الباب الرابع
السـمع والإدراك

الفصل الأول
التشريح الوظيفي لجهاز السمع

لاشك أن الحواس لا تستطيع إدراك كل الحقيقة الموجودة في العالم المحيط على ما هي عليه. وشأن السمع في ذلك شأن البصر وسائر الحواس، فالأشياء منها ما هو قابل للرؤية بالعين المجردة، ومنها ما لا يرى إلا باستخدام المجاهير (التليسكوبات)، كما أن السمع والبصر كليهما يتأثر تأثراً كبيراً بتقدم السن. إن للطعوم والأذواق والمرئيات التي ندركها وجوداً ولا شك في عالم الواقع، غير أن قدرة الإنسان على إدراكها محكومة بعوامل كثيرة تجعل في الإمكان وجود فجوة ما بين الواقع والمدركات الحسية التي يتلقاها الإنسان عن طريق الحواس. ومن هنا قررنا فيما سبق أن جهاز السمع محكوم بحد أدنى وحد أعلى من القوى والترددات يُشكلان منطقة السمع لديه. أما ما دون ذلك وما فوق ذلك من القوى والترددات فيقع خارج قدرة السمع، وإن كان عدم إدراك هذه القوى والترددات لا يعني نفي وجودها الواقعي، بل هي موجودة سواء أدركها أو لم يدركها.

وتتفاوت أنواع الحيوان تفاوتاً كبيراً في قدرتها على السمع؛ فالأنواع الدنيا منها تتمتع غالباً بقدرة تفوق قدرة الإنسان، ذلك أن حدة السمع بالنسبة للحيوان مرتبطة أوثق ارتباط بغريزة البقاء طلباً للفريسة، أو درءاً للأخطار.

أما بالنسبة للإنسان فإن السمع بالنسبة له يمثل وسيلة من وسائل الاتصال بينه وبين العالم، وحلقة من حلقات عملية الاتصال اللغوي بينه وبين بني جنسه.

والوظيفة الأساسية لجهاز السمع هي استقبال الاهتزازات الأكوستيكية، وتحويلها إلى إشارات تنتقل عبر عصب السمع إلى المخ..

١ - الصماخ الخارجي
٢ - الأذن الوسطى
٣ - القوقعة
٤ - نهاية العصب السمعي

شكل (٩٩)

وتشكل هذه الإشارات ذات الطبيعة المعقدة عالم الصوت الذي ندركه. وللسمع جانبان لابد من تناولهما، حتى نستبين طبيعة تلك الوظيفة وكيفية أدائها. **وأولهما**: الجانب التشريحي الوظيفي لهذا الجهاز بدءاً من الجزء الخارجي الظاهر للعيان حتى النقطة التي تتحول عندها المثيرات الصوتية إلى نشاط عصبي. ويقوم هذا الجانب بوظيفة **استقبال الصوت** reception . أما **ثانيهما**: فهو الجانب الخاص باستجابة الأذن وحكمها على المثيرات الصوتية المختلفة التي تتلقاها، ويختص هذا الجانب **بإدراك الصوت** perception، وهو مجال خصب من مجالات **السمعيات** Audiology، وعلم **النفس التجريبي** experimental psychology، وعلى وجه الخصوص ذلك الفرع الذي يسمى **علم النفس الأكوستيكي** psycho -acoustics.

وسنخصص هذا الفصل لمعالجة الجانب الأول وهو التشريح الوظيفي لجهاز السمع.

١- الأذن الخارجية external ear

تتكون الأذن الخارجية من أجزاء ثلاثة هي:

(أ) صيوان الأذن auricle or Pinna

وهو تكوين غضروفي محدب يقوم بتوجيه الموجات الصوتية إلى الصماخ الخارجي للأذن (أو ما يسمى قناة الأذن الخارجية). ويساعد هذا الجزء كثيراً من أنواع الحيوان على تحديد موضع مصدر الصوت، وذلك بسبب قابليته

للحركة، كما يمكن أن يؤدي بالنسبة للحيوان وظيفة غرفة رنين بالنسبة لبعض الترددات.

أما بالنسبة للإنسان فبالرغم من أن العضلتين اللتين يستخدمهما الحيوان في تحريك صيوان الأذن مازالتا موجودتين عنده، إلا أنهما من النادر أن يستخدمهما الإنسان لأداء مثل هذه الوظيفة، ولذلك فإن أثر هذا الجزء على عملية السمع عند الإنسان غير كبير، وإن كان لا يزال محتفظاً بأهميته إلى حد ما في تحديد موضع مصدر الصوت؛ فبه يستطيع الإنسان أن يميز الاهتزازات الأكوستيكية القادمة بشكل مباشر من الاهتزازات القادمة بشكل غير مباشر من الخلف، وذلك نتيجة حدوث فروق في الشدة وفي نوعية الصوت.

والواقع أن الموجات الصوتية التي تصل إلى إحدى الأذنين تختلف عن الموجات التي تصل إلى الأذن الأخرى من ناحتين هما: اختلاف كمية الشدة، واختلاف توقيت الوصول إلى كل منهما. وهذا الأمر هو الذي يساعد الإنسان على تحديد مكان مصدر الصوت، كما يساعده على التركيز على ما يهمه من حديث في وسط غرفة تضج بالأحاديث المختلطة. ويتضح ذلك إذا ما استخدمنا مثيرين صوتيين وعرضنا لهما أحد الأشخاص بواسطة سماعتين في الأذن بحيث يمكن التحكم في كمية الشدة، وفي توقيت وصول الصوت إليهما (مقيساً بالوحدة م/ث).

ومن هذه التجربة استطاع العلماء الوصول إلى النتائج الآتية:

أولاً: إذا تساوى المثيران في الشدة والتوقيت فإن السامع يميل إلى تحديد موضع الصوت على أنه عند مركز الرأس.

ثانياً: عند تأخير وصول الصوت إلى الأذن اليمنى يتحرك موضع مصدر الصوت بالنسبة للسامع في اتجاه الأذن اليسرى، والعكس صحيح.

ثالثاً: زيادة شدة الصوت الذي يصل إلى الأذن اليمنى يجعل موضع مصدر الصوت يتحرك قريباً منها، والعكس صحيح.

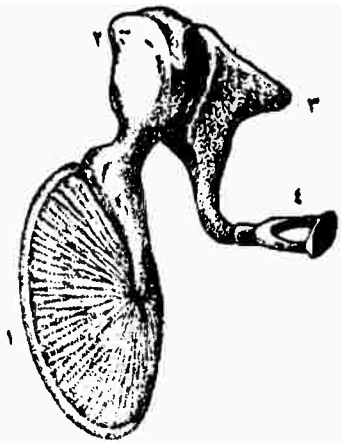
١ - القناة الخارجية
٢ - طبلة الأذن
٣ - المطرقة
٤ - السندان
٥ - الركاب
٦ - تجويف الأذن الوسطى
٧ - النافذة البيضاوية
٨ - النافذة المستديرة
٩ - قناة استاخيو
١٠- القوقعة

شكل (١٠٠) الأذن الخارجية والوسطى

(ب) الصماخ الخارجي للسمع external auditory meatus

يبلغ طول الصماخ الخارجي للسمع حوالي $\frac{1}{4}$ ١ بوصة، وهو مغلق تماماً من الداخل بطبلة الأذن ear drum، ومفتوح من الطرف الآخر عند اتصاله بالخارج (انظر الشكل ١٠٠). ويتكون الثلث الأول الذي يشكل فتحة الصماخ الخارجي من غضروف متصل بغضروف صيوان الأذن. أما الثلثان الداخليان فهما تركيب يمتد داخل عظمة الصدغ temporal bone.

وفي مدخل الصماخ تنبت الشعيرات التي تقوم بدور مهم في حماية طبلة الأذن بالاشتراك مع المادة الصمغية التي تفرزها غدد معينة. وبالإضافة إلى وظيفته الواقية للطبلة يقوم الصماخ بوظيفة ثانية، هي توصيل الاهتزازت الأكوستيكية إلى طبلة الأذن. أما الوظيفة الثالثة للصماخ فتتمثل في قيامه بوظيفة غرفة رنين، تتولى تضخيم الموجات الصوتية عند الترددات القريبة من ترددها الطبيعي. وهكذا يمكن لضغط الهواء بالنسبة للترددات الواقعة ما بين ٣٠٠٠ و ٤٠٠٠ هيرتز (ذ/ث) أن تبلغ الضعفين أو أربعة الأمثال بالنسبة لضغطها عند مدخل الصماخ الخارجي. وبذلك تتمكن الأذن من تمييز بعض الأصوات التي ما كنا لندركها لو أن طبلة الأذن كانت ظاهرة على السطح.



١- الطبلة
٢- المطرقة
٣- السندان
٤- الركاب

شكل (١٠١)
الطبلة والعظيمات الثلاث

وليست هذه الميزة الوحيدة لوجود الصماخ الخارجي قبل الطبلة، أو - بعبارة أخرى - لوجود الطبلة على بعد من الفتحة الخارجية للأذن. إن ذلك الوضع يحميها من التعرض بسهولة للتلف، كما يجعل درجة الحرارة والرطوبة في المنطقة الملامسة لها في معزل عن ظروف الطقس الخارجية، وبذلك تتمتع الطبلة بالمرونة اللازمة، وتستجيب في يسر للاهتزازات.

(جـ) طبلة الأذن ear drum

تشكل طبلة الأذن نهاية الطرف الداخلي لصماخ الأذن الخارجي، كما تشكل أيضاً الجدار الجانبي للأذن الوسطى. وبالرغم من أن غشاء الطبلة يتكون من ثلاث طبقات فإن سمكه لا يتجاوز ٠,١ مم. ويبلغ بُعداها ٨ مم عرضاً و٩مم ارتفاعاً. وتتخذ الطبلة وضعاً مائلاً إلى الداخل من أسفل، كما أنها محدبة من الناحية المواجهة للأذن الخارجية. ويدعم الغشاء من ناحية محيطه حلقات عظمية تشكل دائرة حول المحيط، وبها قصور طفيف من أعلى.

ويسمى الجزء العلوي من الغشاء **الجزء الرخو** pars flaccida، وهو رقيق ولا يشتمل على أي نسيج ضام، على عكس الأجزاء الأخرى من الطبلة، التي يشكل النسيج الضام إحدى طبقاتها الثلاث.

وطبلة الأذن غشاء بالغ الحساسية للموجات الصوتية، بحيث يُحدث عند تحركه ترددات مطابقة للترددات الصادرة عن الجسم المهتز الذي هو مصدر الصوت، وحينئذ تقوم المطرقة مع العظيمتين الأخريين (السندان والركاب)

بمحاكاة اهتزازات الطبلة محاكاة أمينة. وهذا يعني أن الطبلة لا تهتز طبقاً لمعدل ثابت خاص بها، ولكن طبيعتها الاهتزازية تتميز بانعدام الدورية aperiodicity؛ لتكون قابلة لنقل جميع الترددات الواقعة في مجال السمع. وتعد الطبقة الوسطى في تكوين الطبلة هي المسؤولة عن انعدام دورية الاهتزاز، وذلك بحكم تكونها من ألياف دائرة تنتشر على هيئة انتشار الأشعة من مصدر الضوء. وتختلف درجة توترها باختلاف المناطق؛ فعندما تهتز يد المطرقة تشد الغشاء إلى الداخل، فيتخذ شكلاً مخروطياً، ويقع طرفه المخروطي تحت المركز الأصلي للغشاء. وهذه الخواص هي المسؤولة عن انعدام الدورية في الاهتزاز بعد الانقطاع العارض لاهتزازات الصوت.

وتهتز طبلة الأذن عادة بالطريقة نفسها التي يهتز بها غشاء مكبر الصوت (الميكروفون)، حيث اتساع الاهتزازات ضئيل جداً، ولكنه كاف لأن نميز به مجالاً كبيراً من درجات الشدة. وهذا إنما يعكس الحساسية البالغة لطبلة الأذن تجاه كميات الشدة التي تتضمنها الرسالة المسموعة.

