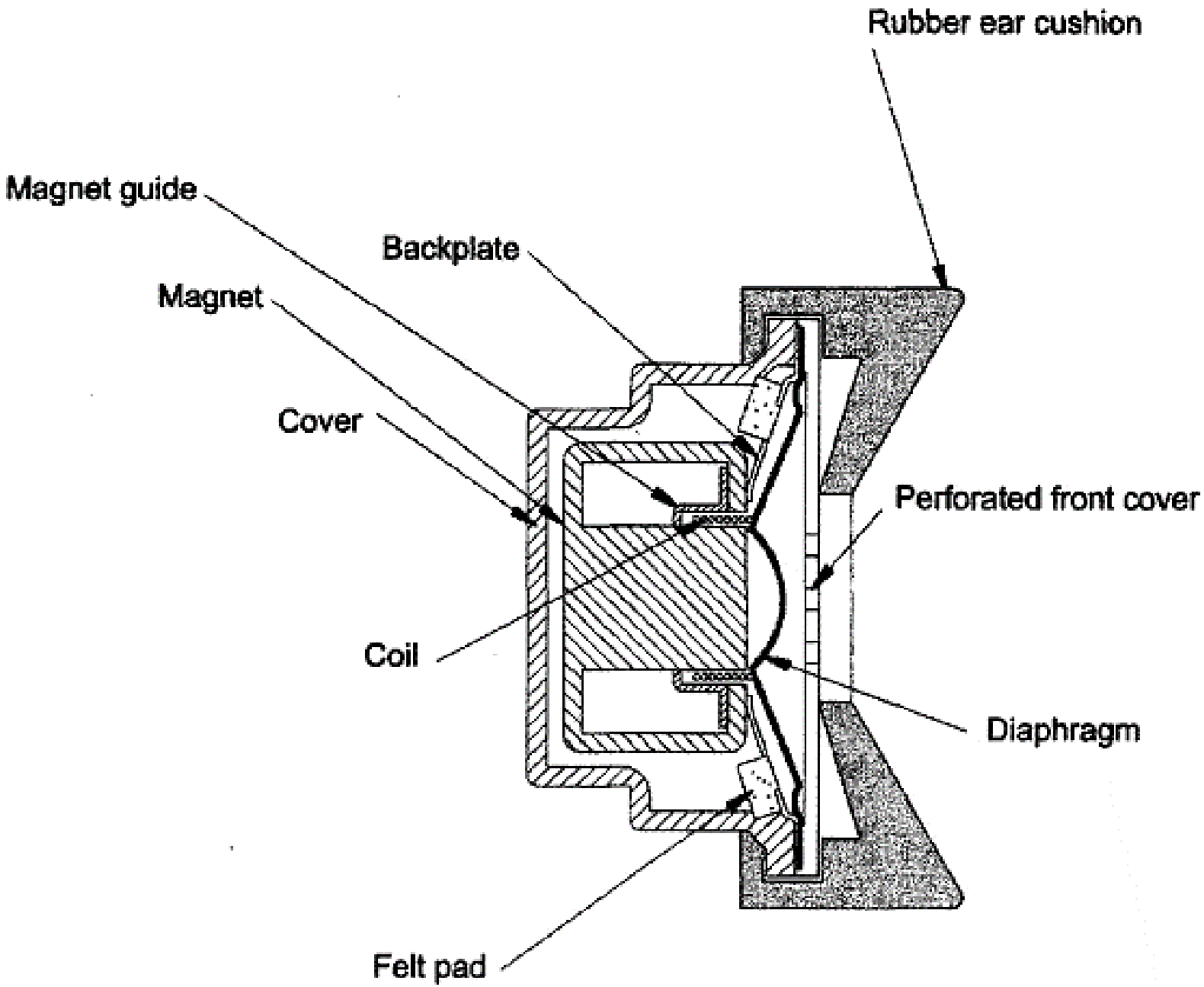
- من الصعب جداً تصميم مكبر يكون قادراً على توليد أمواج متجانسة وغير مشوشة undistorted على كامل الطيف السمعي.
- عادة ما يتم تحديد المجال التواتري الذي يؤمنه كل مكبر صوت بشكل دقيق وبدون تشويش.
- أحد الصعوبات الهامة في مكبرات الصوت هو توليد الأصوات ذات التواترات المنخفضة لأن هذه الأصوات عادةً ما تسبب اهتزاز ينتشر على كامل وجهي الحاجز الأمامي والخلفي ولذلك يتم عادة تثبيت المكبرات ضمن حجرة مكعبة أو مخروطية لتقوم بامتصاص هذه الأصوات المنتشرة من الخلف.

