



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم الهندسة الطبية

دراسة خصائص كمونات العمل المركبة المحرزة كهربائياً لدى مرضى زرع الحلزون أثناء العمل الجراحي

بحث علمي أعد لنيل درجة ماجستير التأهيل والتخصص في السمعيات

في قسم الهندسة الطبية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

إعداد الطالبة

سلام الحرش

إشراف الدكتور المهندس

هاني عماشة

2019 – 2018

مربي . . .

أوليتني نعماً أبوح بشكرها

وكفيتني كل الأمور بأسرها

فلاشكرنك ما حيت ولنن أمت

لتشكرنك أعظمي في قبرها

كلمة شكر

بدايةً للأساتذة في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية وخاصةً في قسم الهندسة الطبية . . لكم مني
جزيل الشكر والتقدير

كما أود أن أقدم خالص شكري للمنظمة السورية للأشخاص ذوي الإعاقة آمال وللدكتور جمال قسومة
وللدكتور عبد الرحمن عوض وللدكتور فادي الشامي لتزويدي بالحالات اللازمة لإتمام هذه الدراسة
وأتوجه بالشكر وعميق الامتنان إلى الدكتور المهندس هاني عماشة على مساعدته لي لإتمام هذه
الدراسة . . . شكراً جزيلاً لك .

ولن أنسى أن أشكر الدكتور فادي الشامي والمهندس أنور الحلاق والمهندسة فرح جبيري على
مساعدتهم لي ووقوفهم بجاني حتى إتمام هذا العمل . . فشكراً لكم على وقتكم وجهدكم . . شكراً لكم
على جميل مساعدتكم . . شكراً لكم على كل شيء

وإلى كل من أسدى إليّ معروفاً . . . أو قدّم لي نصيحة . . . وأخص بالذكر الدكتور حسام حديد،
الأستاذ الرائع أنس بتك ، والأستاذ الأخصائي زياد جحجاح ، الدكتور محمد الحمد ، الأخصائية ريم
الزند، الدكتورة منار رجا الخصي . . جزاكم الله عني جميعاً خير الجزاء .

الإهداء

إلى المعلم الأول سيدي وحببي وشفيعي رسول الله

محمد صلى الله عليه وسلم

إلى سبب كل جميل في هذه الحياة إلى قوتي وسندي إلى ملجأئي وأمني
وأمانني إلى من لا تكفي كلماتي لوصفهم وشكرهم

أبي وأمي

إلى من كان وجودهم من أجمل نعم ربي . . شركائي في فرحي ونجاحي . .

أخي وأختي

إلى من شاركوني في رحلتي . . . وقضيت معي أجمل أيامي

هبة ورهام وإيمان

فهرس المحتويات

الفصل الأول: المقدمة

١-١ لمحة عن كمونات العمل المركب المحرضة كهربائياً

2-1 فصول البحث

الفصل الثاني: تشريح الأذن

1-2 مقدمة

2-2 الأذن الخارجية

1-2-2 الصيوان

2-2-2 القناة السمعية الخارجية

3-2-2 غشاء الطبل

3-2 الأذن الوسطى

1-3-2 تجايف الأذن الوسطى

2-3-2 المجاورات للأذن الوسطى

3-3-2 العظيمات

4-3-2 النافذة البيضوية

5-3-2 عضلات الأذن الوسطى

6-3-2 نفير أوستاش

4-2 الأذن الداخلية

1-4-2 التيه العظمي

2-4-2 التيه الغشائي

1-2-4-2 عضو كورتي

5-2 الصماخ السمعي الباطن

6-2 السبيل السمعي المركزي

2- 1-6 النواة القوقعية

2- 2-6 المعقد الزيتوني العلوي

الفصل الثالث: فيزيولوجيا السمع والتوازن

1-3 فيزيولوجيا السمع

1-1-3 الأذن الخارجية

1-1-1-3 تأثير الصيوان

2-1-1-3 الصماخ السمعي الخارجي

3-1-1-3 غشاء الطبل

2-1-3 الأذن الوسطى

3-1-3 الأذن الداخلية

1-3-1-3 الكمونات الكهربائية داخل القوقعة

4-1-3 العصب السمعي

5-1-3 النواة القوقعية

6-1-3 المعقد الزيتوني العلوي

2-3 فيزيولوجيا التوازن

1-2-3 الجهاز الدهليزي

1-1-2-3 أعضاء الحسيات الأذنية

2-1-2-3 القنوات الهلالية

الفصل الرابع: الدراسات المرجعية

الفصل الخامس: كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً

1-5 مقدمة

2-5 كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً المسجلة من الأعصاب المحيطية

3-5 كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً المسجلة من المسار السمعي

1-3-5 المقدمة

2-3-5 قياس عتبة منعكس الركابة المحرّض كهربائياً

3-3-5 استجابة جذع الدماغ السمعية المحرّضة كهربائياً

4-3-5 كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً المسجلة من العصب السمعي

1-4-3-5 اختلاف كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً تبعاً لموقع التنبيه داخل القوقعة

2-4-3-5 العلاقة بين انتشار الاستثارة العصبية والقياسات الفيزيائية النفسية

3-4-3-5 استخدام كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً لضبط الغرسة القوقعية

4-4-3-5 غياب كمونات العمل المحرّضة كهربائياً أثناء العمل الجراحي

5-4-3-5 العلاقة بين كمونات العمل المركبة المحرّض كهربائياً وموقع مصفوفة الالكترود

6-4-3-5 انخفاض عتبة كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً بعد العمل الجراحي

7-4-3-5 اختلاف كمونات العمل المركبة المحرّض كهربائياً بين البالغين والأطفال

8-4-3-5 فصل كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً عن التشويش الصناعي الناتج عن

المنبه

الفصل السادس: تأثير بعض بارامترات التنبيه الكهربائي على خصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي عند مستخدمي الغرسة القوقعية

1-6 مقدمة

2-6 معدل التنبيه الكهربائي وخصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي

1-2-6 معدل التنبيه الكهربائي وخصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي للأطفال المصابين باضطراب طيف الاعتلال العصبي السمعي والذين اجري لهم زرع قوقعة

3-6 مستوى التنبيه الكهربائي وخصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي

4-6 الفجوة بين أطوار التنبيه الكهربائي وخصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي

الفصل السابع: أنواع مصفوفات الالكتروود لـ شركة MEDEL

1-7 مقدمة

2-7 أنواع مصفوفات الالكتروود الخاصة بشركة MEDEL

3-7 التغطية الكاملة للقوقعة

الفصل الثامن: القياسات السريرية في MAESTRO 7.0

1-8 مقدمة

2-8 القياسات السريرية في MAESTRO 7.0

1-2-8 قياس الاستجابة العصبية السمعية الآلي Auto ART

2-2-8 قياس الاستجابة العصبية السمعية عن بعد ART

3-2-8 قياس الاستجابة العصبية السمعية عن بعد الخاصة بعملية الضبط

4-2-8 القياس عن بعد Telemetry

5-2-8 منعكس الركابة المحرض كهربائياً

6-2-8 استجابة جذع الدماغ السمعية المحرّضة كهربائياً

3-8 بعض البارامترات لبرنامج MAESTRO 7.0

الفصل التاسع: الدراسة العملية

1-9 مقدمة

2-9 عينة الاختبار وشروط القياس

3-9 التجهيزات المستخدمة في البحث

4-9 التحليل الإحصائي

5-9 النتائج

6-9 المناقشة

7-9 المقارنة مع الدراسات السابقة

8-9 الاستنتاجات

9-9 محدوديات الدراسة

10-9 التوجهات المستقبلية

المراجع

فهرس الأشكال

رقم الشكل	اسم الشكّل	رقم الصفحة
الفصل الثاني		
الشكل (1-2)	بنية الأذن	17
الشكل (2-2)	تشريح صيوان الأذن	18
الشكل (3-2)	البنية التشريحية لغشاء الطبل	21
الشكل (4-2)	تشريح الأذن الوسطى	21
الشكل (5-2)	أجواف الأذن الوسطى	22
الشكل (6-2)	مجاورات الأذن الوسطى	23
الشكل (7-2)	مسال القوقعة	27
الشكل (8-2)	قناة اللمف الباطن	30
الشكل (9-2)	عضو كورتي	32
الشكل (10-2)	مخطط تمثيلي للسبيل السمعي المركزي الوارد	34
الفصل الثالث		
الشكل (1-3)	حركة سلسلة العظيمات على طول محور الدوران	41
الشكل (2-3)	كيفية انتقال الموجة المسافرة في الأذن الداخلية	43
الشكل (3-3)	الأعضاء الدهليزية	47
الفصل الخامس		
الشكل (1-5)	مخطط يظهر الانحراف لكمون الراحة عبر الغشاء	58
الشكل (2-5)	استجابة جذع الدماغ المحرّضة بالتنبيه الصوتي	63

	مقابل المحرّضة بواسطة التنبيه الكهربائي	
65	تسجيلات EABR من الكترود قمي ومتوسط وقاعدي	الشكل (3-5)
69	شكل استجابة ECAP	الشكل (4-5)
الفصل السابع		
94	اللفة القاعدية للقوقعة " A "	الشكل (1-7)
94	اختيار المصفوفة المناسبة تبعاً للمسمى " A "	الشكل (2-7)
الفصل الثامن		
96	طريقة إظهار النتائج لقياس الاستجابة العصبية السمعية الآلي	الشكل (1-8)
97	طريقة إظهار النتائج لقياس الاستجابة العصبية عن بعد وكيف تتحول هذه العتبات إلى واجهة البرمجة للمساعدة في عملية برمجة الجهاز	الشكل (2-8)
98	تابع ازدياد المطال كما يظهر على واجهة البرنامج	الشكل (3-8)
99	طريقتا إظهار تابع استعادة النشاط العصبي	الشكل (4-8)
99	مخطط يظهر علاقة معدل التنبيه والاستجابة العصبية الناتجة	الشكل (5-8)
100	كيفية إنشاء خرائط البرمجة التي تعتمد على ART fit	الشكل (6-8)
101	لقطة شاشة تظهر خريطة برمجة تعتمد على ART fit	الشكل (7-8)
102	صورة توضح منعكس ركابة محرّض كهربائياً	الشكل (8-8)

الفصل التاسع		
113	اختلاف عتبة ECAP تبعاً لموقع الكترودات التسجيل (عند استخدام Auto ART)	الشكل (9-1)
115	اختلاف عتبة ECAP تبعاً للبقايا السمعية (عند استخدام Auto ART)	الشكل (9-2)
121	اختلاف عتبة ECAP تبعاً لموقع الكترودات التسجيل (عند استخدام ART)	الشكل (9-3)
127	اختلاف المطال الأعظمي ل ECAP تبعاً لموقع الكترودات التسجيل (باستخدام ART)	الشكل (9-4)
131	اختلاف زمن الحران النسبي للعصب تبعاً لموقع الكترودات التسجيل	الشكل (9-5)

فهرس الجداول

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
الفصل التاسع		
110	مجموعة الدراسة التي حققت المعايير	الجدول (1-9)
111	جدول يحدد طبيعة البيانات للعينة التي أجري عليها اختبار Auto ART	الجدول (2-9)
112	عتبة ECAP تبعاً لموقع الكترودات التسجيل (عند استخدام Auto ART)	الجدول (3-9)
114	عتبة ECAP في قمة القوقعة تبعاً للبقايا السمعية (عند استخدام Auto ART)	الجدول (4-9)
116	عتبة ECAP في متوسط القوقعة تبعاً للبقايا السمعية (عند استخدام Auto ART)	الجدول (5-9)
117	عتبة ECAP في القاعدة القوقعة تبعاً للبقايا السمعية (عند استخدام Auto ART)	الجدول (6-9)
117	الزراع عتبة ECAP في قمة القوقعة تبعاً للعمر عند اجراء (عند استخدام Auto ART)	الجدول (7-9)
118	الزراع عتبة ECAP في متوسط القوقعة تبعاً للعمر عند اجراء (عند استخدام Auto ART)	الجدول (8-9)
118	الزراع عتبة ECAP في القاعدة القوقعة تبعاً للعمر عند اجراء (عند استخدام Auto ART)	الجدول (9-9)

120	عتبة ECAP تبعاً لموقع الكترودات التسجيل (عند استخدام ART)	الجدول (9-10)
121	عتبة ECAP في قمة القوقعة تبعاً للبقايا السمعية (عند استخدام ART)	لجدول (9-11)
122	عتبة ECAP في متوسط القوقعة تبعاً للبقايا السمعية (عند استخدام ART)	لجدول (9-12)
123	عتبة ECAP في قاعدة القوقعة تبعاً للبقايا السمعية (عند استخدام ART)	لجدول (9-13)
124	عتبة ECAP في قمة القوقعة تبعاً للعمر عند اجراء الزرع (عند استخدام ART)	لجدول (9-14)
124	عتبة ECAP في متوسط القوقعة تبعاً للعمر عند اجراء الزرع (عند استخدام ART)	لجدول (9-15)
125	عتبة ECAP في قاعدة القوقعة تبعاً للعمر عند اجراء الزرع (عند استخدام ART)	لجدول (9-16)
126	المطال الأعظمي ل ECAP تبعاً لموقع الكترودات التسجيل (باستخدام ART)	لجدول (9-17)
127	المطال الأعظمي ل ECAP في القمة تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام ART)	لجدول (9-18)
128	المطال الأعظمي ل ECAP في المتوسط تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام ART)	لجدول (9-19)
129	المطال الأعظمي ل ECAP في القاعدة تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام ART)	لجدول (9-20)
131	زمن الحران النسبي للعصب تبعاً لموضع الكترودات التسجيل	لجدول (9-21)

المُلخَص

منذ عام 1998 توافرت إمكانية القياس عن بُعد لكمونات العمل المركبة المحرض كهربائياً (ECAP) من العصب السمعي عند المستفيدين من زرع القوقعة تجارياً، حيث تمثل ECAP الاستجابة العصبية لخلايا العقدة الحلزونية spiral ganglion cells التي تبطن الجزء الداخلي من القوقعة (قناة روزنتال Rosenthal's channel) ، ويمكن قياسها استجابةً للتنبية الكهربائي بواسطة القياس عن بعد telemetry في الغرسة القوقعية cochlear implant. وعلى الرغم من أن جميع الغرسات القوقعية cochlear implant تقيس نفس الاستجابة الفيزيولوجية الكهربائية، فإن كل مُصنَّع غرسة قوقعية cochlear implant له طريقة قياس خاصة به ومصطلحاته لوصف قياس هذه الاستجابات العصبية.

ويهدف هذا البحث إلى توصيف بعض النتائج المعيارية التي تشاهد بعد العمل الجراحي لزرع القوقعة باستخدام مصفوفة الالكترود FLEX28 التابعة لشركة MEDEL.

قمنا بدراسة عينة قصدية للأفراد الذين أجري لهم زرع قوقعة من 15/2/2019 وحتى 15/10/2019 في مشفى الرشيد والمشفى السوري التخصصي، وتضمن البحث أيضاً الأطفال الذين أجري لهم زرع قوقعة من تاريخ 2019/6/1 وحتى 2019/8/1 برعاية المنظمة السورية للأشخاص ذوي الإعاقة آمال .

الجميع أجري لهم زرع القوقعة باستخدام مصفوفة الالكترود FLEX28 التابعة لشركة MEDEL وليس لديهم أي اضطرابات أخرى (أي لديهم نقص السمع فقط) . وتضمنت الدراسة 43 فرداً (22) منهم ذكور و(21) إناث. (بعض الاختبارات لم نستطع إجراؤها على كامل العينة) وتمّ تحديد كل من العتبة والمطال الأعظمي للكمونات. حيث أظهرت النتائج أن العتبة والمطال الأعظمي لكمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً وزمن الحران النسبي للعصب السمعي يختلف باختلاف موقع التنبية داخل القوقعة، وأن العتبة في قمة القوقعة تتعلق بالبقايا السمعية باستخدام القياس عن بعد الآلي للاستجابة العصبية Auto Auditory Response Telemetry فقط (ولم يتبين ذلك باستخدام قياس الاستجابة العصبية عن بعد Auditory Response Telemetry). كما أنّ العتبة لكمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً لا تتعلق بالعمر عند الزرع.

النتيجة: هذه النتائج تتفق مع الدراسات السابقة، فهي تظهر أن كثافة خلايا العقدة الحلزونية في قمة القوقعة أكبر من تلك الموجودة في القاعدة وهذه النتائج ترتبط جزئياً أيضاً بالخصائص التشريحية للقوقعة، وبالتالي اختلاف العتبة والمطال وزمن الحران النسبي للعصب بين قمة القوقعة والقاعدة يمكن ان يوفر معلومات مهمة في ضبط معالج الكلام وخاصة عند الأطفال.

الكلمات المفتاحية: كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً – زمن الحران النسبي للعصب السمعي – العتبة – المطال الأعظمي – قياس الاستجابة العصبية عن بعد.

Abstract

Telemetry capabilities have been commercially available since 1998 for measuring the electrically evoked compound action potential (ECAP) from the auditory nerve in cochlear implant recipients. The ECAP represents the neural response of spiral ganglion cells lining the inner part of the cochlea (Rosenthal's channel) and can be measured in response to electrical stimulation by the telemetry function of a CI. Although all CIs measure the same electrophysiological response, each CI manufacturer has its own measurement method and terminology to depict the measurement of these neural responses. The aim of this research is to characterize some of the normative results seen after surgery for cochlear implants using MEDEL FLEX28 electrode array.

We studied an intentional sample of individuals who had cochlear implant surgery from 15/2/2019 to 15/10/2019 at Al-Rashid Hospital and the Syrian Specialized Hospital. And The research included children who had cochlear implant surgery under the auspices of Syrian Organization for Persons with Disabilities (Aamal) from 1/6/2019 to 1/8/2019.

All of participants were implanted using MEDEL's FLEX28 electrode array and they didn't have any other disorders (only hearing loss). The study included 43 individuals (22) of whom were males and (21) females (Some tests could not do be done the entire sample).

The results showed that the threshold and maximum amplitude of the electrical Evoked Compound Action Potential and the relative refractory time of the auditory nerve varied depending on the location of the cochlear stimulation. And the threshold at the apical of the cochlea relates to hearing residuals using Auto Auditory Response Telemetry only (not indicated by Auditory Response Telemetry) and that the threshold for Electrically Evoked Compound Action Potential was not age related

Conclusion: the results are consistent with previous studies. They showed that the density of spiral ganglion cells at the apical region of the cochlea was greater than that at the base and these results are also partially related to the anatomical characteristics of the cochlea also the different threshold, amplitude and relative refractory time of the auditory nerve between the cochlear peak and the base can provide important information in speech processor fitting, especially in children.

Key Words: Electrically Evoked Compound Action Potential, relative refractory time, threshold, maximum amplitude, Auditory Response Telemetry (ART)

الفصل الأول

المقدمة

1-1 مقدمة عن كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً:

من المحتمل أن يكون لدى مستخدمي الغرسة القوقعية (CI) درجة من الضمور degeneration بالعقدة الحلزونية spiral ganglion المرتبطة بفقدان السمع، ويتم تحديد مدى ذلك حسب العوامل الفردية، مثل العمر ومسببات نقص السمع ومدة الحرمان deprivation ، وعند تنبيه الغرسة القوقعية تؤثر حالة الخلايا العصبية السمعية المحيطة على دقة وكفاءة نقل الإشارة إلى البنى الأكثر مركزية. وهكذا يُفترض أن الوظيفة العصبية المحيطة تكمن وراء بعض التباين في النتائج الإدراكية perceptual الملاحظة بين مستخدمي الغرسة القوقعية وبالتالي يمكن استخدام مقاييس الفيزيولوجيا الكهربائية كأداة لتقييم وظيفة العصب السمعي والمسار العصبي السمعي. حيث أن كمون العمل المركب (CAP) ينشأ نتيجة الانفراغ المترام synchronous firing للخلايا العصبية السمعية المحيطة المثارة بواسطة إشارات صوتية أو كهربائية وأظهرت الأبحاث على الحيوانات أن الجوانب المختلفة للاستجابات المحيطة المحرّضة كهربائياً مثل العتبات thresholds والمطال فوق العتبي suprathreshold amplitude وزمن الكمون latency والحساسية للفجوة بين الأطوار interphase gap واستعادة النشاط العصبي ترتبط بعدد أو كثافة الخلايا العصبية الباقية و / أو درجة سلامة غمد النخاعين degree of myelination. وقد دفعت هذه النتائج إلى الاستقصاء عن هذه الكمونات وعلاقتها بالوظيفة السمعية عند البشر مستخدمي الغرسة القوقعية.

ومن أهم التطبيقات السريرية لكمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً عند مستخدمي الغرسة القوقعية هي استخدامها أثناء العمل الجراحي كأداة لتقييم وظيفة العصب السمعي والتأكد من سلامة الغرسة القوقعية والكثير من الفوائد الأخرى. وأهم هذه التطبيقات والمستخدم حاليًا هو تسجيل ECAP فمنذ عام 1998 توافرت إمكانية القياس عن بُعد لكمونات العمل المركب المحرّضة كهربائياً (ECAP) من العصب السمعي عند المستفيدين من زرع القوقعة حيث تمثل ECAP الاستجابة العصبية لخلايا العقدة الحلزونية spiral ganglion cells ويمكن قياسها استجابةً للتنبيه الكهربائي بواسطة القياس عن بعد telemetry في CI. و على الرغم من أن

جميع CIs تقيس نفس الاستجابة الفيزيولوجية الكهربائية، فإن كل مُصنَّع CI له طريقة قياس خاصة به ومصطلحاته لوصف قياس هذه الاستجابات العصبية [11].

ويهدف هذا البحث إلى توصيف بعض النتائج المعيارية لهذه الكمونات المحرّضة كهربائياً والمشاهدة بعد العمل الجراحي لزرع القوقعة الخاص بشركة MEDEL.

2-1 فصول البحث:

تتضمن فصول البحث اللاحقة ما يلي:

الفصل الثاني: تشريح الأذن: يتضمن هذا الفصل لمحةً عن تشريح الأذن بأقسامها الظاهرة والوسطى والباطنة، ولمحة عن تشريح العصب السمعي والسبيل السمعي المركزي.

الفصل الثالث: فيزيولوجيا الأذن: يتضمن هذا الفصل وظيفة بعض أعضاء السمع والتوازن في الأذن، بالإضافة إلى لمحة عن فيزيولوجيا العصب السمعي والسبيل السمعي المركزي.

الفصل الرابع: الدراسات المرجعية: يتضمن هذا الفصل مراجعةً لمجموعةٍ من الدراسات العالمية التي تتناول بعض النتائج المعيارية لكمونات العمل المركب المحرض كهربائياً والمسجلة لدى مستخدمي الغرسة القوقعية.

الفصل الخامس: كمونات العمل المركب المحرّضة كهربائياً يشمل شرحاً مفصلاً عنها وعن خصائصها وعن طرق تسجيلها وأهم العوامل التي تؤثر وتتأثر بها وعن بعض طرق فصلها عن التشويش.

الفصل السادس: تأثير بعض بارامترات التنبيه الكهربائي على خصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي عند مستخدمي الغرسة القوقعية

الفصل السابع: أنواع مصفوفات الالكتروود لـ شركة MEDEL يشمل شرحاً عن أهم أنواع مصفوفات الالكتروود التابعة للشركة وعن ميزات كل منها.

الفصل الثامن: القياسات السريرية في MAESTRO7.0 يشمل هذا الفصل شرحاً عن القياسات السريرية التي يمكن تسجيلها بواسطة هذا البرنامج الخاص بشركة MEDEL.

الفصل التاسع: الدراسة العملية: يشمل هذا الفصل شرحاً مفصلاً لطرائق ومواد الدراسة، والتحليل الإحصائي، والنتائج مع مناقشتها ومقارنتها مع الدراسات العالمية، ونهاية ذكر الاستنتاجات والتوصيات.

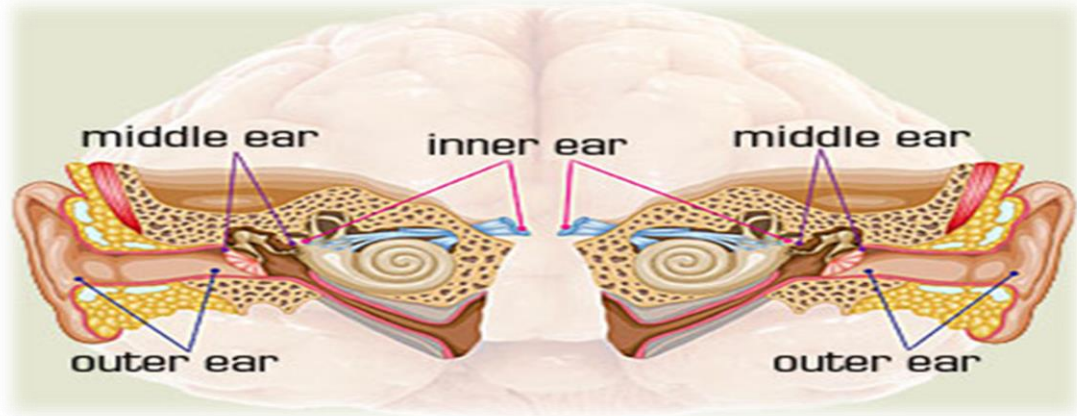
الفصل الثاني

تشرح الأذن

Anatomy of The Ear

1-2 مقدمة:

نقسم الأذن إلى ثلاث مناطق تشريحية رئيسية: (1) الأذن الخارجية External ear (2) الأذن الوسطى Middle Ear (3) الأذن الداخلية Inner Ear كما هو مبين في الشكل (1-2).



الشكل (1-2) بنية الأذن

2-2 الأذن الخارجية External Ear:

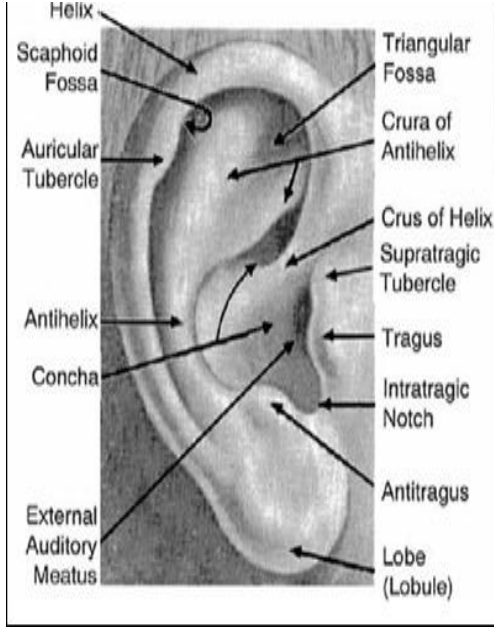
تتكون الأذن الخارجية من الأقسام الرئيسية التالية: الصيوان Pinna or Auricle والقناة السمعية الخارجية External Auditory Canal وغشاء الطبل Tympanic membrane

1-2-2 الصيوان Pinna:

الصيوان عبارة عن قطعة واحدة من غضروف أصفر مرن (إلا في فصيص أو شحمة الأذن ear lobule) والتلمة الانتهائية incisura terminalis وهي الانخفاض بين الوتدة tragus والساق الأمامية لحتار الأذن helix) والغضروف هو بنية لا وعائية، مغطاة بسحق الغضروف

الذي يستمد منه العناصر الغذائية. ويكون جلد الصيوان رقيق وملتصق بشدة بسمحاق الغضروف على السطح الوحشي له بينما على السطح الأنسي هناك أنسجة شحمية تحت الجلد

ويشاهد على الصيوان المناطق الرئيسية التالية كما هي الموضحة في الشكل (2-2):



- القوقعة أو المحارة Concha
- الحفرة الزورقية scaphoid fossa
- الوتدة tragus
- الثلمة الوتدية Intertragic notch
- الحلزون (الحتار) Helix
- الحفرة المثلثية Triangular fossa
- مقابل الحلزون Antihelix
- مقابل الوتدة (المرزة) Antitragus
- فصيص أو شحمة الأذن ear lobule

الشكل (2-2) تشريح صيوان الأذن

2-2-2 القناة السمعية الخارجية External Auditory Canal:

يبلغ طول القناة السمعية الخارجية حوالي 2.5cm ويبلغ ارتفاعها حوالي 6.5mm × 9mm عرضاً ويكون الجدار الأمامي أطول من الجدار الخلفي بمقدار 6mm ، أما شكل القناة فيكون على شكل حرف S (عند حديثي الولادة تكون العظام الطبلية tympanic bone لم يكتمل تطورها بعد ويكون غشاء الطبل أفقياً بشكل أكبر) ويكون الثلث الخارجي للقناة غضروفي ويتجه للأعلى والخلف و مستمر مع غضروف الصيوان والثلثين الداخليين عظميين، و يتجه الجزء العظمي نحو الأمام والأسفل و يتشكل من الجزء الصدفي squamous part للعظم الصدغي temporal bone ويحتوي جلد الجزء الغضروفي على شعر و غدد دهنية sebaceous و غدد شمعية (صملاخية)

[31] ceruminous (wax) glands

وهناك معالم تشريحية أخرى:

١. أثنان من أوجه القصور :

▪ شقوق سانتوريني Fissures of Santorini: في القسم الغضروفي حيث يمكن أن تظهر الالتهابات الخشائية السطحية superficial mastoid أو النكفية parotid في القناة، أو العكس

▪ ثقبه Huschke : في القسم العظمي من القناة حيث تنقل الإنتان من وإلى النكفة parotid

٢. اثنان من خطوط الدرز suture lines : الصخري الطبلي الأمامي Tympanosquamous anteriorly والطبلي الخشائي الخلفي Tympanomastoid posteriorly (يغطيها جلد ملتصق للغاية)

٣. اثنين من القيود في القناة: عند تقاطع الجزء الغضروفي والعظمي

▪ البرزخ isthmus : 5mm من الغشاء الطبلي tympanic membrane حيث يقلل بروز جدار القناة الأمامية من القطر.