ولا تقتصر وظيفة الطبلة على استقبال الاهتزازات، ولكنها تقوم أيضاً جداراً يحمي التركيب الدقيق للأذن الوسطى.

٢- الأذن الوسطى middle ear

تقوم الأذن الوسطى بنقل الطاقة الصوتية من الأذن الخارجية إلى النافذة البيضاوية oval window التي تشكل بداية الأذن الداخلية.

وتتكون الأذن الوسطى من **عظيمات السمع** auditory ossicles، وهي ثلاث عظيمات: **المطرقة** malleus، **والسندان** incus، **والركاب** stape. وتقع العظيمات بهذا الترتيب ابتداء من طبلة الأذن إلى النافذة البيضاوية؛ لتشكل وصلة آلية، تعمل بطريقة الروافع بين الأذن الخارجية والأذن الداخلية. وتتدلى هذه العظيمات في **تجويف الأذن الوسطى** tympanic cavity - والذي هو تجويف يقع داخل عظام الجمجمة - بواسطة أربطة متعددة تصلها بجدران التجويف.

وترتكز يد المطرقة على طبلة الأذن، وتتصل بها اتصالاً وثيقاً، مغطية حوالي نصف مساحة الطبلة. ويمكن رؤية المطرقة من خلال المنظار على هيئة شريط أبيض يتجه إلى أسفل حتى مركز الطبلة تقريباً. وتنقل المطرقة

اهتزازات طبلة الأذن إلى السندان، الذي يتصل بدوره بعظمة الركاب. وتغشى عظمة الركاب - بصفيحتها العظمية السفلية - النافذة البيضاوية. وتشكل هذه النافذة مدخل مرقاة الدهليز scala vestibuli في الأذن الداخلية.

ويقتضي توفير الحساسية اللازمة لطبلة الأذن أن يكون ضغط الهواء الجوي أمامها من ناحية الصماخ الخارجي متعادلاً مع ضغط الهواء خلفها في تجويف الأذن الوسطى. وهنا تبرز أهمية قناة استاخيو Eustachian tube، التي تصل تجويف الأذن الوسطى (أو تجويفي الأذنين الوسطيين إن شئنا الدقة) بتجويفي البلعوم الأنفي ممتدة بينهما مسافة $1\frac{1}{2}$ بوصة تقريباً. ويشتمل ثلثا القناة (من ناحية البلعوم الأنفي) على تكوين غضروفي وليفي، على حين يحاط الثلث الأخير (من ناحية الأذن الوسطى) بالعظم الصدغي.

ويقع الطرف البلعومي من القناة في داخل الغشاء المخاطي المبطن للبلعوم الأنفي. ويصل اتساع القناة من هذا الطرف إلى حوالي ٩مم. وتكوِّن القناة عند اتصال الجزء العظمي منها بالجزء الغضروفي مضيقاً يبلغ ارتفاعه من ٢ إلى ٣مم، وعرضه من ١ إلى $1\frac{1}{2}$ ١مم، ثم تبدأ في الاتساع التدريجي متجهة نحو الأذن الوسطى.

وباتصال قناة استاخيو بالبلعوم الأنفي يتحقق اتصال الهواء المحتبس في تجويف الأذن الوسطى بالهواء الخارجي، بحيث يمكن معادلة ضغطيهما، وهو شرط لابد منه لتمكين الطبلة من الاهتزاز بطريقة عادية، ومن ثم لنقل الاهتزازات إلى الأذن الداخلية.

وتكون القناة مغلقة بشكل طبيعي عند منطقة المضيق، ولا تنفتح إلا لمعادلة فروق الضغط. ويحدث ذلك - على سبيل المثال - عند الإقلاع أو الهبوط في الرحلات الجوية، ويساعد البلع أو التثاؤب على فتح القناة.

وتشتمل الأذن الوسطى كذلك على عضلتين هما: العضلة الطبلية الموترة tensor tympani muscle، والعضلة الركابية stapedius muscle. وأولاهما عضلة أسطوانية مغزلية الشكل، يبلغ طولها من ٢٢ إلى ٢٥مم. وتمتد من الطرف العلوي لفتحة قناة استاخيو إلى يد المطرقة. وتكون هذه العضلة في حالة ارتخاء أثناء الصمت، أما أثناء استقبال الصوت فتقوم بجذب يد

المطرقة إلى الداخل ومعها غشاء الطبلة، وبذلك تزيد من توتر الغشاء مما يرفع من حساسية طبلة الأذن للترددات العالية.

أما العضلة الركابية فتتكوَّن من ألياف متوازية قصيرة يصل متوسط طولها إلى ٦مم، مما يجعلها أصغر عضلات الجسم، وتمتد من الجدار الخلفي لتجويف الأذن الوسطى إلى السطح الخلفي لعنق الركاب. ووظيفة هذه العضلة دفع الركاب في اتجاه هابط خارج، وتوتير النافذة البيضاوية.

وتقوم الأذن الوسطى بمساعدة هاتين العضلتين بوظيفة من أهم وظائفها؛ وهي حماية الأذن الداخلية من الأصوات البالغة العلو، بأن تقوم العضلة الأولى بإيقاف الطبلة، على حين تقوم الأخرى بتحريك الركاب بعيداً عن النافذة البيضاوية. وتصحب هذه العملية عملية أخرى لتغيير المحور الذي يدور حوله الركاب، فعند استقبال الأصوات العادية يهتز الركاب كالنموذج المبين في الشكل ١٠٢ «أ»، أما حين تكون الإشارة الصوتية بالغة الشدة فيتسبب الانقباض العضلي في تحويل اهتزاز الركاب من النموذج المبين في الشكل ١٠٢ «أ» إلى النموذج المبين في الشكل «ب». وبهذا تخف تنوعات الضغط الواقع على الأذن الداخلية حماية لتركيبها الدقيق. غير أن عامل المفاجأة قد يعوق الأذن الوسطى عن أداء هذه الوظيفة الواقية، وحينئذ يمكن أن يؤدى الصوت المفاجئ شديد العلو إلى حدوث تلف بالأذن الداخلية.

أ - عندما يكون المثير عادياً في شدته

ب- عندما يكون المثير عالي الشدة

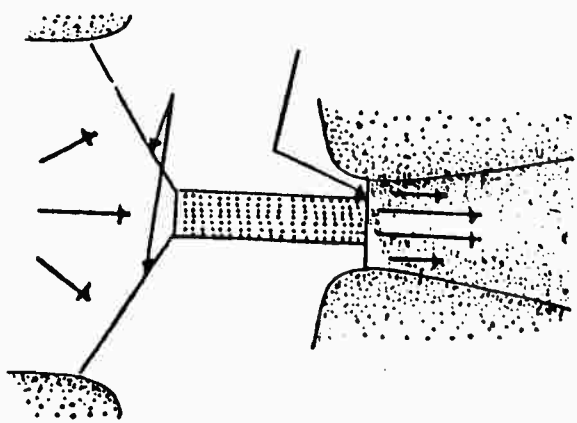
شكل (١٠٢)

محور دوران الركاب

أما الوظيفة الأساسية الثانية للأذن الوسطى فهي زيادة كمية الطاقة الأكوستيكية التي تُنقل إلى الأذن الداخلية. فلو تصورنا أن موجة صوتية وصلت إلى النافذة البيضاوية مباشرة دون أن تمر بطبلة الأذن والعظيمات الثلاث فإن الطاقة الناتجة سترتد، كما يرتد الصوت حين يصطدم بسطح صلب؛ لذلك كان من الضروري لرفع كفاءة جهاز السمع زيادة الطاقة التي ينتقل بها الصوت إلى الأذن الداخلية بزيادة اتساع الضغوط المتنوعة على النافذة البيضاوية. والعاملان اللذان ييسران للأذن الوسطى أداء هذه الوظيفة هما:

أولاً: طبيعة تركيب العظيمات الثلاث التي هي رافعة من النوع الأول؛ حيث يقع محور الارتكاز بين القوة والمقاومة، وحيث ذراع القوة أكبر من ذراع المقاومة؛ لذلك تكون القوة الناتجة عند الركاب أكبر من القوة المحركة للمطرقة. وتساوي النسبة بين القوتين النسبة بين إزاحة طبلة الأذن وإزاحة الركاب، حيث تساوي الثانية $1\frac{1}{2}$ بالنسبة الأولى.

ثانياً: أن مجموع القوة المحركة للركاب (وهي كما ذكرنا أكبر من القوة المحركة للمطرقة) إنما تستخدم للضغط على النافذة البيضاوية، وهي منطقة أصغر مساحة بكثير من طبلة الأذن. ويوضح الشكل ١٠٣ النسبة بين مساحة المنطقتين.



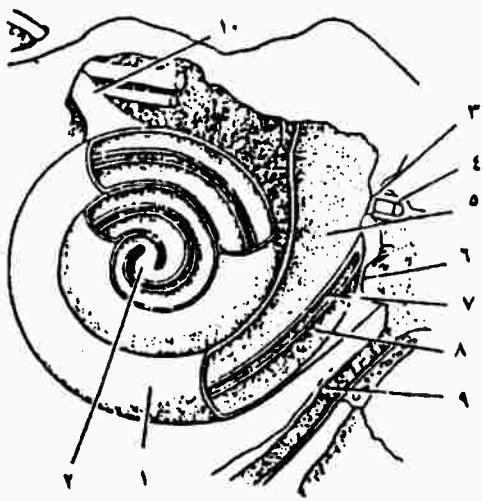
شكل (١٠٣)

زيادة القوة الأكوستيكية بواسطة الأذن الوسطى.

ويظهر منه أن مساحة طبلة الأذن أكبر من مساحة النافذة البيضاوية بحوالي ٣٥ مثلاً. وتتضافر هذه التأثيرات لتجعل الضغط الواقع على النافذة البيضاوية أكبر بخمسة وثلاثين مثلاً من الضغط الواقع عليها في حالة عدم وجود الطبلة والعظيمات الثلاث.

٣- الأذن الداخلية inner ear

للأذن الداخلية وظيفتان مهمتان **أولاهما**: حفظ توازن الجسم، وتقوم بها **القنوات الهلالية** semicircular canals، **وثانيتهما**: تحويل الاهتزازات الآلية لعظيمات السمع الثلاث إلى نشاط عصبي يصل إلى المخ بطريق العصب السمعي. وتقوم بهذه الوظيفة **القوقعة** cochlea. وسنقصر حديثنا على الجانب الثاني متناولين تركيب القوقعة وكيفية قيامها بهذه الوظيفة، التي هي آخر حلقة في عملية السمع؛ بل هي آخر حلقة في عملية الاتصال اللغوي حين يتم بين متكلم وسامع.



١- القوقعة
٢- الارتفاع المستدير
٣- النافذة البيضاوية
٤- الركاب
٥- مرقاة الدهليز
٦- النافذة المستديرة
٧- قناة القوقعة
٨- مرقاة الطبلة
٩- قناة استاخيو
١٠- العصب السمعي

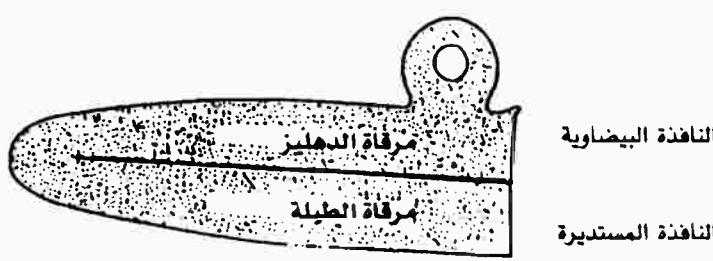
شكل (١٠٤) القوقعة

والقوقعة دهليز مغلق تماماً وذو جدران صلبة. وهو مملوء بسائل يسمى **البلغم المحيطي** prelimph، تبلغ لُزوجته ضعف لزوجة الماء تقريباً. وتلتف القوقعة حول نفسها على نحو يشبه محارة حلزونية، وتبلغ عدد لفاتها لفتين

ونصفاً تقريباً. وتنقسم القوقعة افقياً قسمين بواسطة حاجز غشائي يسمى **الفاصل القوقعي** cochler partitor. ويشكل هذا الفاصل حاجزاً ما بين القسم العلوي من القوقعة، ويسمى **مرقاة الدهليز** scala vestibuli، وتبدأ من ناحية الأذن الوسطى بالفتحة الغشائية المسماة **النافذة البيضاوية** oval window، وما بين القسم السفلي الذي يسمى **مرقاة الطبلة** scala tympani. وتنتهي عند قاعدة القوقعة بفتحة غشائية أخرى تسمى **النافذة المستديرة** round window. (أو غشاء الطبلة الثانوي)، ومن هنا أطلق على المرقاة (الذي يبدأ عندها الغشاء) اسم مرقاة الطبلة.