3- سماعات الأذن المستخدمة في تخطيط السمع
Audiometric Earphones

- يشبه تركيب سماعات الأذن المستخدمة في تخطيط السمع نموذج مكبر الصوت ولكن توجد بعض الاختلافات الهامة. أهمها أن مكبر الصوت مصمم لنشر الصوت في الفضاء في حين تستخدم السماعات لتوجيه الصوت إلى الأذن مباشرة ولذلك تزود عادة بوسادة earphone cushion تقوم بحبس الهواء داخل مجرى السمع أو الصيوان أو كامل الأذن حسب نوع السماعة المستخدمة.
- تمتاز هذه السماعات بانها تؤمن استجابة تواترية ثابتة تقريبا سواء في الأذن الواقعية أو محاكي الأذن Ear simulator أو داخل الكوبلر الصوتي Acoustic Coupler بأقل درجة ممكنة من التشويش Distortion. إضافة لذلك عادة ما يكون تشعع الصوت أقل بالاتجاهات المختلفة مقارنة بالمكبرات ويعود ذلك للتركيب الدقيق للسماعات والتي يتم دراستها في مقررات أخرى.

أنواع السماعات المستخدمة في تخطيط السمع

1. السماعات الرأسية Headphones: أهم أنواعها هي DT 48, TDH 49, TDH 39 حيث تعتبر سماعة ال TDH-49 الأكثر استخداما في اجهزة التخطيط السمعي. تختلف هذه السماعات عن بعضها بالأداء على التواترات المختلفة وقد يتراوح الاختلاف بين 2-5 ديسبل بين هذه الأنواع حسب كل تواتر وحسب نوع السماعة. لكل من هذه السماعات خصائصها الصوتية والتي يجب أخذها بالاعتبار عند معايرة الأجهزة والذي يتم بشكل دوري حرصا على الحفاظ على المستوى الدقيق للصوت المقدم في التخطيط السمعي. سيتم التطرق للفروقات بين هذه السماعات في مباحث أخرى.
2. السماعات داخل المجرى Insert Phones: أشهر انواعها ال ER-3 تختلف الخصائص الصوتية لهذه السماعات أيضا بحسب تركيبها وبحسب نوع المبدل المستخدم ومقاومته بالاوهم وحسب طول الأنبوب الهوائي المستخدم لنقل الصوت إلى القطعة التي تدخل في المجرى.


Rubber ear cushion
Magnet guide
Backplate
Magnet
Cover
Perforated front cover
Coil
Diaphragm
Felt pad

خصائص السماعات داخل المجرى

بشكل عام للسماعات داخل المجرى العديد من المزايا التي تجعل استخدامها مرغوبا أكثر في تخطيط السمع وهذه المزايا هي:

1. أكثر كفاءة في تخفيف الضجيج المحيطي.
2. أفضل في توهين الصوت العابر بين الأذنين Inter-aural attenuation.
3. تجنب انخماص مجرى السمع.
4. أكثر راحة للمريض خصوصا الطفل.
5. أقل نقلا للعدوى بسبب تبديل القطعة المدخلة بين المريض والآخر.
6. أكثر فائدة في التقييم السريري للأسباب التالية:
    a. أقل حاجة لاستخدام التشويش Masking.
    b. أكثر كفاءة في تخميد ضجيج المكان Ambient Noise وبالتالي يمكن استخدامها لإجراء التخطيط حتى في حال وجود ضجيج مكاني.
    c. يستخدم في تخطيط جذع الدماغ لتخفيف الأثر السلبي Artifact الناجم عن المنبه المستخدم في السماعات الرأسية (توضح لاحقا).
    d. تحل الكثير من حالات معضلة التشويش Masking Dilemma (توضح لاحقا).

ومع ذلك يبقى لاستخدامها بعض المشكلات المتعلقة بثبات ضغط الموجة الصوتية المقدمة على كل تواتر والمجال الديناميكي الممكن تقديمه ضمن الطيف التواتري وأيضا الاختلافقات الشخصية بين حجم المجرى ومقدار الإدخال داخل المجرى بين شخص وآخر.

