جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 4

Physiology of Hearing

(Sound Conduction to the Cochlea 1)

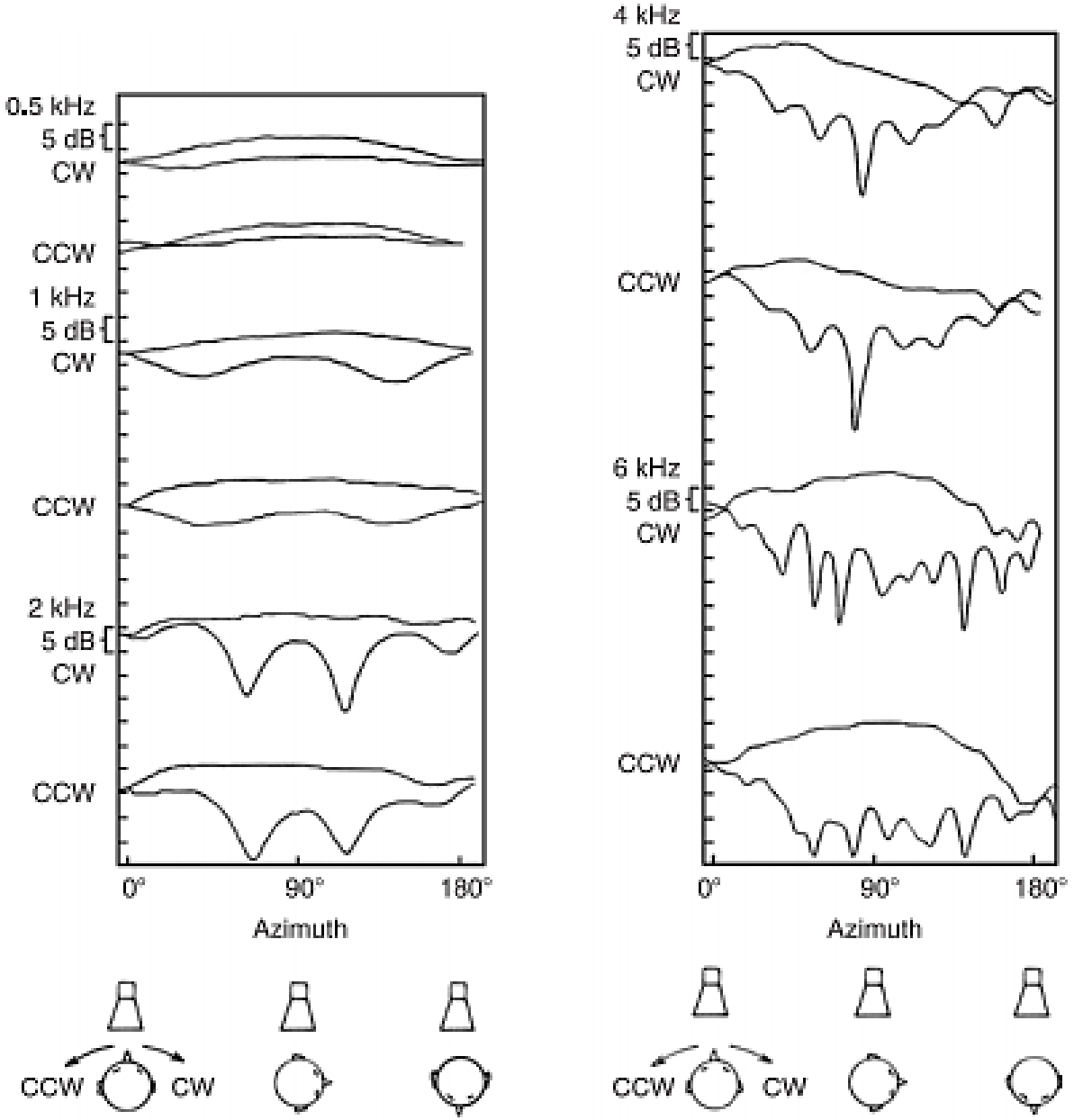
Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University
May 2021

مقدمة

- يصل الصوت إلى الحلزون بالطريقين الهوائي air conduction عبر مجرى السمع والأذن الوسطى والطريق العظمي bone conduction الذي يتجاوز الأذن الوسطى.
- لايعتبر النقل بالطريق العظمي ذو أهمية عند الأشخاص ذوي السمع الطبيعي في حين له أهمية واضحة في تخطيط السمع بسبب العبور الذي يحدث من سماعة الأذن المفحوصة بالطريق العظمي إلى الأذن الأخرى الغير مفحوصة.
- يتأثر الصوت الواصل إلى غشاء الطبل بالصيوان ومجرى السمع وشكل الرأس. يختلف هذا التأثير حسب التواترات المختلفة كما يتعلق تأثير الرأس بجهة مصدر الصوت.