▪ الرذب الأمامي Anterior Recess : أنسياً إلى البرزخ isthmus

أما المجاورات القسم العظمي للقناة السمعية الخارجية فهي :

- الأعلى: الحفرة القحفية المتوسطة middle cranial fossa
- الأمام : المفصل الصدغي الفكي temporomandibular joint
- الوسط : غشاء الطبل Tympanic membrane
- الأسفل: النكفة parotid
- الخلف: غار الخشاء mastoid antrum والخلايا الهوائية air cells. والعصب الوجهي facial nerve
- الجانب : القسم الغضروفي cartilaginous portion

الخشاء Mastoid:

عادة ما تكون الخلايا الخشائية ذات التذهوية الجيدة well-aerated cells of mastoid والغار antrum طريقاً مثاليًا للوصول إلى الأذن الوسطى middle ear والرذب فوق الطبلي epitympanum. ويعتبر الحرف ذو البطنين digastric ridge أكثر المعالم ذيلية caudal landmark في تجويف الخشاء mastoid cavity [39]

الغار Antrum:

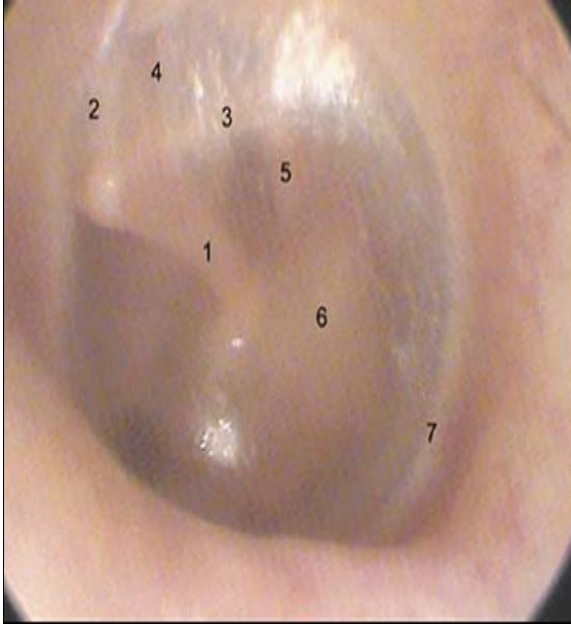
يعد الغار Antrum أكبر خلية خشائية mastoidal cell وهو يربط الخلايا الهوائية الخشائية mastoid air cells مع الجوف الطبلي عبر مدخل الغار aditus ad antrum ويقع الغار خلف الرذب فوق الطبلي epitympanum وأدنى صفيحة الحفرة المتوسطة middle fossa plate وفي الخلف الوحشي من التيه labyrinth ونظرًا لأن الغار antrum ثابت جدًا ولا يوجد بنية هامة بجانبه ، فهو يعد أحد أهم المعالم في المرحلة الأولى من استئصال الخشاء mastoidectomy. أما على الجدار الإنسي للغار يوجد بروز القناة الهلالية semicircular canal الجانبية. ويعد الغار أيضًا أحد المعالم المهمة للتعرف على العصب الوجهي facial nerve والسندان incus حيث يحدد بروز القناة الجانبية والحرف ذو البطنين digastric ridge الجزء الرأسي من العصب الوجهي facial nerve وبالتالي يمكن استخدام كلا الهيكلين لتحديد العصب الوجهي قبل البدء بالحفر الطبلي الخلفي posterior tympanotomy [39].

3-2-2 غشاء الطبل Tympanic membrane

هو سطح بيضوي الشكل (في الأعلى أوسع من الأسفل) تبلغ سماكته حوالي 0.074mm ويبلغ طوله (من 0.9cm إلى 1.0cm) أما عرضه حوالي (0.8cm إلى 0.9cm) ، وهو مقعر نحو الخارج (حيث تدعى ذروة المخروط ب السرة umbo) ويشكل الغشاء زاوية حوالي 55 درجة مع أرضية الصماخ.

ويتكون غشاء الطبل من ثلاث طبقات:

- الطبقة الوحشية : تستمر مع جلد قناة الأذن
- الطبقة الأنسية : تستمر مع الغشاء المخاطي للأذن الوسطى
- وبينهما صفيحة مخصوصة lamina propria تتكون من طبقتين من الألياف الشعاعية radial fibers والألياف الدائرية متحدة المركز concentric circular fibers لكن في الجزء الرخو pars flaccida تكون هذه الصفيحة المخصوصة lamina propria أقل وضوحاً و ألياف الكولاجين يبدو اتجاهها عشوائياً



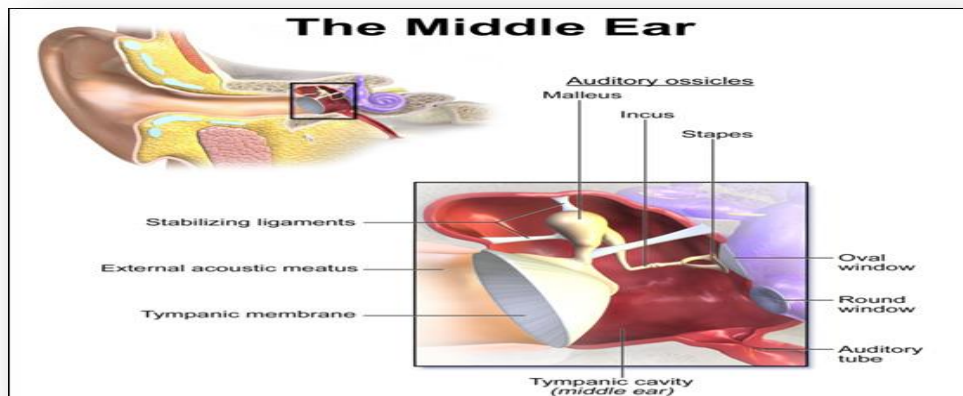
في الشكل (2-3) صورة لغشاء الطبل مبين عليها
الأجزاء التالية:

١. المطرقة Malleus
٢. الطية المطرقية الأمامية anterior malleolar fold
٣. الطية المطرقية الخلفية posterior malleolar fold
٤. الجزء الرخو (غشاء شراپنل) pars flaccida (Shrapnel's membrane)
٥. مسقط الساق الطويلة للسندان incus
٦. الجزء الموتر pars tensa
٧. الرباط الحلقي [31] annular ligament

الشكل (2-3) البنية التشريحية لغشاء الطبل

3-2 الأذن الوسطى Middle Ear:

تتكون الأذن الوسطى من : العظيمات Ossicles وعضلات الأذن الوسطى muscles ME ونفير أوستاش Eustachian tub وأجواف الأذن الوسطى ME cavities والناثئ الخشائي Mastoid process [31]



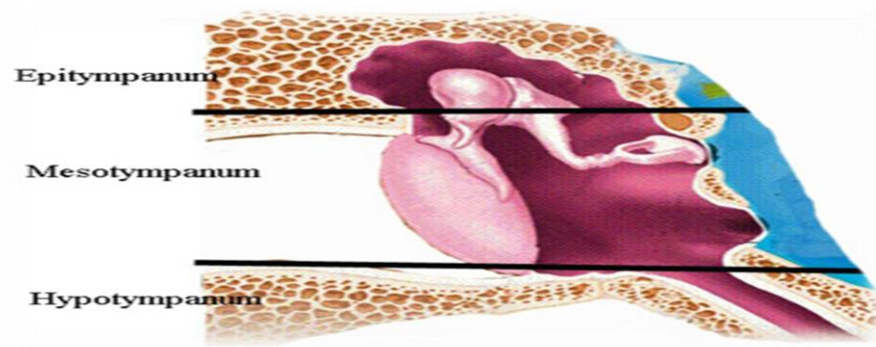
الشكل (2-4) تشريح الأذن الوسطى [31]

1-3-2 تجاويف الأذن الوسطى Middle-ear Cavities

تتكون تجاويف الأذن الوسطى من جوف الطبل tympanum (التجويف الرئيسي) الذي يقع بين الغشاء الطبلي tympanic membran وجدار الأذن الداخلية (الطنف promontorium) ومن جزء أصغر وهو الرذب فوق الطبل epitympanum حيث يقع فوق جوف الطبل tympanum والخلايا الهوائية الخشائية mastoid air cells (ويقع رأس المطرقة malleus في الرذب فوق الطبل). ويغطي الغشاء المخاطي تجويف الأذن الوسطى إضافة إلى نفير اوستاش Eustachian tube. و غالباً ما يكون الحجم الكلي لتجاويف الأذن الوسطى حوالي 2cm^3 ولكن حجم تجاويف الأذن الوسطى يختلف اختلافاً كبيراً من شخص لآخر ، وإذا كان حجم خلايا الهوائية الخشائية mastoid air cells مضمناً، فقد يكون الحجم الكلي 10cm^3 [30].

الجوف الطبلي Tympanic Cavity

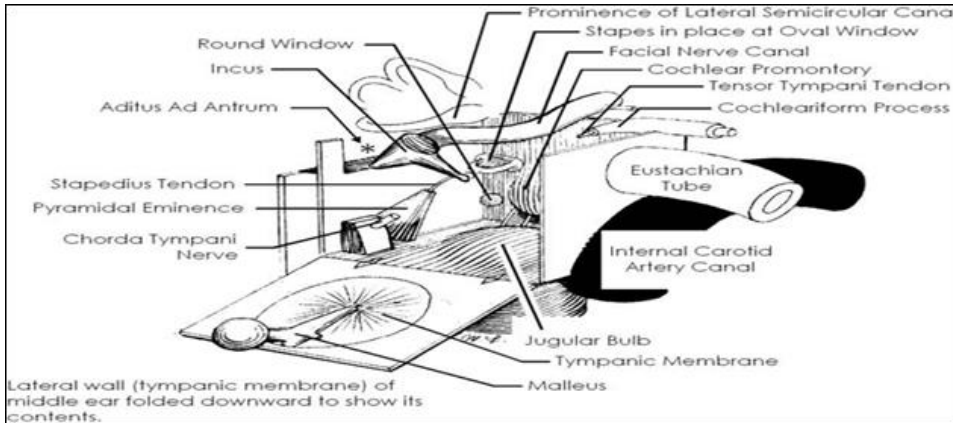
أما الطبل الأوسط mesotympanum فهو الجزء الأوسط من التجويف الطبلي tympanic cavity يقع أنسياً من الغشاء الطبلي tympanic membrane ويحده من الأعلى الرذب فوق الطبلي epitympanum والذي يحوي جسم corpora المطرقة malleus والسنندان incus ويحده من الأسفل الطبل السفلي hypotympanum والذي يبدأ أسفل ووحشي الحافة السفلية inferior border للنافذة المستديرة ويتم فصل الطبل الأوسط mesotympanum و الرذب فوق الطبلي epitympanum بواسطة الجزء الطبلي من العصب الوجهي [39].



الشكل (2-5) أجواف الأذن الوسطى

2-3-2 المجاورات للأذن الوسطى فهي :

- الجدار الوحشي - غشاء الطبل - العليّة العظمية. (bony attic)
- الأرضية : بصلة الوداجي Jugular bulb
- الجدار الأمامي :
 - فتحة نفير أوستاش Eustachian tub
 - نفق السباتي carotid a. canal
 - القنيّة الموترّة للطبلية . tensor tympani semicanal.
 - مرفق من الرباط الأمامي لقناة الكعبي malleolar لحبل الطبل Chorda Tympani.
- الجدار الأنسي الأمامي :
 - الناتئ قوقعي الشكل cochleariform process
 - طنّف القوقعة Promontory of cochlea
 - إلى الخلف والأعلى من الطنف promontory : النافذة البيضوية Oval window
 - إلى الخلف والأسفل : النافذة المستديرة Round window أعلى النافذة البيضوية Oval window
- الجدار الخلفي يفصل الجوف الطبلي tympanic cavity عن الخشاء mastoid
 - الجدار الخلفي (في الأعلى) مدخل الغار Aditus ad antrum
 - السقف: صفيحة عظمية رقيقة (سقيفة طبليّة tegmen tympani)



الشكل (2-6) مجاورات الأذن الوسطى

3-3-2 العظيمات Ossicles

- المطرقة Malleus.
- السندان Incus .
- الركابة Stapes.

المطرقة Malleus: يبلغ طول المطرقة من 8mm إلى 9mm وتزن حوالي 25mg. وتتكون من :

- الرأس ممفصل (مرتبط) مع السندان incus
- القبضة Manubrium وهي مضمّنة بين طبقات الأغشية الليفية fibrous والأغشية المخاطية mucous في طبلة الأذن eardrum
- الرقبة Neck
- النّاتئ الوحشي Lateral process
- النّاتئ الأمامي process Anterior يقع بالقرب من تقاطع الرقبة والقبضة.

السندان Incus: يبلغ طوله 7mm تقريبا ويزن حوالي 30mg ويتكون من:

- النّاتئ القصير ذو اتجاه خلفي
- الجسم Body
- النّاتئ الطويل : ينحدر لينتهي عند عقيدة مستديرة rounded nodule تدعى بالنّاتئ العدسي lenticular process ليرتبط مع رأس الركابة stapes

الركابة Stapes: يبلغ طول الركابة حوالي 3.5mm ، و مساحة سطح الصفيحة القدمية للركابة 3.2mm^2 وتزن الركابة حوالي 3mg إلى 4mg وهي أصغر عظم في جسم الإنسان، تقع فوق النافذة البيضوية وتحوي على سويقتين two crura (سويقة أمامية anterior crus وسويقة خلفية posterior crus) أعلى الصفيحة القدمية footplate للركابة stapes، حيث تتوضع الصفيحة القدمية footplate على النافذة البيضوية oval window والنسيج الضام connective tissue الموجود بين الصفيحة القدمية footplate وحافة النافذة البيضوية oval window يدعى الرباط الحلقي annular ligament . [31, 39]

4-3-2 النافذة البيضوية Oval Window

تقع النافذة البيضوية أسفل انخفاض عميق ومحاطة بنتوءات eminences وهي: الطنف من الأسفل وقناة فالوب fallopian canal مع الجزء الطبلي من العصب الوجهي facial nerve من الأعلى. والبارزة الهرمية pyramidal eminence مع الوتر الركابي stapedius tendon من الخلف [39].

5-3-2 عضلات الأذن الوسطى Middle Ear Muscles

العضلة الموترّة للطبلة Tensor tympani muscle

تقع هذه العضلة داخل قناة العضلة الموترّة للطبلة tensor tympani semicanal أعلى نفير أوستاش Eustachian tube، ويبلغ طولها 2.5cm.

عضلة الركابة Stapedius muscle

وهي أصغر العضلات الهيكلية في الجسم يبلغ طولها حوالي 6.3mm حيث يبرز الوتر الركابي stapedius tendon من قمة الناتئ الهرمي pyramidal eminence (على الجدار الخلفي للطبل الأوسط mesotympanic) ويرتكز على عنق الركابة stapes الخلفي ، ويتم تعصيب عضلة الركابة بواسطة العصب الوجهي facial nerve ويؤدي تقلص العضلة الركابية إلى سحب الركابة إلى الخلف وبالتالي زيادة صلابة سلسلة العظيمات ossicular chain و تقليل الطاقة الواصلة إلى الأذن الداخلية. [31 , 39]

6-3-2 نفير أوستاش Eustachian Tube

وهو يمتد من جدار الأذن الوسطى middle ear الأمامي إلى الجدار الخلفي للبلعوم الأنفي nasopharynx ويكون مائلاً للأسفل بزاوية 45 درجة (لكن يكون أفقياً تقريباً عند الرضع والأطفال الصغار) و يكون الثلث الأول منه عظمية بينما ما تبقى منه يكون محاطاً بحلقة غير مكتملة من الغضروف المرن elastic cartilage، وتسمى نقطة الالتقاء بالبرزخ isthmus ومن أهم وظائف نفير أوستاش تهوية الأذن الوسطى وتصريف السوائل منها ومعادلة الضغط على جانبي طبلة الأذن eardrum. [31]

4-2 الأذن الداخلية Internal ear

تحتوي الأذن الداخلية internal ear على العضو الدهليزي القوقي vestibulocochlear المسؤول عن استقبال الصوت والحفاظ على التوازن. و تتألف الأذن الداخلية المتوضّعة أو المدفونة في الجزء الصخري petrous part من العظم الصدغي temporal bone من أكياس sacs وقنوات الغشائية ducts في التيه الغشائي membranous labyrinth، حيث يتعلق التيه الغشائي membranous labyrinth الذي يحتوي على اللف الباطن endolymph داخل التيه العظمي bony labyrinth الممتلئ باللف الظاهر perilymph إمّا عن طريق الخيوط الرقيقة delicate filaments المماثلة لخيوط الأم العنكبوتية arachnoid mater التي تجتاز الحيز تحت العنكبوتي substantial space أو عن طريق الرباط الحلزوني الأساسي substantial spiral ligament وتشارك هذه السوائل في تنبيه الأعضاء الطرفية end organs لتحقيق التوازن والسمع على التوالي .

اي أن الأذن الداخلية تتكون من :

- التيه الغشائي membranous labyrinth
- التيه العظمي bony labyrinth

1-4-2 التيه العظمي Bony Labyrinth:

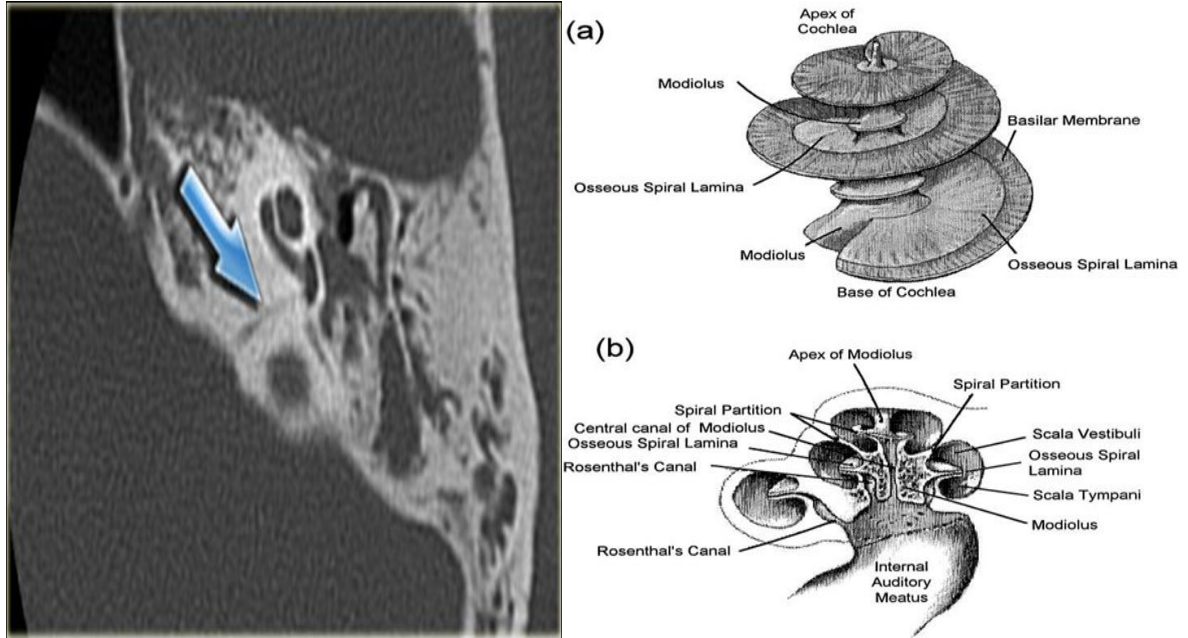
التيه العظمي bony labyrinth هو عبارة عن سلسلة من التجاويف وهي:

- القوقعة cochlea
- الدهليز vestibule
- القنوات الهلالية semicircular canals

وهذه التجاويف تتموضع داخل المحفظة الأذنية otic capsule بالجزء الصخري petrous part من العظم الصدغي temporal bone. وتتكون المحفظة الأذنية otic capsule من العظم الأكثر كثافة من بقية العظم الصخري الصدغي petrous temporal bone. و غالباً ما يتم توضيح المحفظة الأذنية otic capsule بشكل خاطئ وتحديدًا باعتبارها التيه العظمي ومع ذلك ، فإن التيه العظمي هو الفضاء المملوء بالسائل ، والذي تحيط به المحفظة الأذنية

Cochlea القوقعة

القوقعة هي الجزء الصدفي الشكل shell-shaped من التيه العظمي والتي تحتوي على القناة القوقعية cochlear duct وهي جزء الأذن الداخلية المعني بالسمع. ويبدأ النفق الحلزوني spiral canal للقوقعة عند الدهليز ويقوم بدوران 2.5 حول لب أو جوهر عظمي يسمى ب " العماد modiolus" وهو لب مخروطي الشكل لعظم الإسفنجي و يدور حوله النفق الحلزوني spiral canal للقوقعة. ويحتوي العماد modiolus على قنوات للأوعية الدموية blood vessels ولتوزيع فروع العصب القوقعي cochlear nerve، ويكون اتجاه قمة العماد (المخروطي الشكل) مماثلاً لمحور الغشاء الطبلي tympanic membrane بالاتجاه الوحشي وإلى الأمام والأسفل. أما اللفة القاعدية الكبيرة للقوقعة فتنتج الطنف promontory بجدار التيه من التجويف الطبلي tympanic cavity. وعند اللفة القاعدية أيضا يتصل التيه العظمي مع الحيز تحت العنكبوتي subarachnoid space أعلى الثقبه الوداجية jugular foramen من خلال مسال القوقعة cochlear aqueduct كما أنها تحتوي على النافذة مستديرة round window ، ويغلف النافذة المستديرة الغشاء الطبلي الثانوي



الشكل (2-7) مسال القوقعة cochlear aqueduct [31]

دهليز التيه العظمي Vestibule of Bony Labyrinth

دهليز التيه العظمي هو عبارة عن حجرة بيضوية صغيرة (طولها حوالي 5mm) تحتوي على القريبة utricle والكييس saccule وأجزاء من جهاز التوازن (التيه الدهليزي vestibular labyrinth). ويحتوي الدهليز على النافذة البيضوية oval window على الجدار الوحشي (تغطيها قاعدة الركابة base of the stapes) ويكون الدهليز مستمرا مع القوقعة العظمية الأمامية ، والقنوات الهلالية semicircular canals الخلفية ، والحفرة القحفية cranial fossa الخلفية عبر المسال الدهليزي vestibular aqueduct . و يمتد المسال إلى السطح الخلفي للجزء الصخري petrous part من العظم الصدغي temporal bone ، ويفتح بالجانب الخلفي للصماخ السمعي الباطن internal acoustic meatus. حيث ينقل المسال الدهليزي قناة اللف الباطن endolymphatic duct واثنين من الأوعية الدموية الصغيرة.

القنوات الهلالية semicircular canals

تتواصل القنوات الهلالية (الأمامية والخلفية والجانبية) مع دهليز التيه العظمي. وتتوضع القنوات خلف وأعلى الدهليز الذي تتفتح فيه ؛ وهذه القنوات متعامدة مع بعضها البعض. وتشكل كل قناة هلالية حوالي ثلثي الدائرة ويبلغ قطرها حوالي 1.5mm ماعدا في إحدى نهايتها يوجد تورم (الأمبولة العظمية bony ampulla) وتحتوي القنوات على خمس فتحات فقط في الدهليز لأن القنوات الأمامية والخلفية لها واحدة مشتركة لكليهما.

2-4-2 التيه الغشائي membranous labyrinth

يتكون التيه الغشائي من سلسلة من الأكياس sacs والقنوات ducts المتصلة والتي تتوضع في التيه العظمي. حيث يحتوي التيه على اللف الباطن وهو سائل مائي يشبه في تركيبه السائل داخل الخلوي intracellular fluid وبالتالي يختلف في تكوينه عن اللف الظاهر perilymph المحيط (والذي يشبه في تكوينه السائل خارج الخلوي extracellular fluid) الذي يملئ بقية التيه العظمي . ويتكون التيه الغشائي (المكون من قسمين وهما التيه الدهليزي والتيه القوقعي) من أجزاء أكثر من التيه العظمي:

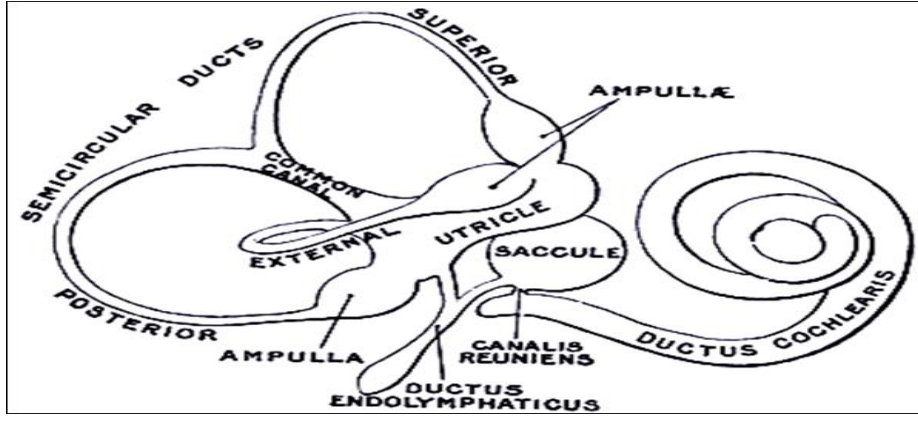
- التيه الدهليزي: ويتكون من القريبة utricle و الكييس saccule ، وهما كيسان صغيران متصلان في دهليز التيه العظمي.

- ثلاث قنوات غشائية semicircular ducts في القنوات الهلالية semicircular canals.
- التيه القوقعي : ويتكون من القناة القوقعية cochlear duct في القوقعة cochlea.

أما الرباط الحلزوني spiral ligament فهو سماكة حلزونية spiral thickening للبطانة السمحاقية periosteal lining للقناة القوقعية cochlear canal ، وهو يصل القناة القوقعية cochlear duct بالنفق الحلزوني spiral canal للقوقعة. ويتم تعليق الجزء المتبقي من التيه الغشائي عن طريق خيوط حساسة التي تعبر اللف الظاهر.

والقنوات الهلالية الغشائية semicircular ducts تفتح إلى القربة عبر خمسة فتحات مما يعكس الطريقة التي تفتح بها القنوات الهلالية semicircular canals المحيطة في الدهليز. وتتصل القربة مع الكيس من خلال القناة القريبية الكيسية utriculosaccular duct ، والتي تنشأ منها قناة اللف الباطن endolymphatic duct. ويكون الكيس مستمرا مع القناة القوقعية cochlear duct من خلال القناة الاتحادية ductus reuniens (قناة موحدة a uniting duct) ويوجد في القربة والكيس مناطق متخصصة في الظهارة الحسية sensory epithelium تسمى البقع maculae . فتكون بقعة القربة على أرضية القربة بالتوازي مع قاعدة القحف cranium. في حين أن البقعة في الكيس تتوضع عمودياً على الجدار الإنسي للكيس. ويتم تعصيب الخلايا الشعرية hair cells في البقع maculae بواسطة ألياف القسم الدهليزي للعصب الدهليزي القوقعي vestibulocochlear nerve. حيث توجد الخلايا العصبية الحسية الأساسية في العقدة الدهليزية vestibular ganglia ، والتي توجد في الصماخ السمعي الباطن internal acoustic meatus.

وتعبر قناة اللف الباطن endolymphatic duct المسال الدهليزي vestibular aqueduct وتخرج من خلال عظم الحفرة القحفية الخلفية posterior cranial fossa ، حيث تتوسع إلى جيب مغلق blind pouch يسمى الكيس اللفي الباطن endolymphatic sac ، ويقع كيس اللف الباطن تحت الأم الجافية dura mater على السطح الخلفي للجزء الصخري من العظم الصدغي. وهذا الكيس sac عبارة عن مستودع لتخزين اللف الباطن الزائد ، وهو يتكون من الشعيرات الدموية blood capillaries في التيه الغشائي.



الشكل (2-8) قناة اللف الباطن endolymphatic duct [31]

القنوات الهلالية Semicircular Ducts: تحتوي كل قناة هلالية semicircular duct على أمبولة ampulla في أحد طرفيها وهي تحتوي على منطقة حسية تسمى العرف الأمبولي crista ampullari [29].