والواقع أن الفاصل القوقعي لا يفصل مرقاة الدهليز عن مرقاة الطبلة فصلاً تاماً، ولكنه ينتهي قبيل الطرف الأمامي للقوقعة تاركاً ثمة فتحة تسمى **الممر الحلزوني** helicoterma. وتسمح هذه الفتحة للبلغم المحيطي بالوجود وحرية الحركة ما بين مرقاة الدهليز ومرقاة الطبلة، إذا ما حدثت له إزاحة نتيجة ضغط الركاب على النافذة البيضاوية.

وتبسيطاً لشكل القوقعة وحتى يمكن تصورها بقدر أوفر من الوضوح تعارف علماء التشريح على تمثيل شكل القوقعة تخطيطاً، على فرض امتدادها طولياً من غير التفاف. وهذا ما يصوره الشكل ١٠٥؛ وفيه تتضح علاقة النافذة البيضاوية بمرقاة الدهليز، وعلاقة النافذة المستديرة بمرقاة الطبلة، وتجويف الممر الحلزوني الذي يسمح بوجود البلغم المحيطي وانتقاله بين المرقاتين، وتكوين الفاصل القوقعي والوظائف التي يقوم بها هو أمر ذو أهمية حيوية في عملية السمع. وسنحاول شرح ذلك من خلال الشكل الذي يصور رسماً تخطيطياً لقطاع عرضي في القوقعة.

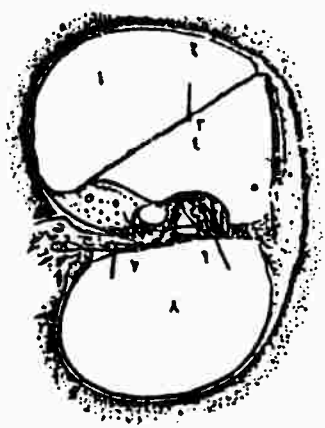


شكل (١٠٥)

رسم تخطيطي للقوقعة على فرض عدم التفافها

يتكون الفاصل القوقعي من **قناة القوقعة** cochlear duct (وتسمى كذلك **المرقاة الوسطى** scala media لتوسطها بين مرقاة الدهليز ومرقاة الطبلة)، ومن **عضو كورتي** organ of Corty (نسبة إلى العالم الإيطالي مارشيز الفونسو كورتي الذي اكتشف هذا العضو عام ١٨٥١م)، وهو العضو الذي يقوم بتوصيل المثيرات السمعية إلى المخ.

وقناة القوقعة هي فراغ أجوف يمتلئ بسائل هلامي ذي نسبة لزوجة عالية، ويسمى **سائل التيه الغشائي** endolymph. ولا مكان لهذا السائل إلا قناة القوقعة، وليس هناك أي إمكانية لاتصاله بالبلغم المحيطي الذي تمتلئ به مرقاة الدهليز ومرقاة الطبلة؛ حيث إن الفاصل القوقعي مفصول تماماً عن مرقاة الدهليز بتركيب غشائي يسمى **غشاء ريزنر** Reissner's membrane. ولا تزال أهمية هذا الغشاء في عملية السمع غير معروفة، ولعل فصله بين سائل التيه الغشائي وسائل البلغم المحيطي هو الوظيفة المؤكدة له حتى الآن. كذلك يفصل الفاصل القوقعي عن مرقاة الطبلة تركيب عظمي يسمى **الرف العظمي** bony shelf يحتل نصف الدورة الحلزونية، ويمتد في النصف الباقي على هيئة غشاء يسمى **الغشاء القاعدي** basilar membrane، ويرتبط هذا الغشاء بدوره **بالرباط الحلزوني** spiral legament، الذي يلتف بطول الجدار الخارجي للقوقعة.

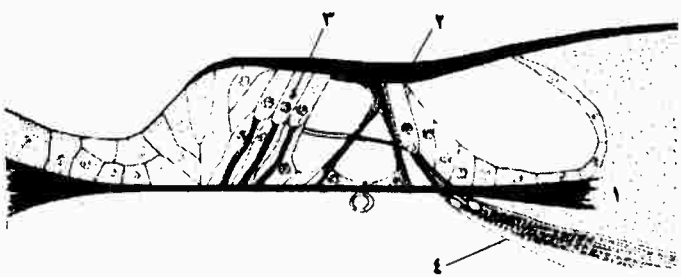


١- مرقاة الدهليز
٢- غشاء ريزنر
٣- قناة القوقعة
٤- الرباط الحلزوني
٥- عضو كورتي
٦- الغشاء القاعدي
٧- الرف العظمي
٨- مرقاة الطبلة

شكل (١٠٦)

قطاع عرضي للقوقعة على فرض عدم التفافها

أما عضو كورتي (الشكل ١٠٧) فيقع فوق الغشاء القاعدي مباشرة، وهو مغمور بسائل التيه الغشائي الموجود في قناة القوقعة (المرقاة الوسطى). ويتكون من سلسلة من الأقواس (أو الأعمدة)، تصطف بالترتيب على طول الغشاء القاعدي. وبين سلسلة الأقواس توجد **الخلايا الشعرية** hair cells، التي تتكون من شعرات توجد على هيئة صفوف؛ يبرز أحدها على أحد الجانبين الداخليين متصلا بعصا القوس الداخلية، وتسمى خلاياه **الخلايا الشعرية الداخلية**. وتبرز عدة صفوف على الجانب الخارجي من عصا القوس الخارجية (وهي العصا التي يكتمل بها منظر القوس)، وتسمى **الخلايا الشعرية الخارجية**. ويصل العدد الكلي للخلايا الشعرية إلى حوالي ٣١,٠٠٠ خلية، منها حوالي ٧,٠٠٠ خلية شعرية داخلية و ٢٤,٠٠٠ خلية شعرية خارجية. ويستقر فوق هذه الخلايا غشاء يسمى **غشاء سقف كورتي** tectorial membran. وهو غشاء هلامي مرتبط من أحد طرفيه بالصفيحة الحلزونية، وحر من الناحية الأخرى؛ حيث تتصل به أهداب الخلايا الشعرية. أما نهاية الخلايا الشعرية من ناحية الغشاء القاعدي فترتبط بالألياف العصبية التي تتجمع لتشكل الحزمة الأساسية للعصب السمعي.



١- الغشاء القاعدي
٢- غشاء سقف كورتي
٣- الخلايا الشعرية
٤- الألياف العصبية

شكل (١٠٧)

عضو كورتي

ويمكن باستحضار الوصف التشريحي الوظيفي للأذن الداخلية أن نفهم نوع الوظيفة التي تقوم بها في عملية السمع. فعندما تهتز عظيمات السمع الثلاث يهتز الركاب اهتزازات مماثلة لاهتزازات طبلة الأذن، فيضغط على النافذة البيضاوية ضغوطاً تتنوع بحسب هذه الاهتزازات، وبذلك ينتقل الضغط

إلى البلغم المحيطي الموجود في مرقاة الدهليز، فيُحدث فيه موجات يختلف بُعد كل منها عن النافذة البيضاوية بحسب الضغوط الواقعة عليه من الركاب. وتحدث هذه الموجات أثرها عندما تضغط على الفاصل القوقعي فيهتز، وتهتز معه الخلايا الشعرية تبعاً لاهتزاز غشاء سقف كورتي. وحينئذ تتولد دفعات كهربية في عضو كورتي، تنقلها الألياف العصبية المثبتة في الغشاء القاعدي، ويتم إرسال إشاراتها واستجاباتها عبر العصب السمعي إلى المخ. وتقوم النافذة المستديرة في هذه العملية بدور تنفيسي للحركة الموجية الحادثة في البلغم المحيطي، وذلك باندفاعها في اتجاه الأذن الوسطى أثناء الموجة، ثم ارتدادها بعد ذلك إلى وضعها الطبيعي ليستعاد التوازن. لذلك يتسبب تصلب هذه النافذة في إحداث اضطرابات في السمع؛ لأنها توفر القدر اللازم من المرونة لحركة السائل في التيه العظمى المغلق.

وتتوقف عملية انتقال الضغط من الركاب - بطول المسافة الواقعة بين النافذة البيضاوية والممر الحلزوني - على تردد النغمة المسموعة، فالنغمات ذات التردد المنخفض تصل في حركتها إلى الطرف الأمامي للقوقعة قرب الممر الحلزوني. أما النغمات ذات التردد العالي فإن اهتزازاتها تتقارب وتتلامس قرب الطرف القاعدي للقوقعة، وتنتقل من مرقاة الدهليز إلى مرقاة الطبلة محدثة اهتزازات موضعية للغشاء القاعدي.

ويرتبط الأثر السمعي للمثيرات الصوتية بما تحدثه موجات الضغط في البلغم المحيطي، وما ينشأ عن ذلك من تعديلات وإزاحات للغشاء القاعدي؛ ذلك أن جزءاً معيناً من هذا الغشاء يهتز مع الحركة الموجية اهتزازاً أقوى نسبياً من اهتزازه في باقي القطاعات الأخرى. وتتسبب الترددات ذات العلو الشديد في حمل العقد الرنينية resonance nodes الواقعة بالقرب من قاعدة القوقعة على الاستجابة (انظر في الفصل التالي حديثنا عن الجهاز العصبي)، كما تتسبب الترددات المتوسطة في استجابة العقد الرنينية الواقعة في وسط القوقعة. أما الترددات المنخفضة فتقع منطقة الضغط الرنيني الخاصة بها عند الطرف الأمامي للقوقعة. وهكذا يتغير موضع الرنين تبعاً للمنطقة التي يحدث فيها أقوى اهتزاز.

والعامل الذي يسهم في تحديد استجابة بعض أجزاء الغشاء القاعدي استجابة أقوى بالنسبة لترددات معينة هو طبيعة تركيب الغشاء القاعدي نفسه؛ فهذا الغشاء يصل عرضه عند الطرف القاعدي إلى حوالي ٠,٤ مم؛ ويتصف في هذه المنطقة بالتصلب. أما عند الطرف الأمامي فيصل عرضه إلى ٠,٥ مم، حيث نجده أكبر سمكاً وأكثر مرونة. ومن هنا كانت استجابة الغشاء القاعدي للترددات العالية أكبر في المنطقة الواقعة بالقرب من النافذة البيضاوية، حيث يكون الغشاء رقيقاً ومتصلباً، على حين تنتقل منطقة الاستجابة للترددات المنخفضة في اتجاه الطرف الأمامي.

ولا يعرف على وجه الدقة - حتى الآن - الطريقة التي تنتقل بها الإشارة إلى الخلايا الشعرية، فربما كان انتقالها من خلال العصوات التي تشكل أقواس عضو كورتي، وربم كانت إشارتها تتوقف على إثارة أهدابها التي تبرز في وسط سائل التيه الغشائي.

الفصل الثاني
الجهاز العصبي

نقطة البداية ونقطة النهاية في عملية الاتصال اللغوي بين متكلم وسامع هي المخ، وفيما بين النقطتين يقوم جهاز بالغ التعقيد من الممرات العصبية والأعصاب المحركة وأعصاب الإحساس والعضلات لدى كل من المتكلم والسامع بمهمة التحكم والتوصيل. وهذا ما جعلنا نؤثر معالجة الجانب العصبي من عملية الاتصال اللغوي بجانبيها الكلام والسمع معالجة مترابطة.