دور الصيوان

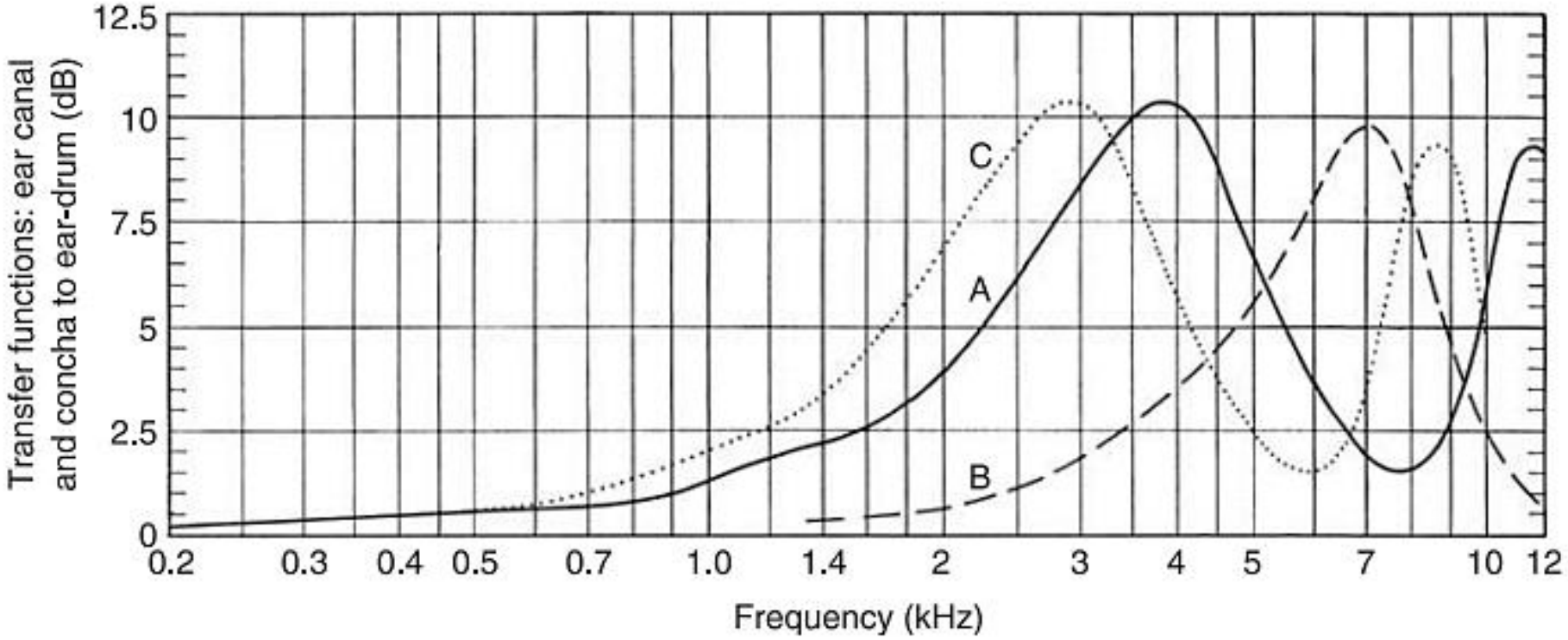
- للصيوان بشكله المميز دور هام في تجميع الصوت وتوجيهه باتجاه مدخل مجرى السمع ولكن هذه التفاصيل التشريحية الموجودة في الصيوان لها دور في إجراء تبدلات طيفية على الصوت الوارد.
- كما أن للصيوان دور في تحديد جهة الصوت في المستوى العمودي على وجه الخصوص.
- عند دراسة ضغط الموجة الصوتية الوارد من الحقل الحر إلى غشاء الطبل يتم اعتماد نموذج مانيكان يشبه الرأس البشري ويوضع مكرفون في مكان غشاء الطبل لاستقبال الصوت وقياسه. تبين نتائج هذه الدراسة ان الدور المهم للصيوان يظهر على التواترات المرتفعة حول ال 4 كيلوهرتز.
- لاحظ الشكل 4-1.