القناة القوقعية Cochlear Duct: القناة القوقعية عبارة عن أنبوب حلزوني مغلق في إحدى طرفيه والمقطع العرضي له ثلاثي الزوايا وتتوضع القناة duct ضمن القناة القوقعية cochlear canal بين الرباط الحلزوني spiral ligament على الجدار الخارجي للقناة القوقعية والصفحة الحلزونية العظمية للعماد. حيث تقسم القناة القوقعية cochlear duct المملوءة باللف الباطن القناة الحلزونية spiral canal المملوءة باللف الظاهر إلى قناتين (السقالة الطبليية ST والسقالة الدهليزية SV تمتلئان ب اللف الظاهر (Perilymph) والسقالة الوسطى SM تمتلئ باللف الباطن (endolymph). تتصلان في قمة القوقعة في ثقب القوقعة helicotrema وهو عبارة عن اتصال هلالى semilunar في قمة القوقعة. [31]

فموجات الضغط الهيدروليكي التي تنشأ في اللف الظاهر الدهليزي perilymph of the vestibule بفعل اهتزاز قاعدة الركابة تصعد إلى قمة القوقعة بواسطة قناة واحدة ، وهي السقالة الدهليزية scala vestibuli. وتمر موجات الضغط بعد ذلك عبر ثقب القوقعة helicotrema وتعود إلى اللفة القاعدية للقوقعة عبر قناة أخرى ، وهي السقالة الطبليية. ثم تصبح موجات الضغط مرة أخرى اهتزازات ، وهذه المرة تخرج عبر الغشاء الطبلي الثانوي في النافذة المستديرة ، والطاقة التي تم الحصول عليها في البداية بواسطة الغشاء الطبلي (الأساسي) يتم تبديدها في الهواء بالجوف الطبلي tympanic cavity.

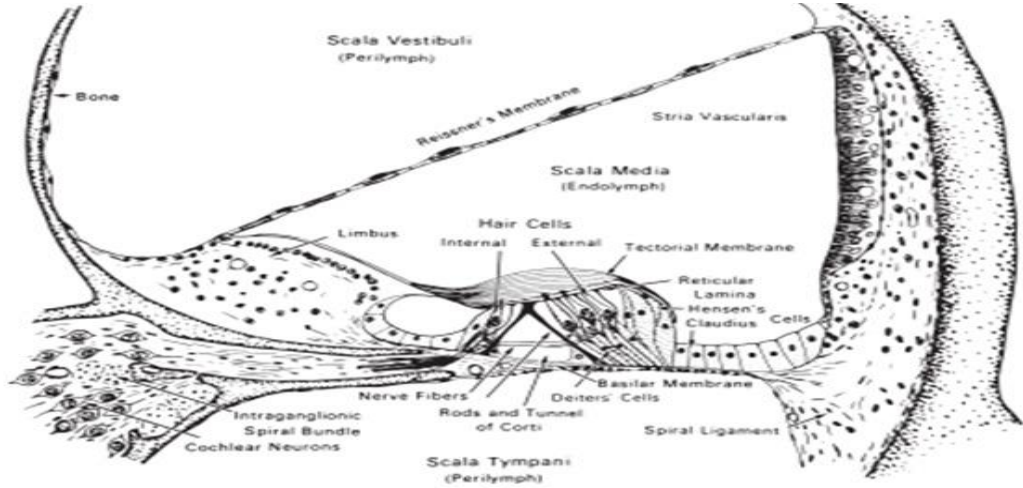
ويتكون سقف القناة القوقعية cochlear duct من الغشاء الدهليزي vestibular membrane. أما أرضيتها فيتشكل من جزء منها (الغشاء القاعدي) بالإضافة إلى الحافة الخارجية للصفحة الحلزونية العظمية. حيث أن مستقبل المنبهات السمعية هو العضو الحلزوني (كورتى Corti) ، الموجود على الغشاء القاعدي basilar membrane. ويغطيه الغشاء السقي tectorial membrane الهلامي. ويحتوي العضو الحلزوني على الخلايا الشعرية ، ورؤوس tips هذه الخلايا متعلقة بالغشاء السقي. ويتم تحفيز عضو كورتى للاستجابة عن طريق تشوه القناة القوقعية cochlear duct الناتج عن موجات الضغط الهيدروليكي في اللف الظاهر. والذي يصعد ويهبط في السقالات الدهليزية والبطلية المحيطة. [29]

1-2-4-2 عضو كورتى Organ of Corti:

يحتوي عضو كورتى على أنواع مختلفة من الخلايا ويتم ترتيب الخلايا الحسية منها في صفوف على طول الغشاء القاعدي basilar membrane (وهي ذاتها الخلايا الشعرية hair cells وهي تسمى بهذا الاسم بسبب الحزم الشبيهة بالشعر الموجودة في الجزء العلوي منها حيث أنها تمتلك حزم من الأهداب الساكنة stereocilia على رأسها) والخلايا الشعرية تتكون من نوعين أساسيين وهما: الخلايا الشعرية الداخلية inner hair cells والخلايا الشعرية الخارجية outer hair cells و تحتوي قوقعة الإنسان على حوالي 12000 خلية شعرية خارجية مرتبة في من 3 إلى 5 صفوف على طول الغشاء القاعدي ، وحوالي 3500 خلية شعرية داخلية مرتبة في صف واحد. والخلايا الخارجية تكون على شكل أسطوانة و تكون الأهداب الساكنة stereocilia فيها مرتبة على شكل حرف W أو V بينما الخلايا الشعرية الداخلية تكون على شكل دורך أو كمثرى وتكون الأهداب الساكنة stereocilia فيها مرتبة على شكل U ويكون بين صف الخلايا الشعرية الداخلية وصفوف الخلايا الشعرية الخارجية نفق كورتى tunnel of Corti تحده الخلايا العمادية pillar cells الداخلية والخارجية. و ترتبط الأهداب الساكنة stereocilia ببعضها البعض بواسطة هياكل محددة (روابط متصالبة cross-links). ورأس الهدب الأطول في الخلايا الشعرية الخارجية يكون ضمن الغشاء السقي tectorial membrane الموجود أعلى الخلايا بينما لا يكون كذلك في الخلايا الشعرية الداخلية.

وبالإضافة إلى الخلايا الشعرية ، توجد أنواع أخرى من الخلايا في القوقعة منها الخلايا الداعمة Supporting cells لعضو كورتى وأنواع أخرى من الخلايا.

وبين فضاء اللمف الباطن واللمف الظاهر وعلى طول جدار القوقعة cochlear wall يقع السطر الوعائي stria vascularis و يمتلك السطر الوعائي تغذية دموية غنية وخلاياه غنية بالمتقدّرات mitochondria مما يشير إلى مشاركته في النشاط الاستقلابي metabolic activity



الشكل (2-9) عضو كورتي Organ of Corti [31]

5-2 الصماخ السمعي الباطن internal acoustic meatus

الصماخ السمعي الباطن هو قناة ضيقة تمتد أفقياً لحوالي 1cm داخل الجزء الصخري من العظم الصدغي. وتفتح في الجزء الخلفي الأنسي من هذا العظم ، تمشياً مع الصماخ السمعي الخارجي. وينغلق الصماخ السمعي الباطن وحشياً بواسطة صفيحة عظمية مثقبة تفصلها عن الأذن الداخلية. ويمر من خلال هذه الصفيحة العصب الوجهي (CN VII) والعصب الدهليزي القوقعي (CN VIII) وانقساماته والأوعية الدموية. وينقسم العصب الدهليزي القوقعي بالقرب من النهاية الوحشية للصماخ السمعي الباطن إلى جزأين: العصب القوقعي والعصب الدهليزي [29]

العصب السمعي Auditory Nerve

العصب السمعي (AN) عند الإنسان لديه ما يقرب من 30000 ليف عصبي. ويمثل العصب السمعي جزء من العصب القحفي الثامن eighth cranial nerve (CN VIII)، والذي يتضمن أيضاً العصب الدهليزي vestibular nerve. ويحتوي العصب السمعي على نوعين من الألياف العصبية التي تعرف بالألياف النوع الأول type I والألياف النوع الثاني type II. والألياف العصبية

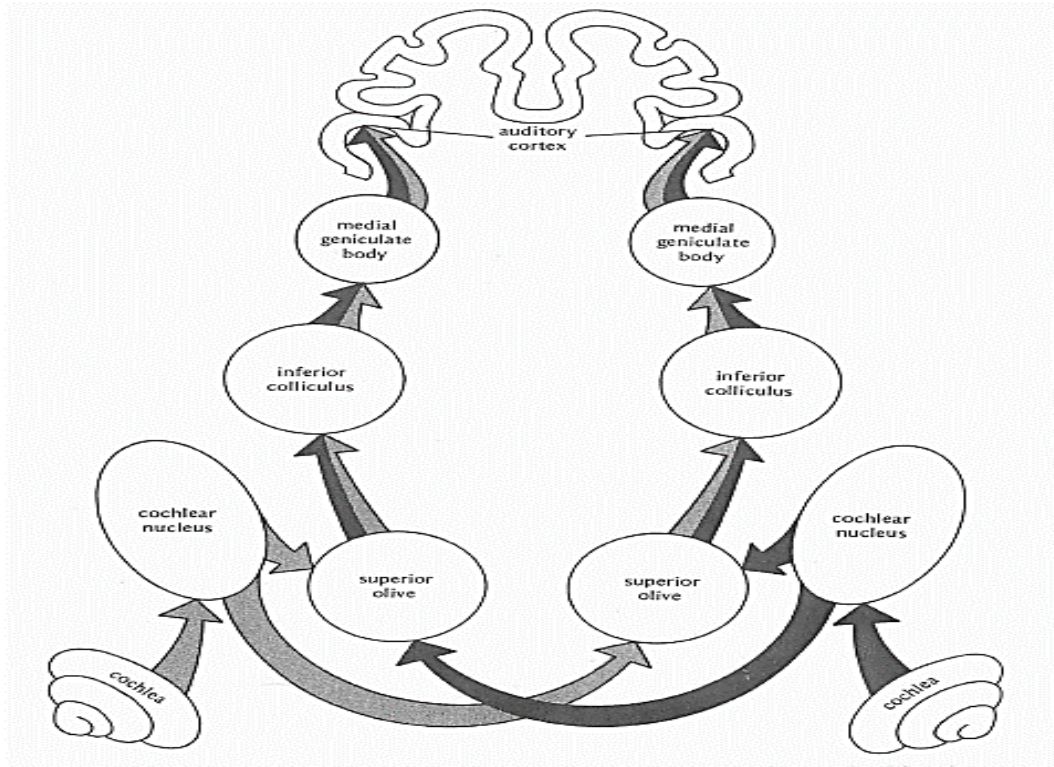
للعصب السمعي عبارة عن خلايا ثنائية القطب bipolar cells أجسامها الخلوية موجودة في العقدة الحلزونية spiral ganglion الموجودة في منطقة العمداء modiolar region في القوقعة، حيث أن الأقسام المحيطة من ألياف النوع الأول type I من AN تنتهي على الخلايا الشعرية الداخلية inner hair cells وينتهي القسم المركزي على خلايا النواة القوقعية cochlear nucleus (CN). مع العلم أن الألياف العصبية من النوع الأول تعرف باسم الألياف الشعاعية ويُعتقد أنها تحمل كل المعلومات السمعية من عضو كورتى organ of Corti إلى المراكز العليا للجهاز العصبي المركزي central nervous system. ويبلغ متوسط قطر ألياف العصب القوقعي المغمدة (النوع 1) في الصماخ السمعي الباطن عند الأطفال 2.5 ميكرومتر ، ويبلغ قطر الألياف المغمدة في الصفيحة الحلزونية العظمية نصف القطر تقريباً لألياف العصب السمعي في الصماخ السمعي الباطن. وفي أي مقطع عرضي من الجزء المركزي للعصب السمعي تكون الاختلافات في أقطار الألياف العصبية من النوع الأول صغيرة ، مما يعني أن الاختلافات في سرعة التوصيل للألياف العصبية السمعية المختلفة صغيرة. وبالتالي ستصل المعلومات التي يتم حملها في الألياف العصبية السمعية مختلفة إلى النواة القوقعية CN مع وجود اختلافات زمنية صغيرة للغاية ، مما يضمن درجة عالية من الترابط الزمني للنبضات العصبية nerve impulses التي تصل إلى النواة القوقعية CN. وبالطبع هذا الترابط مهم جداً في تمييز الأصوات المعقدة مثل الأصوات الكلامية. لكن هذا التباين في حجم الألياف وبالتالي في سرعة التوصيل يزداد مع التقدم في العمر وقد يفسر ذلك بعض مشاكل السمع الموجودة مع تقدم العمر والتي لا ترتبط ارتباطاً مباشراً بالارتفاع في عتبة النغمة الصافية. أما ألياف النوع الثاني type II والتي تشكل الألياف الحلزونية الخارجية outer spiral fibers والتي تعصب الخلايا الشعرية الخارجية outer hair cells، حيث تشكل هذه الألياف ما يقارب من 1% فقط من الألياف العصبية الكلية في العصب السمعي، وأجسام هذه الألياف العصبية (النوع الثاني) في الغالب تكون إلى النواة القوقعية الظهرية dorsal cochlear nucleus (DCN) ، لكن وظيفتها غير معروفة. مع العلم أن أجسام الخلايا في غالبية خلايا العقدة غير مغمدة عند البشر ، ولكن الاختلاف الفردي كبير.

ويجب الأخذ بالعلم أن معظم معرفتنا حول مورفولوجيا العصب السمعي تستند إلى دراسات أجريت على الحيوانات (معظمها من القطط) ومن غير المعروف تماماً إلى أي مدى تنطبق هذه النتائج على البشر. فمثلاً العصب القحفي الثامن البشري أطول بكثير مما هو عليه في

الحيوانات. وأحد الأسباب التي تجعل العصب الثامن أطول عند الإنسان منه في الحيوانات هو الحجم الأكبر لرأس الإنسان.

وكباقي الأعصاب القحفية الأخرى ، فإن العصب الثامن ملتو twisted. حيث أن الجزء السمعي يتوضع ذليلاً caudally بالنسبة للعصب الدهليزي العلوي في المسار العصبي المركزي ، وظهرياً dorsally في الصماخ السمعي الباطن وفي الجزء المحيطي أكثر يقع بطنياً ventrally بالنسبة للعصب الدهليزي. [30]

6-2 السبيل العصبي المركزي central Auditory pathway



الشكل (10-2) مخطط تمثيلي للسبيل السمعي المركزي الوارد

6-2-1 النواة القوقعية Cochlear Nucleus:

ينتهي العصب السمعي في النواة القوقعية (CN) ، وهي أول مرحلة لنوى المسارات السمعية الصاعدة auditory pathways. وتقع النواة القوقعية أسفل جذع الدماغ brainstem عند ملتقى

البصلة medulla والجسر pons على نفس جانب الأذن التي تستقبل هذا التعصيب. وتحتوي النواة القوقعية CN على ثلاثة أقسام رئيسية وهي:

- النواة القوقعية الظهرية dorsal cochlear nucleus (DCN)
- النواة القوقعية الخلفية البطنية posterior ventral cochlear nucleus (PVCN)
- النواة القوقعية البطنية الأمامية anterior ventral nucleus (AVCN)

قبل أن يصل العصب إلى النواة القوقعية CN ، ينقسم كل ليف من الألياف العصبية وينتهي أحد الفرعين في النواة القوقعية البطنية الأمامية AVCN والفروع الأخرى تتفرع مرة أخرى قبل أن تنتهي في خلايا النواة القوقعية الخلفية البطنية PVCN و النواة القوقعية الظهرية DCN. حيث أن كل ألياف العصب السمعي تتصل مع كل الأقسام الثلاثة للنواة القوقعية، وهذا يمثل بداية المعالجة المتوازية في النظام السمعي. والألياف الصاعدة من النواة القوقعية تصل الأكيمة السفلية inferior colliculus في الجهة المقابلة عبر ثلاث مسارات ليفية:

- السطور الظهرية dorsal stria (سطور موناكو stria of Monaco ((SM)))
- السطور المتوسطة intermediate stria (سطور هيلد stria of Held ((SH)))
- السطور البطنية ventral stria (الجسم شبه المنحرف trapezoid body ((TB)))

وتشكل هذه الأسطر الثلاثة ، بعد العبور إلى الجانب الآخر ، الفتيل الوحشي lateral lemniscus (LL) ، وهو عبارة عن سبيل من الألياف يصل إلى النواة المركزية بالأكيمة السفلية inferior colliculus (ICC). وبعض الألياف من النواة القوقعية البطنية الأمامية AVCN و النواة القوقعية البطنية الخلفية PVCN لا تعبر خط الوسط ولكنها تصعد على نفس الجانب للوصول إلى الأكيمة السفلية ICC بالجهة ذاتها. وألياف النواة القوقعية البطنية الخلفية PVCN تصل إلى النواة الظهرية للفتيل الوحشي (DNLL) ومن هناك تنتقل الألياف إلى الأكيمة السفلية لنفس الجهة. وترسل النواة القوقعية البطنية أيضاً أليافاً إلى النواة الحركية للعصب الوجهي facial motor nucleus والنواة الحركية للعصب ثلاثي التوائم trigeminal motor nucleus كجزء من المنعكسات الصوتية في الأذن الوسطى. وتجدر الإشارة إلى أن الفتيل الوحشي يحتوي على كل من الخلايا العصبية من المرتبة الثانية والثالثة وربما الرابعة على الرغم من أن محاور axons المرتبة الثانية هي المهيمنة.

2-6-2 المعقد الزيتوني العلوي Superior Olivary Complex:

يتكون المعقد الزيتوني العلوي (SOC) من نوى رئيسية: النواة الزيتونية العلوية الأنسية medial superior olivary nucleus (MSO) والنواة الزيتونية العلوية الوحشية lateral superior olivary nucleus (LSO). فبعض ألياف الأسطر الثلاثة (SM و SH و TB) تتصل مع نوى SOC بذات الجهة وتتقاطع بعض الألياف عن طريق اتصالات مشبكية synaptic contacts في إحدى نوى المعقد الزيتوني العلوي SOC قبل تشكيل الفتيال الوحشي LL، حيث تتلقى نوى المعقد الزيتوني العلوي SOC ، خاصة النواة الزيتونية العلوية الأنسية MSO ، مدخلات من النواة القوقعية CN من كلا الجانبين. وبالتالي فإن SOC هو المجموعة الأولى من النوى التي تكامل المعلومات من كلتا الأذنين. وتشارك نوى SOC في السمع الاتجاهي أيضاً، وذلك بشكل أساسي عن طريق مقارنة وقت وصول النشاط العصبي من الأذنين (في MSO) واختلاف الشدة (في LSO)

يتم تشكيل الفتيال الوحشي بواسطة السطور الثلاثة المنبثقة من النواة القوقعية CN. حيث أن الفتيال الوحشي يتكون من ألياف عصبية من جميع أقسام النواة القوقعية وتحتوي ألياف الفتيال الوحشي LL على العديد من الفروع التي ينتهي بعضها على الخلايا العصبية في نوى SOC ، وينتهي بعضها الآخر على الخلايا العصبية في النوى الظهرية والبطينية للفتيل الوحشي (DNLL و VNLL) ويتم تقطع interrupted بعض الألياف بالفتيل الوحشي في VNLL. وبالتالي فإن محاور الفتيال الوحشي التي تنشأ في خلايا محددة (خلايا الأخطبوط octopus cells) في الـ PVCN المقابل لا تنتقل مباشرة إلى الأكيمة السفلية كما تفعل المحاور الأخرى في الفتيال الوحشي ، لكنها تنتهي في VNLL. وبالتالي تتلقى DNLL المدخلات من كلتا الأذنين وتشارك في السمع بـ كلتا الأذنين بينما يتلقى الـ VNLL بشكل أساسي المدخلات من الأذن المقابلة. وتجدر الإشارة إلى أن بعض المحاور التي تنقل بعيداً عن DNLL تنتقل إلى الجانب الآخر كصوار برويست commissure of Probst وتتصل بالخلايا العصبية بالأكيمة السفلية بالجهة ذاتها. والخلايا العصبية في CN تتصل أيضاً بالأكيمة السفلية بنفس الجهة.

وبعدها تنتقل المعلومات السمعية إلى الأكيمة السفلية (IC) Inferior Colliculus في الدماغ المتوسط (وهي ممتوضعة بشكل ذيلي للأكيمة العلوية superior colliculus (SC)) حيث يتم نقل وتوجيه جميع المعلومات السمعية الصاعدة على مراحل. ثم تصل إلى الجسم الركبي الأنسي

Medial Geniculate Body (وهو النواة السمعية المهادية التي تنقل المعلومات على مراحل حيث يتم تقطّع interrupted جميع الألياف التي تنشأ من الأكيمة السفلية) وبعدها تصل المعلومات إلى القشرة الدماغية السمعية Auditory Cerebral Cortex والقشرة السمعية هي بنية معقدة فيها اتصالات كثيفة بين الخلايا مما يوفر معالجة عصبية معقدة للمعلومات السمعية [30]

الفصل الثالث

فيزيولوجيا السمع والتوازن

Physiology of Hearing and Balance

1-3 فيزيولوجيا السمع :Hearing Physiology

الجهاز السمعي هو جهاز معقد بشكل مثير للدهشة، حيث يملك حساسية عالية high sensitivity وضبط حاد للتردد sharp frequency tuning وقدرة على التمييز بين الترددات، ولديه مجال ديناميكي واسع wide dynamic range وحساسية كافية لإدراك الإشارات الصوتية التي يكون فيها مطال موجة الضغط ذو مدى ضئيل minuscule magnitudes، حيث لديه القدرة أيضا على معالجة الإشارات الصوتية المتفاوتة في المدى magnitude ، أو مجال شدة الصوت intensity range ، بدرجة مذهلة. [40]

ففي الأذن الطبيعية ، الصوت يصل إلى القوقعة بشكل أساسي من خلال طريقتين مختلفتين وهما:

- خلال الأذن الوسطى middle ear (عبر غشاء الطبل tympanic membrane وسلسلة العظيّمات ossicular chain)
- خلال التوصيل العظمي bone conduction.

فالمعالجة الفيزيائية للمعلومات الصوتية تتم في ثلاث مجموعات من البنى (الأذن الخارجية والوسطى والداخلية) وتبدأ المعالجة العصبية في الأذن الداخلية وتستمر عبر العصب القحفي الثامن ثم إلى الجهاز العصبي السمعي المركزي، وتبدأ المعالجة النفسية للصوت Psychological processing في المقام الأول في جذع الدماغ والجسر pons وتستمر في القشرة السمعية وما ورائها. [30, 40]

1-1-3 الأذن الخارجية :The External (Outer) Ear

تعمل الأذن الخارجية على جمع الصوت ، والمساعدة على تحديد جهته sound localization ، وهي تعمل أيضا كمرنان للصوت resonate sound ، وكذلك لها وظيفة وقائية للأذن الوسطى.

وتحتوي الأذن الخارجية على ثلاثة مكونات رئيسية: الصيوان، قناة الأذن أو الصماخ، والطبقة الخارجية من طبلة الأذن أو غشاء الطبل

3-1-1-1 تأثير الصيوان Pinna Effect:

يفيد الصيوان بشكل أساسي بجمع الموجات الصوتية ونقلها إلى القناة السمعية الخارجية، حيث أن الصيوان عند البشر، يقدم دورًا بسيطًا في جمع الأصوات مقارنةً بالحيوانات الأخرى، وللصيوان دور مهم لتحديد جهة الصوت sound localization في المستوى العمودي (القدرة على تحديد موقع الصوت أعلى وأسفل) وله دور مهم أيضًا حماية قناة الأذن، كما يعمل الصيوان كمرنان resonators، حيث يعزز الأصوات حوالي 4500HZ [40]

3-1-1-2 الصماخ السمعي الخارجي external auditory meatus:

يوجه الصماخ السمعي الخارجي الصوت إلى طبلة الأذن أو غشاء الطبل، وهو يعمل كمرنان أيضًا، حيث تكون وظيفة نقل ضغط الصوت sound pressure من مدخل القناة إلى غشاء الطبل له أعظمية عند حوالي 3kHz (بمعدل 2.8KHZ) فيكون تردد ضغط الصوت frequency the sound pressure عند غشاء الطبل أعلى بمقدار 10dB تقريبًا مما هو عليه عند مدخل قناة الأذن، وهذا فيما يتعلق بالأصوات القادمة من مصدر موجود على مسافة من الشخص ولكن يختلف تأثير قناة الأذن عند تقديم الصوت عبر سماعات الرأس headphones أو من خلال السماعات داخل القناة insert earphones. كما أنه يعمل على حماية غشاء الطبل من خلال فتحه الضيقة، ويعمل الصملاخ Cerumen في القناة على حماية الأذن أيضًا من دخول الأجسام والكائنات الأجنبية وما إلى ذلك. [30, 40]

3-1-1-3 غشاء الطبل Tympanic Membrane:

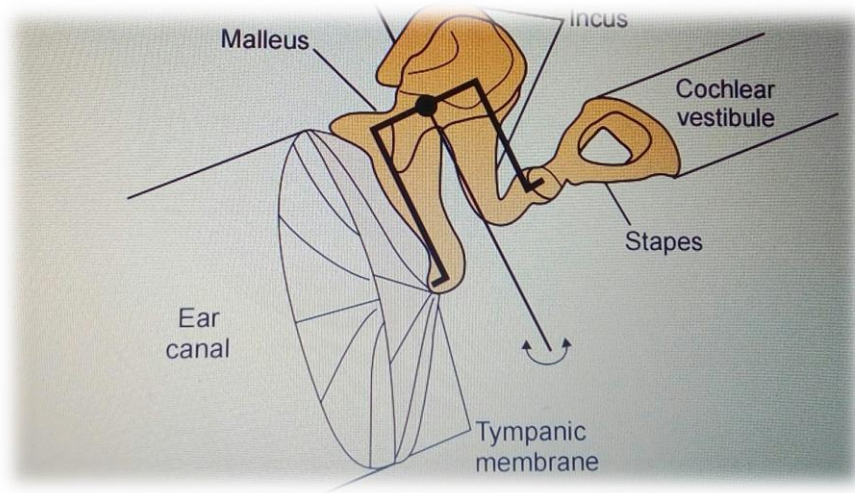
يهتز الغشاء بمقدار يتناسب مع شدة الموجة الصوتية وبسرعة تتناسب مع ترددها. [40]

3-1-2 الأذن الوسطى The Middle Ear:

الأذن الوسطى عبارة عن حجرة مملوءة بالهواء، تقع بين غشاء الطبل والأذن الداخلية، وتتصل بالبلعوم الأنفي عن طريق نفير أوستاش والذي يسمح بتساوي الضغط على جانبي غشاء الطبل وتتألف الأذن الوسطى من غشاء الطبل tympanic membrane (TM)، والعظيمات ossicles والعضلات الموترة الطبلية tensor tympani muscles، ولغشاء الطبل شكل مخروطي، وسطحه

الإنسي يقتزن بقبضة المطرقة malleus، ونقطة الارتباط هذه هي مشدودة باستمرار بواسطة العضلة الموترة للطلبة tensor tympani muscle ، وبالتالي هذا يبقي غشاء الطبل مشدوداً وهو ما يسمح للاهتزازات الصوتية على أي جزء من الغشاء أن تنتقل إلى العظيمات (الأمر الذي لن يتحقق في حال كان غشاء الطبل رخوًا) فعندما يدخل المنبّه الصوتي القناة السمعية الخارجية فإنه يسبب اهتزاز غشاء الطبل وبالتالي فإن المطرقة المقترنة بغشاء الطبل تهتز استجابة لحركة الغشاء، ويؤدي هذا إلى اهتزاز السلسلة العظمية بأكملها وانتقال الصوت إلى الأذن الداخلية عبر الصفيحة القدمية للركابة، و يشار إلى هذا المسار لنقل الصوت باسم الاقتران العظمي ossicular coupling. حيث تحوي السلسلة العظمية على اثنان من المفاصل الزليلية synovial joints المتحركة، وهي المفصل السندانى المطرقى incudomalleal والمفصل السندانى الركابى incudostapedial، فتتهتز السلسلة العظمية على طول محور يمر عبر رأس المطرقة وجسم السندان وفي الاتجاه الأمامى الخلفى، ثم تنقل الركابة إنتاج أو مردود الأذن الوسطى إلى الأذن الداخلية عبر النافذة البيضوية، مع العلم أنه إذا أصاب المنبّه الصوتي السائل مباشرة (فالأذن الداخلية مملوءة بالسوائل) فستتحول deflected معظم الطاقة الصوتية لأن ممانعة impedance المائع أكبر بكثير من ممانعة impedance الهواء، ويشار إلى مسار انتقال الصوت إلى الأذن الداخلية في غياب النظام العظمي ossicular system باسم الاقتران الصوتي acoustic coupling (تبين أن الفرق بين الإقتران العظمي والاقتران الصوتي يبلغ حوالي 60dB، وهو الحد الأقصى لنقص السمع المتوقع عند المرضى الذين يعانون من انقطاع عظمي ossicular discontinuity).

