فيزيولوجية الأذن

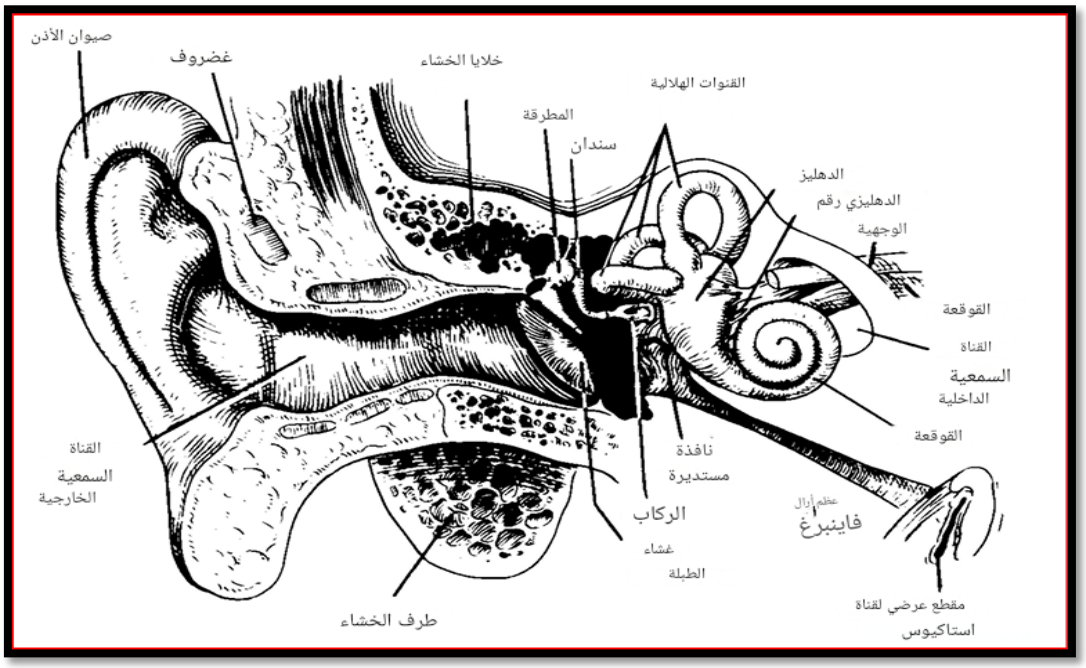
تمهيد:

السمع هو إحدى الحواس الأساسية للتواصل والتنبيه والإدراك المكاني،حيث يُستقبل كل صوت عن طريق المستقبل السمعي المحيطي،وهو الأذن.تُعد الأذن عضواً معقداً مقسماً وظيفياً وهيكلياً إلى ثلاثة أجزاء رئيسية ضرورية لتحقيق السمع الطبيعي:الأذن الخارجية، الأذن الوسطى، والأذن الداخلية.تتكون هذه الأجزاء من عدة بُنى متداخلة تعمل بتناغم لتحويل الطاقة الصوتية الميكانيكية إلى إشارات كهربائية تُرسل فيما بعد إلى الجهاز العصبي المركزي عبر المسارات السمعية وصولاً إلى القشرة السمعية.التحليل الدقيق لهذه البُنى يُظهر عمليات كهروكيميائية وجزيئية دقيقة تُسهم في فهم آليات السمع ووظيفة التوازن بشكل أعمق .يتراوح نطاق السمع الطبيعي لدى الإنسان بين 20 و20,000 هرتز عبر التوصيل الهوائي، بينما يمكن أن يكون نطاق الترددات أعلى بكثير عند استخدام التوصيل العظمي .ومع ذلك، فإن أي اختلال وظيفي في هذه البُنى قد يؤدي إلى ظهور أعراض واضطرابات تؤثر على الأداء الطبيعي للسمع،مما يُسبب تحديات صحية للمرضى.ستتم مناقشة هذه الأجزاء بالتفصيل أدناه.

1- آليات توصيل الصوت:

1.1. بنية الأذن الخارجية ووظائفها الفسيولوجية:

تتكون الأذن الخارجية من صيوان الأذن(The pinna) والقناة السمعية (ear canal)، وكلاهما ينقل إشارة الصوت المركزة إلى غشاء الطبلة (tympanic membrane) الذي يفصل الأذن الخارجية عن الأذن الوسطى. يُعدّ النمو السليم للأذن الخارجية أمرًا بالغ الأهمية للسمع الوظيفي. ونظرًا لأن عيوب الأذن الخارجية مرتبطة بعدد من حالات الصمم التوصيلي، فمن الضروري للغاية فهم بنية الأذن الخارجية. [الشكل 1]

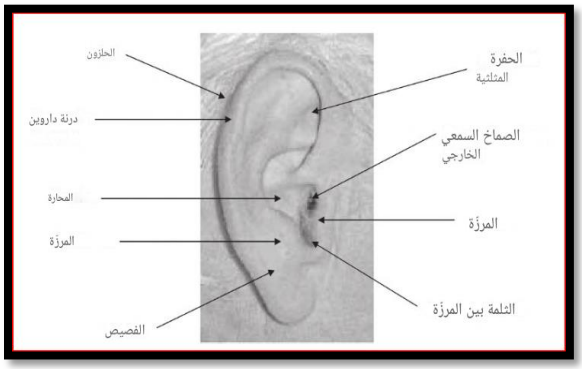


الشكل 1: يبين الأجزاء الثلاثة للأذن.