الشكل 4-1: يوضح الفرق بين ضغط الموجة الصوتية الوارد من الحقل الحر إلى غشاء الطبل في نموذج المانيكان المشابه لشكل الرأس وبين النموذج الكروي، عند التواتر 500 وال 4000 هرتزوحسب زوايا مختلفة لورود الصوت. الفرق بين المنحنيين في كل حالة يمثل دور الصيوان في تشديد الصوت حيث يلاحظ أن هذا التأثير أعظمي عند التواتر 4 كيلوهرتز.

دور مجرى السمع

- يعمل مجرى السمع كوسط رنان resonator بالإضافة لوظيفة نقل الصوت sound transfer.
- تعرف وظيفة النقل أو تابع نقل التواتر frequency transfer function أو نظام النقل transmission function بأنه تمثيل بياني للنسبة بين الخرج عند غشاء الطبل والدخل عند مدخل المجرى في الصوت وتعرف بمخطط بود Bode plot وهي تابع التبدل في السعة amplitude حسب التواتر ويعبر عنه بالديسبل.
- يتميز تابع النقل بوجود ذروة حول التواتر 3000 هرتز (وسطياً 2.8 كيلوهرتز) بحيث يلاحظ وجود كسب بحدود 10 ديسبل على الصوت الواصل إلى غشاء الطبل حول التواتر المذكور نسبة للصوت الوارد عند مجرى السمع.
- ينطبق هذا الأثر على الأصوات الواردة من مكان بعيد إلى مجرى السمع (الحقل الحر) ويختلف عند استخدام السماعات الرأسية head phone أو سماعات داخل المجرى insert phone.
- لاحظ الشكل 4-2.



الشكل 4-2: تأثير مجرى السمع على ضغط الموجة الصوتية الواردة إلى غشاء الطبل. A يعبر عن فرق ضغط الصوت الواصل إلى غشاء الطبل وعند مدخل مجرى السمع. B فرق ضغط الصوت بين غشاء الطبل ونقطة تبعد عنه 1.25سم داخل مجرى السمع أي يناسب حالة السماعة داخل المجرى. C دراسة نظرية لفرق الضغط بين غشاء الطبل وبين نقطة افتراضية تشكل مركز قوقعة الصيوان.

دور الرأس

- يلعب الرأس دور الحاجز أو المعيق لتجمع الأمواج الصوتية في الحقل الحر.
- يؤثر الرأس والأذن على الحقل الصوتي بحيث يختلف ضغط الموجة الصوتية عند مدخل الأذن نسبة لأي نقطة أخرى في الرأس.
- يرتبط تأثير الرأس بحجمه وبطول موجة الصوت وبالتالي يتعلق التضخيم amplification بالتواتر أو طيف الصوت. وعليه يختلف طيف الصوت الواصل إلى غشاء الطبل عن ذلك المقاس في الحقل الحر.
- بحساب بسيط يمكن معرفة طول الموجة الصوتية لكل تواتر، فلو افترضنا سرعة الصوت في الهواء بالشروط العادية 340 م/ثا وعليه فإنه لتواتر 1000 هرتز يكون طول الموجة الصوتية مقدرا بحدود 34 سم. وعليه يمكننا مقارنة علاقة طول موجة كل تواتر بحجم الرأس.
- كما يتعلق دور الرأس بجهة مصدر الصوت حيث يلعب الرأس دور الحاجز baffle للأذن الواقعة من جهة مصدر الصوت في حيث يلعب دو الظل shadow للأذن الواقعة في عكس جهة مصدر الصوت.