وبالتالى تلعب الأذن الوسطى دوراً مهماً في عملية مطابقة الممانعة بين الأذن الوسطى المملوءة بالهواء والأذن الداخلية المملوءة بالسوائل للسماح بنقل الصوت بشكل فعال، والعامل الأكثر أهمية في إمكانية مطابقة الممانعة في الأذن الوسطى يأتي من نسبة المساحة بين غشاء الطبل والصفيحة القدمية للركابة، فتبلغ مساحة سطح غشاء الطبل عند الإنسان حوالي 20 مرة أكبر من مساحة الصفيحة القدمية للركابة (69mm^2 مقابل 3.4mm^2 على التوالي)، فإذا تم نقل كل القوة المطبقة على غشاء الطبل إلى الصفيحة القدمية للركابة، فستكون القوة المطبقة لكل وحدة مساحة أكبر بـ 20 مرة (26 dB) على الصفيحة القدمية مقارنة بـ غشاء الطبل



الشكل (1-3) حركة سلسلة العظيمات على طول محور الدوران

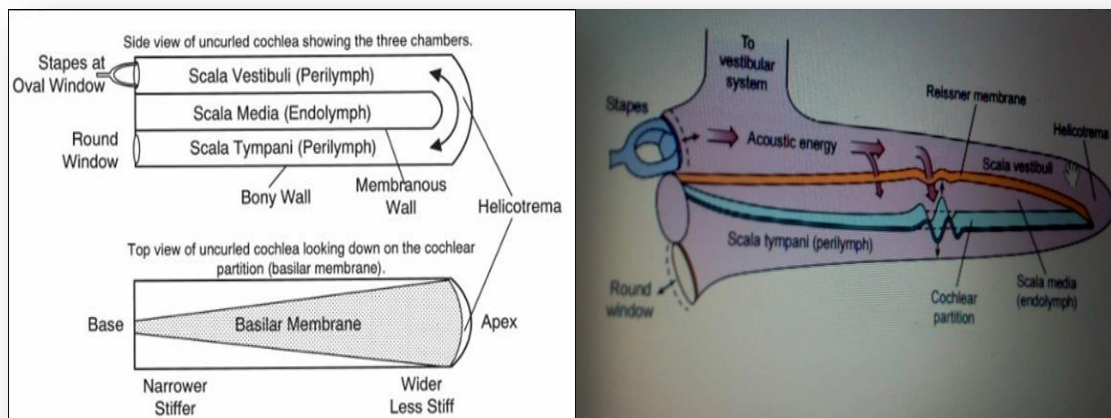
أما الآلية الثانية لمطابقة الممانعة فتدعى نسبة الرافعة lever ratio، والتي تشير إلى الفرق في الطول بين قبضة المطرقة والناتئ الطويل long process للسندان، فنظرًا لأن قبضة المطرقة أطول قليلاً من الناتئ الطويل للسندان، فإن أي قوة طفيفة مطبقة على الذراع الطويلة للرافعة (قبضة المطرقة) ينتج عنها قوة أكبر على الذراع القصيرة للرافعة (الناتئ الطويل للسندان)، حيث تبلغ نسبة الرافعة عند الإنسان حوالي 1.31 إلى 1 (2.3dB). وبالتالي التأثيرات مجتمعة لنسبة المساحة ونسبة الرافعة تمنح مردود الأذن الوسطى كسبًا قدره 28dB نظريًا ؛ لكن في الواقع كسب ضغط الصوت في الأذن الوسطى هو فقط حوالي 20dB و هذا غالبًا بسبب أن غشاء الطبل في الحقيقة لا يتحرك كالأغشية الصلبة حيث أنه في الواقع عند الترددات العالية يهتز بطريقة معقدة (مناطق متعددة تهتز بشكل مختلف) وبالتالي ، فإن المساحة الفعالة لغشاء الطبل المستخدمة في مطابقة الممانعة أصغر من مساحته الإجمالية، ومع ذلك فإن زيادة ضغط الصوت في الأذن الوسطى بمقدار 20dB يساعد في تسهيل انتقال الصوت من الأذن الوسطى المليئة بالهواء إلى الأذن الداخلية المليئة بالسوائل. [15, 19, 34]

3-1-3 الأذن الداخلية The Inner Ear:

للأذن الداخلية وظيفتان هامتان هما السمع والتوازن، حيث أن الجزء المسؤول عن الحفاظ على التوازن بالأذن الداخلية هو الأعضاء الدهليزية vestibular organs: القنوات الهلالية- القريبة- و الكيبس، بينما الجزء المسؤول عن السمع هو القوقعة، فعندما تنتقل الطاقة الصوتية عبر الأذنين الخارجية والوسطى، فإنها تتسبب باهتزاز الصفيحة القدمية للركابة، وينتج عن اهتزاز الصفيحة

القدمية موجة انضغاطية compressional wave في سائل الأذن الداخلية، فتسافر هذه الموجة عبر السقالة الدهليزية، وحول ثقب القوقعة helicotrema ثم عبر السقالة الطبلية نحو النافذة المستديرة؛ وبالتالي فإن الحركة الداخلية للركابة تسبب حركة خارجية للنافذة المستديرة ونظرًا لأن هذه الموجة الانضغاطية تسافر عبر السقالة الدهليزية، فإن الضغط في السقالة الدهليزية أعلى من الضغط في السقالة الطبلية ويؤدي ذلك إلى حدوث مدرج للضغط pressure gradient، وهذا يسبب اهتزاز القسم القوقي cochlear partition.

فجورج فون بيكسي هو أول من وصف اهتزاز القسم القوقي في قوقعة الجثة cadaveric البشرية، حيث أثبت أنه نظرًا لتشوه deflected القسم القوقي بسبب الموجة الانضغاطية compressional wave الناتجة عن اهتزاز الصفيحة القدمية للركابة، فإنه ينتج موجة مسافرة على الغشاء القاعدي، تسافر من قاعدة القوقعة إلى قمته، وحركة هذه الموجة المسافرة على الغشاء القاعدي هي نتيجة للانخفاض التدريجي في صلابته stiffness من الجزء القاعدي من الغشاء نحو قمة القوقعة، حيث تنتشر الطاقة التي يتم نقلها إلى الجزء القاعدي كموجة مسافرة متحركة باتجاه قمة القوقعة، وبالتالي مع انتقال الموجة على طول الغشاء القاعدي باتجاه الأجزاء الأقل صلابة من الغشاء تتناقص سرعة انتشار الموجة (وينخفض طول الموجة والذي هو المسافة بين نقطتين متماثلتين من الموجة) وعندما تتباطأ حركة الموجة تتراكم أو تتجمع الطاقة مما يؤدي إلى زيادة مطال الاهتزاز (يحدث رنين لمطال الموجة المسافرة) فيتم مقابلة الزيادة بالمطال بالفقدان الاحتكاكي للطاقة، وعندما يصل الطول الموجي للموجة لقيم صغيرة يزداد فقدان الطاقة بشكل سريع ويتوقف انتشار الموجة (تنتهي الموجة المسافرة). فالمسافة التي تقطعها الموجة المسافرة على الغشاء القاعدي قبل التوقف هي تابعة مباشرة للتردد الصوتي الذي يحرك الغشاء القاعدي فالنغمة ذات التردد المرتفع تسافر مسافة قصيرة بينما تسافر النغمة ذات التردد المنخفض مسافة أطول وهذا هو الأساس لقدرة الغشاء القاعدي على فصل الأصوات وفقًا لتردداتها (الطيف spectrum). حيث يتمكن الغشاء القاعدي من العمل كسلسلة من المرشحات تستجيب لترددات صوتية محددة في مواقع محددة على طول الغشاء وبعبارة أخرى هناك ضبط للتوضع النغمي tonotopically tuned للترددات المختلفة على طول الغشاء القاعدي.[15, 30]



الشكل (2-3) كيفية انتقال الموجة المسافرة في الأذن الداخلية [15, 31]

و عندما تصل الموجة المسافرة إلى أقصى درجة من الإزاحة displacement ، يتم تحفيز الخلايا الشعرية الداخلية، وإرسال النبضات العصبية إلى العصب السمعي auditory nerve (يتم تحفيز الخلايا الشعرية الداخلية مما يؤدي إلى إفراز النواقل العصبية neurotransmitters التي تحفز النهايات العصبية للفرع القوقعي cochlear branch للعصب الثامن) مع العلم أنه يتم التحكم في حساسية خلايا الشعرية الداخلية إلى حد ما عن طريق الخلايا الشعرية الخارجية حيث أن خلايا الشعر الخارجية مضمّنة في الغشاء اللامس tectorial membrane وهي تتلقى معظم تعصيبها من الألياف الصادرة efferent من الدماغ [40]

1-3-1-3 الكمونات الكهربائية داخل القوقعة: electrical potentials in the cochlea

يمكن تحديد ثلاثة أنواع مختلفة من الكمونات المحرّضة صوتيًا، التي يمكن تسجيلها من القوقعة وهي:

- ميكروفونيات القوقعة cochlear microphonics (CM)
- الكمونات الجمعية summing potential (SP)
- كمونات العمل action potential (AP).

ويتم توليد ميكروفونية القوقعة CM والكمونات الجمعية SP من الخلايا الشعرية داخل القوقعة، في حين يتم توليد كمون العمل AP من العصب السمعي، و يمكن تسجيل الكمونات الثلاث المحرّضة صوتيًا في آن واحد من الكترود يوضع عند النافذة المستديرة عند استخدام المنبه

الصوتي المناسب. واعتمادًا على نوع المنبه، قد يهيمن كل واحد من هذه الكمونات على التسجيل. [30]

3-1-4 العصب السَّمعي The Auditory Nerve:

بمجرد أن يتم تحويل الاهتزاز الميكانيكي للقسم القوقي إلى إشارات كهروكيميائية electrochemical بواسطة الخلايا الشعرية، يتم نقل المعلومات التي تحملها هذه الإشارات بواسطة الألياف العصبية الواردة afferent إلى الدماغ brain ، حيث تتم معالجة المعلومات. علمًا أن الخلايا العصبية السمعية الواردة ذات الطبيعة ثنائية القطب، وتوجد أجسامها الخلوية المعروفة أيضًا باسم خلايا العقدة الحلزونية spiral ganglion، في قناة روزنتال Rosenthal canal فالبشر لديهم ما يقارب من 30000 خلية بالعقدة الحلزونية وهي عبارة عن نوعين: فالنوع الأول type I من خلايا العقدة الحلزونية مغمد بغمد النخاعين ويمثل حوالي 90% من جميع خلايا العقدة الحلزونية وترسل كل واحدة من هذه الخلايا (النوع الأول) عملية محيطية واحدة حيث تشكل مشبك واحد synapse مع خلية شعر داخلية واحدة. بالمقابل النوع الثاني type II من خلايا العقدة الحلزونية غير مغمد unmyelinated ويمثل حوالي 10% من جميع خلايا العقدة الحلزونية. فترسل كل واحدة من هذه الخلايا عدة عمليات محيطية لأن كل واحدة منها تشكل مشابك عصبية مع عدة خلايا شعرية خارجية. وبالتالي كل خلية شعرية داخلية تشكل مشابك عصبية مع عدة خلايا من العقدة حلزونية من النوع الأول، في حين أن كل خلية من خلايا العقدة الحلزونية من النوع الثاني تتشابك مع عدة خلايا شعرية خارجية.

وبشكل عام ، توجد علاقة رتيبة بين معدل انقراض الخلايا العصبية الواردة afferent وضغط الصوت ، كانقراض الخلايا العصبية بمعدل أعلى مع زيادة ضغط الصوت. ومع ذلك ، فإن هذه العلاقة غير خطية لأنه مع زيادة ضغط الصوت عن مستوى معين، يبدأ انقراض الخلايا العصبية الواردة بالإشباع saturation ويسمى الفرق بين ضغط الصوت عند العتبة (العتبة هي مستوى ضغط الصوت الذي تبدأ عنده الخلايا العصبية الواردة بالانقراض بمعدل أعلى من المعدل التلقائي) وعند الإشباع بالمجال الديناميكي dynamic range للخلية العصبية الواردة.

فبالخلايا العصبية التي لها معدل انقراض تلقائي منخفض يكون لديها مجال ديناميكي أكبر، وبالتالي أدت هذه النتائج إلى استنتاج مفاده أن الخلايا العصبية ذات الانقراض التلقائي المرتفع مهمة للكشف عن الأصوات منخفضة المستوى (بالنظر إلى عتبتها المنخفضة) والخلايا العصبية

ذات الإنفراغ التلقائي المنخفض مهمة لإنذار المطال عند الأصوات عالية المستوى ، بالنظر إلى مجالها الديناميكي الواسع

فالخلايا العصبية السمعية الواردة هي مضبوطة التوضع النغمي tonotopically tuned كالغشاء القاعدي والخلايا الشعرية، لذلك عندما تدخل المنبهات الصوتية القوقعة، يتم تحليل مكوناتها الترددية بواسطة الغشاء القاعدي كسلسلة من المرشحات filters، و يتم الحفاظ على هذه المعلومات الترددية عبر الخلايا الشعرية والخلايا العصبية السمعية الواردة وتنقل إلى الجهاز العصبي المركزي central nervous system

حيث يوجد فرضيتين أساسيتين لشرح الأساس الفيزيولوجي لتمييز الترددات discrimination of frequency في الجهاز العصبي المركزي الأولى تعتمد على المبدأ المكاني place principle أي أن تمييز الترددات يعتمد على الانتقائية الترددية للغشاء القاعدي مما يؤدي إلى تمثيل التردد عبر مكان معين في القوقعة وبعد ذلك عبر الجهاز العصبي السمعي. أما الفرضية الثانية فتعتمد المبدأ الزمني temporal principle، أي أن التمييز الترددي يعتمد على ترميز الشكل الموجي coding of the waveform للأصوات في نمط الانفراغ discharge pattern للخلايا العصبية السمعية، وهذا يعرف باسم قفل المرحلة phase locking [15,30]

3-1-5 النواة القوقعية The Cochlear Nucleus:

ينتقل العصب السمعي على طول القناة السمعية الداخلية internal auditory canal لينتهي على خلايا عصبية من الدرجة الثانية والتي توجد في النواة القوقعية، فالنواة القوقعية هي محطة الإرسال الأولى لجميع المعلومات السمعية الصاعدة التي تصدر من الأذن، وتقع بالاتصال الجسري البصلي pontomedullary junction بالجزء الظهري الوحشي لجذع الدماغ dorsolateral brainstem عند الإنسان. وتحتوي النواة القوقعية على عدة أنواع من الخلايا ، ولكل منها خصائص جسدية وتغصنات مختلفة، وهي تستجيب بشكل مختلف للمنبهات السمعية و تنتقل أيضا إلى أهداف مختلفة، وتوزع أنواع هذه الخلايا يقسم النواة القوقعية إلى ثلاثة أقسام رئيسية:

- النواة القوقعية الظهرية dorsal cochlear nucleus
- النواة القوقعية البطنية الأمامية anterior ventral cochlear nucleus
- النواة القوقعية البطنية الخلفية posterior ventral cochlear nucleus

فـالخلايا العصبية (من الدرجة الثانية) بالنواة القوقعية هي منتظمة بحسب التوضع النغمي tonotopically organized وبالتالي يتم الحفاظ على التمثيل المكاني للمعلومات المحددة التردد (القادمة من القوقعة) في النواة القوقعية.

ونظرًا لأن الأفراد ذوي السمع العادي يستخدمون الأذنين، فإن تحديد جهة الصوت localization يتم عن طريق المعالجة العصبية في جذع الدماغ لشدة intensity وتوقيت الإشارات timing cues من كل أذن، وتتم أيضًا معالجة الميزات الزمنية والطيفية للصوت (التي تنشأ في الأذن) في النواة القوقعية، وتعتبر النواة القوقعية مصدر المسارات المتوازية parallel pathways، حيث تقوم هذه المسارات بالنقل إلى جذع الدماغ السمعي والدماغ المتوسط والقشرة ومكاملة المعلومات من الأذنين لتحديد هوية مصدر الصوت وكثافته وموقعه. [15]

3-1-6 المعقد الزيتوني العلوي The Superior Olivary Complex:

يقع المعقد الزيتوني العلوي (SOC) أنسيا من النواة القوقعية وفي الجزء الذيلي caudal portion من الجسر pons. ويعمل المعقد الزيتوني العلوي SOC كمحطة إرسال للمعلومات سمعية من كلتا الأذنين، حيث يتم دمج المعلومات السمعية من كلا النواتين القوقعتين في SOC؛ وبالتالي تلعب هذه المنطقة دورًا مهمًا في تحديد جهة الصوت من خلال تحليل الاختلافات بين الأذنين لتوقيت الصوت ومطاله.

لكن معالجة المعلومات السمعية من كلتا الأذنين بواسطة نوى جذع الدماغ لا تسمح بتحديد جهة الصوت فقط، بل إنها تساعد أيضًا على تعزيز الإدراك السمعي من خلال آليتين إضافيتين، وهما تخميد الأذنين binaural squelch والإضافة summation، حيث يشير تخميد الأذنين إلى قدرة نوى جذع الدماغ السمعية على زيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج signal-to-noise ratio لمنبه الصوت الوارد عبر معالجة المعلومات، بينما تشير الإضافة إلى حقيقة أن الإشارة الصوتية المستلمة من كلتا الأذنين أكبر من حيث المطال (بمقدار 3dB) مقارنة بذات الإشارة التي تستقبلها أذن واحدة. ويعتقد أن هذه الزيادة في علو الصوت المدرك لتحسين مفهومية الكلام speech intelligibility في البيئات الصاخبة.

ومن المعقد الزيتوني العلوي ترسل العصبونات إلى الفتيل الوحشي lateral lemniscus ثم الأكيمة السفلية inferior colliculus وبعدها إلى الركبي الأنسي medial geniculate ومن من الركبي الأنسي medial geniculate تسير الألياف العصبية في مجرى يسمى التشععات السمعية

temporal auditory radiations إلى القشرة السمعية auditory cortex في الفص الصدغي temporal lobe [15,40].

2-3 فيزيولوجيا التوازن Balance Physiology:

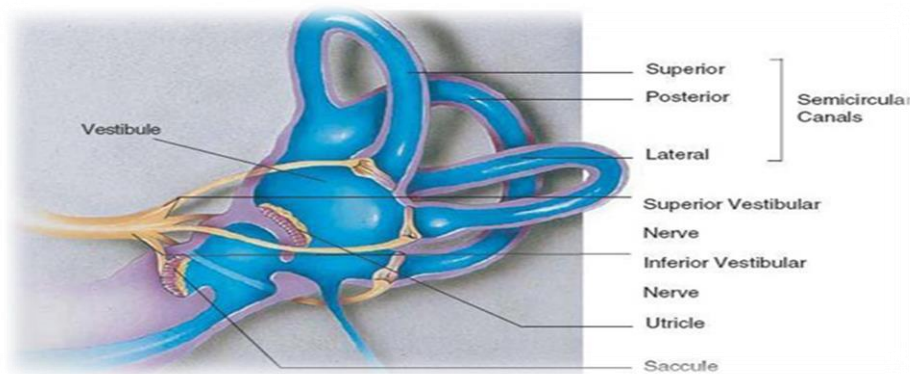
يتطلب الحفاظ على التوازن مدخلات حسية من العديد من المناطق التي تعمل باستمرار على تزويد أنظمة التحكم بالحركة motor control systems بالمدخلات حول وضع الجسم. وأهمها هو الجهاز الدهليزي، وهو عضو حسي sensory organ متخصص يوفر معلومات سريعة وحساسة عن التغيرات في موضع الرأس، حيث يسمح النظام الدهليزي بتصحيح وضع الجسم قبل السقوط ويساعد في الحفاظ على صورة ثابتة لشبكية العين retinal أثناء حركات الرأس. [34]

1-2-3 الجهاز الدهليزي Vestibular system:

الجهاز الدهليزي هو جزء من الأذن الداخلية، وله مكونات الرئيسية وهي:

- أعضاء الحصى الأذنية otolith organs
- القنوات الهلالية semicircular canals

والجهاز الدهليزي مشابه للقوقعة حيث أنه يتكون من بنى التيه الغشائي التي تسبح باللمف الظاهر والمحتواة ضمن العظم ويحتوي الجزء الداخلي الذي يكون متصلاً مع السقالة الوسطى scala media على اللف الباطن. مع العلم أن التحويل الحسي يعتمد على الخلايا الشعرية الحسية الميكانيكية mechanosensory hair cells. [34]



الشكل (3-3) الأعضاء الدهليزية [31]

3-2-1-1 أعضاء الحشيات الأذنية Otolith Organs: وهي تتكون من القريبة والكيس حيث تحدد القريبة التسارع acceleration والتباطؤ deceleration الخطي، أما الكيس saccule فيحدد الحركات الناتجة عن التسارع العمودي vertical acceleration. و كلاهما يستجيب أيضاً للتغيرات في زاوية الرأس. حيث يحتوي كل عضو من أعضاء الحشيات الأذنية otolith على ظاهرة حسية (البقعة macula) والتي تضم مجموعة من خلايا الشعرية التي لا حصر لها وهياكلها الداعمة supporting structure فتكون بقعة القريبة على أرضية القريبة بالتوازي مع قاعدة القحف cranium. في حين أن البقعة في الكيس تتوضع عمودياً على الجدار الإنسي للكيس. [29, 34]

3-2-1-2 القنوات الهلالية Semicircular Canals: أما القنوات الهلالية فتحدد دوران الرأس الزاوي angular head rotation ، حيث أن النظام الدهليزي يحتوي على ثلاث قنوات (الأمامية والخلفية والأفقية) متعامدة مع بعضها لتحديد الحركة في أي من الأبعاد الثلاثة. والقنوات عبارة عن أنابيب نصف دائرية يوجد في قاعدتها انتفاخ يدعى بالأمبولة ampulla وهي تحتوي على منطقة حسية تسمى العرف الأمبولي crista ampullari.

وبالتالي عند دوران الرأس أو حركة الجسم، يتدفق السائل في هذه الهياكل في اتجاه معاكس للحركة، ويؤدي ذلك إلى تحفيز الظهارة الحسية وزيادة النشاط العصبي للفرع الدهليزي vestibular branch للعصب الثامن VIIIth nerve. فالخلايا الشعرية الدهليزية تستجيب لكل من الحركة وتأثيرات الجاذبية فأهداب stereocilia للخلايا الشعرية تتجمع مع الهدب الأطول kinocilium والذي يتحرك بطريقة أو بأخرى بواسطة الحركة النسبية لغشاء الحشيات الأذنية otolithic membrane أو القبة cupula، وأي حركة تؤدي إلى تحرك الأهداب stereocilia نحو الهدب الأطول kinocilium تؤدي إلى زيادة في النشاط الكهربائي ولها تأثير استثاري excitatory على وظيفة العصب، بينما أي حركة تؤدي إلى ابتعاد الأهداب عن الهدب الأطول kinocilium تؤدي إلى انخفاض في النشاط الكهربائي ولها تأثير مثبط inhibitory على وظيفة العصب.

وبنى النظام الدهليزي تعمل بشكل زوجي لتوفير معلومات حول الجاذبية والحركة، فعند تدوير الرأس تتحرك السوائل في البنى التي بالجانب الأول باتجاه المعاكس للسوائل في الجانب الآخر

وهذا يؤدي إلى تقديم إشارات مثبطة inhibitory واستثارية excitatory إلى النوى الدهليزية vestibular nuclei للمقارنة. [29,34,40]

2-2-3 النوى الدهليزية Vestibular Nuclei:

يحتوي جذع الدماغ brainstem على مجموعة من النوى الدهليزية vestibular nuclei والتي تشكل مركز تحكم مكامل integrative مسؤول عن التوازن، حيث تصل إشارات العصب الحسي الدهليزي Vestibular sensory nerve إلى النوى عبر العصب الدهليزي vestibular nerve والعقدة الدهليزية vestibular ganglion والعصب الدهليزي القوقعي vestibulocochlear nerve (مع العلم أن الأعصاب الحسية الدهليزية الواردة Vestibular sensory afferents (CN VIII) أيضا تصل إلى المخيخ cerebellum). وتتلقى النواة الدهليزية أيضًا بيانات حسية من العيون ومستقبلات الحس العميق الجسدية somatic proprioceptors المتوضعة في العضلات muscles والمفاصل joints ويتم تم دمج هذه المعلومات ثم استخدامها لتنفيذ الحركات الانعكاسية للعين reflex movements of the eye والرأس والعضلات المشاركة في التحكم في الوضع. [34]

الفصل الرابع

الدراسات المرجعية

Referential Studies

في هذا الفصل مجموعة من الدراسات التي تم الاعتماد عليها في هذا البحث:

1-4 دراسة لـ Stefan Brill وزملاؤه بعنوان موقع التنبيه داخل القوقعة وأثره على كمونات العمل المركب المحرّضة كهربائياً باستخدام مصفوفة الكترود standard لشركة MED-EL تم نشرها في مجلة BioMedical Engineering OnLine نشرت في 16 كانون الأول 2009

Site of cochlear stimulation and its effect on electrically evoked compound action potentials using the MED-EL standard electrode array

كان الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو تحديد ما إذا كان هناك اختلاف في خصائص ECAP تبعاً لمناطق التنبيه والتسجيل. حيث أجري تحليل المطال والعتبة والميل لتسجيلات ECAP التي تم الحصول عليها من خلال تنبيه مناطق مختلفة من القوقعة، باستخدام مصفوفة الكترود نتيج تنبيه بعمق 31mm داخل القوقعة. أما الهدف الثاني من هذه الدراسة فهو الاستقصاء عن ما إذا كان مطال ECAP في حالة الحران النسبي relative refractory state يظهر اختلافاً تبعاً لمناطق التنبيه والتسجيل.

التطبيق: خضع 67 شخص للدراسة منهم 34 امرأة و 33 رجل ، وكان متوسط العمر عند بداية فقدان السمع 43.4 سنة ضمن المجال من 1 إلى 73 سنة، وتمّ تسجيل استجابة العصب السمعي لإثبات جدوى تسجيل ECAP باستخدام ميزة القياس عن بعد لاستجابة العصب السمعي Auditory Nerve Response Telemetry (ART) لبرنامج MAESTRO الخاص بشركة MED-EL. ثمّ تم تحليل هذه التسجيلات بناءً على موقع التنبيه داخل القوقعة (القيمة - المتوسط - القاعدة)، لتحديد ما إذا كان المطال amplitude أو العتبة threshold أو ميل تابع ازدياد المطال slope of the amplitude growth function أو زمن الحران refractory time يختلف حسب موقع التنبيه.

النتائج: تظهر النتائج اختلافات كبيرة في تسجيلات ECAP اعتماداً على موقع التنبيه، فعند مقارنة المنطقة القميّة بالمنطقة القاعدية، لوحظ أن متوسط السعات كان أعلى وأن العتبات كانت منخفضة أكثر وأن ميل تابع ازدياد المطال كان منحدرًا بشكل أكبر أما زمن الحران refractory time فإنه يعتمد بشكل كلي على المنطقة داخل القوقعة.

الخلاصة: هذه الاختلافات بين المناطق داخل القوقعة قد تكون بسبب قرب الكترود التنبيه من الأنسجة العصبية neural tissue في قمة القوقعة و/ أو بسبب كثافة أعلى أو سلامة أكبر

للأنسجة العصبية في قمة القوقعة، وهذا قد يسبب قوة الاستجابة العصبية في القمة وميل تابع ازدياد المطال الأكثر حدة. [5]

2-4 دراسة لـ Cafarelli Dees وزملاؤه بعنوان النتائج المعيارية لقياسات كمونات العمل المركب المحرض كهربائياً باستخدام قياس الاستجابة العصبية عن بعد لجهاز غرسة القوقعة Nucleus CI24M تم نشرها في مجلة Audiology and Neurotology في 12 كانون الثاني عام 2005

Normative Findings of Electrically Evoked Compound Action Potential Measurements Using the Neural Response Telemetry of the Nucleus CI24M Cochlear Implant System

أحد الأهداف الرئيسية لهذه الدراسة هو إنشاء مجموعة بيانات معيارية من مجموعة كبيرة من الأشخاص من عدة مراكز مختلفة في ظل ظروف اختبار مماثلة، ويشمل ذلك وصف شكل الموجة morphology وتابع ازدياد المطال AGF لـ ECAP (في قمة القوقعة والمتوسط والقاعدة) عند مستخدمي الغرسة القوقعية البالغين. كما تم دراسة آثار العوامل المسببة للصمم ومدة الصمم على خصائص الاستجابة العصبية المحيطية. كما أجريت مقارنة بين قياس الاستجابة العصبية عن بعد NRT والقياسات الفيزيائية النفسية لاستقصاء التطبيقات السريرية الممكنة مثل تحسين ضبط وبرمجة معالج الكلام.

التطبيق: تم استخدام الكترودات الغرسة Nucleus 24 لتتبيه وتسجيل ECAP في مواقع منفصلة على طول مصفوفة الالكترود، باستخدام نظام برمجة غرسة القوقعة المعياري والبرنامج (NRT software 2.04™)، وباستخدام نموذج الطرح لفصل الاستجابات الصغيرة عن التشويش الصناعي للمنبه. وتمت الدراسة على 147 بالغاً (< 15 سنة) 81 أنثى 66 ذكر، تم تقديمهم للسمع بعد عمر اكتساب اللغة، وأجري لهم زرع القوقعة باستخدام الغرسة Nucleus CI24M. بشرط أن لا تقل عدد الالكترودات الموجودة داخل القوقعة عن 18 الكترود. وتم جمع البيانات بعد شهر من الضبط الأولي لضمان استقرار العتبة السلوكية ومستوى الراحة الأعظمي.