1.1.1. الصيوان (Pinna):

يتكون الصيوان، البارز من جانب الجمجمة، من غضروف ومغطى بالكامل بالجلد. وهو مسؤول عن جمع اهتزازات الصوت وتوجيهها إلى القناة السمعية .(ear canal) يساعد الصيوان في تحديد موقع الصوت، إذ يلتقط الأصوات القادمة من الأمام بكفاءة أكبر من تلك القادمة من الخلف نظرًا لزاويته. إلا أن هذا التأثير ينطبق فقط على الترددات العالية، نظرًا لطول موجة اهتزازات الصوت المسموعة وحجم الرأس النسبي. للرأس نفسه دور في تحديد موقع الصوت، إذ يُلقي بظله في الترددات المتوسطة، أما في الترددات المنخفضة، فتُحدد مراحل وصول الصوت بين الأذنين موقعه.

خلال الحياة، يتساقط الجلد ويتجدد باستمرار. ينمو جلد قناة الأذن كالظفر، من الأعماق إلى الخارج، فيتساقط الجلد مع الإفرازات الشمعية في الجزء الخارجي. هذا هو سبب عدم استخدام أعواد القطن لتنظيف قناة الأذن، لأنها في كثير من الأحيان تدفع الجلد المتساقط والشمع عميقًا في القناة، مما يؤثر عليها ويعيق السمع. [الشكل 2]



الشكل 2: يبين الصيوان والقناة السمية الخارجية لذكر بالغ.

2.1.1. القناة السمعية (Auditory Canal):

يبلغ طول القناة السمعية حوالي 4 سم، هي انحناء طفيف عند التقاء الجزء الغضروفي الخارجي بالجزء الداخلي العظمي الرقيق، هذا الانحناء جزء آخر من آلية حماية الأذن، يمنع الأجسام الغريبة من الوصول إلى غشاء الطبلة. ومع ذلك، فإن هذا يعني أنه لفحص غشاء الطبلة من الخارج، يجب سحب الأذن لأعلى وللخلف.

بحيث يكون **الجزء الداخلي** إلى الأمام قليلًا، بينما يمتد **الجزء الخارجي** إلى الخلف قليلًا يكون مبطن بجلد مشعر يحتوي على غدد عرقية وغدد دهنية تشكل معًا شمع الأذن وكلاهما يُشكلان مع الكيراتين شمع الأذن (ear wax). يعمل شمع الأذن والشعر في الجزء الخارجي من القناة كمطهر، ويوفران حاجزًا واقيًا للأذن، لكن سرعان ما يصبح جلد قناة. يكون جلد القناة السمعية رقيقًا، ويلتصق بقوة بعظم القناة السمعية الأعمق، وهو تجويف صلب يمتص الأصوات الخافتة، ثم يُوجهها إلى غشاء الطبلة عند قاعدته.

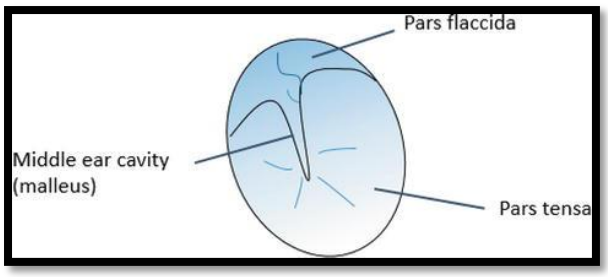
3.1.1. غشاء الطبلة (Tympanic membrane):

يفصل غشاء الطبلة قناة الأذن عن الأذن الوسطى، وهو الجزء الأول من آلية نقل الصوت. يشبه شكله مخروط مكبر الصوت (وهو شكل مثالي لنقل الصوت بين المواد الصلبة والهواء)، وهو غشاء بسيط مغطى بطبقة رقيقة جدًا من الجلد من الخارج، وغشاء رقيق مبطن للظهارة التنفسية على السطح الداخلي، وطبقة وسطى ليفية صلبة. يبلغ سمك الغشاء بأكمله أقل من عُشر المليمتر. ويغطي فتحة مستديرة قطرها حوالي سنتيمتر واحد في تجويف الأذن الوسطى. على الرغم من أن غشاء الطبلة يُطلق عليه غالبًا طبلة الأذن، إلا أنه من الناحية الفنية، تُمثل مساحة الأذن الوسطى بأكملها طبلة الأذن، بينما يُمثل غشاء الطبلة جلد الطبلة.