وإذا تصورنا السرعة التي يتم بها تحويل **المفهوم** conception، إلى شفرة عصبية تنتقل من مخ المتكلم عبر الممرات العصبية إلى أعصاب الحركة، ثم تتحول الشفرة العصبية إلى شفرة فسيولوجية بواسطة استجابات العضلات المتحكمة في جهاز النطق، ثم تؤول الشفرة الفسيولوجية إلى شفرة أكوستيكية، ثم تصير الشفرة الأكوستيكية إلى شفرة فسيولوجية بواسطة استجابات جهاز السمع عبر الأذن الخارجية والأذن الوسطى والأذن الداخلية، حيث تتحول مرة أخرى إلى شفرة عصبية، تنتقل عبر العصب السمعي والممرات العصبية إلى مخ السامع، حيث يتم تفسيرها - نقول إذا تصورنا السرعة التي تتم بها هذه العمليات البالغة التعقيد أدركنا عظمة السر الذي ينطوي عليه التكوين التشريحي والفسيولوجي والعصبي للإنسان.

وبالرغم من أن العلم قد توصل إلى معرفة الكثير عن المخ وتشريحه وعن تكوين الجهاز العصبي وعلاقته بالعمليات الحيوية والذهنية التي يؤديها الإنسان، إلا أن جهود العلماء الدؤوب لم تستطع بعد أن تفك جميع مغاليق السر العظيم، فلا يزال من العسير حتى الآن أن يجد العلم جواباً حاسماً لتساؤلات كثيرة؛ فكيف يتم اختزان المعلومات والتجارب في المخ؟ وماذا يحدث على وجه التحديد عندما تنبثق في مخ إنسان فكرة يريد التعبير عنها؟ وماذا يحدث في المخ على وجه التحديد عندما تفهم رسالة مرئية أو

مسموعة، أو عندما تدرك الإشارات الخفية وما وراء السطور؟ إنها أسئلة لا نهاية لها تؤكد أن القصة الكاملة للجهاز العصبي عند الإنسان لا يزال فيها الكثير من الفصول المجهولة والألغاز التي يحاول العلم جاهداً فك طلاسمها.

والسبب في هذا الغموض أنه ليس هناك سبيل مباشر لمعرفة ما يجري داخل المخ، فالتدخل المباشر من جانب علماء التشريح والفسيولوجيا والأطباء المعالجين في هذه المنطقة ليس على درجة واحدة من السهولة التي يمكنهم بها التدخل في أي منطقة أخرى من مناطق الجسم، ومن ثم كانت جراحة المخ والأعصاب من أصعب الجراحات وأدقها؛ بحيث لا يتم إجراؤها إلا بعد التأكد من أنها الحل الأخير، وهي إن تكن غير مأمونة العواقب إلا أن آخر الدواء الكي كما يقولون.

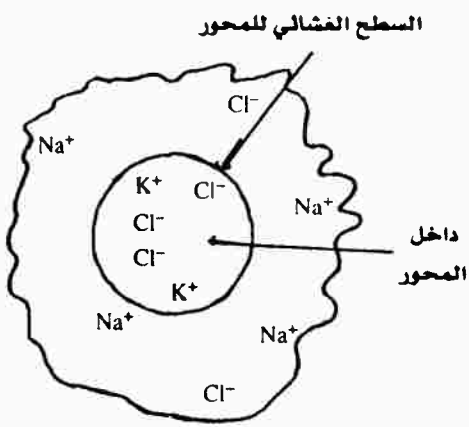
وإذا كان الاعتماد على أمخاخ الموتى أمراً ليس كبير الجدوى، والتدخل المباشر في أمخاخ الأحياء أمراً صعب المنال، فلا سبيل إذن إلا الاعتماد على التجارب التي تجرى على حيوانات كالقطط والكلاب والقردة بإيلاج **أقطاب كهربية** electrods لقياس **الجهد الكهربي الكامن** the potentials لنشاط المخ أو بالتدخل الجراحي في مخ الحيوان ثم تعريضه لمثيرات مختلفة، وملاحظة استجابته وتأثير ذلك على السلوك العام.

وقد استخدم العلماء **أقطاباً كهربية خارجية** external electrodes لقياس الجهد الكهربي في نقاط مختلفة من سطح الرأس أثناء تعريض الجهاز العصبي لمثيرات مختلفة، كما أعان استخدام **جهاز تخطيط المخ** electroencephalograph على عمل مخطط للمخ، وأمكن بواسطته تحديد مواضع استجابات المخ لبعض الأنشطة غير العادية.

ويحسن بنا - في ضوء معارفنا المتاحة - أن نلقي نظرة سريعة على التكوين التشريحي والفسيولوجي العام للجهاز العصبي لنمهد بذلك لتناول الجانب العصبي من عمليتي الكلام والسمع، وهو موضع اهتمامنا الأساسي في هذا الكتاب.

١- التكوين الأساسي للجهاز العصبي

تمثل الخلية العصبية الواحدة (أو النيرون) neuron الوحدة الأساسية في بناء الجهاز العصبي، وهي كتلة صغيرة (وغالباً ما تكون ميكروسكوبية) من المادة الحية (البروتوبلازم) يغلفها غشاء رقيق نصف نافذ semi - permeable، تتمكن من خلاله المواد الضرورية لحفظ حياة الخلية من الدخول إليها، كما تتمكن المخلفات أيضاً من الخروج. ومن مجموع الخلايا العصبية تتشكل آلية التوصيل ما بين النظام العصبي المركزي (ويتكون من المخ والحبل الشوكي) وبين النظام العصبي الفرعي (ويتكون من الألياف العصبية التي تربط المخ والحبل الشوكي بجميع أجزاء الجسم). ويتم توصيل الحوافز العصبية من النظام العصبي المركزي وإليه بواسطة نوعين رئيسين من الخلايا هما: **خلايا الحركة** motor cells **وخلايا الإحساس** sensory cells.



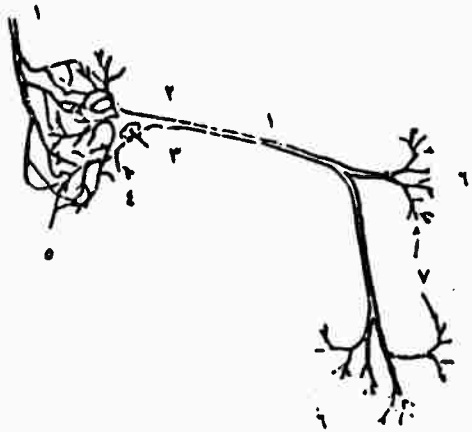
٢- جسم الخلية
٣- النواة
٤- الزوائد الشجرية
٦- النهايات الشجرية
٧- نهايات العصب

شكل (١٠٨)
قطاع لمحور نمطي

وتتخذ الخلية أشكالاً كثيرة مختلفة وإن اتحدت جميعها في ملامحها العامة (انظر الشكل ١٠٨)، فهي تتكون من **جسم الخلية** cell body؛ وهو جسم ذو امتداد على **نواة الخلية** cell nucleus. ويتفرع من الجسم خيط يسمى **محور العصب** axon (أو **الليفة العصبية** nerve fiber). ويقوم المحور بعملية التوصيل العصبي بين الخلية وغيرها من الخلايا المجاورة.

وقد يكون المحور قصيراً جدًا بحيث لا يتجاوز طوله ميكرونات (الميكرون = $\frac{١}{١٠٠٠}$ مم). وقد يمتد إلى مسافة كبيرة تصل إلى بضعة أقدام،

وقد يتشعب في مساره إلى تفرعات جانبية قبل أن ينتهي إلى شبكة من الألياف تسمى **النهايات الشجرية** terminal arbor.



١- المحور
٢- جسم الخلية
٣- النواة
٤- الزوائد الشجرية
٥- المشتبك العصبي
٦- النهايات الشجرية
٧- نهايات العصب

شكل (١٠٩)

رسم تخطيطي لعصب نمطي

وإذا فحصنا قطاعاً عرضيًا لمحور عادي من محاور الأعصاب (وهو ما يبينه الشكل ١٠٨) فسنجد الجزء الداخلي من المحور (أو العصب) مغلفاً بغشاء سطحي، يحتفظ بفارق مؤثر في التركيب الكيميائي للجزء الداخلي والخارجي من الخلية العصبية، وفي داخل المحور توجد مادة هلامية تحتوي على تركيب مركز من أيونات البوتاسيوم ذات الشحنة الموجبة (ورمزها k^+). أما من الخارج فيمر المحور خلال **السائل العصبي (أو سائل ما بين الخلايا** intercellular fluid) الذي يشبه في تركيبه ماء البحر، حيث يحتوي على عدد كبير من أيونات الصوديوم ذات الشحنة الموجبة (ورمزه الكيميائي Na^+). أما العنصر المشترك بين السائل الموجود داخل المحور والسائل الكيميائي الذي يمر خلاله المحور فهو أيونات الكلورين ذات الشحنة السالبة، ورمزه (Cl^-).

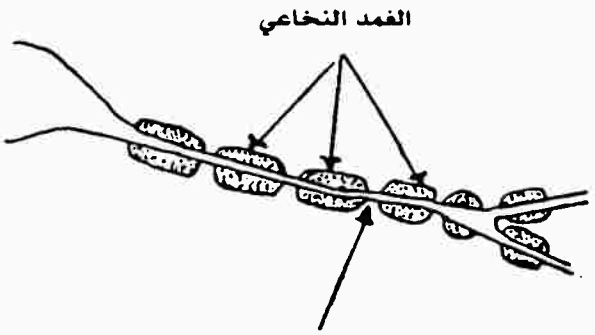
ويتسبب اختلاف التركيب الكيميائي في تولد جهد كهربي عند إثارة الخلية العصبية. فنحن نعلم أن الذرة تتكون من **نواة** nucleus و**إلكترونات** electrons (وهي سالبة الشحنة)، وأن النواة بدورها تتكون من نيوترون (وهو معادل الشحنة) وبروتون (وهو موجب الشحنة). وتكون الذرة في حالة ثبات عند تساوي عدد البروتونات الموجبة مع عدد الإلكترونات السالبة. وعندما ينقص عدد البروتونات عن عدد الإلكترونات فإن الذرة تكون موجبة الشحنة، وتسمى الأيون

الموجب، أما حين يزيد عدد الإلكترونات على عدد البروتونات فإن الذرة تكون سالبة الشحنة (أيون سالب).

ونتيجة لهذا التركيب الكيميائي الدقيق تكون الخلية العصبية في حالة ثبات عند غياب أي إثارة عصبية، وحينئذ يكون الغشاء السطحي عازلاً كهربيًا، فلا يقوم بتمرير أي تيار كهربي بين الجزء الداخلي والجزء الخارجي من المحور.

ويبلغ الجهد الكهربي داخل محور العصب من ٥٠ إلى ٨٠ مللي فولت «المللي فولت = $\frac{١}{١٠٠٠}$ من الفولت»، وهو سالب بالنسبة للجهد الكهربي الخارجي. ونستطيع أن نتبين صغر هذه القوة إذا قارناها بالجهد الكهربي لمصباح الكشاف الكهربي العادي الذي يبلغ ١ ١/٢ فولت (أي ١٥٠٠ مللي فولت). ومع ذلك فمن الممكن ملاحظته بوسائل القياس الإلكتروني.

وتظل الخلية العصبية في حالة ثبات، ما لم تتم إثارتها بمثير كاف، أما عند وجود المثير الكافي فينقلب التوازن الأيوني الدقيق للخلية عند السطح الداخلي والسطح الخارجي لغلاف الخلية، ويتولد حافز كهربي ينتشر على طول المحور. ويتم انتشار الحافز بتحرك نقطة معينة من النشاط الكهربي في موضعها على طول المحور، وليس بانتقال النشاط الكهربي من نقطة إلى نقطة مجاورة، وتتحرك هذه النقطة في شكل زاوية قائمة بالنسبة لاتجاه انتشارها. «انظر الشكل ١١٠».