النتيجة: تم عرض النتائج من حيث مطال القمة وزمن كمونها وميل تابع ازدياد المطال وعتبة ECAP. وتم العثور على اختلاف بين الأفراد، واختلافات بين الالكترودات للشخص ذاته، والنتائج كانت ضمن نمط ثابت. وتم وضع مجال معياري لمطال القمة وزمن الكمون الطبيعي

وتبين أن مسبب الصمم له تأثير مهم على النتائج، وكان للعمر تأثير على مطال ECAP و ميل تابع ازدياد المطال، كما تبين أن العلاقة بين العتبة والمستويات السلوكية كانت ضعيفة.

الخلاصة: يُقارن معدّل الاستجابات التي تم الحصول عليها (96%) بشكل إيجابي مع المقاييس الموضوعية الأخرى لأداء غرسة القوقعة، كمعدّل الاستجابات الناتجة عن استخدام EABR (71% - 91%) (van den Borne وزملاؤه 1984)، ومعدّل الاستجابات الناتج عن استخدام ESRT (69% - 83%) (Mason وزملاؤه 1995)، لكن هذه المقارنة تبقى تقريبية لأنه ليس من المؤكد أنه يمكن الحصول على استجابة في الحالات التي أبلغ عنها أنه لم يتم الحصول على أي استجابة [13].

3-4 دراسة لـ Mariana Cardoso Guedes وزملاؤها بعنوان قياس الاستجابة العصبية عن بعد للمرضى المستخدمين للغرسة Nucleus 24® نشرت في مجلة Brazilian Journal of Otolaryngology في 5 آب عام 2005 .

Neural response telemetry measures in patients implanted with Nucleus 24®

الهدف من الدراسة تحديد مدى إمكانية تسجيل كمون العمل المحرض كهربائياً أثناء العمل الجراحي باستخدام NRT ووصف الاستجابات الناتجة.

التطبيق: تم قياس ممانعة الالكترود impedances وكمونات العمل المحرّضة كهربائياً باستخدام (software NRT 3.0) أثناء العمل الجراحي، في مجموعة من 54 مستخدم للغرسة Nucleus 24® (29 من الإناث و 25 من الذكور)، تتراوح أعمارهم بين 2 و 63 سنة (متوسط العمر 26 سنة)، وتراوح مدة الصمم من 1 إلى 35 سنة (متوسط المدة 8.7 سنة)، وكانت مسببات نقص السمع متنوعة. حيث تم تحليل الاستجابات ومقارنتها مع العوامل المسببة لنقص السمع ومدة الصمم وموضع الالكترود.

النتائج: تم تسجيل كمونات العمل المحرّضة كهربائياً بسهولة في الالكترودات القمية، وكانت العتبة أعلى في حالات التصلب والتهاب السحايا من المسببات الأخرى

الخلاصة: يمكن الحصول على NRT في 82% من الحالات أثناء العمل الجراحي وقد تختلف هذه الاستجابات تبعاً للمسبب المرضي وتبعاً لموقع الالكترود على طول القوقعة. [18]

4-4 دراسة لـ Marek Polak وزملاؤه بعنوان المزيد من النتائج المتوقعة لكمونات العمل المركب المسجلة باستخدام غرسة القوقعة Nucleus 24 نشرت في مجلة Hearing Research في 24 أيلول عام 2003

Further prospective findings with compound action potentials from Nucleus 24 cochlear implants

كان الهدف من البحث هو دراسة الخصائص المحددة لكمونات العمل المركب المحرّضة كهربائياً والتي تشمل: ميل تابع ازدياد المطال والعتبة والمطال وزمن الكمون عند مستخدمي الغرسة القوقعية.

التطبيق: أجريت الدراسة على 47 فرداً (20 من الذكور و 27 من الإناث) مستخدماً لغرسة القوقعة Nucleus 24 (35 أصيبوا بالصمم بعد اكتساب اللغة و 12 قبل اكتساب اللغة)، وتتراوح أعمارهم من 16- 85 عاماً (متوسط العمر 52 عاماً)، وتم إجراء القياس ل منعكس الركابة المحرّض كهربائياً و NRT على اثنين من الالكتروودات في كل منطقة من المناطق داخل القوقعة (القمة – المتوسط – القاعدة) بمجرد اكتمال ضبط مستوى العتبة السلوكية.

النتيجة: أظهرت عتبة الاستجابة لـ ECAP علاقة قوية مع عتبة منعكس الركابة المحرّض كهربائياً و مع مستوى العتبة السلوكية، وتم الحصول على علاقة ذات دلالة إحصائية بين مطال الاستجابة وميل تابع ازدياد المطال والموقع داخل القوقعة (يرتبط بمكان التسجيل). حيث كانت كل من الخصائص المحددة لقياسات كمون العمل عند الالكتروودات القمية تمثل الضعف تقريباً لتلك الموجودة عند الالكتروودات القاعدية.

الخلاصة: هذه النتائج تتفق مع الدراسات السابقة، فهي تظهر أن كثافة وسلامة خلايا العقدة الحلزونية في قمة القوقعة أكبر من تلك الموجودة في القاعدة، وهذه النتائج ترتبط جزئياً أيضاً بالخصائص التشريحية للقوقعة. وبالتالي اختلاف العتبة والمطال والميل بين قمة القوقعة والقاعدة يمكن ان يوفر معلومات مهمة في برمجة معالج الكلام وخاصة عند الأطفال. [36]

الفصل الخامس

كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً

Electrically-Evoked Compound Action Potentials (ECAP)

1-5 مقدمة Introduction

بما أن غرسة القوقعة تعتبر الخيار الأمثل لإعادة تأهيل الأشخاص الذين يعانون من نقص السمع الحسي العصبي الشديد إلى العميق، وبما أنها تحل محل وظيفة القوقعة جزئياً، حيث أنها تحول الطاقة الصوتية إلى إشارات كهربائية، وبالطبع فإن القيام بهذه الوظيفة يعتمد على سلامة العصب القوقعي لإيصال المنبهات كهربائية إلى القشرة الدماغية cerebral cortex. حيث أن خلايا العقدة ganglion cells للعصب السمع تستجيب بشكل فعال للمنبهات الكهربائية الصادرة عن الغرسة القوقعية، لذلك فإن عدد الخلايا العصبية وتوزيعها ووظيفتها هي عوامل هامة لتحديد الاستخدام الناجح لـ CI. وإمكانية الحصول على معلومات تتعلق بقدرة العصب القوقعي على نقل معطيات التنبيه الكهربائي electrical stimulation data والطريقة التي تتفاعل بها بعض بارامترات التنبيه الكهربائي مع الهياكل العصبية تعتبر مهمة للغاية بالنسبة للأبحاث التي تشمل الغرسة القوقعية CI والعصب القوقعي وأسباب نقص السمع [6].

2-5 كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً المسجلة من الأعصاب المحيطية

Electrically evoked compound action potential recording from peripheral nerves

تم تحديد شكل كمون العمل المركب لعصب محيطي من قبل Erlanger و Gasser من تسجيلات راسم الاهتزازات oscilloscope من الأعصاب المعزولة في عام 1924. حيثُ برهنوا على تغيير شكل الاستجابات مع زيادة مستويات التنبيه الكهربائي، وخبّنوا أن هذا يرجع إلى تجمعات مختلفة من الألياف تستجيب لمستويات تيار مختلفة، وقد أدّت هذه الملاحظة إلى التصنيف الأصلي لأنواع ألياف الخلايا العصبية. وتعتمد سرعة التوصيل لمحور عصبي على قطر الألياف التي تنتج الاستجابة، وكذلك فإن عتبة التنبيه تعتمد أيضاً (الحد الأدنى لتيار التنبيه المطلوب لاستثارة كمونات عمل) على قطرها، فيكون للألياف ذات القطر الكبير عتبة أقل من الألياف ذات القطر الصغير. ويعرّف كمون العمل المركب المحرّض (ECAP) بأنه مجموع المساهمات من جميع الألياف التي استجابت، ومع زيادة تيار التنبيه تستجيب المزيد من الألياف، ويزداد المطال وتظهر قمم إضافية وهي استجابات من ألياف قطرها أصغر. واستمدّ Erlanger و Gasser تصنيف أنواع الألياف من ظهور هذه القمم مع زيادة تيار التنبيه وظهور الاستجابات من مجموعات الألياف ذات نطاقات السرعة المختلفة بشكل واضح. وتجدر الإشارة

إلى أنه لا تثير تيارات التنبيه الأقل من العتبة أي استجابة، ولكن عندما يزداد التيار إلى العتبة الألياف ذات القطر الأكبر هي التي تستجيب. وزيادة تيار التنبيه أكثر يؤدي إلى استجابة الألياف التالية الأكثر حساسية وهكذا.

يشكل تسجيل النشاط العصبي الناتج عن التنبيه الكهربائي أساساً لعدد من الإجراءات التشخيصية، حيث يتم تطبيق التنبيه على العصب أو الأنسجة لإثارة كمون عمل مركب compound action potential. ويقوم المنبه في وقت واحد وبشكل متزامن بإثارة العديد من الألياف، وبالتالي يشار إلى الاستجابة على أنها كمونات عمل مركبة a compound action potential لأنها تمثل مجموع الكمونات الكثيرة التي تمت إثارتها. وبالتالي جمع هذه الكمونات Summation وتولدها المتزامن synchronous يزيدان من مطال الاستجابة، وهذا يجعل الكشف عنها ممكناً. وتسجيل النشاط الكهربائي للخلايا العصبية المحيطة peripheral nerve neurons هو أمر شائع في عدد من الإجراءات التشخيصية، وقد تم إجراء دراسات على التوصيل العصبي لتقييم سلامة العصب، وهي تشكل أيضاً جزءاً من تشخيص مجموعة من الحالات والأمراض، مع العلم أن سرعة التوصيل العصبي تعد مقياساً لصحة الأعصاب حيث يتم اعتبار السرعات التي تتراوح بين 50 و 60m/s ضمن النطاق الطبيعي، وقد تكون السرعات خارج هذا النطاق مؤشراً على المرض [35].

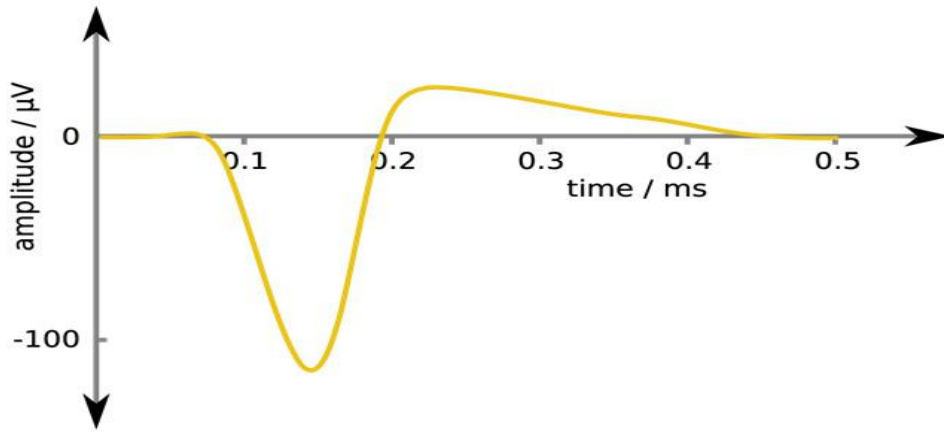
3-5 كمونات العمل المركب المحرض كهربائياً المسجلة من المسار السمعي

Electrically evoked compound action potential recording from auditory pathway

1-3-5 المقدمة

كيف تنتج الألياف العصبية NERVE FIBERS إشارة ECAP:

السمع الطبيعي normal hearing:



الشكل (1-5) مخطط يظهر الانحراف لكمون الراحة عبر الغشاء resting trans-membrane potential (هذا المنحنى مأخوذ من محاكاة للعصب القوقعي للإنسان)

يقوم الليف العصبي nerve fibers المفرد السليم بنقل المعلومات بواسطة كمونات العمل action potentials، وهو عبارة عن تغييرات في الجهد الكهربائي بين السوائل داخل وخارج الليف العصبي nerve fiber (الكمونات عبر الغشاء trans-membrane potential) التي "تنتقل" على طول الليف fiber. فعند الراحة تكون الكمونات الكهربائية خارج ليف العصبي أكثر إيجابية بمقدار 80mv من الكمونات الموجودة داخلها. يوضح الشكل السابق التغير في الجهد عند حدوث كمون العمل action potential، وهو ينتقل بسرعة 14 مترًا في الثانية. وتجدر الإشارة أن حركة كمون العمل action potential عملية نشطة يتم فيها فتح وإغلاق القنوات الأيونية ion channel عبر الغشاء (مثل K^+ و Na^+)، وتعتمد هذه العملية على الوقت والجهد، فتحتاج الخلية العصبية nerve cell إلى الطاقة لاستعادة كمون الراحة resting potential بعد حدوث كمون

العمل action potential ، وتحتاج الخلية العصبية nerve cell إلى فترة من الوقت حتى يتم إثارة كمون العمل action potential التالي. فبالنسبة إلى العصب السمعي auditory nerve لا يمكن إثارة كمون العمل action potential التالي على الإطلاق بأقل من 400 ميكرو ثانية وهذا ما يعرف بفترة الحران المطلق absolute refractory period ، حيث أن فترة الحران Refractory periods: هي فترة قصيرة من الوقت تتلو كمون العمل action potential ولا يمكن توليد كمون عمل action potential آخر فيها، وله نوعان:

- فترة الحران المطلق absolute refractory period : هي فترة يستحيل فيها توليد كمون عمل آخر بغض النظر عن حجم المنبه، وذلك لأن قنوات الصوديوم مغلقة وتظل هكذا حتى يحدث فرط الاستقطاب hyperpolarisation.
- فترة الحران النسبي relative refractory period: هي فترة يمكن إثارة كمون العمل ولكن فقط إذا كان المنبه كبيراً بدرجة كافية، وذلك لأن بعض قنوات الصوديوم قد أُعيد تنشيطها [32, 46, 37].

حيث تدخل الألياف أولاً في فترة الحران المطلق مباشرة بعد توليد كمون العمل، ثم في فترة الحران النسبي. وبالتالي انخفاض الجهد هذا هو ما يهمنا، ولكنه ليس ما نلاحظه كتغيير في الجهد عند قيامنا بتسجيلات ECAP لأن:

- الكترودات التسجيل تقع خارج الخلية ، أي خارج جذع الألياف العصبية nerve fiber . trunk
- هناك العديد من الألياف العصبية nerve fibers النشطة في الوقت المعين، وكلها تساهم في تغيير الجهد المسجل، على عكس خلية عصبية neuron واحدة فقط.

وتجدر الإشارة إلى أن خلايا الشعرية الداخلية Inner hair cells والخارجية outer hair cells للقوقعة cochlea لا تساهم في استجابة ECAP لأنها خلايا حسية ثانوية secondary sensory cells، مما يعني أنها لا تمتلك محور عصبي axon خاص بها، ولكن الخلايا العصبية nerve cells الأخرى تعصبها. وهناك 32000 إلى 41000 من الألياف العصبية nerve fibers (معظمها واردة afferent) ، مع العلم أن 96% إلى 98% من الألياف العصبية nerve fibers هي مغمدة بغمد النخاعين myelinated ولديها قطر داخلي من 2

إلى 3 ميكرو متر (غمد النخاعين myelin sheath نفسه بسمك حوالي 0.7 إلى 1 ميكرو متر). لكن بما أن الالكتروودات التي يتم التسجيل بها تقع خارج الألياف العصبية nerve fibers بالتالي يمكن تسجيل الجهد في موقع قريب جدًا من الألياف العصبية nerve fibers مقابل مرجع بعيد far reference ، وبالتالي سنرى إشارة signal عند مرور كمون العمل action potential لكنها أصغر بكثير من الجهد بين داخل الخلية cell وخارجها [4, 41, 28].

وبالتالي في التسجيلات التي يتم إجراؤها في السقالة الطبليية scala tympani ، هناك العديد من الألياف العصبية تعمل لكن يمكننا تسجيل فقط مجموع التغيرات في الجهد الفردي (وهذا ما يسمى الجهد المركب compound voltage، أو الكمون المركب compound potential)، وإذا كانت الألياف العصبية nerve fibers تتقل كمونات عملها action potentials بشكل غير متزامن non-synchronized فإن متوسط الفولطية الفردية يكون (أكثر أو أقل) صفر [10].

التنبيه الكهربائي Electrical stimulation :

في حين أن خلايا الشعرية الداخلية inner hair cells في السمع الطبيعي هي مصدر كمونات العمل action potentials (استجابة للمنبهات الصوتية)، فإن كمونات العمل action potentials تتولد في الخلايا القابلة لزوال استقطابها depolarizeable cells مثل الألياف العصبية nerve fibers عند التنبيه الكهربائي، فأثناء نبضات التنبيه الكهربائي يتم إنتاج توزع للجهد لـ "التشويش الصناعي artificial" في المنطقة الواقعة بين وحول زوج الإلكتروود التنبيه المرجعي، ويؤدي مدرج الكمون Potential gradient على طول محور axis الألياف العصبية nerve fiber إلى انحرافات في الكمون عبر الغشاء trans-membrane potential مقارنة بحالة الراحة. وبالتالي إذا أصبحت القيمة الناتجة (القيمة المطلقة) للكمونات عبر الغشاء trans-membrane potential أكبر (فرط الاستقطاب hyperpolarization) فلن يتم إثارة كمونات العمل action potential ، في حين سيتم إثارتها إذا انخفضت الكمونات عبر الغشاء transmembrane potential عن مستوى معين (إزالة الاستقطاب depolarization). وكمونات العمل action potential التي تتحرّض بهذه الطريقة تسافر عبر الليف العصبي nerve fiber المفرد في اتجاهين، ويتوقف كمون العمل action potential بالاتجاه "غير

الطبيعي ("عكس المسير antidromic") عند المشبك synapse التالي مباشرة (عند الخلية الشعرية hair cell) [47]. مع العلم أن الخلايا العصبية السمعية الواردة Afferent تكون أجسامها الخلوية (soma) في العقدة الحلزونية spiral ganglion (في مركز منعطف القوقعة center of the cochlear turns) وتغصناتها dendrites تعصب الخلايا الشعرية hair cells مباشرة. وتكون هذه التغصنات dendrites مغمدة بالخاعين myelinated باستثناء الجسم soma نفسه وجزء صغير قبله ، ويُفترض أنها تحتوي على حوالي 6 عقد من رانفير nodes [3, 38] of Ranvier.

مع العلم أن العملية الناشئة وتوقيتها يعتمدان على شكل النبضة وبالتالي فإن زمن كمون latency وشكل إشارات ECAP يعتمد أيضاً على شكل النبضة. فعندما يكون الطور الأول مصعدياً للنبضات ثنائية الطور An anodic first biphasic pulse يكون زمن كمون latency أطول من أن يكون الطور الأول مهبطياً cathodic first biphasic pulse [47].

الاستجابات من الأعصاب غير السمعية Responses from non-auditory nerves:

نظراً لاستخدام تسجيلات ECAP في بعض الأحيان كأداة للتأكد من تموضع الالكترود بالشكل الصحيح، فإن السؤال الذي يطرح كثيراً هو ما إذا كانت الألياف العصبية nerve fibers الأخرى قد تؤدي إلى كمونات عمل action potentials لا يمكن تمييزها عن كمونات potentials الألياف العصبية السمعية auditory nerve fiber . على سبيل المثال إذا تم إدراج الالكترود بطريق الخطأ في القناة الدهليزية vestibular canal، فهل ستنتج إشارات ECAP وما هي شكلها؟ من الصعب الإجابة على هذا السؤال لأنه لا يكاد يكون هناك دراسات حول التسجيلات التي تتم باستخدام الكترود في غير مكانه. لكن بشكل أساسي يجب أن تكون جميع الألياف العصبية nerve fibers قادرة على إثارة كمونات عمل إذا كان الكترود التنبيه قريباً أو إذا كان مطال التنبيه عالي.

2-3-5 قياس عتبة المنعكس الركابي المحرض كهربائياً

Electrically Evoked Stapedial Reflex Threshold (ESRT) Measurement

هناك طرق مختلفة للقياس الموضوعي للاستجابات العصبية لدى المرضى الذين أجري لهم زراعة القوقعة (CI)، منها منعكسات العضلة الركابية الكهربائية (ESR)، واستجابة جذع الدماغ السمعية المحرصة كهربائياً (EABR)، حيث يمكن لهذه الطرق أن توفر معلومات مفيدة

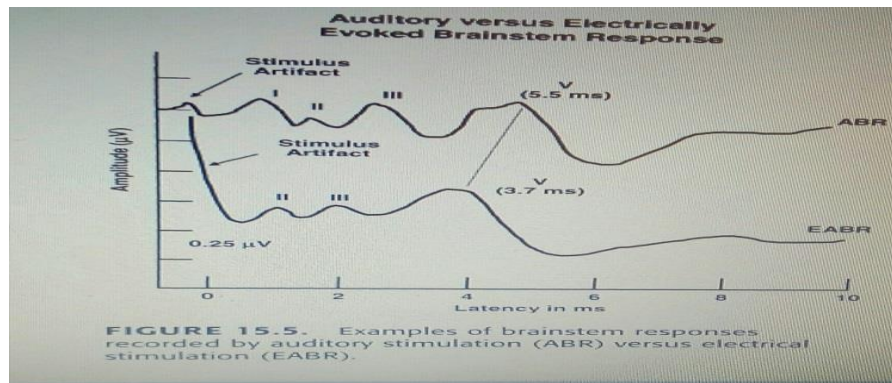
حول وضع وسلامة جهاز CI للبرمجة الفعالة لمعالج الكلام. و تتيح هذه الطرق للمستخدمين " ومعظمهم من الأطفال " اختيار إعدادات معالج الكلام المطلوبة. حيث يشير ESR إلى انقباضات العضلة الركابية stapedius muscle استجابة للمنبهات الكهربائية عالية الشدة، ويمكن قياس المنعكسات الركابية stapedial reflexes عن طريق التنبيه المناسب لألياف العصب الثامن الواردة ((CN VIII (afferent fibers) متبوع بتقلص مرئي لعضلة الركابية stapedial muscle والوتر المعصب tendon innervated بالعصب السابع CN VII. وبالتالي هي وسيلة سريعة وغير غازية للتحقق من سلامة وظائف العصب السمعي، ويمكن استخدام عتبات ESR لاستخراج معلومات مفيدة حيث أشارت العديد من الدراسات إلى وجود علاقة بين هذه العتبات وتقييم مستوى الراحة الاعظمي (C-level) عند البالغين والأطفال مستخدمي غرسة القوقعة، ويمكن إجراء هذا القياس للالكترودات المختلفة. لكن في بعض المقاربات الجراحية البديلة alternative surgical approaches من المستحيل الرؤية الواضحة للوتر tendon وبالتالي فإن قياس ESRT مستحيل. وتشير بعض الدراسات أيضاً أنه لدى بعض الأطفال (17%) لا يمكن قياس ESRT على الإطلاق ؛ وهذا في الغالب بسبب العوامل المسببة للمرض aetiological factors ، ولكن 35% من هذا هذه المجموعة ليس لديه سبب واضح لعدم تسجيل ESRT [39].

3-3-5 استجابة جذع الدماغ السمعية المحرّضة كهربائياً

Electrically Evoked Auditory Brainstem Response

إنّ الاستجابات التي تحرّض عادةً مع التنبيه السمعي يمكن أيضاً أن تحرّض أيضاً مع التنبيه الكهربائي. مع الأخذ بعين الاعتبار أنّ زمن الكمون للاستجابة السمعية المحرّضة كهربائياً أقصر من زمن الكمون للاستجابة المحرّضة سمعياً لأنّ التنبيه الكهربائي ينشط المسارات العصبية مباشرة وبالتالي لا يتأثر بالتأخير الزمني المرتبط بوقت انتقال الصوت وترميزه من الأذن الخارجية إلى القسم الداني للعصب السمعي. ويمكن تطبيق الاستجابات المحرّضة كهربائياً (المثارة من خلال الجهاز السمعي المحيطي أو الجهاز السمعي المركزي) لتقييم سلامة السبل العصبية كجزء من تحديد الترشيح لزراع القوقعة أو لتوفير المعلومات اللازمة لاتخاذ القرارات السريرية المهمة، مثل تحديد أي من الاذنين التي يجب أن يتم زرعها. ويمكن أيضاً تسجيل الاستجابات المحرّضة كهربائياً خلال العمل الجراحي (أثناء زرع القوقعة) للتحقق من وضع الالكترود المناسب وسلامة وعمل مكونات غرسة القوقعة. أمّا بعد زرع القوقعة فيمكن تحريض

مجموعة متنوعة من الاستجابات تتراوح بين كمونات العمل المركب الكهربائي (ECAP) إلى الاستجابات القشرية، إما عن طريق التنبيه الكهربائي مباشرة داخل القوقعة عبر الجهاز أو عن طريق التنبيه الصوتي المعالج بواسطة الجهاز. والأهم من ذلك أنه ليس هناك قيود للعمر في التطبيق السريري للاستجابات المحرّضة سمعياً المثارة كهربائياً. حيث تراكمت الخبرة السريرية مع هذه التقنيات الموضوعية من مرضى تتراوح أعمارهم من عمر الطفولة إلى عمر متقدم. والهدف من بعض القياسات الكهربائية بعد الجراحة هو التأكد من سلامة الغرسة وعملها بشكل صحيح [20].



الشكل (2-5) استجابة جذع الدماغ المحرّضة بالتنبيه الصوتي (ABR) مقابل المحرّضة بواسطة التنبيه الكهربائي (EABR)

تسمى استجابة جذع الدماغ بعد نبض التنبيه الكهربائي باسم ABR الكهربائي أو EABR (استجابة جذع الدماغ السمعية الكهربائية). حيث يشبه الشكل الموجي morphology العام لـ EABR نظيره الصوتي ، وعادةً ما يتم تمييز قمة الموجة الخامسة في EABR بالرقم الروماني "V" أو "eV" ، حيث تشير "e" إلى أنها مثارة بالتحفيز الكهربائي و يُعتقد أن المكونات الخاصة للشكل الموجي في EABR لها مواقع مماثلة لـ ABR . ويتمثل الاختلاف الأساسي بين EABR و ABR المحرّض صوتياً في أن EABR له زمن كمون للقمة أقصر بشكل ملحوظ . ومطال الذروة (القمة) في EABR يزداد بسرعة مع زيادة مستويات التيار وزمن كمون القمم يتغير قليلاً بتغيير مستوى التنبيه. والموجة الثانية و الثالثة واضحة في مستويات الشدة العالية. و مع تناقص شدة التحفيز تختفي الموجة (الثالثة) III قبل الموجة V (الخامسة) ويتم تعريف

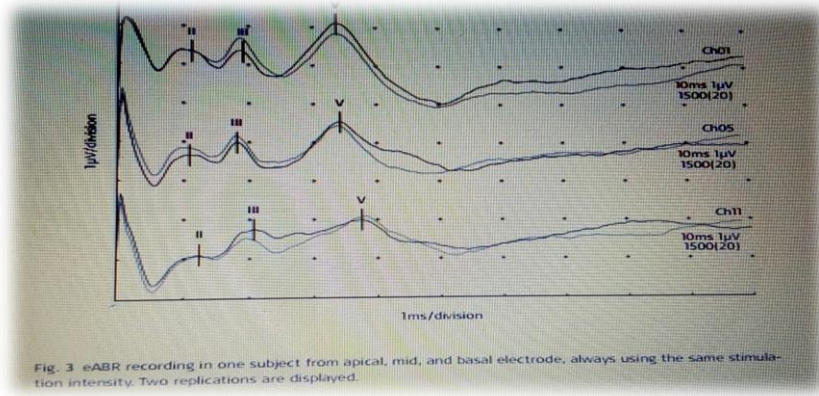
مستوى عتبة الموجة V بأنه أدنى مستوى من التنبيه يمكن أن يحرض أو يثير موجة خامسة V قابلة للتكرار [2, 16] .

ويكون نوع المنبه عبارة عن نبض تيار كهربائي ثنائي الطور ثابت، وطريقة التنبيه عبر الكترود إبري (قبل الجراحة) أو الكترود غرسة القوقعة (أثناء أو بعد العمل الجراحي)، ويكون التنبيه إما عبر الطنف Promontory قبل إجراء الجراحة أو داخل القوقعة (أثناء أو بعد العمل الجراحي). أما معدل التنبيه Rate فيكون من 5 إلى 85 نبضة بالثانية، ومدته من 20 إلى 400 ميكرو ثانية للطور وقطبيته متناوبة alternating (ثنائية القطب)، أما شدته من 20 ميكرو أمبير إلى 1 ميلي وعدد مرات المسح أو الإعادة sweeps فهي ≤ 1000 ، ويجب أن تكون إعدادات الفلتر: من 30Hz أو 100Hz إلى 1500Hz. لكن من مساوئ EABR أن سعته صغيرة نسبياً (1.5 ميكرو فولط أو أقل)، وله علاقة ضعيفة بإدراك الكلام وأيضاً تعتبر علاقته ضعيفة بسلامة العصب السمعي مقارنة مع ECAP [20].