يتكون غشاء الطبلة من طبقة خارجية من الجلد متصلة بالقناة السمعية، وطبقة داخلية تُسمى الأديم الباطن (endoderm). تتكون الطبقة الخارجية من الأديم الظاهر (Epithelium) من ظهارة طبقية وحرشفية (squamousepithelium)، تتميز بهجرة جانبية فريدة للخلايا من مركز غشاء الطبلة إلى حوافه، حيث يمكن لهذه الخلايا أن تتقشر. تُعرف هذه العملية بخاصية التنظيف الذاتي للأذن الخارجية. تتكون الطبقة الداخلية من غشاء الطبلة من ظهارة حرشفية بسيطة. يُقسم غشاء الطبلة إلى منطقتين رئيسيتين بناءً على شكله (الشكل 3)؛ الأولى هي البنية المتوترة المناسبة للاهتزاز، وتُعرف باسم الجزء البطني المتوتر (Pars tensa)، والثانية هي الأكثر مرونة، وتُعرف باسم الجزء الظهري المرتخي (Pars flaccida).

يُطلق على **الجزء المرتخي(Pars flaccida)**أيضًا **غشاء شرابنيل(Shrapnell's)**ويقع في الجزء العلوي من غشاء الطبلة فوق طية الكاحل وهو منطقة أكثر هشاشة نسبيًا من الجزء الأكبر الآخر من غشاء الطبلة، وهو الجزء المتوتر.

كلتا المنطقتين عبارة عن هياكل ثلاثية الطبقات تحتوي على طبقة داخلية من **خلايا العرف العصبي (neural crestcells)**، والتي توجد في ترتيب النسيج الضام الرخو، وتقع هذه الطبقة الوسطى بين طبقتين من الظهارة. الطبقة الداخلية من الجزء المتوتر هي الصفيحة المبطنة التي تتكون من طبقتين إضافيتين من النسيج الضام الغني بالكولاجين؛ الطبقة الإشعاعية الخارجية والطبقة الدائرية الداخلية. بينما في الجزء المرتخي لا يوجد ترتيب منتظم للمصفوفة خارج الخلية في الطبقة الداخلية. لذا، فإن كلتا المنطقتين من غشاء الطبلة، الجزء المتوتر والجزء المرتخي، تختلفان عن بعضهما البعض على المستوى الخلوي والإجمالي. تفسر هذه الاختلافات البنيوية والوظيفية سبب حدوث جيب السحب (وهي حالة يتم فيها سحب غشاء الطبلة إلى عمق أكبر في تجويف الأذن الوسطى وقد تسبب الألم) بشكل أكثر شيوعًا في الجزء المرتخي.



الشكل3: يبين رسم تخطيطي لغشاء الطبلة.

2.1.بنية الأذن الوسطى ووظائفها الفسيولوجية:

الجدار الخارجي للأذن الوسطى هو غشاء الطبلة، والجدار الداخلي هو **القوقعة (cochlea)**. يشكل الحد العلوي للأذن الوسطى العظم الواقع أسفل الفص الأوسط من الدماغ، ويغطي قاع الأذن الوسطى بداية الوريد الكبير الذي يُصرّف الدم من الرأس، وهو **البصلة الوداجية (jugular bulb)**. في الطرف الأمامي للأذن الوسطى تقع فتحة قناة استاكيوس، وفي نهايتها الخلفية يوجد ممر إلى مجموعة من الخلايا الهوائية داخل **العظم الصدغي**(temporal bone) تُعرف باسم الخلايا الهوائية الخشائية.

الأذن الوسطى هي مساحة مملوءة بالهواء، متصلة بالجزء الخلفي من الأنف بواسطة أنبوب طويل ورفيع يُسمى **قناة استاكيوس (Eustachian tube)**. تحتوي هذه المساحة على ثلاث عظام صغيرة، هي المطرقة (malleus) والسندان (incus) والركاب (stapes)، والتي تنقل الصوت من غشاء الطبلة إلى الأذن الداخلية.

يمكن للمرء أن يتخيل تجويف الأذن الوسطى على شكل مقلاة على جانبها بمقبض يشير إلى الأسفل والأمام (قناة استاكيوس)، ولكن مع وجود ثقب في الجدار الخلفي يؤدي إلى قطعة من **العظم الإسفنجي** مع العديد من الخلايا الهوائية، وهي **الخلايا الهوائية الخشائية (mastoid air cells)**.

الأذن الوسطى هي امتداد للمساحات الهوائية التنفسية للأنف والجيوب الأنفية، وهي مبطنة بغشاء تنفسي، سميك بالقرب من قناة استاكيوس ورقيق عند مروره في الخشاء. لديها القدرة على إفراز المخاط. قناة استاكيوس عظمية عند خروجها من الأذن، ولكن عند اقترابها من الطرف الخلفي للأنف، في **البلعوم الأنفي (nasopharynx)**، تتكون من غضاريف وعضلات. يؤدي انكماش العضلات إلى فتح الأنبوب بنشاط ويسمح بتوازن ضغط الهواء في الأذن الوسطى والأنف.