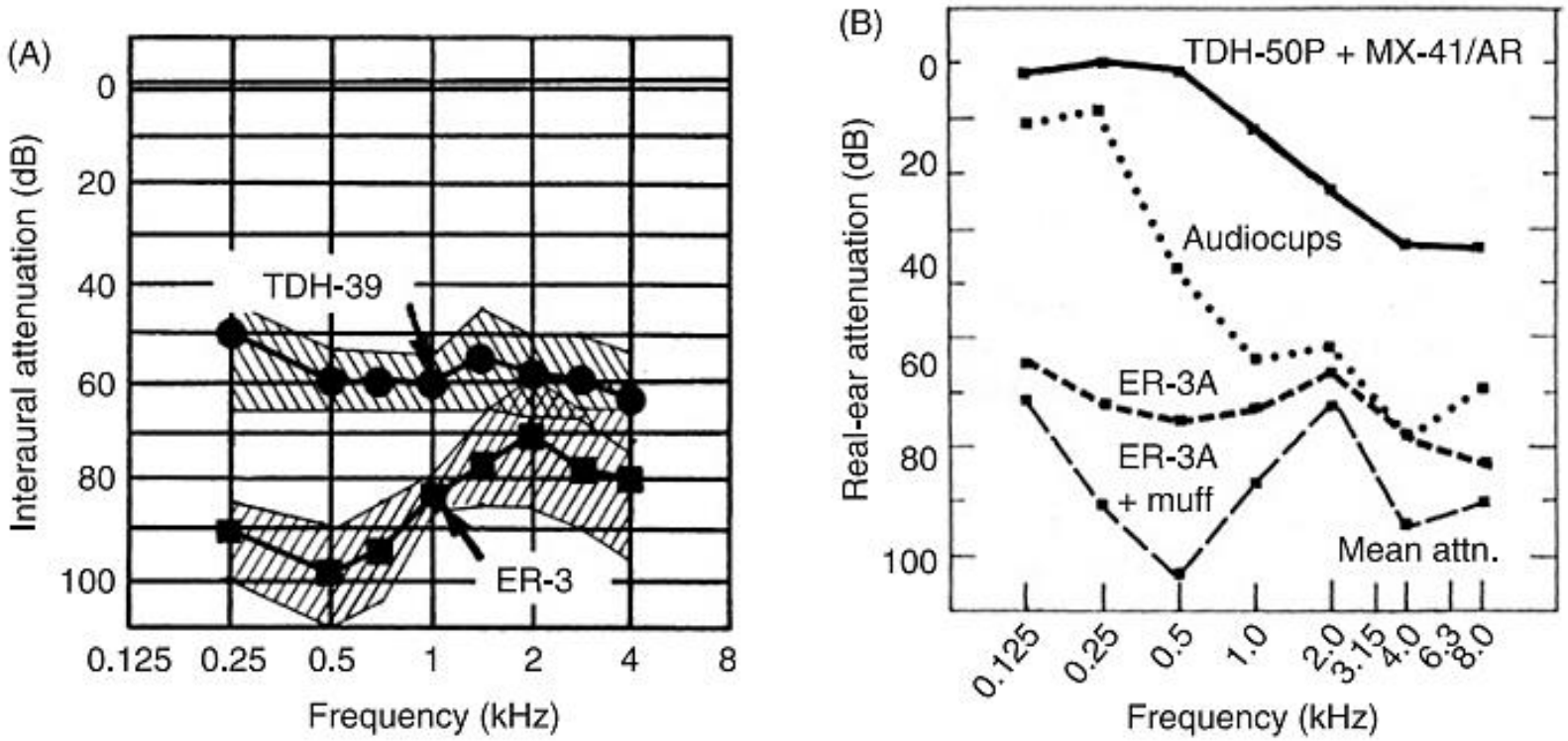
خصائص الصوت الواصل بسماعات الأذنين إلى غشاء الطبل

- لا يتأثر الصوت الواصل إلى غشاء الطبل عبر سماعات الأذنين بالخصائص الصوتية للرأس. وعليه فإن دور المرشح الطيفي (spectral filter) الذي يلعب كل من الرأس والصيوان ومجرى السمع يكون غير فعال في هذه الحالة. وهذا هو سبب الاختلاف في سماع الكلام والموسيقا باستخدام سماعات الأذنين مقارنة بالحقل الحر. هذا الأمر يسبب مشكلة في الاستماع للموسيقا عند استخدام السماعات وعليه يتم إجراء تبدلات طيفية على الصوت الوارد عبر سماعات الأذنين الرقمية الحديثة ليحاكي التأثير الطيفي للرأس ويزول هذا التباين.

- هذه التقنية هي التي جعلت الاستماع باستخام سماعات الأذنين الرقمية الحديثة أكثر واقعية ويعطي انطباع السمع الفضائي sound space أو spatial hearing. ورغم ذلك يبقى تأثير تحريك الرأس أثناء الاستماع في الحقل الحر معدوماً على الاستماع باستخدام السماعات.