دور الرأس

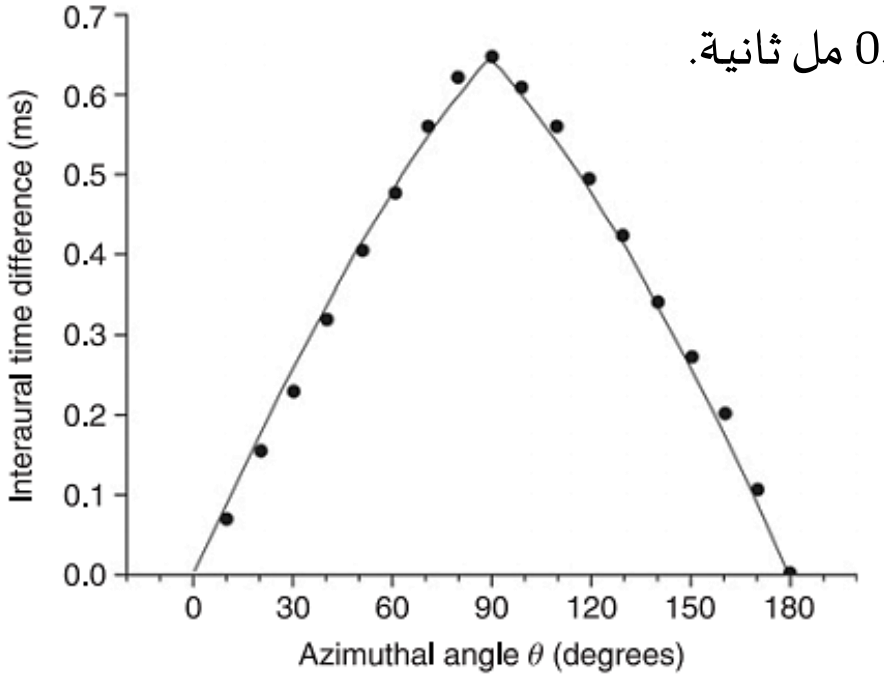
- إن دراسة تأثير الرأس على الصوت الوارد إلى غشاء الطبل يفترض وجود الرأس في الحقل الحر بمواجهة المنبع الصوتي دون وجود أي عوائق بينهما وأي انعكسات reflection الأمر الذي لا يتحقق في أغلب الحالات كما في داخل غرفة عادية حيث ينعكس الصوت من اتجاهات مختلفة ولتحقيق هذه الشروط لأغراض بحثية أو تشخيصية يجب استخدام الغرف معدومة الصدى Anechoic chamber والتي تمتاز بوجود جدران تمتص أغلب طاقة الموجة الصوتية وتلغي أو تخفف الانعكاس قدر الإمكان.

الأسس الفيزيائية للسمع الاتجاهي
Directional Hearing

- إن الأساس الفيزيائي لتحديد جهة الصوت في المستوى الأفقي يعتمد على اختلاف زمن وصول الصوت إلى الأذنين Inter-aural time difference (ITD) وعلى اختلاف شدة الصوت الواصل إلى الأذنين Inter-aural loudness difference (ILD).
- لا يتعلق اختلاف الشدة بجهة منبع الصوت في المستوى الأفقي وحسب وإنما يعتمد أيضاً على التواتر في حين لا يتعلق اختلاف زمن الوصول إلى الأذنين بالتواتر.
- يتم معالجة الاختلاف في الزمن والشدة في السبيل السمعي المركزي وعليه يتم تحديد جهة الصوت (سيتم دراسته لاحقا في هذا المقرر بالتفصيل).
- أما بالنسبة لتحديد جهة الصوت بالمستوى العمودي فيعتبر الأمر أقل فهماً ولا توجد معلومات واضحة بشأنه. ربما يتعلق الأمر بالخصائص الصوتية للأذن الخارجية خصوصا عند التواترات المرتفعة.

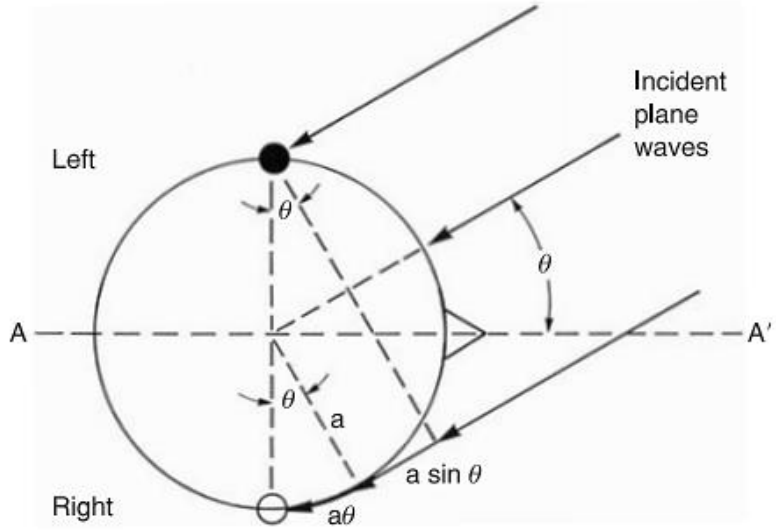
الأسس الفيزيائية للسمع الاتجاهي
Directional Hearing

- عادة يصل الصوت بزمن مختلف إلى الأذنين إلا عندما يتم تقديم المنبه تماماً من الأمام أو من الخلف.
- يعود السبب في ذلك إلى اختلاف المسافة التي يقطعها الصوت من المنبع إلى كل أذن والتي ترتبط بعلاقة خطية مع الأفق Azimuth.