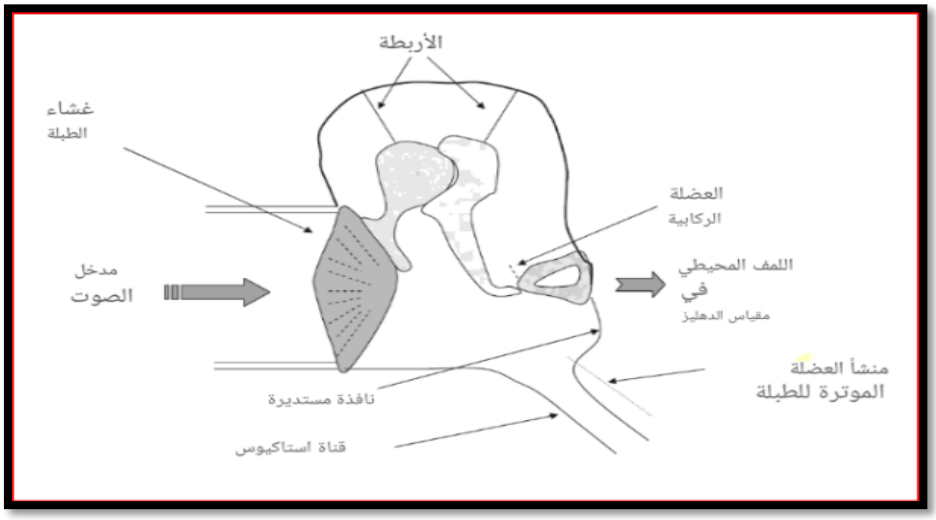
يمتد **السندان** للخلف من المطرقة، ويخرج منه نتوء رفيع جدًا يُعرف باسم الناتئ الطويل، ويتدلى بحرية في الأذن الوسطى. وله انحناء بزاوية قائمة عند طرفه، وهو متصل بـ **الركاب**، العظمة الثالثة ذات الشكل القوسي والصفيحة القدمية. تغطي صفيحة القدم النافذة البيضاوية (ovalwindow)، وهي فتحة في دهليز الأذن الداخلية أو القوقعة، والتي تتصل بها عن طريق المفصل **الركابي الدهليزي (stapedio-vestibular)**.

الأذن الوسطى، المبطنة بغشاء الجهاز التنفسي، هي في الأساس امتداد للمساحات الهوائية التنفسية في الجيوب الأنفية والأنف. هذا الغشاء التنفسي، سميك عند قناة استاكيوس ورقيق عند مروره عبر الخشاء، قادر على إنتاج المخاط . **قناة استاكيوس** بنية عظمية تخرج من الأذن الوسطى، لكنها تتكون في البلعوم الأنفي من غضاريف وعضلات. ينفتح الأنبوب بانقباض عضلي نشط، مما يسمح أيضًا بموازنة ضغط الهواء في كل من الأذن الوسطى والأنف.

1.2.1. العظيمات السمعية:

تحتوي الأذن الوسطى على ثلاث عظام صغيرة: المطرقة، والسندان، والركاب (الشكل 1). تنقل هذه العظيمات الصوت من طبلة الأذن إلى الأذن الداخلية. سميت **بالمطرقة** لوجه الشبه بينهما؛ فمقبضها مغروس في غشاء الطبلة، ويمتد من مركزها إلى أعلى. يقع رأس **المطرقة** في تجويف الأذن الوسطى فوق غشاء الطبلة (الجزء العلوي من الأذن)، حيث يُعلق برباط من العظم يُشكل غطاء الدماغ(brain covering). وهنا يتمفصل رأس المطرقة مع سندان مخروطي الشكل، وتتصل قاعدة المخروط برأس المطرقة، فوق غشاء الطبلة.

أما **السندان**، فهو موجود بين عظيمتين أخريين، له نتوء رفيع يبرز منه يُسمى الناتئ الطويل. يتدلى بحرية في الأذن الوسطى ويتصل بالركاب عند طرفه ذي الانحناء بزاوية قائمة. العظيمة الثالثة هي **الركاب** هي عظمة مقوسة الشكل تتكون من صفيحة قدم وقوس. يتمفصل الصفيحة القدمية عن طريق مفصل الركابي الدهليزي حيث يغطي النافذة البيضاوية وهي فتحة في الجهاز الدهليزي للأذن الداخلية أو القوقعة.[الشكل 4]

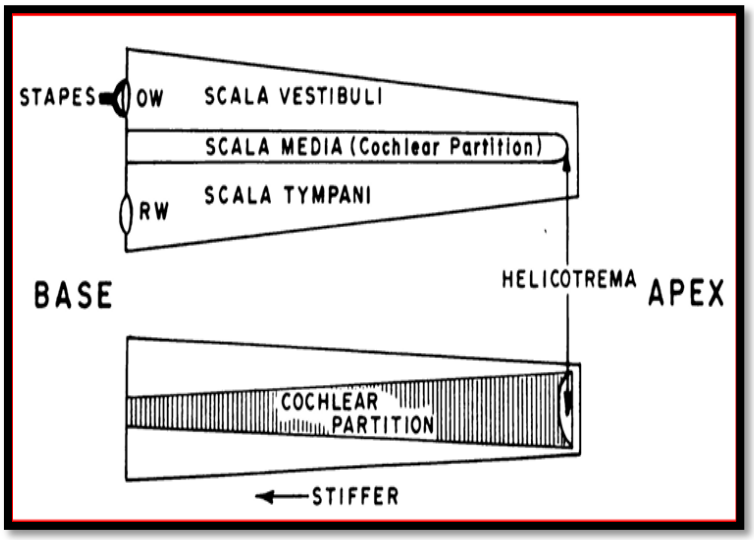


الشكل 4: يبين رسم تخطيطي للأذن الوسطى.