شكل (١١٠)

عقد رانفير

ويمكن أن يقاس الجهد الكهربي للحافز العصبي بإيلاج ميكرو إليكترود «وهو قطب كهربي صغير جداً» داخل المحور. ويبلغ الجهد الكهربي داخل المحور -٦٠ مللي فولت بالنسبة لجهد السائل العصبي. وحين يصل الحافز إلى موضع القطب فإنه يسجل جهداً يبلغ + ٤٠. وحينئذ يتغير الجهد ويعود تدريجيًا إلى وضع الثبات، ولا يمكن أن تتم عملية التوصيل بين المحاور من غير هذا النشاط.

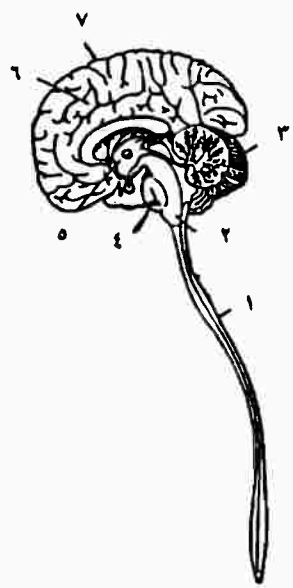
والألياف العصبية «المحاور» تختلف في سمكها وقطرها وطولها، كما أن بعضها مغلف بمادة الميلين myelin، وهي مادة دهنية عازلة لا تغطي المحور كله، بل تترك فيما بينها فراغات يظهر فيها الغشاء الأصلي للمحور، وتسمى هذه الفراغات عقد رانفير nodes of Ranvier (انظر الشكل ١١٠). ولما كانت الألياف العصبية على هذا النحو من التمايز فإن سرعة التغيرات الكهربية تختلف بحسب نوع المحور وسمكه وقطره، فتكون بطيئة في الألياف العصبية ذات القطر الضيق وغير المغلفة بالميلين، وسريعة في الألياف السميكة المغلفة بالميلين.

وكما تختلف سرعة التغيرات الكهربية بحسب نوع المحور وسمكه واشتماله أو عدم اشتماله على غلاف الميلين فإن مستوى عتبة الإثارة threshold level - وهي الطاقة اللازمة لإحداث التغير الكهربي المطلوب - يختلف كذلك تبعاً لهذه العوامل؛ فالألياف غير المغلفة بالميلين تحتاج إلى مثير أقوى، على حين لا تحتاج الألياف المغلفة بالميلين إلا لمثير أقل بكثير لكي تتنبه وتنقل التيار العصبي بين الخلايا.

ولابد للوصول إلى عتبة الإثارة من وجود مثير ذي قوة كافية؛ وحينئذ يحدد التأثير المركب للمثيرات طبيعة الاستجابة. ويتضح ذلك من مقارنة استجابة الإنسان إذا ما وخز بإبرة بطريقة مفاجئة، واستجابته لوخز إبرة الطبيب عند الحقن؛ ففي الأولى يكون تأثير المشتبكات العصبية مهيجاً، وفي الثانية يعمل الكفُّ inhibition على تقليل رد الفعل، على الرغم من شعور الإنسان بالألم في الحالتين.

٢- النظام العصبي المركزي والفرعي

اصطلح العلماء - من باب تيسير الوصف - على تقسيم الجهاز العصبي إلى نظامين: **نظام عصبي مركزي** central nervous system؛ ويشتمل على **المخ** brain، **والحبل الشوكي** spinal cord. **ونظام عصبي فرعي** peripheral nervous system، ويتكون من مجموعة كبيرة من حزم الألياف العصبية التي تربط النظام العصبي المركزي بجميع أجزاء الجسم. وتضم هذه الحزم آلافاً من المحاور «أو الألياف» المتميزة تسمى عادة **الأعصاب** nerves. وتنقسم هذه الألياف وظيفيًا إلى نوعين: **ألياف الحركة** motor fibers **وألياف الإحساس** sensory fibers؛ وتختص ألياف الإحساس بنقل الحوافز الناتجة عن المثيرات الخارجية؛ ومثال ذلك استجابة العصب السمعي للحركة التي تحدث بواسطة الخلايا الشعرية في عضو كورتي. أما ألياف الحركة فإنها تقوم بنقل الحافز العصبي من النظام العصبي المركزي إلى أجزاء الجسم؛ حيث تقوم بتحريك العضلات أو تنظيم إفرازات الغدد.



١- الحبل الشوكي
٢- النخاع المستطيل
٣- المخيخ
٤- جسر المخيخ
٥- الثلموس
٦- نصف كرة المخ
٧- لحاء المخ

شكل (١١١)
النظام العصبي المركزي

وتتمثل مسؤولية النظام العصبي المركزي (المخ والحبل الشوكي) في تنسيق جانب كبير من نشاط الإنسان وتنظيمه (انظر الشكل ١١١). ويقوم

النظام العصبي الفرعي بتلقى الرسائل من **الخلايا المستقبلة** receptors ، وتوصيلها إلى النظام العصبي المركزي بواسطة الأعصاب الحسية ليقوم بتصنيفها وتفسيرها، ثم يصدر تعليماته بواسطة الأعصاب المحركة إلى خلايا **الاستجابة** effector cells لتقوم برد الفعل الملائم. هذا؛ وإن كان من الممكن بطبيعة الحال تولد النشاط داخل النظام العصبي المركزي - وخاصة في النشاط الذهني - من غير حاجة إلى وجود مثير خارجي مباشر.

وتتدرج وظائف النظام العصبي المركزي في ترتيب هرمي، يبدأ من الحبل الشوكي ويمر خلال مستويات المخ حتى يصل إلى أرقى درجاته تعقيداً في مستوياته العليا. وفي تقسيم الوظائف يختص الحبل الشوكي بوظيفتين أساسيتين هما: توصيل الحوافز العصبية من المخ وإليه، والاستجابة التلقائية للأفعال المنعكسة.

وتسمى النهاية العليا للحبل الشوكي **النخاع المستطيل** medulla oblongata. ويحتوي النخاع المستطيل على مجموعات من الخلايا تتحكم في بعض الوظائف الحيوية كالتنفس في الدورة الدموية، كما تحتوي على توصيلات لنقل الحوافز العصبية إلى أعلى حيث المخ الأوسط والمخ الأمامي.

وفي الجهة العلوية الخلفية يوجد نصفا **كرة المخيخ** cerebellum، وهما كتلة من الخلايا والأنسجة العصبية، ترتبط بأجزاء متعددة من المخ، وتؤدي مجموعة من الوظائف المهمة تتعلق بتوازن الجسم وضبط قوة انقباض العضلات.

وبالإضافة إلى النخاع المستطيل والمخيخ يوجد **جسر المخيخ** cerebellar pons، الذي يشكل معهما ما يسمى **المخ الخلفي** hind brain (**أو الدماغ المعيني** rhombencephalon. ويشتمل هذا الجسر على محاور تربط ما بين نصفي كرة المخيخ، وعلى امتدادات لألياف عصبية تنقل الحوافز العصبية من الجهاز العصبي وإليه.

وتختص نصفا **كرة الدماغ** cerebral himispheres بما تشتمل عليه من الثنايا العميقة بالضبط والتنسيق لكثير من الوظائف العليا؛ كالوعي والذاكرة

والنشاط الإرادي. وربما كانت كرة الدماغ قمة التعقيد في نوعية النشاط، ويكمن في تركيبها التمايز بين الإنسان وسائر الحيوان.

ويفصل ما بين نصفي كرة الدماغ أخدود عميق يسمى **الشق الطولي** longtitudinal fissure، ويرتبطان بواسطة مجموعة من الألياف العصبية تسمى **الجسم الجاسئ** corpus callosum.

وتصل قمة التركيز في الخلايا العصبية في السطح المتفضن والذي يسمى **لحاء المخ** cerebral cartex، وهي طبقة تتكون أساساً من أجسام الخلايا العصبية، وتغطي السطح الخارجي لكرة المخ، وتشكل غطاءً رمادياً يتراوح سمكه من $\frac{١}{٤}$ إلى $\frac{١}{٨}$ بوصة.

أما تحت اللحاء مباشرة فتوجد بقية كرة المخ التي تتكون من محاور عصبية مغطاة بالميلين الأبيض لتميز هذا الجزء من الطبقةالرمادية السطحية، ومن ثم تسمى **الجسم الأبيض** white matter.

٣- النظام العصبي المستقل automatic nervous system

ثمة قسم آخر من الجهاز العصبي يسمى النظام العصبي المستقل. ويتم التحكم في هذا الجهاز ذاتياً من غير وعي واختيار من الإنسان. ويقوم هذا الجهاز بالمحافظة على البنية الداخلية للجسم، وإعداده لمواجهة المواقف الطارئة. ويتكون الجهاز العصبي المستقل من جهازين فرعيين يعمل كلاهما في اتجاه معارض للآخر؛ وهما: **الجهاز العصبي الودي** (السمبثاوي) sympathetic system، **والجهاز العصبي نظير الودي** (الباراسمبثاوي) parasympathetic system.

ويسيطر الجهاز الودي في حالات الانفعال والتهيج والإثارة وهو مسؤول عما يحدث في هذه المواقف من زيادة دقات القلب وزيادة إفرازات العرق. أما القسم نظير الودي فيعمل على السيطرة على الانفعال بتهدئة ضربات القلب وخفض ارتفاع ضغط الدم.

هذه هي الأقسام المختلفة التي يتكون منها الجهاز العصبي عند الإنسان، غير أن الجدير بالذكر أن هذه التقسيمات إنما هي تقسيمات لأغراض الدراسة فقط، وأن جميع نظم الجهاز العصبي تعمل متكاملة ومترابطة، وأن الاستجابة هي حصيلة عمل الجهاز العصبي بنظمه المختلفة.

٤- الجانب العصبي في عملية الكلام

تقوم ألياف الحركة بنقل الحوافز العصبية nerve impulses إلى العضلات المتحكمة في جهاز النطق من منطقة بروكا Broca's area، التي تتحكم في النشاط الحركي المعقد لأعضاء النطق، وذلك عن طريق التحكم في تقلص هذه العضلات واسترخائها، وتوقيت الحركات في تزامنها أو تتابعها. وتقع هذه المنطقة في الجهة الجانبية من الفص الأمامي للمخ أمام الأذن وأعلى منها قليلاً، وتكون عادة في النصف الأيمن من المخ بالنسبة للإنسان الأعسر (الذي يستعمل يده اليسرى في الكتابة وغيرها من ألوان النشاط)، وفي النصف الأيسر بالنسبة لمن يستعمل يده اليمنى كالمعتاد.

وتقتضي الممارسة العادية للكلام تعاوناً بين مركز النشاط الحركي لأعضاء النطق ومركز السمع في المخ، ذلك أن الحوافز العصبية السمعية ذات أهمية كبيرة في ضبط أنماط التحركات التي تقوم بها أعضاء النطق، وثمة منطقة أخرى في المخ تسمى منطقة فيرنيكه Wernicke's zone يعتقد أن لها علاقة وثيقة بالقدرة على اكتساب اللغة واستخدامها لا بالقدرة على النطق؛ فقد لوحظ أن القدرة على الكلام لا تتأثر بإصابة هذا الجزء، بل تتأثر قدرة الإنسان على اختيار الألفاظ المناسبة، كما تتأثر قدرته على الكتابة والفهم. ولا يزال علماء الأعصاب والدراسات النفسية يدأبون على دراسة هذه المنطقة التي لم تكشف لهم بعد عن كل أسرارها. وقد اضطلع بهذه المهمة علم يشترك في مباحثه اللسانيون وعلماء الأعصاب؛ وهو علم اللسانيات العصبية neuro linguistics. كما ظهر عدد من الدوريات العلمية المتخصصة التي تتابع الأبحاث في هذا المجال. أما ألياف الإحساس sensory fibers فتقوم بمهمة

عكسية ومكملة لدور ألياف الحركة، وذلك بنقلها للحوافز العصبية من المستقبلات الحسية sensory receptors في هذه الأعضاء إلى المخ. وهكذا تكتمل دائرة الحركة والإحساس (انظر الشكل ١). ويكون المخ على علم في أثناء الأداء بكل المعلومات المتعلقة بممارسة جهاز النطق لوظائفه، كما يستكمل الأداء انضباطه من طريق أخرى، تتمثل في عملية التغذية الراجعة feed back التي تقوم بها لدى سماعنا لأنفسنا في أثناء الكلام، وهنا يأتي التعاون الذي أشرنا إليه بين مراكز السمع ومراكز الكلام.