- هناك مشكلتين أساسيتين في استخدام سماعات الأذنين في تقييم السمع: الأولى هي الحاجة الدائمة للمعايرة calibration. والثانية أن الصوت المقدم في سماعة أحد الأذنين ينتقل إلى الأذن الأخرى بالطريق العظمي bone conduction هذا العبور cross-talk يختلف باختلاف نوع السماعات. ويكون أعلى في السماعات الرأسية نسبة بسماعات داخل المجرى.

خصائص الصوت الواصل بسماعات الأذنين إلى غشاء الطبل

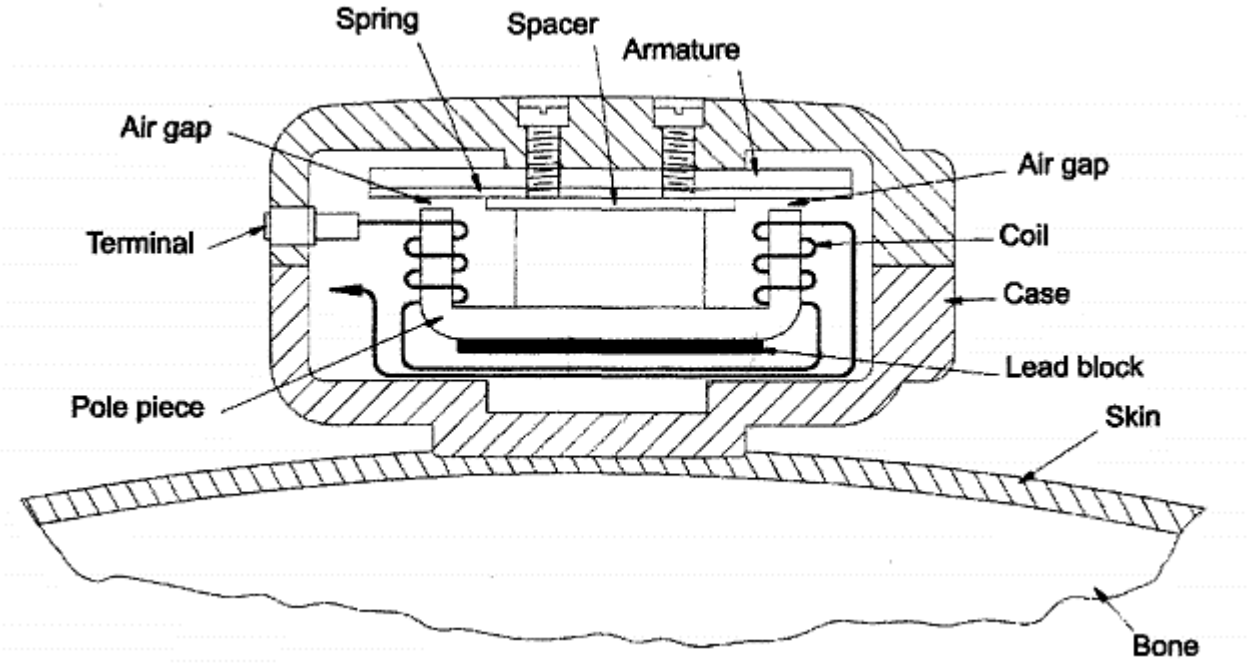


- في السماعات داخل المجرى يبلغ حجم توهين الصوت العابر بين الأذنين لحدود 80 ديسبل عند التواترات الأخفض من 1 كيلوهرتز كما أن هذه السماعات تحقق نفس الطيف التواتري للسماعات الرأسية في حين تبقى معايرتها أكثر حساسية واشكالية. في الحالة النموذجية يتم إجراء اختبارات السمع في غرف معزولة ولكن في بعض الأحيان يكون هناك الكثير من الضجيج المكاني ambient noise. وفي هذه الحالات يجب على سماعات الأذنين أن تساهم في توهين الأصوات المنتقلة في المحيط. تعتبر السماعات داخل المجرى أكثر كفاءة لكونها تؤمن توهين أكبر للأصوات الخارجية مقارنة بالسماعة الرأسية.

الهزازات العظمية Bone Vibrators

- تستخدم الهزازات العظمية في السمعيات بشكلين أساسيين:
  1. في التقييم السمعي لإجراء تخطيط السمع بالطريق العظمي سواء تخطيط السمع السلوكي أو الفزيولوجي ABR.
  2. في التأهيل السمعي من خلال استخدام السماعات العظمية مولدة الاهتزاز.
- في الشكل المرفق نلاحظ تركيب الهزازة العظمية المستخدمة في جهاز تخطيط السمع.

bone–conduction vibrator



أي سؤال؟؟