3.1. الأذن الداخلية:

تُسمى **القوقعة العظمية** بهذا الاسم لأن شكلها يشبه صدفة الحلزون. يبلغ حجم القوقعة حوالي 0.2 مليلتر. تحتوي هذه المساحة على ما يصل إلى 30,000 **خلية شعرية** تُحوّل الاهتزازات إلى نبضات عصبية، وحوالي 19,000 ليف عصبي ينقل الإشارات من وإلى الدماغ. تتألف من دورتين ونصف، وتضم متاهتين، أنظر الشكل (5).

المتاهة:	وظيفتها:		تنقسم:
المتاهة الغشائية (membranouslabyrinth)	السمع	وهي محاطة بسائل يُسمى **اللمف المحيطي (perilymph)**. من الأسهل تصور المتاهة الغشائية من خلال تخيل القوقعة كأنبوب عظمي مُستقيم، مُغلق عند قمته ومفتوح عند قاعدته، مع **نوافذ دائرية وبيضاوية (round and ovalwindows).**	إلى 3 أقسام، بواسطة كيس غشائي يمتد على طول القوقعة. القسمان الخارجيان هما: **1- سلم الدهليزي(scala vestibuli)**المتصل بالنافذة البيضاوية. **2- سلم الطبلة (scala tympani)** المتصل بالنافذة المستديرة. - يمتلئ القسمان بالسائل اللمفي المحيطي. يتصلان عند القمة بفتحة صغيرة تُعرف باسم **الهليكوتريما(helicotrema)** والتي تعمل كآلية لمعادلة الضغط عند ترددات أقل بكثير من النطاق المسموع.
المتاهة الدهليزية (vestibularlabyrinth)	التوازن	والذي يُمكّن الدماغ من معرفة موضع الرأس بالنسبة للجاذبية ومحيطه.	/



الشكل 5: يبين مكونات القوقعة.

2.3.1. الوظيفة:

- تقوم الخلايا الشعرية الداخلية بتحويل الاهتزازات في النطاق المسموع إلى نبضة عصبية؛ فعندما يهتز الغشاء القاعدي بفعل موجة متنقلة، تنحني أهداب الخلايا الشعرية الداخلية بالنسبة لجسم الخلية، وتُفتح أو تُغلق ممرات الأيونات في جسم الخلية، وتُحفز النهاية العصبية الواردة المتصلة بقاعدة الخلية الشعرية.

- يستجيب الغشاء القاعدي رنينيًا لأعلى الترددات عند الطرف القاعدي الأقرب للنافذة البيضاوية، وللترددات المنخفضة تدريجيًا مع التقدم نحو الطرف القمي. عند الطرف القمي، يستجيب الغشاء القاعدي رنينيًا لأدنى ترددات الصوت. ينتقل الاضطراب المُحدث عند النافذة البيضاوية كموجة تنتقل على طول الغشاء القاعدي، وتتميز بخاصية ملحوظة، وهي أنه عندما يصل كل مُركّب ترددي من الموجة المنتقلة إلى نقطة رنينه، فإنه يتوقف ولا يقطع مسافة أبعد. وبالتالي، تُعد القوقعة مُحلل ترددات فعالًا للغاية.

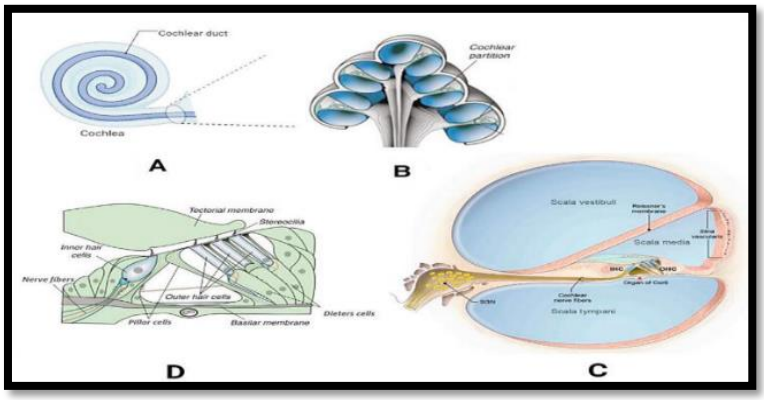
- تتمتع القوقعة بإمداد عصبي وفير من الألياف التي تأخذ النبضات من القوقعة إلى الدماغ (المسارات الواردة) والألياف التي تنقل النبضات من الدماغ إلى القوقعة (الألياف الصادرة). عند تحفيز الخلايا الشعرية الداخلية، تُطلق نبضات عصبية واردة إلى الدماغ. وكما هو الحال في جميع الآليات العصبية تقريبًا، توجد حلقة تغذية راجعة نشطة. يُعد الإمداد العصبي الوفير للخلايا الشعرية الخارجية صادرًا بشكل كبير، على الرغم من أن الوظيفة الكاملة للمسارات الصادرة لم تُفهم تمامًا بعد. وقد أُشير إلى أن الغرض من نظام التغذية الراجعة النشط الموصوف هو الحفاظ على الإزاحة الجانبية للأهداب الساكنة في الحيز تحت السقفي ضمن حدود مقبولة.