ويتم تسجيل AEPs بشكل غير جراحي (غير غازي) non-invasively باستخدام الكترودات الفروة scalp على جلد المريض. حيث يجمع جهاز التسجيل الإشارات من الالكترودات باستخدام ثلاثة مدخلات: الالكترود النشط active ("+"، أو "موجب"، أو "غير العاكس non-inverting")، الالكترود المرجعي ("-"، أو "سلبى"، أو "العاكس inverting")، والالكترود أرضي (G، أو "المشترك common"). وتكون طريقة التوصيل كالتالي: الالكترود النشط (+) على خط الشعر hairline on the forehead على الجبهة (Fz) أو على قمة الرأس (Cz) vertex والالكترود المرجعي (-) على الخشاء المقابل contralateral mastoid بينما يوضع الالكترود الأرضي (G) على مركز الجبهة center of forehead. مع العلم أنه يفضل ترك مسافة لا تقل عن 2cm بين الالكترود النشط والأرضي عند وضع الالكترود النشط على Fz وإلا سيتم حذف الإشارة canceled out .

ويجب ضبط نافذة التسجيل بشكل صحيح لتتماشى مع زمن الكمون المتوقع ل EP بالنسبة إلى EABR، فمن الضروري وجود نافذة زمنية للتسجيل تبلغ 10ms لمشاهدة كل قمم EABR [44]. وعند تسجيل EABR بعد زرع القوقعة يجب الانتباه إلى أن هناك اختلافات في EABR اعتماداً على أي الكترود يستخدم للتنبيه. حيث يميل الإلكترود المتوضع في القمة إلى إنتاج أفضل الاستجابات (تلك التي لديها أكبر مطال وأفضل شكل موجي وأكبر عدد من القمم الموجبة)،

وتميل التسجيلات من الالكترودات القاعدية إلى أن يكون لها أصغر مطال وأسوأ شكل موجي، وخاصة عندما يكون مستوى التنبيه عند 50% أو أقل من المجال الديناميكي السلوكي behavior dynamic range. علاوة على ذلك فإن زمن الكمون المطلق ل EABR للالكترودات القمية أقصر من الاستجابات للالكترودات المتوسطة والقاعدية. وبالتالي فإن الموقع على طول مصفوفة الكترودات التنبيه يميل إلى التأثير على عتبات EABR، وسيؤدي التنبيه عند الالكترودات القمية إلى عتبات EABR أخفض بشكل ملحوظ مقارنةً بالالكترودات المتوسطة والقاعدية (ينبغي أن يؤخذ ذلك في الاعتبار أثناء تسجيل EABR). [16]



الشكل (3-5) تسجيلات EABR من الكترود قمي ومتوسط وقاعدي (دائماً نستخدم المنبه بذات الشدة)

وكما ذكر سابقاً يمكن إجراء EABR قبل زرع القوقعة، حيث أنه قبل إجراء الزرع يتم إجراء اختبارات سمعية لتحديد الترشيح للأشخاص الذين يعانون من ضعف السمع. وعادةً ما يتم ذلك عن طريق قياس استجابة جذع الدماغ السمعية المحرّضة صوتياً (ABR). لكن لسوء الحظ بالنسبة لبعض الأشخاص لا يمكن الحصول على تسجيل ABR قابل للتكرار reproducible حتى في المستويات الصوتية العالية. وبما أن وجود عصب سمعي محفّز وسليم هو شرط أساسي للحصول على الاستفادة من النبضات الكهربائية التي تولدها الغرسة ومن أجل فهم الكلام، تم دراسة جدوى تسجيل استجابات جذع الدماغ السمعية المحرّضة كهربائياً (EABR) باستخدام الكترود للتنبيه يوضع على بروز النافذة المدورة round window niche عبر غشاء الطبل transtympanic (حيث ثبت أن الموضع الصحيح لرأس الالكترود electrode tip على بروز النافذة المستديرة round window (RW) niche بدلاً من الطنف promontory)، وقد لوحظ أوجه تشابه بين القياسات أثناء العملية الجراحية والشكل الموجي waveforms للموجات المسجلة قبل الجراحة.

ويستخدم اختبار EABR بعد إجراء الزرع في التقييم الوظيفي للنظام السمعي بين وقت تنشيط الغرسة الأولي وبعد استخدام الغرسة المتكرر ، وبما أنه من الممكن أن يكون للجهاز السمعي المركزي عند البالغين الذين يستخدمون غرسات القوقعة خصائص مختلفة عن تلك الموجودة في الأطفال الذين يستخدمون الغرسات. فمعظم البالغين المستخدمين لغرسة القوقعة أصابهم الصمم بعد التطور السمعي الطبيعي خلال مرحلة الطفولة (الذي عزز بسمع بكتلتا الأذنين)، في حين أن العديد من الأطفال الذين يتلقون عمليات الزرع لديهم أشكال خلقية من الصمم الثنائي، فحدوث الصمم في مرحلة ما قبل اكتساب اللغة يؤدي إلى نقص المدخلات السمعية خلال المراحل التطور المبكرة وبالتالي إلى تعطيل و / أو إيقاف عمليات النضج الطبيعية التي تحدث في الجهاز السمعي المركزي وبالتالي يكون وصولهم إلى المدخلات السمعية فقط من أذن واحدة مزروعة. لذلك تم إجراء دراسة تم فيها مقارنة استجابات EABR للأطفال مع البالغين الذين يستخدمون نفس جهاز (غرسة القوقعة) Nucleus 24 متعدد القنوات (CI24M system) ، ولوحظ أنه لم تكن هناك فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين على t-testing فيما يتعلق بالاختلافات في زمن الكمون latencies لموجات EABR والعتبات. وهذا يشير إلى أنه يتم الاحتفاظ بمرونة plasticity جذع الدماغ السمعي auditory brainstem المحرض كهربائياً عند الأطفال الذين يخضعون لزراعة القوقعة، وبغض النظر عن مدة الحرمان السمعي أثناء الطفولة تبقى مسارات جذع الدماغ brainstem pathways قادرة على الاستجابة للتحفيز الكهربائي.

ويمكن أيضاً استخدام EABR كأحد الإجراءات التي تساعد في تسهيل إدارة القرار للزرع السمعي للأطفال الذين يعانون من قصور العصب القوقعي Cochlear nerve deficiency، حيث يكون أحد الإجراءات التي تساعد بالتنبؤ بنتائج CI مباشرة بعد زرع القوقعة، للتوصية بـ ABI خلال الفترة الحرجة من التطور السمعي (عندما يسبق زرع القوقعة الـ ABI عند المرضى الذين لديهم قصور في العصب القوقعي Cochlear nerve deficiency). [20]

4-3-5 كمونات العمل المركب المحرزة كهربائياً المسجلة من العصب السمعي

Electrically evoked compound action potential recording from auditory nerve

كما ذكر سابقاً توفر الاستجابات السمعية المثارة كهربائياً معلومات عامة عن سلامة العصب السمعي auditory nerve قبل زراعة القوقعة. حيث تثير الإشارة الكهربائية التي يتم توصيلها

عبر الكترود إبري needle electrode يضعه الجراح على الطنف promontory كمونات العمل المركب من ألياف العصب الثامن 8th nerve fibers ومساراتها في جذع الدماغ brainstem والمناطق السمعية العليا higher auditory regions، ويتم حساب متوسط الاستجابات السمعية المثارة كهربائياً لمئات الإشارات. لكن لهذه التقنية عيوب في التقييم من أجل الترشيح لزراعة القوقعة وهي :

- ينشط التنبيه الكهربائي في وقت واحد آلاف من ألياف الأعصاب السمعية auditory nerve fibers، وبالتالي تعكس الموجات المسجلة من فروة الرأس النشاط الفيزيولوجي الكهربائي الواسع الانتشار بدلاً من الإثارة المكانية المنفصلة من قنوات عصبية مختارة selected neural channels.
- مطال الاستجابة صغير ونادراً ما يتجاوز حوالي $1.5\mu V$ ، وغالباً ما يتداخل تشويش الناتج عن العضلات مع هذه التسجيلات وأيضاً عند استخدامه مع المرضى الأطفال يكون الترتين sedation ضرورياً لتحقيق نسبة إشارة للضجيج SNR كافية للكشف عن الاستجابة [20].

لكن منذ عام 1998 توافرت إمكانية القياس عن بُعد لكمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً (ECAP) من العصب السمعي عند المستفيدين من زرع القوقعة تجارياً، حيث تمثل ECAP الاستجابة العصبية لخلايا العقدة الحلزونية spiral ganglion cells التي تبطن الجزء الداخلي من القوقعة (قناة روزنتال Rosenthal's channel) (الموجة الأولى من EABR)، ويمكن قياسها استجابةً للتنبيه الكهربائي بواسطة القياس عن بعد telemetry في CI. و على الرغم من أن جميع الغرسات القوقعية تقيس نفس الاستجابة الفيزيولوجية الكهربائية لكن لكل مُصنّع CI له طريقة قياس خاصة به ومصطلحاته لوصف قياس هذه الاستجابات العصبية: [21, 11, 42]

- القياس عن بعد للاستجابة العصبية Neural Response Telemetry (NRT) من قبل Cochlear (سيدني ، أستراليا) حيث تم تقديمها لأول مرة في عام 1996 وتمت الموافقة عليه من قبل FDA في عام 1998 (برنامج خاص منفصل عن برنامج البرمجة السريري) .

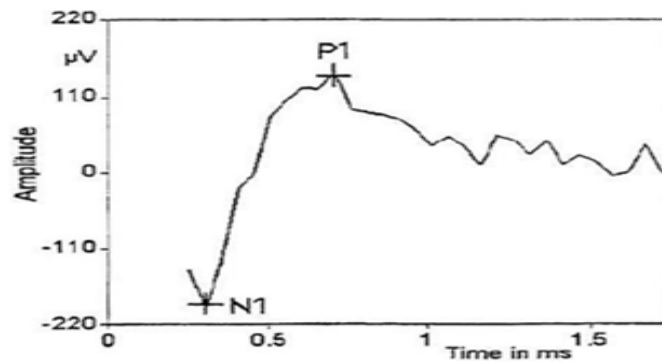
- تصوير الاستجابة العصبية (NRI) Neural Response Imaging من قبل Advanced Bionics (فالنسيا ، كاليفورنيا) تم تقديمها لأول مرة في عام 2001 ، ووافقت FDA في عام 2003 (جزء متكامل من برنامج البرمجة السريري Sound Wave).
- القياس عن بعد للاستجابة السمعية (ART) Auditory Response Telemetry من قبل MED-EL (إنسبروك Innsbruck ، النمسا) تم اعتمادها من قبل FDA في عام 2007 (جزء متكامل من برنامج البرمجة السريري MAESTRO) [11 , 27].

لتسجيل إشارة ECAP له العديد من المزايا المحتملة نذكر منها:

- توفر الثقة بأن التنبيه الكهربائي سيؤدي إلى كمونات العمل action potentials.
- المراقبة الطولية لإشارات ECAP يمكن أن تستخدم لاكتشاف التغيرات في الجهاز السمعي المحيطي.
- تعطي معلومات إضافية مفيدة لضبط الغرسة fitting، وخاصة في الحالات الصعبة.
- للتأكد من سلامة وظيفة غرسة القوقعة والإدخال الصحيح لمصفوفة الالكترود من خلال الحصول على ECAP .
- وتقدم بيانات موضوعية للبحث في عدة مجالات مثل الفيزيولوجيا physiology واستراتيجيات الترميز coding strategies.
- هي واحدة من عدة اختبارات لوظائف الغرسة، فهي تزود بالمعلومات حول تنبيه الأنسجة العصبية neural tissue .
- وتشارك أيضاً في تقدير تفاعل القناة channel interaction ودرجة الحران العصبي neural refractoriness وحالة الجهاز السمعي auditory system status.
- الإلكترودات التي يمكن تضمينها في خريطة البرمجة .
- تساعد في تقدير أفضل السرعات للتنبيه best stimulation speeds [6, 12, 33].

ولهذه الطريقة بعض الميزات مقارنة بـ EABR حيث أنها لا تحتاج إلى الكترودات خارجية موضوعة على سطح الرأس، فهي أقل عرضة للتداخل العضلي myogenic interference وتحتاج إلى عدد أقل من المنبهات ليتم إثارتها. ونظراً إلى أنها تقاس مباشرة من الالكترودات داخل القوقعة ، يميل مطالها إلى أن يكون أكبر من الكمونات الكهربائية الأخرى. لكن يمكن

يكون لمسبب نقص السمع دور في نجاحها مقارنة ب EABR ، على سبيل المثال لقد تبين أنه في الأشخاص الذين يعانون من طيف اضطراب العصبي السمعي (ASND) لا يمكن الكشف دائماً عن استجابات EABR أو أن جودة الشكل الموجي تكون أسوأ مقارنةً بأشخاص ليس لديهم ASND. ومن الممكن أن تؤثر المدة التي عانى فيها الشخص من نقص السمع العميق قبل غرس CI أيضاً ، لأن إصابة القوقعة يمكن أن يؤدي إلى ضمور degeneration خلايا العقدة الحلزونية spiral ganglion و / أو تغييرات في المسارات السمعية بمرور الوقت. وعادةً ما تتشكل موجة ECAP من خلال قمة سالبة (N1) مع زمن كمون من 0.2ms إلى 0.4ms ، تليها قمة موجبة (P2) لها زمن كمون من 0.5ms إلى 0.7ms (حيث يكون مدة الإشارة حوالي 1ms). ويختلف مطال الاستجابة (المقاس بين N1 و P2) مع زيادة شدة التنبيه ويتم قياسه بالميكرو فولت (يتراوح بين 40µV و 2000µV) [17 , 1,27 ,6]



الشكل (4-5) شكل استجابة ECAP

يمكن دراسة العديد من خصائص ECAP:

- تسلسل ازدياد المطال Amplitude growth sequence
- تسلسل استعادة النشاط Recovery sequence
- انتشار الاستثارة Spread of excitation
- زمن الكمون N_1
- ومطال الاستجابة (فرق الجهد من قمم N_1-P_2)
- عتبة ECAP

زمن كمون N_1 : ينخفض زمن الكمون كتابع لزيادة مستوى التنبيه وهذا يحدث ببساطة بسبب الاستثارة الأسرع ولا يكون لهذا علاقة بالصحة العصبية لموقع الاستثارة.

مطال الاستجابة: اتضح أن مطال استجابة ECAP أو الموجة الأولى من EABR (نقاس عادة على مستوى التنبيه العالي) تعكس إلى حد كبير وظيفة أو صحة الخلايا العصبية التي تم تنبيهها.

عتبة ECAP: ذكر DeVries وزملاؤه 2016 أن عتبات ECAP (وليس المطال) ترتبط بشكل كبير بموقع الالكترود داخل القوقعة (على سبيل المثال المسافة بين الالكترود والعماد)، وبالتالي فإن موضع الالكترود يتعلق بشكل كبير في قياس عتبة ECAP بينما القياسات التي تسجل عند مستويات تنبيه عالية تعكس (ولو بشكل جزئي) الصحة العصبية. [42]

تسلسل استعادة النشاط Recovery sequence : إحدى طرق تقييم قدرة المعالجة الزمنية للعصب السمعي لمستخدم CI هي قياس خصائص الحران refractory properties للعصب السمعي، أي تابع استرداد نشاط العصب السمعي recovery function of the auditory nerve (REC)، فزيادة المدة الفاصلة بين النبضات IPG يؤدي إلى انخفاض في عتبات الألياف العصبية السمعية وانخفاض بعتبات الكشف الفيزيائية النفسية psychophysical detection thresholds ويمكن أن تسبب زيادة في إدراك علو الصوت loudness perception (عندما تكون جميع بارامترات التنبيه الأخرى ثابتة)، علاوة على ذلك يعتقد أن تأثيرات IPG على استجابة ECAP تعتمد على خصائص الغشاء membrane، وبالتالي تعكس خصائص الاستجابة الزمنية temporal response للعصب السمعي [6, 42].

تسلسل ازدياد المطال Amplitude growth sequence يتمثل مفهوم تسلسل ازدياد المطال في تقسيم الحد الأقصى لمستوى التنبيه المقدم لكل قناة إلى عدة مستويات تصاعدية، و من الناحية النظرية سوف تزيد الاستجابة السمعية بقدر زيادة التنبيه. لكن إذا كانت الإشارة المقاسة عبارة عن تشويش صناعي فسيكون مستقلاً عن ازدياد مستوى التنبيه. ويتعلق تسلسل ازدياد المطال ل ECAP بكثافة عصبونات العقدة الحلزونية SGN.

لكن هناك بعض الأمور التي تقيد استخدام قياسات ECAP لتقييم الصحة العصبية ، أحدها يتمثل في أن الكمونات المسجلة ستتأثر بالمتغيرات بين الخلايا العصبية والكترود التسجيل، حيث يمكن أن تختلف المسافة بين الخلايا العصبية والالكترودات، وكذلك خصائص النسيج بين

الخلايا العصبية والالكترودات (الأنسجة الليفية والعظام الجديدة) على طول مصفوفة الالكترود، وبالتالي تؤثر على تسجيل ECAP. وبالتالي قد تبين خصائص معينة من ECAP التي ثبت أنها مرتبطة بكثافة SGN (على سبيل المثال مطال القمة وميل AGF) دلالات أخرى بالإضافة إلى السلامة العصبية. لكن ليس من المستحيل وصف جميع الظروف التي تؤثر على مسارات التيار بين الخلايا العصبية والالكترودات التسجيل، حيث يمكننا مثلاً تقدير بعض هذه الظروف من متابعة الممانعة impedances للالكترودات، فعلى سبيل المثال قد تعكس ممانعة impedances الالكترودات العالية تراكم أنسجة كثيفة (الأنسجة الليفية أو العظم الجديد) بالقرب من الكترود التسجيل مما يؤدي إلى انخفاض استجابة ECAP. ودراسة كيفية تغير خصائص ECAP هذه مع زيادة IPG قد توفر طريقة لتقدير السلامة العصبية أقل تأثراً بالظروف بين الخلايا العصبية و الالكترودات. فمن المفترض أن يتأثر تابع ازدياد ECAP (الميل أو المطال الأعظمي) لفترات قصيرة وطويلة من IPGs بالظروف القريبة من الكترود التسجيل بطريقة متماثلة وسوف تلغى هذه الآثار عند حساب الفرق بين تابعي الازدياد في موقع تسجيل محدد. [42,27]

انتشار الاستثارة Spread of excitation: فكرة تسجيلات انتشار الاستثارة (SOE) هي تقدير المناطق داخل القوقعة intracochlea التي تثيرها الكترودات التنبيه بشكل فردي. ويتم التعبير عن هذا عادةً كمسافة على طول مصفوفة الالكترود، وهو أيضاً مقياس لتفاعل القناة channel interaction. وهناك طريقتين لتسجيل انتشار الاستثارة: الطريقة الأولى تسمى FSVR ("تسجيل متغير لمنبه الثابت fixed stimulus variable recording") ؛ هنا يتم فصل الكترود التسجيل بطريقة تدريجية عن الكترود التنبيه أما الطريقة الثانية VMFR (التسجيل الثابت لتشويش متغير variable masker fixed recording) [8].

مقارنة بين الطريقتين:

الطريقة الأولى: وهي تقوم على مبدأ تثبيت موقع المنبه وتغيير موقع الكترود التسجيل بشكل منتظم. وينتج عن هذه الطريقة قياساً رديئاً للانتشار المكاني للاستثارة العصبية، مما يعكس على الأرجح انتشار حجم الجهد المرتبط بالتفريغ العصبي بالقرب من الكترود التنبيه أي يتم انتشار الجهد الناتج عن استجابة ECAP على طول القوقعة. وعادة ما يتم الحصول على أكبر مطال ECAP لالكترود تسجيل بالقرب من الكترود التنبيه، مع انخفاض تدريجي في المطال مع ابتعاد موقع الكترود التسجيل عن التنبيه، لكن في بعض الحالات يمكن أن يحول التشويش الصناعي

stimulus artifact الزائد (الناتج عن المنبه) دون قياس ECAP إذا كان الكترود التسجيل قريباً جداً (أو مجاوراً) من الكترود التنبيه. وكما ذكر Abbas وزملاؤه 1999 أنه لدى مستخدمي الغرسة Nucleus 24M كان مطال ECAP متساوي عندما كان الكترود التسجيل على نفس البعد من الكترود التنبيه بالاتجاه القاعدي أو الاتجاه القمي، لكن في المقابل Frijns وزملاؤه 2002 ذكروا أن استجابة ECAP كانت أكبر عندما كان الكترود التسجيل قميّاً بالنسبة للكترود التنبيه عند مستخدمي الزرعة القوقعية لشركة Advanced Bionics، وفسروا ذلك بشكل القوقعة حيث يتناقص المقطع العرضي لها باتجاه القمة وهذا ما يجعل الكترود القمي أقرب إلى العماد .modiolus.

الطريقة الثانية: الطريقة الأكثر دقة لتقييم أنماط الاستثارة العصبية المكانية ECAP ، وهي تستخدم نموذج الطرح بالتشويش المباشر حيث يتم توصيل نبضة السبر إلى الكترود ثابت ويتنوع التشويش بشكل منتظم عبر الكترودات المتبقية في المصفوفة. ويعكس التغير في مطال ECAP كتابع لموقع التشويش التداخل النسبي للمجموعات العصبية التي تمت إثارتها بواسطة التشويش ونبضات السبر. أي عند استخدام طريقة الطرح يحدث المطال الأعظمي لل ECAP عندما يتم تطبيق التشويش والسبر على الكترود ذاته (تداخل أعظمي) ويتناقص المطال كلما ابتعد التشويش عن الكترود السبر (المطال صفر يعني أنه لا يوجد تداخل قابل للقياس أي لا يوجد تفاعل interaction بين منبه التشويش ومنبه السبر). وعند مقارنة الطريقتين تميل أنماط الانتشار المكاني spatial spread إلى أن تكون أوسع من التشويش المكاني spatial masking. وتجدر الإشارة إلى أنه تم اختبار تأثير مستوى التنبيه على أنماط الانتشار المكاني spatial spread (SS) و التشويش المكاني spatial masking (SM) لمجموعات صغيرة نسبياً من مستخدمي CI لكن كانت النتائج متفاوتة، فذكر Havens وزملاؤه عام 2003 أن أنماط SS كانت متماثلة عند مستويات التنبيه العالية والمتوسطة والمنخفضة لعدد غير معن عنده من الأشخاص (من مستخدمي جهاز Clarion CI)، في المقابل ذكر Cohen وزملاؤه 2004 أنه كان هناك آثار كبيرة لمستوى التيار ل 6 من 12 الكترود لدى أربعة أشخاص مستخدمي للغرسة Nucleus 24M (حيث ذكر التفصيل لشخص واحد فقط ، والذي كان لديه أنماط أوسع عمومًا عند مستويات التنبيه الأعلى). أما بالنسبة لأنماط SM فذكر Abbas وزملاؤه 2004 (الأشخاص الخاضعين للدراسة من مستخدمي Nucleus 24M) وأيضا Eisen و Franck 2005 (الأشخاص الخاضعين للدراسة من مستخدمي Advanced Bionics CI و Nucleus 24 devices) أن

هؤلاء الأشخاص أظهروا أنماطاً أوسع عند المستويات الأعلى، وبالمقابل ذكر Cohen وزملاؤه 2004 أنه لا يوجد تأثير كبير لمستوى التنبيه على عرض انتشار SM عند 50% من مطال القمة peak amplitude لمستويين مختلفين (80% و 50% من علو الصوت لمستوى الراحة الأعظمي) لأشخاص مستخدمين ل Nucleus 24M. ولم يعثر Cohen على أي ارتباطات مهمة لبارامترات SOE مع أداء الكلام [8, 22].

1-4-3-5 اختلاف كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً تبعاً لموقع التنبيه داخل القوقعة:

Electrically evoked compound action potentials are different depending on the site of cochlear stimulation

يشير العديد من الباحثين إلى أن الالكترودات القمية تثير استجابة ECAP أكبر، وبالتالي هذا يؤدي إلى افتراض أن هناك بقاءً عصبيّاً أكبر في قمة القوقعة. وتشير دراسات أخرى أيضاً إلى أن مطال ECAP يصبح أصغر كلما كان الكترود التسجيل أبعد الكترود التنبيه. ومع ذلك فليس من المعروف تماماً ماهي العوامل التي يمكن أن تؤثر على الاختلافات في إشارات ECAP على طول القوقعة. وكما ذكر Brill وزملاؤه (2009) أن العديد من الدراسات قد اقتصرت على المدى الذي تم تنبيهه من طول القوقعة، وبالتالي لا يمكن الاستقصاء عن تأثير التنبيه في قمة القوقعة وذلك لأن العديد من الدراسات تستخدم مصفوفة الكترود ذات طول محدود و لأن طول القوقعة يختلف اختلافاً كبيراً بين الأفراد [45].

2-4-3-5 العلاقة بين انتشار الاستثارة العصبية والقياسات الفيزيائية النفسية

relationship between Spread of neural excitation and psychophysical measurement

يمكن قياس انتشار الاستثارة العصبية Spread of neural excitation داخل القوقعة باستعمال كمون العمل المركب المحرض كهربائياً (ECAP) عند متلقي زرعة القوقعة (CI)، باستخدام نموذج التشويش المباشر forward-masking paradigm. حيث حاولت العديد من الدراسات الحديثة ربط أنماط ECAP بالمقاييس النفسية الفيزيائية psychophysical لتقييم استخدام ECAP كمؤشر محتمل للنتائج الإدراكية perceptual لمستخدمي الغرسة القوقعية، مثل التشويش المباشر النفسي الفيزيائي psychophysical forward masking أو تصنيف الإلكترود حسب النغمة المدركة الناتجة عن تنبيهه electrode pitch ranking. لكن إحدى الصعوبات لمقارنة ECAP والقياسات النفسية الفيزيائية هي أن المنبهات المستخدمة تكون مختلفة بين القياسين. فيتم

استخدام نبضات مفردة لتوليد أنماط الإثارة لل ECAP ، في حين تستخدم سلسلة النبضات بشكل شائع في التشويش المباشر النفسي الفيزيائي أو تصنيف الكترود حسب النغمة المدركة الناتجة عن التنبيه pitch ranking ، لذلك من المحتمل أن تكون مستويات التيار المستخدمة لاستخراج ECAP والقياسات النفسية الفيزيائية مختلفة ، بسبب الاختلاف في التكامل الزمني temporal integration وإدراك علو الصوت loudness percepts بين نوعي المنبهات. علاوة على ذلك يتم تسجيل ECAPs من الكترود داخل القوقعة والذي يقع عادة بالقرب من الكترود التنبيه، وقد أظهرت الدراسات السابقة أن موقع الكترود التسجيل يؤثر على مطال ECAP المقاس في حين أن القياسات النفسية الفيزيائية لا تؤثر عليها هذه القضية. لذلك من المهم أن نفهم كيف تؤثر بارامترات التنبيه والتسجيل على أنماط ECAP ، خاصة إذا كانت قياسات ECAP مرتبطة بالقياسات الإدراكية. [22]

3-4-3-5 استخدام كمونات العمل المركب المحرض كهربائياً لضبط الغرسة القوقعية

Use of Electrically Evoked Compound Action Potentials for Cochlear Implant Fitting

عند ضبط الغرسة القوقعية يتم تعيين العتبة السلوكية (T) والمستويات السمعية ذات الراحة الأعظمية (C-level / M-level / MCL) ، والمصطلحات تختلف حسب الشركة المصنعة) لكل اتصال الكترودي electrode contact من مصفوفة الكترود. (سيتم الإشارة إلى هذه المستويات على أنها المستويات T و C على التوالي) و نظراً للتغيرات الواضحة داخل القوقعة (على سبيل المثال التليف fibrosis داخل القوقعة) وتكيف المريض مع الغرسة، تكون المستويات T و C عرضة للتغيير خلال الأشهر القليلة الأولى بعد الزرع أو تدريجياً طوال دورة حياة الغرسة life cycle of an implant . لذلك من الضروري ضبط fit الغرسة القوقعية بشكل دوري و غالباً ما تستغرق عملية الضبط وقتاً، ويفضل أن يتم ذلك بواسطة أخصائي السمع ذي الخبرة. لذلك يمكن تلخيص ميزات عتبات ECAP عند استخدامها في التركيب في النقاط التالية:

- بالنسبة للبالغين تقع عتبات ECAP أيضاً بشكل عام بين مستوى T ومستوى C ، لكن عند ما يقارب ثلث هذه الفئة قد تتجاوز عتبات ECAP مستوى C .
- في كثير من الحالات تقع عتبات ECAP لجميع الكترودات للشخص ذاته ضمن النسبة المئوية نفسها (تقريباً) من المجال الديناميكي dynamic range لخريطة البرمجة.
- بالنسبة للبالغين ، تقترب عتبات ECAP من مستوى MAP MCL [11 ,27]

وكما ذكر Vaerenberg وزملاؤه ب 2014 أن طريقة الضبط المطبقة تختلف بين مراكز CI وحتى بين أخصائيي السمع audiologists وأنه لا يوجد معيار ذهبي لضبط CI، فملف الضبط الشخصي الواقعي actual fitting profile هو نتاج كل من أخصائي السمع و المريض المستخدم للغرسه القوقعية حيث يجب على المريض الاستجابة للمنبهات المقدمة. ومع ذلك لا يمكن لجميع مستفيدي CI الاستجابة بشكل مناسب، وخاصة الأطفال الصغار وكبار السن (بسبب التدهور الإدراكي cognitive decline مثلاً) أو المرضى الذين يعانون من المشاكل العقلية mentally challenged. وبالتالي قد يكون الضبط دون المستوى الأمثل، مما قد يؤدي إلى إدراك محدود للكلام أو تأخر في تطور اللغة عند الأطفال . فمنذ ظهور CIs الحديثة مع القياس عن بعد telemetry، ركزت الأبحاث السريرية على استخدام كمونات العمل المركبة المحرصة كهربائياً (ECAP) لضبط fitting الغرسه كمضاف أو بديل للضبط السلوكي. وقد تمت دراسة جدوى هذا النهج على نطاق واسع في العقود الماضية مع نتائج متناقضة وقد تمت دراسة جدوى هذا النهج على نطاق واسع في العقود الماضية مع نتائج متناقضة. كان إحداها مراجعة منهجية لمجموعة من الدراسات كان الهدف منها تقييم ما إذا كان يمكن استخدام ECAPs لأغراض ضبط CI، حيث سلطت المراجعة الضوء على الكثير من الاعتبارات التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار لإنشاء دراسة تقييم بشكل حقيقي جدوى هذا النهج من خلال تسليط الضوء على الثغرات الموجودة بالدراسات السابقة . كان منها أن الدراسات التي تم استعراضها تم فيها تحليل العلاقة بين ECAP والعتبات السلوكية في الغالب باستخدام بيانات مجمعة في حين أن العلاقة الفردية ضرورية للاستقصاء في الضبط القائم على ECAP، حيث يمكن أن يكون الارتباط الجماعي مختلفاً نوعياً عن الارتباط داخل الفرد. مع العلم أن التحليل Meta-analysis (إجراء التحليل عن طريق دمج النتائج من عدة أبحاث مستقلة) لهذه الدراسات كشف عن وجود علاقة مجمعة pooled ضعيفة بين عتبات ECAP وكلا مستويات T و C السلوكية ($r = 0.58$ و $r = 0.61$ ، على التوالي).