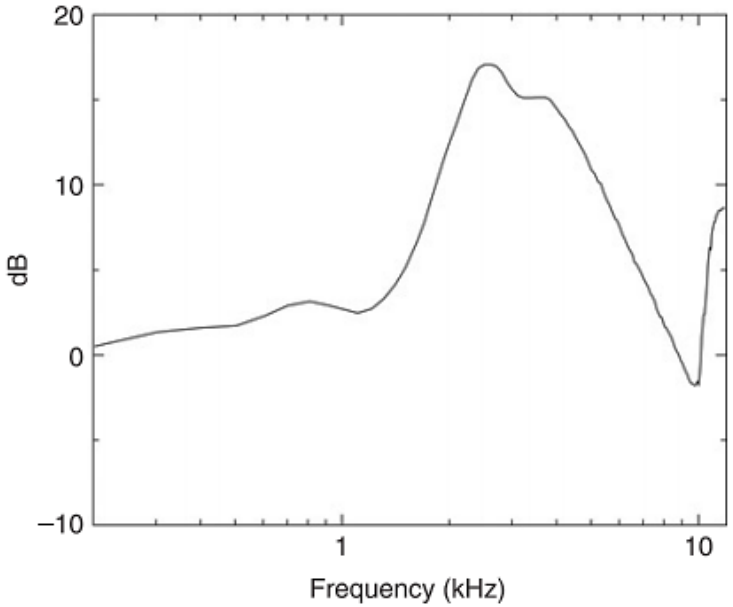


- إن الفرق الأعظمي في زمن الوصول لكلا الأذنين في النموذج المثالي يقدر بحدود 0.6 مل ثانية.
- تشير الدراسات إلى أن اختلاف زمن الوصول بين الأذنين ITD هو أكثر أهمية في الأصوات العابرة (المؤقتة (transient) وعلى التواترات المنخفضة الأقل من 1.5 كيلوهرتز، في حين يعتبر اختلاف الشدة بين الأذنين ILD أكثر أهمية في التواترات المرتفعة (علل؟).

الأسس الفيزيائية للسمع الاتجاهي
Directional Hearing



- يتم اعتماد نموذج بشكل رأس كروي وبحجم تقريباً مناسب لرأس الإنسان البالغ وتدويره بالاتجاهات المختلفة نسبة لمنبع الصوت لدراسة التعديل على الصوت الوارد من الحقل الحر إلى غشاء الطبل.