3.3.1. هياكل الأذن الداخلية: تشكل هذه الهياكل نظامين للأذن الداخلية هي:

نظام دهليزي:	ـ يحافظ على التوازن. ـ نظام حسيًا عميقًا (حلقة تغذية راجعة بين الأعضاء الحسية والجهاز العصبي، ولا تشارك فيه المحفزات الخارجية).
نظام قوقعي:	ـ يشارك في السمع. ـنظام خارجي (يحدث الإحساس في القوقعة بسبب المحفزات الخارجية مثل الصوت).

1.3.3.1. القوقعة:

هي أنبوب عظمي مملوء باللمف المحيطي، يطفو فيه متاهة غشائية مملوءة باللمف الداخلي. ورغم كونها عظمة، فهي ضرورية للسمع ونقل الإشارات كجزء من الجهاز السمعي. سُميت بهذا الاسم نسبةً إلى الكلمة اليونانية "kokhliās" التي تعني الحلزون، نظرًا لشكلها الملفوف (الشكل6). يساعد هذا الشكل الحلزوني للقوقعة على التمييز بين الترددات المختلفة، لأن المنطقة المختلفة والمحددة من حلزون القوقعة تستشعر الترددات المختلفة. تتكون القوقعة من ثلاث قنوات مبطنة بخلايا طلائية مليئة بالسوائل. كما تحتوي على عضو كورتي، وهو عضو حسي يُحوّل طاقة الصوت إلى إشارات عصبية تنتقل عبر الألياف العصبية إلى الدماغ.



الشكل 6: يبين الرسم التخطيطي يبيم الأذن الداخلية
(أ) تشريح وبنية القوقعة.
(ب) مقطع عرضي لقناة القوقعة.
(ج) ثلاث قنوات رئيسية.
(د) صورة مُكبّرة لعضو كورتي.

1.2.3.3.1. قنوات القوقعة:

تتكون القوقعة من ثلاثة سلالم:السلم الدهليزي (scala vestibuli)، والسلم الأوسط (scala media)، والسلم الطبلي (scala tympani)، التي تُحيط بالمحور. تلتف هذه السلالم الثلاث حول المحور العظمي (bony axis) في شكل درج حلزوني (spiral stairway).

2.2.3.3.1. سوائل القوقعة:

تمتلئ حجرات القوقعة بـ 3 أنواع من السوائل: اللمف المحيطي (perilymph)، واللمف الداخلي (endolymph)، والسائل داخل القوقعة (intrastrialfluid). تحافظ هذه السوائل على الجهد القوقعي الداخلي المهم للتحويل الحسي.

3.2.3.3.1. عضو كورتي (Organ of Corti):

يُعدّ عضو كورتي عضو السمع، ويقع على الغشاء القاعدي (basilar membrane). ويتكوّن من خلايا شعرية خارجية وداخلية وخلايا داعمة.

تحتوي خلايا كورتي على أهداب شعرية تُثبّتها بالغشاء السقفي**(Mechanosensorycells)**.

ـ تُساعد التغيرات في الغشاءين القاعدي والسقفي على حركة الأهداب الشعرية التي تُحفّز مستقبلات الخلايا الشعرية.

الخلايا الشعرية	عددها	وظيفتها	مرتبة بشكل:
الخارجية (Outer haircells):	حوالي 12,000 خلية	ـ تحول الإشارات الكهربائية إلى إشارات ميكانيكية لتضخم الأصوات.	في 3 صفوف.
الداخلية (Innerhaircells):	حوالي 3500 خلية	ـ مسؤولة عن السمع. ـ تنقل هذه الخلايا الشعرية الإشارة الكهربائية إلى القشرة السمعية في الدماغ عبر الألياف العصبية.	كمثري
الداعمة (Supporting cells):	/	تحافظ على سلامة الخلايا الشعرية الحسية أثناء حركة الرأس وتحفيز الصوت.	فسيفسائي

2- فسيولوجيا السمع (كيف يعمل كل هذا؟):

1.2. وظيفة الأذن الخارجية والوسطى:

لفهم دور الأذن الخارجية والوسطى في فسيولوجيا السمع، من المهم أولاً دراسة آلية توصيل الصوت. إذ يتراوح نطاق الصوت المسموع بين 16 و32 هرتز ، تتراوح حساسية الصوت بين 128 هرتز و4000 هرتز تقريبًا، ويتناقص هذا النطاق من أقصى قدر من السمع والحساسية مع التقدم في السن. يُشكل الرأس حاجزًا طبيعيًا بين الأذنين، ويلعب هذا دورًا في تحديد موقع الصوت بناءً على شدته واختلاف زمن وصوله. بالانتقال إلى صيوان الأذن، يلتقط شكله المتجعد الأصوات عالية التردد ويوجهها إلى القناة السمعية، التي تعمل كقناة رنين حيث تُضخّم الأصوات التي تقع بين 3000 و4000 هرتز لزيادة حساسية الأذن عند هذه الترددات. تستجيب الأذن للأصوات منخفضة الشدة بفضل حساسيتها. كما يُمكّن ضغط الهواء المتساوي على جانبي طبلة الأذن من هذه الحساسية. حيث توفر قناة استاكيوس هذا الضغط المتساوي من خلال فتحها لفترات قصيرة مع كل بلع ثالث أو رابع. إذا ظلت مفتوحة طوال الوقت، فقد يسمع المرء صوت أنفاسه. إذا تم إغلاق قناة استاكيوس لفترة طويلة جدًا؛ فيمكنها امتصاص الأكسجين وثاني أكسيد الكربون من الهواء في الأذن الوسطى. ونظرًا لأن الأذن الوسطى تتكون من بطانة غشاء تنفسي يمكنه امتصاص الغازات، فإن هذه العملية تنتج ضغطًا سلبيًا. قد يسبب هذا الألم كما هو الحال أثناء هبوط الطائرة إذا لم يتم فتح قناة استاكيوس. تجويف الأذن الوسطى صغير جدًا، ويحتوي على خلايا هوائية خشائية (mastoid air cells)تعمل كخزانات هواء لتوفير تأثيرات الوسادة لتغير الضغط. إذا استمر الضغط السلبي لفترة طويلة جدًا، يتم إفراز السائل بواسطة تجويف الأذن الوسطى، مما قد يسبب فقدان السمع التوصيلي.

2.2. وظيفة الأذن الداخلية:

وظيفة الأذن الداخلية هي تحويل الاهتزازات إلى نبضات عصبية. وفي أثناء ذلك، تُنتج أيضًا تحليلًا للتردد (أو النغمة) والشدة (أو علو الصوت). يمكن للألياف العصبية أن تُطلق إشارات بمعدل أقل بقليل من 200 نبضة في الثانية. تُنقل معلومات مستوى الصوت إلى الدماغ من خلال معدل إطلاق الأعصاب، من خلال مجموعة من الأعصاب، كل منها يُطلق إشارات بمعدل أقل من 200 نبضة في الثانية. ويمكنها أيضًا إطلاق إشارات في طور مقفل بإشارات صوتية تصل إلى حوالي 5 كيلوهرتز. عند الترددات الأقل من 5 كيلوهرتز.

3- المعالجة السمعية المركزية:

تُنقل النبضات العصبية على طول العصب الثامن (العصب السمعي الساكن) أي (statico-acoustic nerve) من القوقعة إلى جذع الدماغ (brain stem). وهنا تصل الألياف العصبية (nerve fibres) إلى النوى حيث تتواصل مع ألياف عصبية أخرى. تنقسم الألياف من كل عصب سمعي، بعضها يمر إلى جانب واحد من الدماغ، والبعض الآخر يبقى على الجانب نفسه. وبالتالي، عندما تمر المنبهات السمعية من كلا الأذنين إلى جانبي الدماغ، لا يمكن أن يكون فقدان السمع أحادي الجانب ناتجًا عن إصابة دماغية. تمر الألياف من الدماغ الخلفي إلى الدماغ الأوسط والقشرة المخية. هناك العديد من الوظائف المركزية.

1.3. القدرة على حجب الأصوات غير المرغوب فيها:

في غرفة مزدحمة وصاخبة، يستطيع الشاب ذو السمع الطبيعي الاستماع إلى المحادثات وإيقافها كما يشاء. يضبط الدماغ تلقائيًا وقت وصول الصوت واختلاف شدته من مصادر الإشارة المختلفة، بحيث ينتقل الصوت المطلوب إلى القشرة المخية، بينما تُقمع جميع الأصوات الأخرى التي لا تستوفي هذه المعايير بواسطة حلقات التغذية الراجعة. يتطلب هذا سمعًا محيطيًا جيدًا للترددات العالية، وأذنين، وآلية مركزية إضافية. حتى مع وجود سمع محيطي ثنائي طبيعي، يفقد كبار السن جزءًا من الآلية المركزية ويجدون صعوبة في الاستماع في الغرف المزدحمة. ويتفاقم هذا الوضع في حال وجود فقدان طفيف للسمع.

2.3. تحديد الموقع المكاني:

يستطيع الإنسان العادي تحديد مصدر الصوت بدقة. يعرف من أي اتجاه يأتي الصوت، ويعرف أين يدير رأسه للبحث عن مكبر صوت. هناك خلايا عصبية محددة في الدماغ الأوسط مسؤولة عن هذا.

3.3. الأصوات المضاءة والخفية (On and Off Sounds):

للسمع وظيفة تنبيهية، خاصةً لإشارات التحذير من جميع الأنواع. هناك خلايا دماغية تستجيب فقط لبداية صوت ما، وأخرى تستجيب فقط لانقطاع الصوت، أي تغيير. تخيل أنك في غرفة مكيفة، فعندما يُشغّل المكيف، يلاحظه المرء. بعد فترة، يختفي الصوت في الخلفية ويتجاهله.وعندما ينطفئ، يلاحظه المرء مجددًا لفترة قصيرة، ثم يختفي الصوت في الخلفية. تسمح هذه الخلايا للأذن بالاستجابة للتغير الصوتي - فتتكيف مع الصوت المستمر - ويُلاحظ التغيير فورًا. وينطبق هذا أيضًا على الآلات، فالأذن المدربة تلاحظ التغيير.