وعملية التغذية الراجعة بالنسبة لنشاط أعضاء النطق أساسية لتنظيم الأداء؛ وذلك لارتباطها عند الإنسان بما يسمى **الإحساس بالحركة** kinethesis، ونعني به قدرة الجهاز على تنظيم حركة أعضائه في أثناء ممارسة الكلام. ويتم هذا التنظيم لحركة معظم العضلات بواسطة تبادل عمليتي **التقلص والكف** contraction and inhibition، فالعضلات تعمل بطريقة متسقة متناغمة. وحين تتقلص إحداها لتعمل على تحريك عضو ما يقوم الجهاز العصبي بكف العضلة ذات التأثير المضاد، وقد يتغير نوع النشاط؛ فتصبح العضلة التي كانت متقلصة في حالة كف وتبدأ العضلة ذات التأثير المضاد في التقلص وهكذا.

وتتألف أعصاب الحركة التي تربط ما بين مراكز الكلام في المخ وأعضاء النطق من الأعصاب الآتية:

(أ) **العصب الحائر** vagus nerve، ويقوم بالإثارة العصبية للحنجرة. وتختص العضلة الخلفية - الدرقية بأحد فرعي العصب الحائر، ويسمى **العصب الحنجري العلوي** superior laryngeal nerve، على حين يتولى الفرع الآخر وهو **العصب الحنجري السفلي** inferior laryngeal nerve الإثارة العصبية لسائر عضلات الحنجرة الداخلية الأخرى.

أما عضلات الزفير وعضلة اللهاة فيتم التحكم فيها ذاتياً بواسطة الجهاز العصبي المستقل، دون وعي واختيار من الإنسان.

(ب) **عصب الوجه** facial nerve، **ويتحكم في عضلات الوجه بما في ذلك عضلات الشفتين والخدين.**

(جـ) **العصب تحت اللساني** hypoglossus nerve، **ويتحكم في العضلات المحركة للسان في عمليتي الكلام والبلع.**

(د) **العصب اللساني - البلعومي** glossopharyngeus nerve، **ويتولى بالاشتراك مع العصب الحائر إثارة عضلات البلعوم والحنك اللين.**

(هـ) **العصب الحجابي** phrenicus nerve، **ويتم بواسطته إثارة عضلات الجهاز التنفسي، ويمتد من منطقة الرقبة إلى عضلة الحجاب الحاجز على حين يتولى العصب الظهري** thoracic **تنشيط العضلات بين الضلعية، وتتفرع مجموعة الأعصاب الظهرية من الحبل الشوكي، ولذلك تسمى الأعصاب الشوكية** spinal nerves.

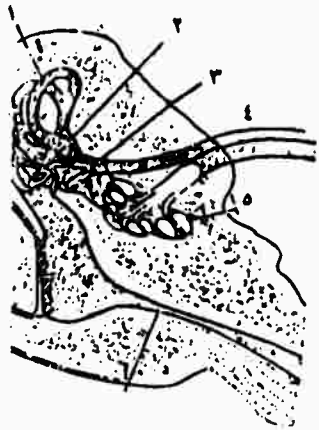
(و) **العصب مثلث التوائم** trigeminal nerve، **ويتحكم في حركة الفك الأسفل.**

٥- الجانب العصبي في عملية السمع:

يبدأ النشاط العصبي في عملية السمع - بمعناها الدقيق - بالخلايا الشعرية داخل عضو كورتي، على حين تقع آخر حلقات إدراك الصوت في المخ؛ حيث تنتقل الإشارات التي تستقبلها الخلايا الشعرية عبر ممرات عصبية معقدة إلى مراكز الاستقبال في لحاء المخ.

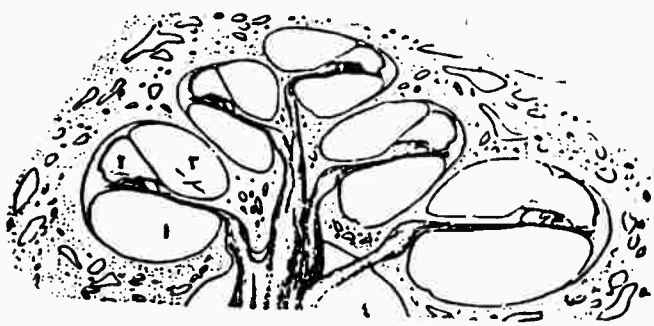
وتشتمل **العقد الحلزونية** spiral ganglion - التي تسير موازية لعضو كورتي - على عدد من أجسام الخلايا يصل إلى ٣١,٠٠٠ خلية في كل أذن، وتضم هذه **الأجزاء الخلايا العصبية المستقبلة** receptor neurves. **وتتجه** محاور الأعصاب من أجسام الخلايا إلى داخل **محور القوقعة** modilus axon ، وهو المركز الأجوف للقوقعة، حيث تتكون حزمة الألياف العصبية التي تعرف بعصب السمع (انظر الشكلين ١١٢، ١١٣). وتتفرع امتدادات العقدة الحلزونية لأجسام الخلايا على هيئة شجرة داخل عضو كورتي، وهنا تتصل نهاياتها بالخلايا الشعرية صانعة معها مشتبكات عصبية. وغالباً ما تتصل الألياف

بعدة خلايا، كما أن كل خلية شعرية تستقبل امتدادات من أكثر من ليفة عصبية واحدة.



١- القنوات الهلالية
٢- النافذة البيضاوية
٣- النافذة المستديرة
٤- العصب السمعي
٥- القوقعة

شكل١١٢
القوقعة (على فرض إزالة الجدار الصلب)

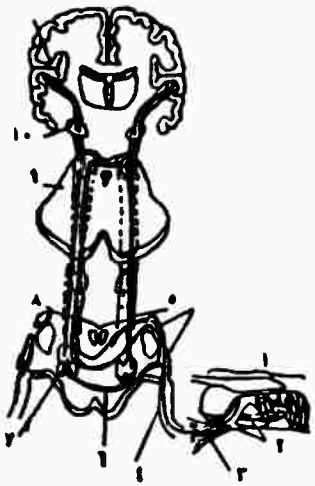


١- مرقاة الطبلة
٢- قناة القوقعة
٣- مرقاة الدهليز
٤- العصب السمعي

شكل (١١٣) العصب السمعي

وتتجه المحاور «الألياف العصبية» من النوايا القوقعية في حزمة عصبية إلى **الجسم شبه المنحرف** trabezoid body. وهناك تتصل بمجموعة الخلايا التالية التي تشتمل على المشتبكات العصبية. وتسمى هذه الكتلة **التركيب الزيتوني العلوي** superior olivatory complex. ومنه تستمر الألياف خلال ممرات معينة (ويمكن تتبعها في الشكل ١١٤).

١- عضو كورتي
٢- الألياف العصبية
٣- العقد الحلزونية
٤- عصب القوقعة
٥- نواة القوقعة
٦- الجسم شبه المنحرف
٧- التركيب الزيتوني العلوي
٨- مستوى النخاع المستطيل
٩ - مستوى المخ الأوسط
١٠- الجسم الركبي الأوسط
١١- اللحاء السمعي



شكل (١١٤)

الممرات العصبية السمعية

ويلاحظ من الشكل أيضاً أن بعض الألياف قد تتجاوز بعض أجسام الخلايا من غير أن تتصل بها، وأنها تصل إلى مستوى معين بعد عبورها من خلال عدد من المشتبكات العصبية أقل من المعتاد، كما يلاحظ أيضاً وجود نظام مماثل من الممرات هابط من المخ إلى الأذن؛ لتوصيل الحوافز العصبية من المخ إلى المشتبكات العصبية، وتصل الألياف من خلال الممرات السمعية إلى نهاية مسارها عند **الجسم الركبي الأوسط** mediol geniculate body، ومنه تتجه إلى منطقة السمع في لحاء المخ.

وتقع منطقة السمع بالنسبة للأذن اليمنى في النصف الأيسر من كرة الدماغ، ومنطقة السمع بالنسبة للأذن اليسرى في النصف الأيمن منها.

* * *

الفصل الثالث

الإدراك

لا يمكن لعملية الاتصال اللغوي أن تفهم بطريقة أقرب إلى التكامل إلا بإلقاء الضوء على آخر حلقاتها، وهي الإدراك. ودراسة الإدراك محاولة لتحديد العلاقات بين الكميات الموضوعية التي يتكون منها الصوت واستجابة أذن الإنسان لهذه الكميات. وقد سبق أن ذكرنا أن العلاقة بين الكميات الموضوعية والكميات الذاتية - سواء على مستوى العلاقة بين الشدة والعلو أو بين التردد والدرجة - ليست علاقة تتقابل فيها المعطيات واحداً لواحد؛ أي أن استجابة الأذن لا تسير في خط متواز مع الكمية الموضوعية زيادة ونقصاً. ومما يزيد في تعقيد العلاقة بين التحليل الموضوعي والتحليل الذاتي للأصوات أن حكم الأذن على صوت ما بالحدة والغلظ يتأثر في ظروف معينة بشدته؛ ولذلك فإن العلاقة بين هذين النوعين من الكميات لا تظهر بيانيًا على هيئة خطوط مستقيمة، بل على هيئة منحنيات تسمى في علم النفس الأكوستيكي **المنحنيات النفسية - الأكوستيكية** psycho - acoustic curves.

ويهمنا هنا أن نقرر اختلاف طبيعة العمل التجريبي في كلا هذين الميدانين، فالقياس الموضوعي هو كميات يسجلها الباحث مستعيناً بالأجهزة. أما القياس الذاتي فلا يعني أكثر من تعريض السامع المفحوص للمؤثرات الصوتية المطلوب فحصها وسؤاله عن إحساسه بما يسمع؛ وذلك كأن يتم تعريضه إلى مثير صوتي معين مع زيادة العلو تدريجيًا ثم نطلب إليه أن يحدد اللحظة التي يسبب له فيها العلو ألماً في الأذن، أو نخفض من العلو تدريجياً، ثم نطلب إليه أن يحدد النقطة التي يكاد يستطيع فيها أن يميز وجود الصوت من العدم. ومن الطبيعي أن نحصل في مثل هذه التجارب على نتائج مختلفة؛ لأن تأثر الإنسان - موضوع التجربة - يتوقف على عوامل كثيرة ليس من السهل حصرها. غير أن بإمكان المشتغلين بعلم النفس التجريبي بذل الجهود للتحري والاحتياط باستخدام الوسائل المختلفة، وتطبيق القواعد الإحصائية

في اختيار العينات، ورفع معاملي الصحة والثبات في تجاربهم. وإنما شأنهم في ذلك شأن سائر العلوم الاجتماعية والتربوية والنفسية التي يستخدم فيها مثل هذا النوع من التجارب.

١- مجال السمع عند الإنسان

ذكرنا في غير موضع من هذا الكتاب أن جهاز السمع عند الإنسان غير مؤهل لإدراك جميع الترددات وكميات الشدة التي تحدث في الطبيعة. وعلى ذلك يمكن تصنيف هذه الترددات وكميات الشدة إلى:

(أ) ترددات وكميات من الشدة تقع في متناول سمع الإنسان، وتسمى مجال السمع audible range.

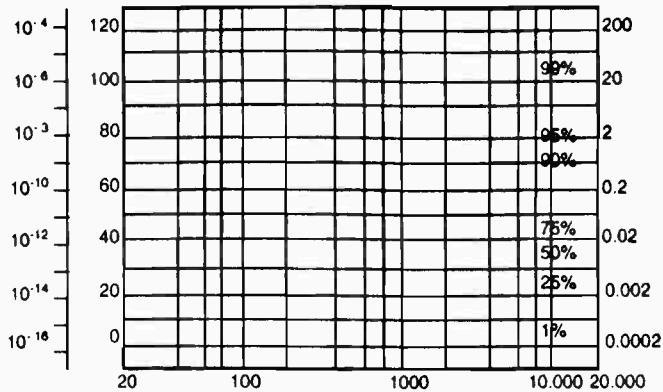
(ب) ترددات وكميات من الشدة تقع دون مجال السمع، وتسمى المجال تحت الصوتي infrasonic range.