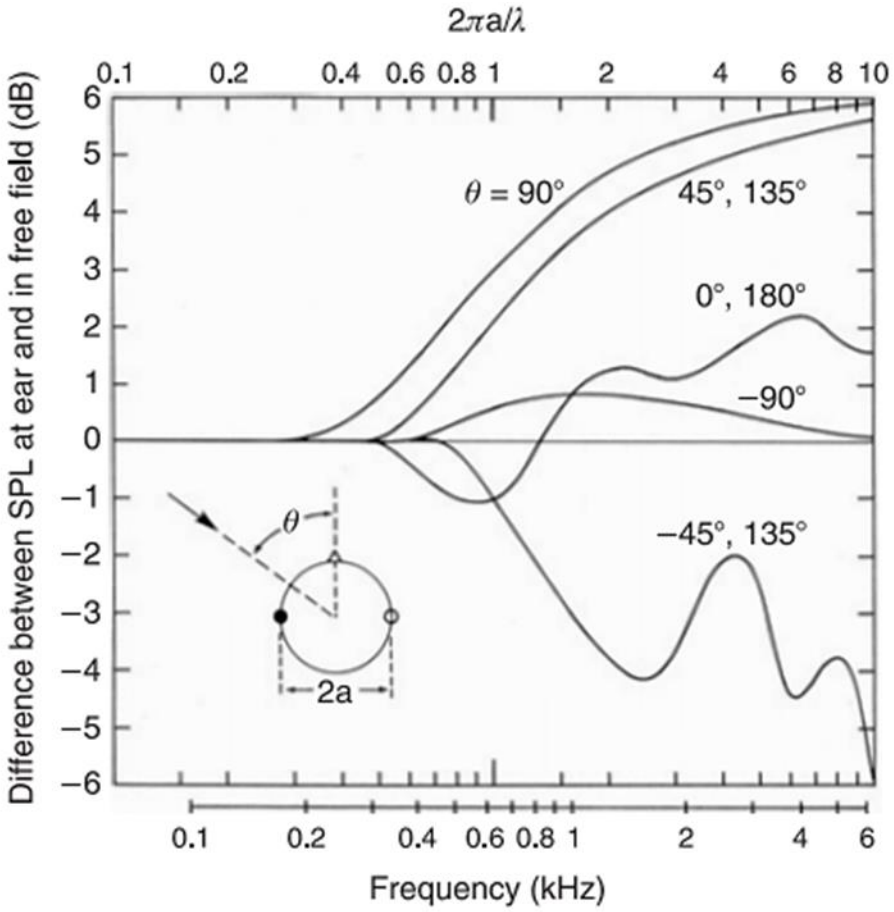
- أظهرت هذه الدراسات أن ضغط الصوت عند غشاء الطبل أكبر بحدود 15 ديسبل منه في الحقل الحر على التواترات 2-4 كيلوهرتز وذلك عندما يكون المنبع متوضع تماماً أمام الرأس. ويحدث انخفاض واضح في تابع النقل transfer functionعند تواتر 10 كيلوهرتز.

الأسس الفيزيائية للسمع الاتجاهي
Directional Hearing

- ينجم الاختلاف في شدة الصوت الواصل إلى الأذنين عن تموضع الرأس كعائق داخل الحقل الحر. حيث يلعب الرأس دور الدرع (shield) أمام الأذن المعاكسة لجهة منبع الصوت مما يخفف شدة الصوت الواصلة إليها في حين يلعب دور حاجز baffle خلف الأذن الموافقة لجهة المنبع فيسمع الصوت فيها أعلى شدة.

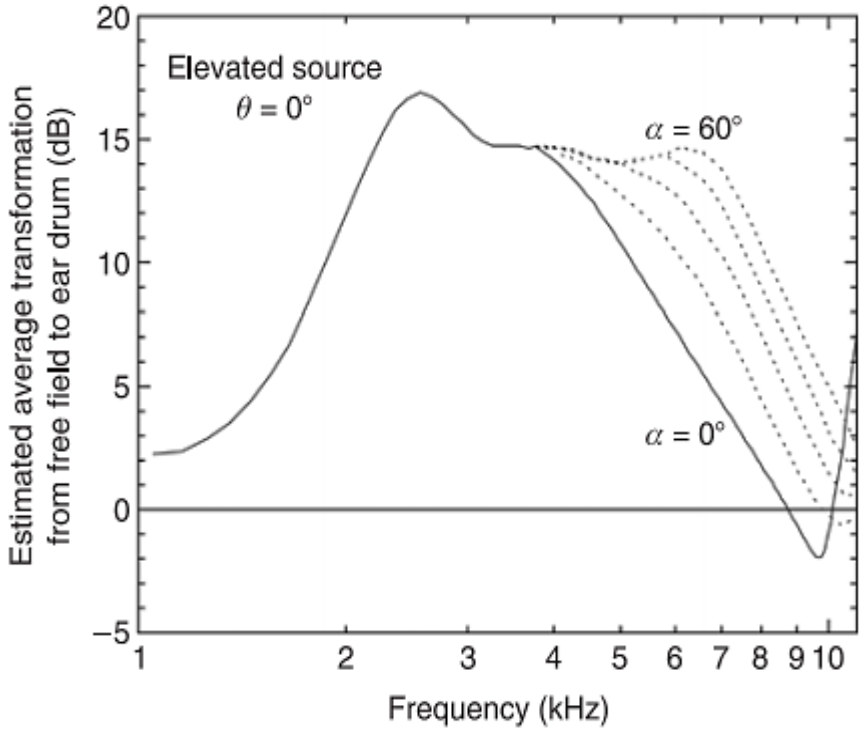
- وهذا الأمر يرتبط بالتواتر حيث أن الأصوات ذات التواترات المرتفعة (طول الموجة أقصر) ترتطم بالكامل بالرأس ويكون فرق الشدة فيها جلياً أكثر من التواترات المنخفضة ذات طول الموجة الكبيرة والتي قد تتجاوز ظل الرأس وصولاً للأذن المقابلة دون خسارة تذكر في شدة الصوت. وعليه تم القول بأن دور الرأس في نقل الصوت إلى مدخل مجرى السمع لا يعتمد فقط على زاوية منبع الصوت Azimuth وإنما أيضاً على تواتره.