كما ناقشت المراجعة المنهجية مجموعة من الاعتبارات الأخرى كان أهمها أن معظم الدراسات لم توضح بالتفصيل الاستراتيجية المطبقة، بالتالي من غير المعروف ما إذا كانت نتائج الدراسات المختلفة تستند إلى بيانات قابلة للمقارنة. فوجد العديد من الاختلافات بسبب الشركات المصنعة والبرمجيات المستخدمة وخصائص القياس وخبرة أخصائي السمع ومراكز CI. وبالتالي من المحتمل أن تؤثر الاختلافات المنهجية التي تمت مواجهتها على مستويات الضبط الفعلية

وبالتالي على الارتباط. كما أنه من غير المعروف ما إذا كانت أجهزة CI وبرامج الضبط الحالية تؤدي وظيفة أفضل من الإصدارات السابقة وبالتالي تحسين العلاقة، لكن الدراسات الأحدث لم تظهر علاقة أفضل بين ECAP والقياسات السلوكية.

أما معدل التنبيه المطبق فيمكن أن يؤثر على الارتباط، حيث أنه يتم قياس مستويات الضبط السلوكية بشكل روتيني في سلسلة من النبضات ذات المعدل العالي (250HZ-3500HZ) بينما يتم إجراء القياس عن بُعد المعتمد على ECAP بمعدلات أقل بكثير (من 35HZ إلى 80HZ). وبالتالي من غير المحتمل أن يتم دمج عتبات ECAP ذات المعدل المنخفض مع مستويات الضبط السلوكي عالية المعدل.

كما ذكرت المراجعة أنه ينبغي أخذ الخطأ بالقياس بعين الاعتبار لتفسير الاختلافات بشكل صحيح، ولم ترد أي دراسة ضمن المراجعة تتضمن خطأً في قياس ECAP والقياسات السلوكية. وهذا يؤثر طبعاً على الارتباطات المقدمة خلال الدراسة وبالتالي من المحتمل أن وجود خطأ في القياس يمكن أن يؤدي إلى قياسات أفضل ويمكن أن يعزز قابلية استخدام ECAP في الممارسة السريرية.

أخيراً كان هناك دراسات عديدة ضمن المراجعة توضّح احتمالية أن يكون الاداء الكلامي speech performance مقياساً أفضل للنتائج لتقييم الضبط المعتمد على ECAP مقارنة بمستويات T / C السلوكية. بالتالي معظم الدراسات التي تمت مراجعتها ليست هي الأفضل للإجابة على هذا التساؤل ونحن بحاجة لدراسات تُبنى على كل الاعتبارات السابقة للتقييم والإجابة المنطقية [11].

5-3-4-4 غياب كمونات العمل المركبة المحرّضة كهربائياً أثناء العمل الجراحي:

Absence of Electrically Evoked Compound Action Potentials Intraoperative

في بعض الحالات التي لا تظهر ECAP أثناء الجراحة، لكن عدم وجودها لا يعني بالضرورة أن غرسة القوقعة قد تعطلت وأن المريض لن يسمع. فقد تؤثر بعض المشكلات عليها، مثل أن تغطي فقاعات الهواء اتصالات الالكترود حيث أن فقاعات الهواء الكبيرة يمكن أن تمنع الاتصال الكهربائي (تتلاشى هذه الفقاعات بعد ساعات قليلة من الإدخال للغرسة). إضافةً أنه يمكن أن يؤثر التشويش الصناعي المفرط سواء في بيئة التسجيل أو المتعلق بالتنبيه على جودة ECAP أو حتى على الكشف عنها. أما التلف الشديد أو الخلل الوظيفي dysfunction في العصب السمعي

هو تفسير بعيد أو غير مرجح- لكن محتمل - لعدم وجود ECAP أثناء العملية مباشرة بعد زرع القوقعة (قد يكون احتمال هذا التفسير لعدم القدرة على اكتشاف ECAP أعلى في مجموعات مرضى معينة ، مثل الاعتلال العصبي السمعي). وفي بعض الحالات التي تغيب بها ECAP يُتوقع أن يؤدي التنبيه المستمر إلى ظهور استجابة عصبية ، والتي قد تكون مرتبطة بالتزامن للألياف العصبية.

تشير دراسة أجريت على 51 طفل كانت أعمارهم عند إجراء الزرع من 11 إلى 187 شهراً، وقد تم قياس (NRT) ECAP أثناء العمل الجراحي وبعده بستة أشهر للالكترودات 1 ، 6 ، 11 ، 16 ، 22 ، وأظهرت النتائج أن 21% من الأطفال غابت لديهم NRT أثناء العمل الجراحي و بعد 4.9 أشهر من التنبيه المستمر ظهرت الاستجابات في 45% ممن لم تظهر لهم استجابات أثناء العمل الجراحي. وبالتالي هذه النتيجة تؤكد إمكانية ظهور الاستجابة بعد الاستخدام المستمر لل CI ، وهذا قد يرتبط بفرضية أن التنبيه الكهربائي يسبب تغيرات بنشاط المشابك synaptic activity ويدعم التغذية العصبية neurotrophic support للأعصاب السمعية. ونتيجة لهذا يُعتقد أن تزامن الألياف العصبية يصبح أكثر كفاءة بسبب الطريقة التي ينشط بها التنبيه الخلايا العصبية الأولية primary neurons. مع العلم أنه في هذه الدراسة لم يظهر لعمر الزرع وطول فترة الصمم تأثير كبير على غياب NRT أو على ظهور الاستجابة في أي وقت لاحق، لكن أوصي بإجراء دراسات مماثلة على البالغين لتحليل العلاقة المحتملة بين العمر عند الزرع أو طول مدة الصمم و غياب استجابات ECAP أثناء وبعد العملية الجراحية. أما بالنسبة لأسباب فقدان السمع فلأسباب الغير معروفة كان سائدة في الدراسة وبسبب قلة عدد الأشخاص الذين لم تظهر لديهم استجابة NRT لم يتم تأكيد النتائج التي تم ذكرها في الدراسات السابقة والتي تشير إلى انتشار لعدم ظهور الاستجابة على جميع الالكترودات في الظروف التصليبية ossifying (التهاب السحايا meningitis وتصلب الأذن otosclerosis)، ويعزى ذلك لأنه في هذه الدراسة تم تحليل حالات الأطفال فقط ومن المعروف أن مرض تصلب الأذن otosclerosis يتواجد في الغالب عند البالغين. وتجدر الإشارة إلى أنه تم تحليل الاستجابة فقط عند الأطفال الذين لديهم قياس الممانعة عن بعد impedance telemetry ضمن المعدل الطبيعي (أعلى من 0.7 كيلو أوم وأقل من 20 كيلو أوم) ، وبالتالي تم تجنب أن تصبح سلامة سلسلة الالكترودات متغيراً محدداً في تسجيل استجابات NRT. ولُوحظ وجود ميل لغياب الاستجابة عند مستويات التيار الأعلى عند الالكترودات القاعدية، وهو ما يتوافق مع الدراسات السابقة. فقد يرتبط هذا الغياب مع موضع

الالكترودات على اللفة القاعدية basal turn ، والتي تكون أكثر بعداً عن العماد modiolus وهذا يؤدي إلى الحاجة إلى مستويات أعلى من الطاقة عند هذه المنطقة. وأشارت دراسات أخرى إلى وجود علاقة بين البقايا السمعية والحاجة إلى مستويات أقل من التيار للحصول على استجابة ، مما قد يفسر الحاجة إلى مستويات أعلى من الطاقة في الالكترودات القاعدية (منطقة ذات بقايا سمعية أقل) وبالتالي يمكن أن يكون اختبار ECAP أداة مفيدة في الممارسة السريرية لدراسة عودة التكيف readaptation واسترداد نشاط recuperation الألياف العصبية القوقعية بعد التنبيه المستمر [12, 20]

5-4-3-5 العلاقة بين كمونات العمل المركب المحرض كهربائياً وموقع مصفوفة الالكترود

relationship between Electrically Evoked Compound Action Potential and electrode array

من الناحية النظرية يعد التوضع الأنسي لالكترودات غرسة القوقعة على مقربة من الألياف العصبية السمعية auditory nerve fibers وخلايا العقدة الحلزونية spiral ganglion cells ضمن العماد modiolus الأفضل لأداء غرسة القوقعة. حيث يرتبط هذا التفكير بالشك في أن الاختلافات في المسافة بين الالكترود والألياف العصبية هي عامل رئيسي في التباين في أداء غرسة القوقعة بين المرضى ، وحتى بين الالكترودات لمريض واحد. [20]

5-4-3-6 انخفاض عتبة كمونات العمل المركب المحرض كهربائياً بعد العمل الجراحي

Drop Threshold Electrically Evoked Compound Action Potential postoperative

كشفت الأبحاث السابقة عن تموج fluctuation ضئيل في عتبات كمونات العمل المركب المحرصة كهربائياً (ECAP) على مدى فترة من خمس إلى ست سنوات بعد زراعة القوقعة (CI). لكن من المقبول عمومًا أن قياس ممانعة impedance الالكترود (وبالتالي عتبة ECAP) لن يستقر خلال الأيام الأولى أو حتى الأسابيع التالية للعملية الجراحية. حيث يُعتقد أن هذا يرجع في الغالب إلى العمليات الفيزيولوجية المستمرة المتعلقة بزرع جسم غريب في القوقعة والشفاء من الرض trauma المرتبط بعملية الزرع [9] .

5-3-4-7 تغير كمونات العمل المركب المحرض كهربائياً بين البالغين والأطفال

variation Electrically Evoked Compound Action Potential between Adults and Children

أظهرت الدراسات اختلافاً في العتبة ومنحني تابع ازدياد المطال لموجة ECAP بين الأفراد وأيضاً حسب المسببات المختلفة للصمم. فمن المفترض أن نجد اختلافات في الاستجابات عند الأطفال مقارنة مع البالغين بسبب عدة عوامل مثل مدة الصمم ونضج maturation المسارات السمعية وغيرها. فقد ذكر أن الجهاز السمعي البشري يصل إلى مرحلة النضج maturity بين السنة الأولى والثالثة من العمر، وبالتالي ضمن هذا السيناريو سيخضع الأطفال الذين أُجري لهم زرع القوقعة لتتبيه الكهربائي لمسارات سمعية غير ناضجة بينما سيخضع البالغين لتتبيه كهربائي لمسارات ناضجة بالفعل. ومن ناحية أخرى قد يكون لدى البالغين فترات طويلة من الصمم مقارنة مع الأطفال، حيث يتعرضون لدرجات متفاوتة من الضمور العصبي nerve degeneration في المسارات السمعية بسبب قلة التتبيه وبالتالي يمكن الاستفادة من قياس كمونات العمل المركب المحرّضة كهربائياً عند أطفال أُجري لهم زراعة قوقعة ثنائية الجانب (خلال السنة الأولى من المتابعة) في إظهار التطور الثنائي المتزامن للمسارات السمعية المحيطية [7,6].

5-3-4-8 فصل كمونات العمل المركب عن التشويش الصناعي الناتج عن المنبه

separating Electrically evoked compound action potential from stimulus artifact

نظراً لأن ECAP يمثل كموناً محرضاً له زمن كمون مبكر early-latency ، فهناك تحديات مرتبطة بفصله عن التشويش الصناعي الناتج عن التتبيه stimulus artifact، وبالتالي هناك طرقاً مختلفة لفصل الاستجابة العصبية عن التشويش الصناعي الناتج عن المنبه. وهما طريقة الطرح والتي تستغل خصائص الحران refractory properties بالعصب السمعي ، وطريقة التناوب بقطبية التتبيه alternating stimulus polarity وهي على غرار تلك المستخدمة سريرياً لاختبار الاستجابة السمعية لجذع الدماغ (ABR). وبالتالي من المفيد أن نفهم كيف تعمل كل طريقة من طرق تقليل التشويش الصناعي هذه من أجل اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن تحسين بارامترات التتبيه والتسجيل وتفسير النتائج.

طريقة الطرح The Subtraction Method

هناك أربعة مراحل conditions لتطبيق المنبه بطريقة الطرح:

منبه السبر probe stimulus لوحده ثم منبه التشويش masker stimulus يليه السبر ثم منبه التشويش masker stimulus وبشكل وحيد وأخيراً نبض التيار الصفري zero-current pulse لقياس التشويش الصناعي للنظام.

وللتبسيط فإن أول مرحلتين هما الأكثر أهمية لفهم كيفية عمل هذه الطريقة. ففي حالة السبر وحدها (الحالة ١) ، يقوم السبر probe بجعل الألياف العصبية السمعية تستنفر recruits. حيث يحتوي الشكل الموجي المقاس على استجابة عصبية وكذلك على التشويش الصناعي للمنبه أما في حالة التشويش والسبر (المرحلة الثانية) يقوم منبه التشويش masker stimulus بجعل ذات الألياف العصبية تستنفر كما في المرحلة الأولى (إذا تم تقديم المنبهات على ذات الالكترود وبذات المستوى) بعد ذلك يتم تقديم منبه السبر بعد فترة وجيزة من منبه التشويش (عادةً بعد 0.5ms) ، خلال فترة الحران refractory period لتلك الألياف ونتيجة لذلك ، يتم تسجيل تشويش صناعي stimulus artifact للمنبه فقط (لا استجابة عصبية) لمنبه السبر في المرحلة ٢. فإذا تم طرح الاستجابة لمنبه السبر في المرحلة ٢ (تشويش صناعي فقط) من الاستجابة لمنبه السبر في المرحلة ١ (أي الاستجابة العصبية والتشويش الصناعي) ، فإن الاستجابة العصبية لمنبه السبر يمكن عزلها عن التشويش الصناعي. ثم يتم تطبيق الطرح والحساب على آخر مرحلتين للتنبية. ونظرًا لأن طريقة الطرح تستخدم نموذج تنبيه من ٤ خطوات ، فهناك بعض بارامترات منبهة وتسجيلية التي يمكن معالجتها لتحسين التسجيلات، والتي لا تتوفر أو غير ضرورية مع طريقة التناوب بالقطبية alternating polarity. البارامتر الأول هو تأخير التسجيل. (الفترة الزمنية التي يتحكم فيها المستخدم بين مقدار إزاحة نبضة السبر وبداية تسجيل الاستجابة) (Dillier وآخرون 2002) فإذا كان تأخير التسجيل قصيرًا جدًا، فسيظهر الكثير من التشويش الصناعي في الاستجابة المسجلة. أما إذا كان تأخير التسجيل طويلًا جدًا ، فلن تثبت (not be resolved) الذروة السلبية، مما يجعل من المستحيل قياس المطال ECAP من الذروة إلى الذروة. البارامتر الثاني لطريقة الطرح هي تقدّم التشويش masker advance (MA) عن السبر أو الفاصل بين النبضات (IPI) inter-pulse interval. أي الوقت الفاصل بين مقدار إزاحة التشويش

وإزاحة السبر في مرحلة التشويش + السبر . فالقيمة الافتراضية لـ IPI هي 0.5ms، حيث تبين أن هذا هو التأخير الزمني الأمثل حيث تكون معظم ألياف العصب السمعي تماماً ضمن فترة الحران refractory period. (Brown و Abbas ، 1990 ، Brown و Abbas و Gantz 1990-1998 ، Brown و Abbas و Miller 2000). لكن بالنسبة لقياسات ECAP السريرية الروتينية، لا يتم تغيير IPI عموماً إلا إذا كان المستخدم يقيس تأثيرات IPI على وجه التحديد (على سبيل المثال ، لاختيار معدل التنبيه السريع مقابل البطيء لاستراتيجية معالجة معينة) (Shpak و Berlin و Luntz ، 2004).

طريقة التناوب بالقطبية The Alternating Polarity Method

يتم استخدام طريقة التناوب بالقطبية بشكل روتيني في اختبار ABR السريري، وباستخدام هذه الطريقة يتم قياس الاستجابات للنبضات ثنائية الطور (الاتجاه السالب negative-leading (المهبطي cathodic) والاتجاه الموجب positive-leading (المصعدي anodic)). وكما نعلم أنه مع الكمونات المحرصة صوتياً، فإن تبديل قطبية المنبه يؤدي إلى تبديل قطبية التشويش الصناعي. ومع ذلك فإن قطبية الاستجابة العصبية تبقى كما هي. واعتماداً على حساب المعدل averaging للاستجابات من كلا القطبيتين فإن معظم التشويش الصناعي للمنبه يلغى وتبقى الاستجابة العصبية . لكن هناك عقبة واحدة لهذه الطريقة وهي أن المطال وزمن الكمون لل ECAP يختلف في التنبيه الكهربائي المصعدي مقابل التنبيه الكهربائي المهبطي (Miller وآخرون 1998) وبالتالي قد يكون معدل averaged مطال الاستجابة وشكلها morphology مختلفاً تماماً عن كل قطبية لوحدها. نتيجة لذلك يميل متوسط الشكل الموجي waveform لطريقة القطبية المتناوبة إلى أن يكون أصغر بكثير من ذلك الناتج مع طريقة الطرح [21]

الفصل السّادس

تأثير بعض بارامترات التنبيه الكهربائي على خصائص الاستجابة الزمنية
للعصب السمعي عند مستخدمي الغرسة القوقعية

**Effect of some electric Stimulus parameters on the
Temporal Response Properties of the Auditory Nerve in
users of Cochlear Implant**

1-6 مقدمة Introduction:

من غير الممكن إجراء تقييم مباشر لمدى تحسين التنبية الكهربائي للتزامن العصبي neural synchrony والتوصيل العصبي neural conduction على مستوى العصب السمعي لدى البشر، لكن يمكن الحصول على معلومات مفيدة تعكس خصائص الاستجابة العصبية هذه عن طريق قياس كمونات العمل المركب المحرزة كهربائياً (ECAP). وبما أن ECAP يمثل انقراض متزامن لمجموعة من الألياف العصبية السمعية المحفزة كهربائياً بالتالي باستخدام نماذج تنبيه مختلفة يمكن أن توفر نتائج قياسات ECAP معلومات حول العديد من جوانب خصائص الاستجابة الزمنية temporal response للعصب السمعي بما في ذلك الحران refractory والاسترداد recovery والتكيف adaptation والتوصيل العصبي neural conduction. [26]

2-6 معدل التنبية الكهربائي و خصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي:

Electrical Stimulus Rate and Temporal Response Properties of the Auditory Nerve

يمكن التغيير بالعديد من بارامترات التنبية لمعالج الكلام لتحسين إدراك الكلام عند المرضى المستخدمين لغرسة القوقعة، إحدى هذه البارامترات التي ثبت أنها تؤثر على الأداء هي المعدل الذي يحفز به كل الكترود العصب السمعي (Friesen وزملاؤه 2005) ولسوء الحظ لا يوجد معدل واحد يمكن وصفه بأنه الأفضل لجميع المستخدمين للغرسة القوقعية ، ولا توجد حالياً طريقة موضوعية للتنبؤ بمعدل مثالي على أساس فردي. وبالتالي لابد من التجربة للحصول على المعدل المثالي فمن الممكن أن تساهم الاختلافات في الاستجابات الزمنية للأعصاب السمعية بين الأفراد في اختلاف الأداء مع معدلات التنبية المختلفة [25]

ويتم اختبار الخصائص الزمنية لاستجابة العصب السمعي عادة باستخدام نماذج تنبيه متعددة النبضات والتي يطلق عليها نموذج تشويش- سبر masker-probe paradigm أو نموذج النبضات المزدوجة paired-pulse paradigm حيث تبدأ فترة الحران refractory period للخلايا العصبية السمعية عندما يتم توليد كمونات العمل ويتم تقسيم فترة الحران إلى فترة حران مطلق absolute refractory period وفترة حران نسبي relative refractory period فخلال فترة الحران المطلق لا تستجيب الخلايا العصبية لمنبه السبر وبالنسبة للبشر الذين تم إجراء زرع القوقعة لهم يمكن تقدير هذه الفترة بناءً على قياسات كمون العمل المركب المحرض كهربائياً وهذه الفترة

تستمر حوالي 400ms (Boulet وزملاؤه 2016) وتتبع فترة الحران المطلق فترة تسمى بفترة الحران النسبي حيث أنه في بداية الحران النسبي يبدأ احتمال ان فراغ الخلايا العصبية عند المنبه العتبي في الزيادة من 0 ويعود إلى 1 عند استرداد النشاط العصبي بالشكل التام وخلال فترة الحران النسبي يلزم منه فوق العتبة لتوليد كمون العمل لكن عند مستخدمي الزرعة القوقعية تستمر فترة الحران النسبي لل ECAP إلى حوالي 4ms ويميل استرداد النشاط العصبي ليكون أسرع عند شدة التنبيه الأعلى (Boulet وزملاؤه 2016)

وقد لوحظ أيضاً التأثير الجمعي summation effect والذي يشار إليه أيضاً باسم التسهيل facilitation أو التكامل integration في الدراسات السريرية على مستخدمي الزرعة القوقعية باستخدام تسجيلات ECAP (Cohen 2009) وتسجيلات EABR (Hey 2003) حيث يعتقد أن السبب الرئيسي للتيسير هو الشحنة المتبقية على الغشاء العصبي neural membrane من النبضة الأولى وهناك آلية ثانية وراء التيسير وهي تنشيط قناة الصوديوم sodium channel بالقرب من العتبة. فعندما تقترب كمونات الغشاء membrane potential من كمون العتبة threshold potential ولا تنتج الخلايا العصبية كمون عمل action potential ، يمكن أن يؤدي تنشيط الصوديوم المتبقي إلى زيادة الاستثارة excitability عند النبضة التالية. لكن تعطيل أو عدم تنشيط قناة الصوديوم يحد من المدة التي يمكن أن تتراكم فيها التسهيلات facilitation. وبالتالي إذا بقي كمون الغشاء بالقرب من العتبة لفترة كافية قبل أن يبدأ تعطيل الصوديوم ، فيمكن للنابض الثاني أن ينتج استجابة. وهذا يؤدي إلى زيادة احتمالية التيسير عند تصغير الفترة بين التشويش والسبر MPIs وبالتالي زيادة المقدار عن طريق تخفيض الفترة بين نبضة السبر ونبضة التشويش MPIs (Cartee وزملاؤه 2000) وقام (Hey وزملاؤه 2017) بدراسة أظهرت فيها أن التسهيل facilitation أكثر وضوحاً عند فترة صغيرة بين التشويش والسبر MPI وأنه يحدث بالشكل الأعظمي عندما يكون مستوى التشويش عند عتبة ECAP أو أقل منها. [23, 43]

وقامت بعض الدراسات بتقييم خصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي البشري من خلال فحص ساعات ECAP استجابة للنبضات الفردية في سلسلة من النبضات (Rubinstein وزملاؤه 1999) فباستخدام هذه القياسات يعكس المطال النسبي لـ ECAP إجمالي عدد الألياف التي تستجيب لكل نبضة فكشفت نتائج هذه الدراسات أن مطال ECAP كانت مستقر نسبياً عبر النبضات الفردية بمعدلات بطيئة (<200 نبضة في الثانية [pps] ، Wilson وزملاؤه ، 1997) أي ان مطال ECAP متشابه بالنسبة لكل النبضات الفردية مما يشير إلى زوال استقطاب

depolarized مجموعة الألياف العصبية ذاتها في كل مرة ومن ثم تسترد نشاطها العصبي تماماً بعد كل نبضة أما بالنسبة للمعدلات الأسرع (حوالي 400 نبضة بالثانية إلى 1500 نبضة بالثانية " Wilson وزملاؤه 1997") يظهر نمط الاستجابة المتناوبة alternating response pattern و يتم انخفاض السعات الإجمالية لـ ECAP ويتناقص النمط المتناوب عادة مع زيادة معدل التنبيه (2000 نبضة بالثانية إلى 3000 نبضة بالثانية " Wilson وزملاؤه 1997" ، 5000 نبضة بالثانية " Miller وزملاؤه 2008 ") نظراً للتأثيرات المجتمعة للحران refractory والتكيف adaptation (هو انخفاض في الإثارة العصبية واحتمال الاستجابة مع مرور الوقت. وقد تكون مدة الصمم عامل مهم في تحديد مقدرا التكيف) وزيادة الارتعاش الزمني temporal jitter (Miller وزملاؤه 2008) و تمثل هذه الحالة الاستقلال العشوائي بين ألياف العصب السمعي الفردية (Miller وزملاؤه 2008) فمن الناحية النظرية يتم تنشيط مجموعة كبيرة من الخلايا العصبية بالقدر الأعظمي من الاستثارة excitability بواسطة النبضة الأولى. وبينما تكون الخلايا العصبية في طور الحران refractory phase فإنها لن تستجيب للنبضة الثانية (إذا كانت الفترة بين النبضات أقل من 3ms أو 4ms أي وقت الاسترداد recovery time) وفي وقت النبضة الثالثة سيتم استرداد ما يكفي من هذه الخلايا العصبية التي كانت في طور الحران refractory phase بعد التنبيه بواسطة النبضة الأولى حتى يتم تحفيزها بواسطة النبضة الثالثة و نتيجة لذلك سيكون مطال ECAP عند النبضة الثالثة أكبر من المطال عند النبضة الثانية وتحدث عملية الحران هذه ثم الاستعادة على مدى عملية التنبيه بسلسلة النبضات مما يؤدي إلى نمط من تناوب لمطال ECAP (بين السعات الأصغر والأكبر)(Wilson وزملاؤه 1997) وعندما يصبح هذا النمط المتناوب أقل قوة أو يتضاءل فذلك يتم بسبب تجنيد المزيد من الخلايا العصبية مع نبضات متتالية في سلسلة النبضات و / أو عندما يوجد عدم تزامن dyssynchrony عصبي حيث سيتم تقليل آثار الحران العصبي على مطالات ECAP.