(جـ) ترددات وكميات من الشدة تقع فوق مجال السمع، وتسمى المجال فوق الصوتي suprasonic range.

وهذه المجالات الثلاثة هي ما يبينه لنا الشكل ١١٥.

ويقدم لنا الشكل نتائج دراسة أجراها معهد الصحة العامة بالولايات المتحدة على مجموعة كبيرة ونمطية لإجراء قياس وتحديد للإمكانات المختلفة داخل مجال السمع. ويبين المحور الأفقي في الشكل ١١٥ تردد النغمات التي استعملت بوصفها مثيرات صوتية في الدراسات، مقيسة بالهيرتز (ذ/ث). أما المحور الرأسي فيقدم ثلاثة أنواع مختلفة من التدريج: يختص الأول من اليمين ببيان مستوى ضغط الصوت sound - pressure level (مقيساً بالداين/ سم^{٢})، ويختص الثاني ببيان مستوى الشدة المقابل (مقيساً بالواط/ سم^{٢}) والثالث ببيان العلاقة بين الشدة والضغط (مقيساً بالديسبيل (أي مقيساً بالواط/ سم^{٢} بالنسبة إلى النقطة $١٠^{-١٦}$ وهي النقطة التي اختيرت لتمثل أدنى شدة يمكن إدراكها بالأذن، وتسمى عتبة السمع المطلقة obsolute threshold of hearing)، وذلك على الرغم من إمكان التفاوت بين الأفراد في

هذا الصدد تبعاً لعوامل البيئة والسن والصحة العامة. (يراجع بشأن هذه الكميات الفصل الأول من الباب الأول في هذا الكتاب).



شكل (١١٥)

نتائج تجريبية لقياس حدة السمع على مجموعة نمطية من الأمريكيين

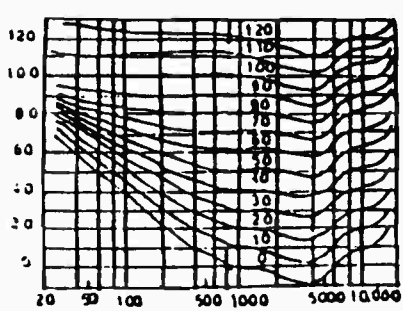
ويشير كل منحنى من المنحنيات المرسومة في الشكل إلى النسبة المئوية لعدد الأفراد الذين تمكنوا من سماع النغمة عندما تكون شدتها تحت المستوى المشار إليه على المحور الرأسي؛ فالنغمة التي ترددها ١٠٠٠ هيرتز - على سبيل المثال - تظل مسموعة من ٩٠٪ من أفراد المجموعة التي أجرى عليها الاختبار ما دامت تطرق بشدة تبلغ $١٠^{-١٢}$، أو ما يعادل ذلك على مدرج الضغط، أي عندما يكون الضغط ٠,٠٠٦ داين/سم^{٢}). أما إذا رفعت الشدة إلى حوالي $١٠^{-٨}$ فإن ٩٩٪ من أفراد المجموعة يتمكنون من سماعها. وأما المنحنى الخاص بالنسبة ٥٠٪ والذي رسم بخط ثقيل فيشير إلى أن نصف المجموعة قد أمكنهم سماع النغمة عندما يكون مستوى الشدة على ما هو مبين أمامها بالشكل على البعد الرأسي، على حين احتاج النصف الآخر من المجموعة إلى مستوى شدة أعلى لكي يدركوها.

٢- العلاقة بين الشدة والعلو

يقوم قياس **مستوى العلو** loudness level في أي نغمة على أساس مقارنتها بنغمة أخرى. ويلاحظ أنه إذا اختلفت نغمتان في التردد فإن تساويهما في العلو (وهو الكم الذاتي) يقتضي اختلافاً واضحاً بينهما في الشدة (وهي الكم الموضوعي).

ويتبين ذلك - على سبيل المثال - إذا ما وضعنا سماعة في أذن شخص ما ليستمع عن طريقها إلى نغمة ترددها ١٠٠٠ ذ/ث (هيرتز)، متخذين من هذه النغمة معاملاً ثابتاً، بينما نضع في أذنه الأخرى سماعة يستمع عن طريقها إلى نغمة أخرى، طالبين منه أن يغير من علو النغمة الثانية حتى يصل إلى نفس علو النغمة الأولى. وحين يقرر السامع أن علو النغمتين أصبح متساوياً سنلاحظ بقياس كمية الشدة في كل منهما أن النغمتين مختلفتان من حيث الشدة، فحين تكون الشدة في الأولى ٤٠ د.ب نجدها تزيد في النغمة الثانية قليلاً على ٦٠ د.ب.

وقد ابتكرت الوحدة **فون** phon لقياس انفعال الأذن بمستوى العلو، واتخذت النغمة ١٠٠٠ ذ/ث بشدة قدرها ٤٠ د.ب معياراً يقاس إليه علو النغمات الأخرى، وقدر مستوى العلو لهذه النغمة بمقدار ٤٠ فون. وهكذا تم تدريج مستويات العلو على النحو المبين في الشكل ١١٦. ويتضح من الشكل ١١٦ أن جميع النقط الواقعة على الخط الكفافي ٤٠ فون تتساوى في علوها مع النغمة ١٠٠٠ ذ/ث حين تكون شدة النغمة المعيارية ٤٠ د.ب. ويتبين كذلك من الشكل أنه كلما نقص التردد وجبت زيادة كمية الشدة لتتساوى في العلو مع النغمة المعيارية.



شكل (١١٦)

قياس مستويات العلو (بالفون) وما يقابلها من مستويات الشدة (بالديسبل). ويمثل البعد الأفقي التردد مقيساً بالذبذة في الثانية (هيرتز)، والبعد الرأسي مستوى الشدة مقيساً بالديسبل.

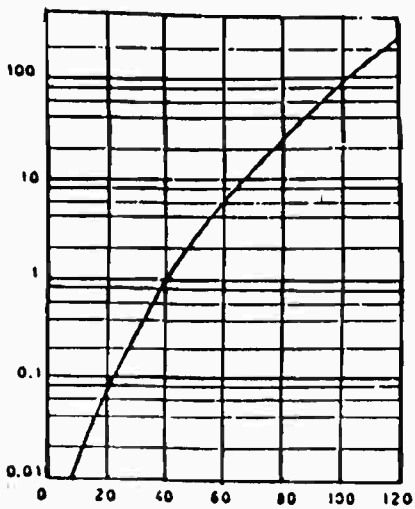
وتتخذ العلاقة بين الشدة والعلو خطاً بيانيًا منحنياً كما يبدو في الشكل ١١٦، فنحن إذا خفضنا نغمتين متساويتين في الشدة بكميات متساوية فإن النغمتين الناتجتين لن تكونا متساويتين في العلو. ويمثل منحنى الشدة - العلو intensity - loudness curve واحداً من المنحنيات النفسية - الأكوستيكية.

وقياس مستوى العلو باستخدام وحدة الفون هو مقياس انفعالي intensive scale، لأن استخدامه يتيح لنا أن نرتب النغمات بحسب ما ينشأ عن سماعها من إحساس بالعلو، وبهذه الطريقة تحكم الأذن على النغمة التي يكون علوها ١٠٠ فون بأنها تسمع أعلى منها حين يكون علوها ٤٠ فون. ولا يسمح لنا استخدام التدريج بالفون بأن نحدد نسبة العلو بين النغمة في الحالتين، أو هو - بعبارة أخرى - لا يعطينا إجابة بالأرقام عن السؤال: «كم مِثلاً يبلغ علو النغمة في الحالة الأولى بالنسبة لعلوها في الحالة الثانية؟»:

لكن السؤال الوارد هنا هو: هل تستطيع الأذن أن تقارن بين علو النغمة الواحدة في حالتين مختلفتين بحيث تقرر أن علوها في الحالة الأولى يبلغ ضعف علوها (أو ثلاثة أمثال علوها مثلاً) في الحالة الثانية؟. والجواب الذي دلت عليه الدراسات النفسية الأكوستيكية هو أن ذلك ممكن. فحين نعرض إنساناً ما لمثير صوتي يتألف من نغمتين: إحداهما ثابتة العلو، ونطلب إليه تعديل علو النغمة الأخرى بحيث يبلغ ضعف علو النغمة الثابتة فإنه يستطيع أن يفعل ذلك، بل إن المثير للدهشة حقاً أن تتفق نسبة كبيرة من النتائج التي نحصل عليها من مثل هذا الاختبار إذا ما جرى على عدد كبير من الأفراد.

لذلك كانت الحاجة ماسة إلى وضع تدريج رقمي numerical scale يمكن باستخدامه تحديد العلاقة الرقمية بين مستويات العلو. وقد ابتُكرت الوحدة سون sone لهذا التدريج. واستخدام الوحدة سون يعني أننا إذا قلنا إن نغمة ما علوها ١٠ سون فإن ذلك يعني أنها تبلغ في علوها ١٠ أمثال النغمة التي يبلغ علوها ١ سون. وتقابل قيمة السون الواحد في هذا التدريج المستوى ٤٠ فون في المقياس السابق. ويمثل الشكل ١١٧ العلاقة بين قياس مستوى العلو باستخدام وحدة الفون وقياسه باستخدام وحدة السون، ويتضح من العلاقة الرقمية بين المثيرات من حيث العلو أن النسبة بين مستوى علو

نغمتين مقيساً بالسون، لا يسير في تناسب طردي بسيط مع زيادة في مستوى العلو مقيساً بالفون، ففي الشكل ١١٧ نجد النغمة التي علوها ١ سون والتي تساوي في علوها ١٠ أمثال النغمة التي علوها ٠,١ سون يسجل مستوى علوها ٤٠ فون، بينما يبلغ مستوى علو النغمة الثانية حوالي ٢٠ فون.. وهكذا.



شكل (١١٧)

يبين العلاقة بين العلو كما تدركه الأذن (مقيساً بالسون على البعد الراسي).
ومستوى علو المثير (مقيساً بالفون على البعد الأفقي).

٣- العلاقة بين التردد والدرجة

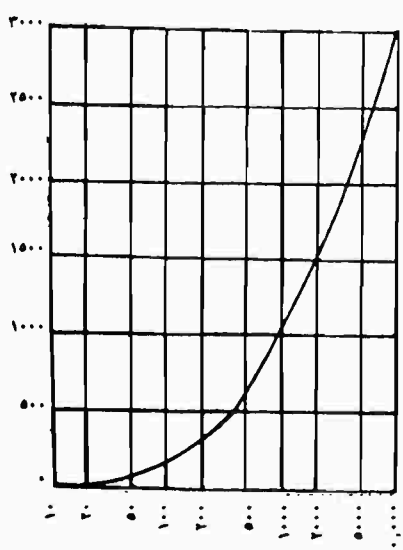
سبق أن عرّفنا التردد، وذكرنا أن الأثر السمعي الناتج عنه عادة هو الحكم على المثير الصوتي بالحدة أو الغلظ، وهو ما نسميه درجة الصوت pitch. وإذا كان التردد هو أهم العوامل التي يتوقف عليها تحديد الدرجة فإن هذا لا يعني أنه العامل الوحيد، فكما يتأثر الحكم على العلو بعامل التردد، كذلك يتأثر الحكم على الدرجة إلى حد ما بالشدة، بالإضافة إلى التردد الذي هو العامل الأساسي. ويبدو هذا أكثر وضوحاً في النغمات النقية، أما في النغمات المركبة فإن أثر الشدة على تغير الدرجة يكون طفيفاً لاسيما إذا كانت النغمة شديدة التركيب.

والتردد هو الكميات الموضوعية في قياس الدرجة، وعند تثبيت الشدة يكون الصوت الأعلى تردداً هو الأعلى درجة، والعكس صحيح. غير أن هذا المقياس - من زاوية الإدراك - لا يعطينا بالأرقام نسبة الارتفاع أو الانخفاض

في الدرجة بين نغمة وأخرى. ولذلك فنحن في حاجة إلى مقياس يمكن استخدامه لتحديد العلاقة الرقمية بين النغمات من حيث اختلافها الدرجة.