الأسس الفيزيائية للسمع الاتجاهي
Directional Hearing



- في المجال التواتري الذي يتراوح بين 2.5-4 كيلوهرتز يتراوح التضخيم الحاصل بفعل الرأس والصيوان على الصوت الوارد إلى الأذن بين 8-21 ديسبل اعماداً على زاوية منبع الصوت في المستوى الأفقي.
- بحيث يؤثر دور الرأس كحاجز وظل shadow+baffle على جميع الأصوات الواردة من زوايا أفقية مختلفة ما عدا الزاوية 0 (أمام) والزاوية 180 (خلف).
- بالنسبة لمجال تواتري واسع (أعلى من 1 كيلوهرتز) تكون شدة الصوت الواردة إلى الأذن من زاوية 45-90 درجة لشخص رأسه مستقيم إلى الأمام أعلى بحدود 5 ديسبل نسبة للصوت المقاس في الوسط الحر الذي يتموضع فيه الرأس.
- إن مقدار التبدل في شدة الصوت الواصل من الحقل الحر إلى غشاء الطبل يختلف من شخص إلى آخر لأنه يختلف بحسب شكل وحجم الرأس لكل شخص أما النتائج المعطاة في الشكل 2-5 تتعلق بالنموذج الوسطي.

تأثير ارتفاع منبع الصوت على ضغط الصوت الواصل إلى غشاء الطبل



- لايؤثر ارتفاع منبع الصوت بالمستوى العمودي على زمن وصول الصوت إلى كلا الأذنين. وبالتالي لتحديد مكان الصوت في المستوى العمودي يجب الاعتماد على عوامل أخرى كاختلاف الطيف التواتري للصوت الواصل إلى كلا الأذنين من زوايا شاقولية مختلفة.

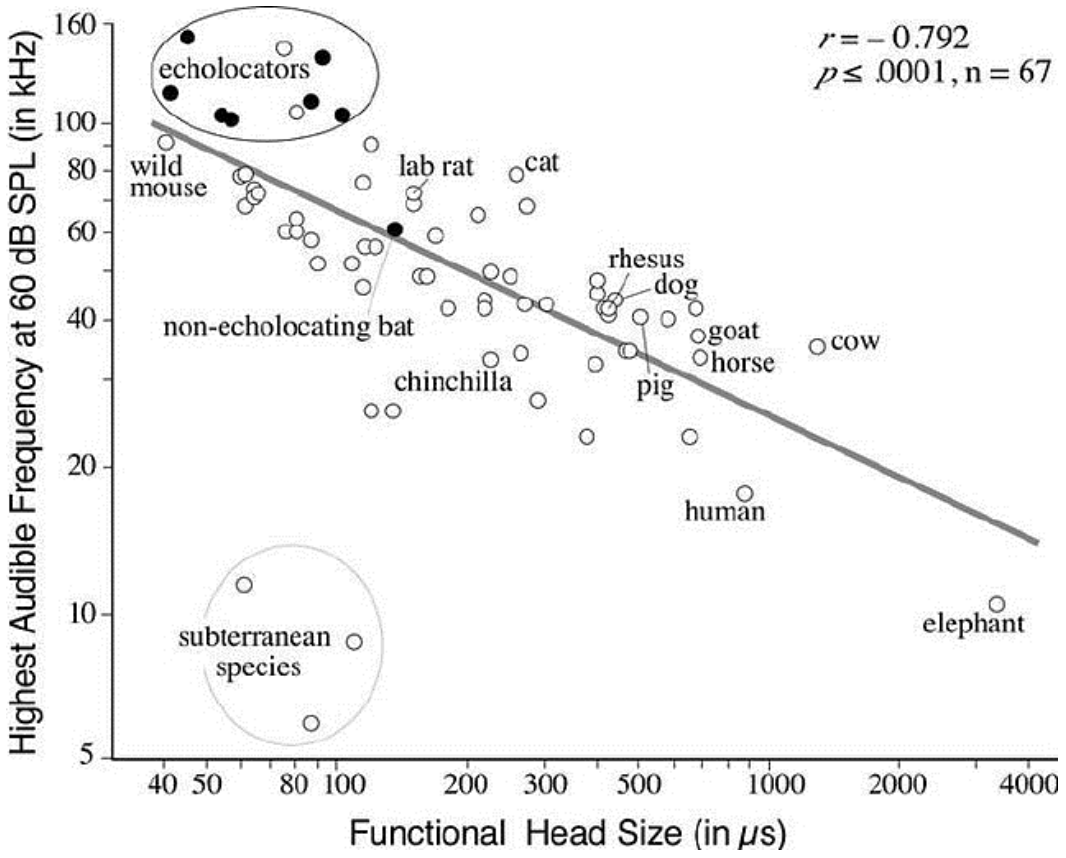
- يلعب الصيوان دورا هاما في تحديد مكان الصوت بالمستوى العمودي حيث يكون هذا التأثير أعلى مايمكن عند التواتر 4 كيلوهرتز.