4.3. تفاعل المنبهات الصوتية مع أجزاء أخرى من الدماغ:

تتفاعل المنبهات الصوتية مع أجزاء أخرى من الدماغ لتوفير استجابات مناسبة.وهكذا، تُنتج إشارة التحذير رد فعل عام فوري يؤدي إلى الهروب، وتسارع في معدل ضربات القلب، وتوتر في العضلات، واستعداد للحركة.

- ينبه بكاء الطفل الأم بطريقة لا تُنبه الآخرين.

- قد يُحفز صوت الموسيقى العسكرية حركة منشّطة لمن تُشغّل عليهم، ويُثير الخوف والرعب في قلوبهم وعقولهم.

ـ قد تُثير بعض الأصوات الغضب، بينما تُثير أخرى السرور.

ـ المقصود هو أن الأحاسيس الناتجة عن السمع تُدمج في آلية الجسم في الجهاز العصبي المركزي، مما يجعلها جزءًا من البيئة التي نعيش فيها.

4. مشكلة نقل طاقة الصوت المحمولة جوا إلى سوائل الأذن الداخلية (عدم تطابق معاوقة الهواء والسائل):

تنتقل الإشارات الصوتية من هواء البيئة الخارجية إلى الأذن الداخلية المملوءة بالسوائل. يعتمد انتقال طاقة الصوت عند سطح بين الهواء والسائل على المعاوقات النسبية للهواء والسائل. في حالة الأذن الداخلية، ينتقل حوالي 0.1 بالمائة فقط من كثافة طاقة الموجة الصوتية الساقطة إلى السائل، وهذا يعادل فقدان 30 ديسيبال. تعمل كل من الأذن الخارجية والوسطى على مطابقة خصائص توصيل الصوت للهواء وسائل القوقعة بشكل أفضل عن طريق زيادة ضغوط الصوت التي تصل إلى الأذن الداخلية عند ترددات معينة.

الخلاصة:

تتكون الأذن تشريحيًا من آلية توصيل الصوت وآلية تحويل الصوت. تتكون آلية توصيل الصوت من جزأين: الأذن الخارجية والأذن الوسطى، إذ تنقل الأذن الخارجية الاهتزازات الصوتية إلى غشاء الطبلة، تستقبل الأذن الوسطى هذه الاهتزازات وتُضخّمها ثم تنتقل إلى الأذن الداخلية التي تتكون من **المتاهة العظمية والمتاهة الغشائية**. تقع المتاهة الغشائية داخل المتاهة العظمية، وتحتوي على القوقعة والدهليز والقنوات الهلالية. تحتوي القوقعة على الخلايا الشعرية الموجودة في عضو كورتي على أهداب تفتح حركاتها الإيقاعية قنوات النقل الميكانيكي، التي ترسل بدورها الإشارة العصبية إلى الدماغ. وبهذه الطريقة، تُحوّل هذه الاهتزازات إلى صوت مفهوم. إذ بفهم تشريح الأذن ووظائفها أمرًا أساسيًا لتشخيص ومنه علاج ووقاية من الاضطرابات التي تصيب هذه الأجزاء، بالإضافة إلى استخدام أجهزة معينات سمعية والزرع القوقعي. مثلا يُمكن أن يُؤدّي تلف الخلايا الشعرية إلى صمم، كما يُمكن أن يُؤدّي تلف الجهاز الدهليزي إلى الدوار أو فقدان التوازن.

المراجع

Alberti, P. W. (2001). The anatomy and physiology of the ear and hearing. *Occupational exposure to noise: Evaluation, prevention, and control*, 53-62.https://www.academia.edu/download/83376129/noise2.pdf

Daoudi, H., Carillo, C., & Borel, S. (2023). Anatomie et physiologie de l'oreille. *L'Aide-Soignante*, *37*(248), 8-10.https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1166341323001021

Irwin, J. (2006). Basic anatomy and physiology of the ear. *Infection and hearing impairment*, 8-13.https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=8n9T8-_v7REC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Physiology+of+the+ear&ots=pBdApoxK_9&sig=-vr1gQ-sw9jR4hpgw2NkSToR4Tc

Kutz Jr, J. W., Isaacson, B., & Shah, V. (2024). Anatomy and Physiology of the InnerEar. In *OVERCOMING HEARING LOSS: From Drug Therapy to Cochlear Implant Surgery: Latest Advancements in the Management of Hearing Loss* (pp. 1-13).https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789811287978_0001

Merchant, S. N., &Rosowski, J. J. (2003). Auditory physiology. *Surgery of the Ear*, *5*, 59-82.https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=IvYbOyS6_i0C&oi=fnd&pg=PA59&dq=Physiology+of+the+ear&ots=IIC8SX_J0q&sig=zvn_8kE7R3drrDmRHpgk0rJbm80

Mu, Z., & Wang, X. (2021). AppliedAnatomy and Physiology of Ear. In *PracticalOtorhinolaryngology-Head and Neck Surgery: Diagnosis and Treatment* (pp. 43-49). Singapore: Springer Singapore.https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-7993-2_6

Zannoni, A. (2008). *Le pharmacien et l'oreille: conseils à l'officine* (Doctoral dissertation, UHP-Université Henri Poincaré).https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01732573/