وقد أثبتت التجارب - كما مر بنا عند معالجة العلاقة بين الشدة والعلو - أن الأذن قادرة على تحديد النسبة بين درجات النغمات؛ بحيث تقرر أن درجة نغمة ما (أي حدتها أو غلظتها) تساوي ضعف درجة نغمة أخرى أو نصفها أو ما شاكل ذلك. وتمت هذا التجارب بتعريض المستمعين إلى مثيرين صوتيين: أحدهما ثابت الدرجة، والثاني ذو درجة قابلة للتغير، طالبين منهم أن يغيروا من درجة المثير الثاني ليصل إلى نصف درجة الأول أو ضِعْفه. ومرة أخرى نجد من المدهش وجود نسبة كبيرة من الاتفاق في الناتج بين الأفراد الذين أجرى عليهم الاختبار؛ أي أن تحديد التناسب بين درجتي نغمتين بطريقة رقمية أمر غير محال.

وقد استطاع العلماء نتيجة تجارب مماثلة الحصول على تدريج رقمي لقياس الدرجة. واختيرت الوحدة «مل» لتكون وحدة قياس لهذا التدريج، وحددت الدرجة المدركة للنغمة ١٠٠٠ هيرتز (ذ/ث) بأنها تساوي ١٠٠٠ مل، وبذلك فإن النغمة التي تكون درجتها نصف درجة النغمة المعيارية في هذا المقياس تساوي ٥٠٠ مل، كما تساوي النغمة التي درجتها ضعف درجة النغمة المعيارية ٢٠٠٠ مل.



شكل (١١٨)

العلاقة بين الدرجة (مقيسة بالمل على البعد الرأسي) والتردد (مقيساً بالهيرتز ذ/ث على البعد الأفقي).

ويلخص الشكل ١١٨ نتيجة إجراء التناسب بين التدريج بالتردد (مقيساً بالوحدة هيرتز) والتدريج بالمِلْ. وتظهر العلاقة بينهما في هذا الشكل - كما هو متوقع - على هيئة منحنى بياني؛ فالدرجة ٥٠٠ مل - وهي نصف الدرجة المعيارية للنغمة ١٠٠٠ هيرتز - يقابلها على مقياس التردد حوالي ٤٠٠ هيرتز تقريباً (وليس ٥٠٠ هيرتز)، كما أن مضاعفة الدرجة إلى ٢٠٠٠ مل يقابله على مقياس التردد حوالي ٤٠٠٠ هيرتز؛ أي أن ضعف الدرجة المعيارية يقابله ٤ أمثال التردد المعياري.

أما بالنسبة للنغمات المركبة فإن ترددها يظل القاسم المشترك الأعظم بين جميع الترددات الداخلة في تكوينها، ولكن عدد المكونات وطبيعتها من حيث كونها زوجية أو فردية يمكن أن يؤثر إلى حد ما على الدرجة المدركة.

٤- نظريات السمع

عرف تاريخ البحث في علم السمعيات عدة نظريات حاول العلماء بها تفسير عمل الأذن الداخلية بالربط بين آلية السمع والإحساس السمعي المدرك. وقد حظي إدراك الدرجة بالاهتمام الأساسي في هذا الصدد. وهذه هي أهم هذه النظريات:

(أ) نظرية المكان الرنينية resonance place theory

ظهرت هذه النظرية في ألمانيا على يد العالم الطبيعي أوم G. S. Ohm في أوائل القرن التاسع عشر. وتتلخص في تأكيد قدرة جهاز السمع على تحليل الصوت المركب إلى الترددات الداخلة في تكوينه أو إلى النغمات النقية. ويرى أوم - فيما أصبح يعرف بعد ذلك بقانون أوم الأكوستيكي Ohm's acoustic law - أننا وإن كنا لا نعي قدرتنا على القيام بهذا التحليل عند سماعنا للأصوات، إلا أن السامع المدرب يمكنه إلى حد ما أن يحلل التوافقيات المنفصلة في أي صوت مركب.

وقد طورت هذه النظرية على يد العالم الألماني الشهير هيرمان فون هيلمهولتز Herman von Helmholtz، وساعد على تطويرها تقدم صناعة

المجاهير (الميكروسكوبات). وتمكن علماء التشريح من عمل تصوير على درجة معقولة من الدقة لتركيب الأذن الداخلية، وبذلك تم اكتشاف دور الغشاء القاعدي في عملية السمع.

وتتلخص إضافة هيلمهولتز في أن تحليل الأصوات أقرب إلى أن يكون وظيفة من وظائف الغشاء القاعدي من كونه وظيفة من وظائف المخ. ويرى أن الغشاء القاعدي يتكون من سلسلة من الألياف الممتدة عرضياً، تقوم بعمل الأجسام المستجيبة للرنين resonators. وتتفق الفواصل بين ترددات هذه الألياف مع مجال الترددات المسموعة للإنسان. وفي هذا النظام - الذي يشبه في رأيه أوتار البيانو - تستجيب وحدة معينة في مكان معين على طول الغشاء القاعدي لتردد معين، ويعتمد ذلك على وزنها ودرجة توترها.

وترى هذه النظرية أن الغشاء القاعدي يهتز اهتزازاً جيبيّاً sinusoidal بحيث تتم إزاحته إلى مسافة متساوية على جانبي وضع الراحة، وأن هذه الحركة ينتج عنها إثارة العصب الخاص بكل ليفة من الألياف المستجيبة للرنين، ويقوم لحاء المخ بتفسير كل إشارة عصبية بوصفها درجة معينة من درجات الصوت. وترى هذه النظرية أيضاً أن تحليل الترددات المنخفضة يتم عند طرف الغشاء، بينما يتم تحليل الترددات العالية عند قاعدته. أما بالنسبة للموجة المركبة فإن منطقة معينة تستجيب لنغمة الأساس، على حين تستجيب مناطق أخرى للنغمات التوافقية.

وقد ثارت عدة اعتراضات ضد هذه النظرية ليس هنا مجال القول في تفصيلها. ولعل أبرز هذه الاعتراضات ما تشتمل عليه من بعض وجوه التناقض؛ فهي مثلاً تفترض أن ألياف الغشاء القاعدي مثبتة في أرضية ذات مادة متجانسة، تجمعها جميعاً في تركيب متصل، ويمكن القول بأن هذا الفرض لا يتسق مع افتراض اهتزاز كل ليفة اهتزازاً مستقلاً بوصفها جسماً يستجيب لتردد خاص به لا يشترك فيه مع غيره من الأجسام.

(٢) نظرية الهاتف telephone theory

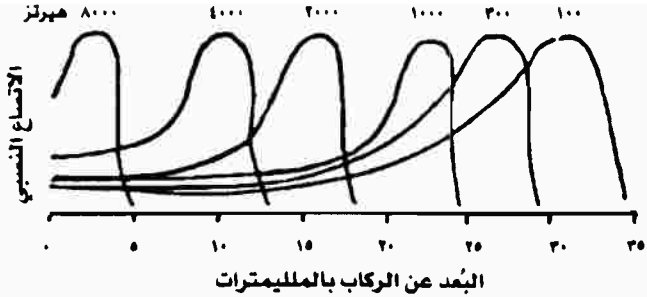
هذه النظرية هي من أوائل النظريات التي ظهرت في مجال تفسير

عملية السمع. ويفترض صاحب هذه النظرية رذرفورد Rutherford (عام ١٨٨٦م) - ومن بعده رايستون Whrightson (١٩١٨) - أن الغشاء القاعدي يهتز اهتزازاً كلياً مثل غشاء سماعة الهاتف، وأن التمييز بين الترددات المتنوعة لا يرجع إلى خاصة الرنين في القوقعة، وإنما يعتمد على تردد المثيرات التي تنتقل عبر عصب السمع وتستقبلها مراكز السمع في المخ. وبذلك تصبح الأعصاب أشبه بأسلاك الهاتف التي تحمل الإشارات الكهربية من غير أن تغير من طبيعتها إلى المستويات العليا في النظام العصبي المركزي.

(٣) نظرية المكان غير الرنيني nonresonance place theory

تتفق هذه النظرية مع نظرية المكان الرنيني في أمور: فهي تقرر مثلها - وخلافاً لنظرية الهاتف - أن تحليل الموجة الصوتية إلى مكوناتها إنما هو من عمل القوقعة، كما تتفق معها كذلك في أن تمييز الدرجة يرتبط بالمكان الذي يحدث فيه أقصى اهتزاز في الغشاء القاعدي (الشكل ١١٩). ولكنها تختلف معها بإهمالها الاعتماد على خاصية الرنين؛ فالخلايا الشعرية في هذه النظرية لا تقوم بدور الأجسام المستجيبة للرنين.

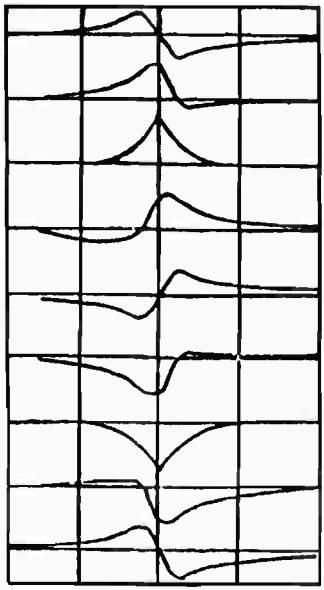
وتتلخص الملامح الأساسية لهذه النظرية في قولها باشتمال الغشاء القاعدي على عدد كبير من الخلايا الشعرية القاعدية، يتراوح العدد ما بين ٢٩٠٠٠ و ٣٠٠٠٠ خلية، كما يوجد أيضاً مثل هذا العدد من الألياف العصبية التي تمتد من أعلى الخلايا الشعرية إلى داخل العقدة الحلزونية لعضو كورتي. وتدخل هذه الألياف إلى نواة القوقعة في ساق المخ. وترتبط كل منطقة من مناطق الغشاء القاعدي بمنطقة معينة في نواة القوقعة. وترجح هذه النظرية أن الأوضاع النسبية للأعصاب لا تتغير، على حين ينتقل نمط المثير من خلالها إلى مستويات المخ العليا.



شكل (١١٩) نظرية المكان غير الرنينية

ويعتقد أن الموجة الصوتية تثير منطقة معينة من الغشاء القاعدي، وأن اهتزازات الغشاء القاعدي تصل إلى أقصى اتساع لها في جزء ما، وقد تحمل النغمة النقية جانباً كبيراً من الغشاء على الاهتزاز، وحينئذ تقوم الألياف العصبية التي تستقر أصولها في منطقة الاستجابة القصوى بتفريغ أقصى مستوى من شحنتها الكهربية. ويتم إدراك الدرجة عن طريق المستويات العليا في المخ بتقويمها لهذا المستوى الأقصى من التفريغ. أما تغير الدرجة فيتحقق من خلال تغيرَ موضع نقطة الاستجابة القصوى على طول الغشاء القاعدي.

ولا تعترف نظرية المكان - خلافاً لنظرية الرنين - بالاستجابة الآلية الانتقائية من جانب الغشاء القاعدي للترددات المختلفة. ولكنها ترجح أن استقبال الأذن لتردد معين ينتج عنه إزاحة للغشاء القاعدي، أو - بعبارة أخرى - **حركة موجية انتقالية** traveling wave motion (انظر الشكل ١٢٠). وتتسبب قمة الموجة في إحداث إزاحة أكبر للغشاء في نقطة ما، وتؤدي هذه الإزاحة بدورها إلى حدوث اختلال في طول الخلايا الشعرية الواقعة فوق منطقة قمة الموجة. حينئذ تنتقل الحوافز العصبية الصادرة عن هذه الخلايا إلى نهايات العصب القوقعي، ومنها إلى المخ حيث يتم تقويمها وتفسيرها.



شكل (١٢٠)

رسم يمثل دورة اهتزازية كاملة للغشاء القاعدي.

* * *