- في الشكل المرفق نلاحظ انخفاض ضغط الصوت الواصل إلى غشاء الطبل عند زاوية صفر أفقي وعمودي عند التواتر 4 كيلوهرتز. وعند زيادة الارتفاع يزداد تواتر القطع Cut off frequency ليصل لحدود 7 كيلوهرتز عند زاوية 60 درجة عمودي وعند هذه النقطة يتحقق كسب بحدود 10 ديسبل نسبة بالموجة الواردة من زاوية صفر.

المجال التواتري للسمع
Hearing Range

- أصبح معروفاً أن المجال التواتري للسمع عند الإنسان يتراوح بين 20 هرتز- 20 كيلو هرتز، فين حين يمكن في ظروف القياس المثالية أن يتم سماع صوت يصل تواتره إلى 12 هرتز أو 28 كيلوهرتز.
- يسجل ارتفاعاً واضحاً في عتبات السمع عند تواتر 15 كيلوهرتز عند الإنسان البالغ السليم. في حين تكون حساسية السمع المثلى عند اللإنسان حول تواترات أخفض من ذلك بحيث لا تتجاوز 8000 هرتز.
- يتعلق المجال التواتري وخصوصاً السمع على التواترات الحادة بشكل وحجم الرأس وخصائص الجهاز السمعي عند الإنسان.
- تمتلك الحيوانات المختلفة مجالاً للسمع يختلف بحسب شكل وحجم الرأس وبحسب متطلباتها للبقاء، بحيث يتطلب السمع المفيد إدراك الاختلاف في زمن الوصول وشدة االصوت بين الأذنين مجالاً أوسع للتواترات عند للحيوانات ذات حجم الرأس الأصغر.

المجال التواتري للسمع Hearing Range



- يتراوح مجال السمع عند الرئيسات من غير البشر كالثدييات بين 60 هرتز و58 كيلوهرتز فين حين تمتلك القطط مجالاً أوسع (حجم رأس أصغر) يتراوح بين 55 هرتز – 79 كيلوهرتز، باستثناء قط الشنشيلا chinchillaوالذي يمتاز برأس كبير نسبياً وطول حلزون قريب للحزون البشري وبالتالي طيف تواتري أضيق عند التواترات المرتفعة مما يجعله مناسباً كحيوان تجربة في الأبحاث السمعية

- يعتبر الخفاش والجرذ الأبيض والفئران ذات كفاءة عالية في السمع على التواترات المرتفعة، حيث يستطيع الخفاش سماع أصوات يصل تواترها حتى 200 كيلوهرتز والفأر السوري الصغير بحدود 120 كيلوهرتز والجرذ الأبيض والجربل بحدود 70 كيلوهرتز.

- في حين تعتبر الحشرات الأكفأ على الإطلاق فس سماع أصوات ذات تواترات مرتفعة تصل حتى 300 كيلوهرتز وذلك يجعلها في مأمن من الخفاش.

- يمكن قياس الأمر ذاته على الطيور والأسماك، في حين يمتلك الفيل المجال التواتري الأضيق بين الثدييات ولا يستطيع تمييز الأصوات ذات التواتر الأعلى من 12 كيلوهرتز.

أي سؤال ؟؟