وبالتالي يتم تعريف معدل النبضات الذي يحدث فيه النمط المتناوب الأعظمي بأنه معدل التناوب الأعظمي maximum alternating rate والذي من المتوقع ان يتوافق مع فترة الحران النسبي relative refractory period للألياف العصبية السمعية المحفزة (Hughes وزملاؤه 2012) وتؤدي الزيادة الأكبر في معدل التنبيه إلى الانقاص من هذا النمط التناوبي وذلك لأنه من المفترض أن تكون الخلايا العصبية السمعية قادرة على ترميز المعلومات التي تمثلها معدلات التحفيز الأسرع نتيجة لعدم تزامن الاستجابة لكامل العصب أي أن المجموعات الفرعية من

الألياف قادرة على الاستجابة في أي وقت من الأوقات ويشار إلى المعدل الذي يحدث عنده الاستقلال العشوائي بالمعدل العشوائي stochastic rate وهو المعدل الذي لم يعد فيه نمط التناوب واضحاً (Hughes وزملاؤه 2012) ويتم قياس درجة التكيف العصبي من خلال مقارنة ساعات ECAPs الناتجة عن النبضات المتأخرة في سلسلة النبضات إلى ساعات ECAP الناتجة عن النبضات المبكرة (Hughes وزملاؤه 2014)

مع العلم أن غرسات القوقعة تستخدم سلسلة النبضات ذات المعدل العالي لأخذ عينات زمنية temporal sampling أفضل لإشارة الكلام وكذلك لتقليل الانفراغ المتزامن firing synchrony وزيادة المجال الديناميكي dynamic range داخل الألياف وعبرها بحيث يمكن تشفير تغيرات المطال السريعة للكلام بواسطة العصب السمعي. ومع ذلك ، لم ينتج عن التنبيه عالي المعدل التحسينات المتوقعة في تمييز الشدة واكتشاف تغير المطال وإدراك الكلام حيث تعتمد الفائدة للتنبيه عالي المعدل على قدرته على تخفيض الانفراغ لكمون العمل بشكل متزامن دون تخفيض مفرط في احتمال أو إمكانية الانفراغ للمجموعات العصبية، وإضافة أن التكيف السريع والاسترداد البطيء للاستجابات العصبية قد يصاحب التنبيه النبضي عالي المعدل خاصة في الأجهزة العصبية غير الناضجة immature أو المضطربة disordered وقد تكون لعدم قدرة العصب على استرداد النشاط العصبي بشكل سريع بعد التنبيه وبالتالي عدم حدوث الاستجابة العصبية السريعة آثاراً سيئة على تمييز الكلام [25 , 26, 14]

1-2-6 معدل التنبيه وخصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي للأطفال المصابين باضطراب طيف الاعتلال العصبي السمعي والذين أجري لهم زرع قوقعة

Stimulus Rate and Temporal Response Properties of the Auditory Nerve in Implanted Children with Auditory Neuropathy Spectrum Disorder

اضطراب طيف الاعتلال العصبي السمعي Auditory neuropathy spectrum disorder هو شكل من أشكال الإعاقة السمعية تكون فيه وظيفة القوقعة طبيعية normal cochlear function بالتزامن مع جهاز عصبي سمعي غير طبيعي، مع العلم أن المسببات المرضية لهذا الاضطراب متنوعة والقدرات السمعية بين المرضى الذين يعانون من ANSD متنوعة، عادةً يُظهر مرضى ANSD عجزاً كبيراً في المعالجة السمعية في المهام التي تتطلب ترميزاً دقيقاً لإشارات الزمنية، وتزداد قدرتهم على إدراك الكلام سوءاً كلما زادت شدة هذا العجز (Zeng وزملاؤه 2005) ومن المعتقد بشكل عام أن عجز المعالجة السمعية الزمنية المرصود عند المرضى الذين يعانون من

ANSD من المحتمل أن يكون بسبب التلطix زمني temporal smearing في التمثيل العصبي للصوت المشفر encoded sound الناجم عن التفريغ العصبي غير المتزامن dyssynchronous و / أو التوصيل العصبي neural conduction غير الطبيعي للعصب السمعي (Zeng وزملاؤه 2005). حيث يتم استخدام غرسة القوقعة لتدبير عجز السمع لمرضى ANSD الذين لم يستفيدوا من المعينات السمعية hearing aids فالتبنيه الكهربائي يؤدي إلى تجنيد مجموعة أكبر من الخلايا العصبية وازدياد أسرع لمعدل الانفراغ وقفل طور أفضل وتزامن عصبي أكثر دقة وقابل للتكرار على مستوى العصب السمعي (Zhang وزملاؤه 2007) لكن هناك بعض الأطفال من الذين يعانون من ANSD يبقى لديهم عجز في المعالجة السمعية الزمنية حتى بعد زرع القوقعة (He وزملاؤه 2013) مما يشير إلى أن عدم التزامن العصبي أو اضطراب التوصيل العصبي لا يزال موجوداً عند هؤلاء المرضى و بالتالي تبين أن بعض مرضى ANSD يحتاجون إلى معدلات تنبيه بطيئة نسبياً لكل قناة من أجل الاستفادة من CIs الخاصة بهم (Pelosi وزملاؤه 2012) وهذه النتائج تشير إلى أن خصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي عند هؤلاء المرضى قد تكون مختلفة عن الذين يعانون من SNHL. حيث أنه من الناحية النظرية يمكن أن يؤثر عدم التزامن العصبي والتوصيل العصبي الغير الطبيعي على العديد من جوانب خصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي والتي يمكن أن تنعكس في قياسات ECAP . على سبيل المثال ، تعتمد استجابة ECAP القوية على التنشيط العصبي المتزامن للغاية. وبالتالي يمكن أن تؤدي الاستجابة العصبية الأقل تزامناً إلى تقليل مطال ECAP و امتداد زمن كمون ECAP وزيادة التكيف adaptation العصبي. بالإضافة إلى ذلك فإن عدم التزامن العصبي عبر ألياف العصب السمعي يقلل أيضاً من مقدار تناوب المطال amplitude alternation (Matsuoka وزملاؤه 2000) علاوة على ذلك ، يمكن أن يؤدي زوال غمد النخاعين demyelination لألياف العصب السمعي إلى انتشار الإثارة عبر ألياف العصب السمعي الغير مغمدة demyelination وتغيير خصائص غشاء الخلية cell membrane properties (Pender و Sears 1994) وقد تسبب هذه التغييرات جمعاً زمانياً temporal ومكانياً spatial للاستجابات العصبية ، فضلاً عن التوصيل العصبي الممتد prolonged (Starr وزملاؤه 1998) مع العلم أن الجمع المكاني والزمني للاستجابة العصبية قد يقلل أيضاً من تأثيرات الحران العصبي على النمط المتناوب لسعات ECAP، ومن المرجح أيضاً أن يرى عمق تناوب alternating depth منخفض لدى المرضى الذين يعانون من ANSD. وبالمثل نظراً لأن التوصيل العصبي الممتد prolonged

يمكن أن يزيد من زمن كمون القمة وعرض الاستجابة response width لل ECAP ، فضلاً عن زيادة مقدار التكيف adaptation ، بالتالي من المحتمل أيضاً أن تكون هذه الأنماط موجودة عند هؤلاء المرضى. [26]

3-6 مستوى التنبيه الكهربائي وخصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي

Electrical Stimulus Level and Temporal Response Properties of the Auditory Nerve

إن مستويات التنبيه الأعلى تؤدي إلى تزامن أكبر واسترداد نشاط أسرع عصبي بعد فترة الحران ، مقارنة بمستويات التنبيه المنخفضة نتيجة لذلك يصبح النموذج المتناوب أكثر وضوحاً عند المستويات الأعلى والمعدلات الأسرع تكون ضرورية لإنتاج الحالة العشوائية stochastic state ويمكن التغلب جزئياً على التكيف من خلال زيادة مستوى التنبيه ، ولكن لوحظ هذا التأثير فقط لمعدلات التنبيه المنخفضة ونظراً لأن مستخدم الغرسة القوقعية يستمع في حياته اليومية إلى مجموعة واسعة من المستويات الدخول لذلك من المفيد دراسة الاستجابة العصبية السمعية لسلسلة من النبضات عند مستويات تنبيه مختلفة بتفصيل أكبر لتوصيف أكبر لمجموعة الاستجابات المختلفة عبر الأفراد [24]

4-6 الفجوة بين أطوار التنبيه الكهربائي وخصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي

Interphases Gap Electrical Stimulus and Temporal Response Properties of the Auditory Nerve

تؤدي زيادة الفجوة بين الأطوار interphases gap إلى انخفاض في عتبات الألياف العصبية السمعية (Shepherd & Javel، 1999) وانخفاض في عتبات الكشف الفيزيائية النفسية psychophysical detection thresholds (كما ذكر Carlyon وزملاؤه 2005)، ويمكن أن تسبب زيادة في إدراك علو الصوت loudness عندما تكون بارامترات التنبيه الأخرى ثابتة (McKay و Henshall، 2003)، علاوة على ذلك ، يعتقد أن تأثيرات IPG على استجابة ECAP تعتمد على خصائص الغشاء ، وبالتالي تعكس خصائص الاستجابة الزمنية للعصب السمعي (van den Honert & Mortimer, 1979). حيث تم الاقتراح أن التغيير النسبي في الخصائص فوق العتبية suprathreshold لاستجابة ECAP (على سبيل المثال ، المطال ، ميل AGF ، وزمن كمون

(N1) بسبب التلاعب بالفترة الفاصلة بين الأطوار IPG يمكن أن تكون أداة مفيدة سريريًا لمستخدمي الزرعة الحلزونية متعددة القنوات لأنها من الناحية النظرية يمكن أن تعكس سمات الصحة العصبية داخل القناة within-channel (كما اقترح Ramekers وزملاؤه 2014)، لكن أحد قيود استخدام قياسات ECAP لتقييم الصحة العصبية يتمثل في أن الكمونات المسجلة ستتأثر بالظروف بين الخلايا العصبية والكتروود التسجيل حيث يمكن أن تختلف المسافة بين الخلايا العصبية والالكتروودات وكذلك يمكن أن تختلف خصائص النسيج tissue بين الخلايا العصبية والالكتروودات (الأنسجة اللينة fibrous tissue والعظام الجديدة new bone) على طول مصفوفة الالكتروود وبالتالي ستؤثر على تسجيل ECAP. لذلك فإن خصائص ECAP المحددة التي ثبت أنها مرتبطة بكثافة SGN (على سبيل المثال ، ذروة المطال وميل AGF) قد تعكس متغيرات أخرى بالإضافة إلى الصحة العصبية. وطبعاً لا يمكن وصف كل الظروف التي يمكن أن تؤثر على مسار التيار بين الخلايا العصبية والكتروودات التسجيل. لكن يمكن تقدير بعض هذه الظروف من خلال تقييم الممانعة للالكتروودات وبالتالي فإن دراسة كيفية تغير خصائص ECAP هذه مع زيادة IPG قد توفر طريقة لتقدير الصحة العصبية أقل تأثراً بالظروف بين الخلايا العصبية والالكتروودات. فمن المفترض أن يتأثر تابع ازدياد المطال (الميل أو المطال الأعظمي) سواءاً للفترات القصيرة بين الأطوار أو الفترات الطويلة بطريقة مماثلة بالظروف القريبة من الكتروود التسجيل وهذه الآثار سوف تلغى عند حساب الفرق بين تابعي الازدياد عند موقع تسجيل معين. [42]

الفصل السّابع

أنواع مصفوفات الالكترود لـ شركة MEDEL

Types of Electrode Arrays for MEDEL company

1-7 المقدمة Introduction

أحد العوامل التي يمكن أن تؤثر في المقاييس الفيزيولوجية الكهربائية المستخدمة عند متلقي الزرعة القوقعية هو موقع الكترود التنبيه داخل القوقعة وقربه من العمد modiolus والألياف العصبية السمعية auditory nerve fibers. وهناك اهتمام بحثي كبير في تصاميم زرعات القوقعة، وتقنيات الإدخال التي تقلل المسافة بين الكترودات زرعة القوقعة والألياف العصبية السمعية auditory nerve fibers والعمد modiolus. ولكي يستفيد مستخدم الزرعة القوقعية من الجهاز بالشكل الأمثل يجب أن تراعى العديد من العوامل منها: عمق الإدخال لمصفوفة الكترود وتغطية القوقعة وإدخال المصفوفات الغير رضية واختيار مصفوفة الكترود التي تطابق تشريح القوقعة للشخص المستفيد خاصة عندما تكون البنية التشريحية مشوهة. وفيما يلي عرض لأهم مصفوفات الكترود لشركة MEDEL مع ميزة كل منها [6].

7-2 أنواع مصفوفات الكترود الخاصة بشركة MEDEL:

❖ مصفوفة FLEX SOFT™ :

مصفوفة الكترود 31.5mm وهي مصممة بشكل يناسب الإدخال إلى المناطق القمية.

- 19 اتصال الكترود من البلاتينيوم تباعد مثالي ضمن مجال تنبيه يبلغ 26.4mm.
- قطره في النهاية القاعدية 1.3mm.
- رأس قابل للانحناء FLEX-Tip لتخفيض الرض أثناء الإدخال insertion علماً أن الأبعاد عند النهاية القمية 0.5x 0.4mm.

❖ مصفوفة FLEX28™ :

مصفوفة الكترود طولها 28mm مناسبة ل 96% من الأشخاص الذين لديهم تشريح قوقعة طبيعي وهي مصممة بشكل يناسب الإدخال insertion إلى المنطقة القمية .

- 19 اتصال الكترود من البلاتينيوم تباعد مثالي ضمن مجال تنبيه يبلغ 23.1mm .
- قطره في النهاية القاعدية 0.8mm.
- رأس قابل للانحناء FLEX-Tip لتخفيض الرض أثناء الإدخال insertion علماً أن الأبعاد عند النهاية القمية 0.5x 0.4mm.

❖ مصفوفة FLEX24™:

مصفوفة الكترود طولها 24mm ومصممة لتحفيز الصوتي الكهربائي المدمج (EAS) مع إدخال أقل من 1.5 دورة. حيث أنها كانت تعرف سابقاً بـ FLEXEAS.

- 19 اتصال الكترود من البلاتينيوم تباعد مثالي ضمن مجال تنبيه يبلغ 20.9mm.
- قطره في النهاية القاعدية 0.8mm.
- رأس قابل للانحناء FLEX-Tip لتخفيض الرض أثناء الإدخال insertion علماً أن الأبعاد عند النهاية القمية 0.5x 0.3mm.

❖ مصفوفة FLEX20:

مصفوفة الكترود طولها 20mm و هي مصممة لاستخدامها في حالات الصمم الجزئي.

- 19 اتصال الكترود من البلاتينيوم تباعد مثالي ضمن مجال تنبيه يبلغ 15.4mm.
- قطره في النهاية القاعدية 0.8mm.
- رأس قابل للانحناء FLEX-Tip لتخفيض الرض أثناء الإدخال insertion علماً أن الأبعاد عند النهاية القمية 0.5x 0.3mm.

- سلسلة FORM:

مصممة خصيصاً لحالات تشوه القوقعة والحالات التي يتوقع فيها تسرب السائل الدماغي الشوكي (CSF)، و تتميز كل مصفوفة FORM بختم متكامل integrated SEAL مصمم لإغلاق فتحة القوقعة، مما يسهل على الجراحين استخدام أنسجة إضافية لإغلاق المنطقة بمجرد إدخال مصفوفة الكترود.

❖ مصفوفة FORM24™:

مصفوفة الكترود طولها 24mm.

- 24 اتصال الكترود من البلاتينيوم و تباعد مثالي ضمن مجال تنبيه يبلغ 18.7mm.
- قطره في النهاية القاعدية 0.8mm.
- القطر في النهاية القمية 0.5mm.

❖ مصفوفة FORM19™:

مصفوفة الكترود طولها 19mm.

- 24 اتصال الكترود من البلاتينيوم و تباعد مثالي ضمن مجال تنبيه يبلغ 14.3mm.
- قطره في النهاية القاعدية 0.8mm.
- القطر في النهاية القمية 0.5mm.

❖ مصفوفة STANDARD:

مصفوفة الكترود طولها 31.5mm مصممة للأشخاص الذين لديهم قناة قوقعة cochlear duct طويلة .

- 24 اتصال الكترود من البلاتينيوم و تباعد مثالي ضمن مجال تنبيه يبلغ 26.4mm.
- قطره في النهاية القاعدية 1.3mm.
- القطر في النهاية القمية 0.5mm.

❖ مصفوفة MEDIUM:

مصفوفة الكترود طولها 24mm ، مصممة للحالات التي يكون فيها الإدخال العميق غير مرغوب فيه، أو غير ممكن بسبب القيود التشريحية anatomic restrictions .

- 24 اتصال الكترود من البلاتينيوم و تباعد مثالي ضمن مجال تنبيه يبلغ 20.9mm.
- قطره في النهاية القاعدية 0.8mm.
- القطر في النهاية القمية 0.5mm.

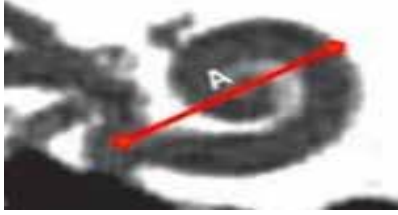
❖ مصفوفة COMPRESSED:

مصفوفة الكترود طولها 15mm، مصممة للحالات التي فيها تعظم جزئي partial ossification للقوقعة، أو في الحالات التي فيها تشوه malformation قوقعة.

- 24 اتصال الكترود من البلاتينيوم و تباعد مثالي ضمن مجال تنبيه يبلغ 12.1mm.
- قطره في النهاية القاعدية 0.7mm.
- القطر في النهاية القمية 0.5mm.

قد تختلف قوقعة الأذن اختلافاً كبيراً في الحجم والشكل عن بعضها البعض بين الأفراد، كما يمكن أن تختلف أطوال القناة القوقعية cochlear duct أيضاً. لذلك قدمت شركة MED-EL مجموعة كبيرة من مصفوفات الالكترود بحيث يمكن التأكد من اختيار أفضل ما يمكن لكل شخص حسب التشريح القوقي الخاص به.

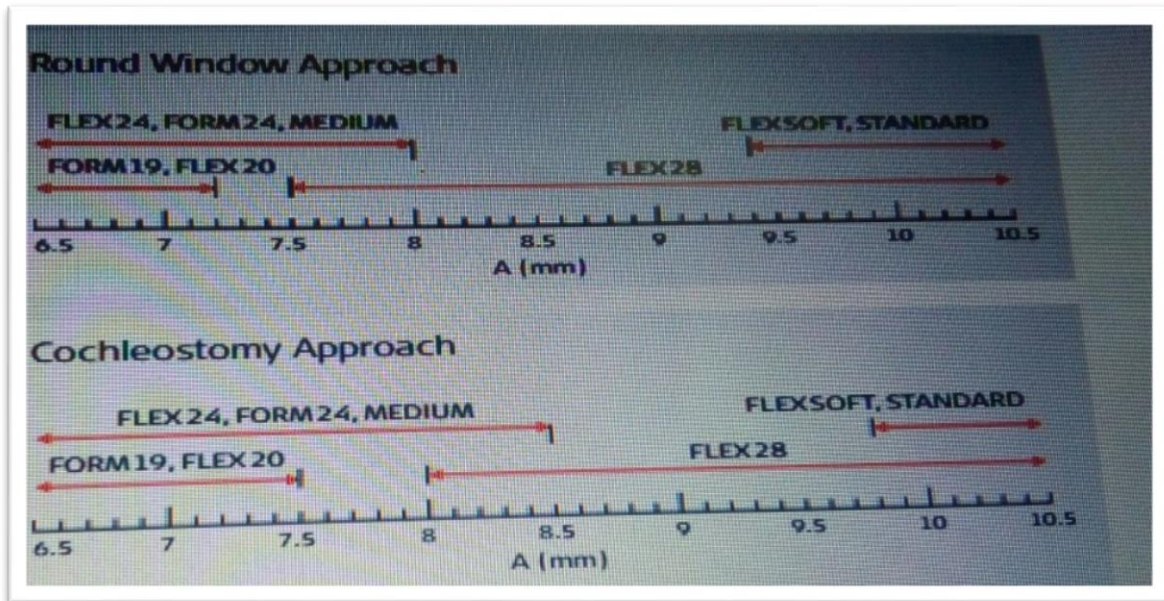
7-3 التغطية الكاملة للقوقعة (CCC) Complete Cochlear Coverage



التغطية الكاملة للقوقعة تعني تنبيه القوقعة من القاعدة إلى المنطقة القمية، من أجل تنبيه أكبر عدد ممكن من الألياف العصبية. حيث يوفر تنبيه المجال الترددي بأكمله أفضل النتائج الممكنة في إدراك الكلام وجودة الصوت.

الشكل (7-1) اللفة القاعدية للقوقعة " A "

ومن الممكن استخدام قطر الدورة القاعدية (المسمى " A ") كدليل لاختيار المصفوفة المناسبة [50]



الشكل (7-2) مخطط يوضح كيفية اختيار المصفوفة المناسبة تبعاً للمسمى " A "

الفصل الثامن

القياسات السريرية في MAESTRO 7.0

Clinical Measurements In MAESTRO 7.0

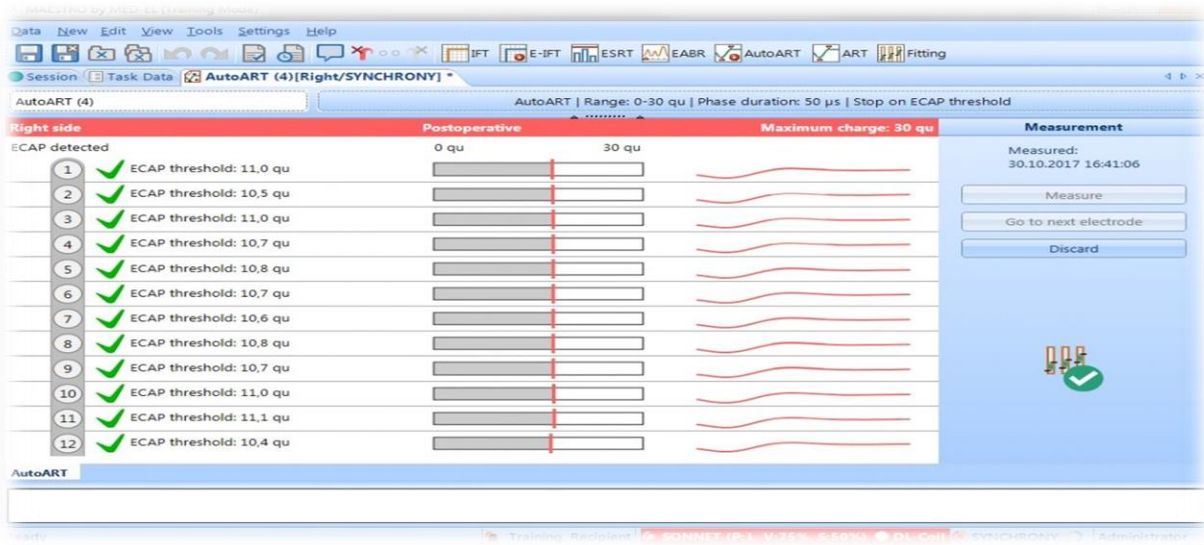
1-8 مقدمة Introduction:

جهاز زرعة القوقعة لشركة MEDEL هو بديل سمعي متعدد القنوات يستخدم أحدث التقنيات ومعالجة الاستراتيجيات ، اعتمد تطويره على الكثير من الأبحاث حول العالم وإضافة إلى الخبرة الواسعة بالتطوير والإنتاج للشركة.

2-8 القياسات السريرية في MAESTRO 7.0

1-2-8 قياس الاستجابة العصبية السمعية الآلي Auto ART:

تتيح مهمة AutoART للمستخدم تسجيل كمونات العمل المركب المحرصة (ECAP) للعصب السمعي الناتجة عن تنبيه الالكترودات داخل القوقعة و يتم تسجيل الكمونات بعد بضع من الميكرو ثوان بعد نهاية نبض التنبيه حيث يتم تسجيلها بواسطة الكترودات داخل القوقعة وبما أن القياسات الموضوعية يجب ان تكون بسيطة وعملية ، بحيث يمكن القيام بها بشكل روتيني للمرضى دون إضاعة الوقت أو التركيز.



الشكل (1-8) طريقة إظهار النتائج لقياس الاستجابة العصبية السمعية الآلي

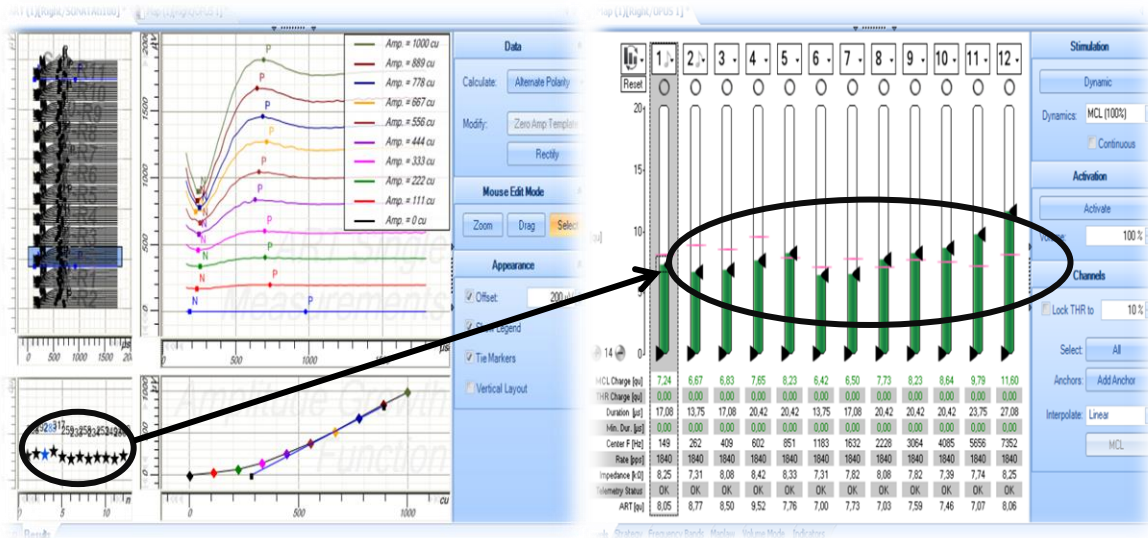
بالتالي هناك العديد من المزايا ل AutoART :

- بسيطة للاستخدام
- بياناتها دقيقة وذات موثوقية عالية
- أسرع نظام تسجيل ECAP يعمل بشكل آلي
- من خلال الضغط على زر واحد يمكن قياس الاستجابة العصبية السمعية على جميع القنوات بشكل آلي دون الحاجة إلى التحليل اليدوي الذي قد يستغرق وقتاً طويلاً
- تتم زيادة شدة التنبيه بشكل مستمر بخطوات صغيرة جداً وبالتالي هذا يوفر حساباً دقيقاً لعتبة ECAP على كل الكترود (بمجرد تحديد عتبة ECAP يتم الانتقال إلى الكترود التالي)

- يمكن تحديد القيمة العظمى لتيار التنبيه المقدم (qu)
- يمكن اختيار توقف القياس بعد الوصول لعتبة ECAP مباشرة أو اختيار الوصول إلى أقصى مستوى تنبيه
- ويمكن تحديد الحد الأقصى للكترودات التسجيل

2-2-8 قياس الاستجابة العصبية السمعية عن بعد ART:

تتيح القياس والتحليل اليدوي للاستجابة العصبية السمعية على كل قناة بمفردها.



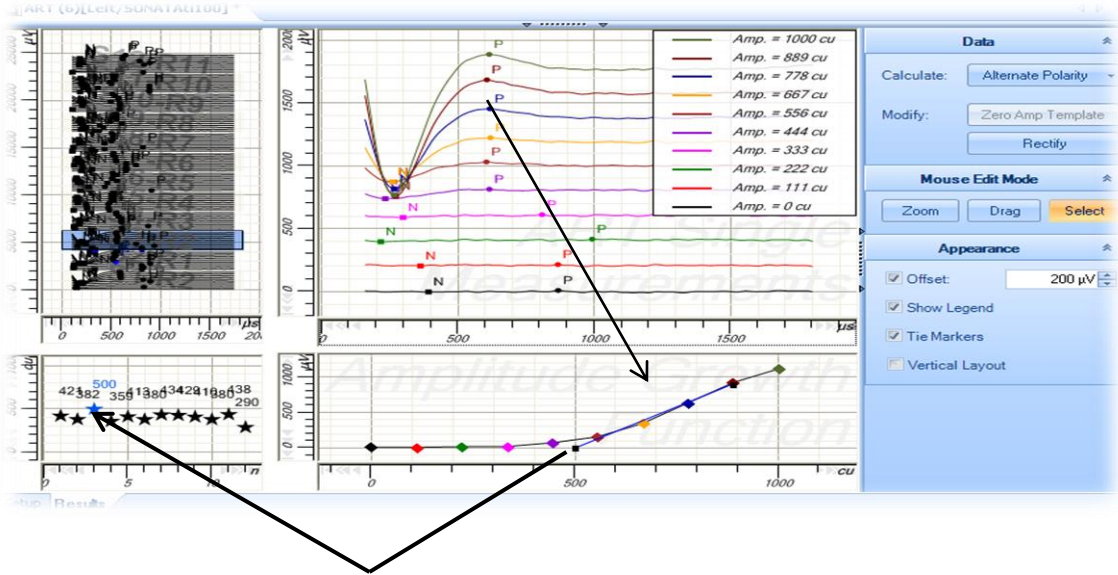
الشكل (2-8) طريقة إظهار النتائج لقياس الاستجابة العصبية عن بعد وكيف تتحول هذه العتبات إلى واجهة البرمجة للمساعدة في عملية برمجة الجهاز

أهم المهام التي يمكن إجراؤها من خلال ART:

■ تابع ازدياد المطال Amplitude growth function

هو من القياسات الموضوعية المستندة على ECAP وهو مستخدم بشكل روتيني في القياسات السريرية ويعتمد على مبدأ أخذ عينات من تابع ازدياد المطال (AGF). وبالتالي هو يمثل التغيرات في مطال استجابة ECAP بسبب التغيرات في شدة التنبيه.

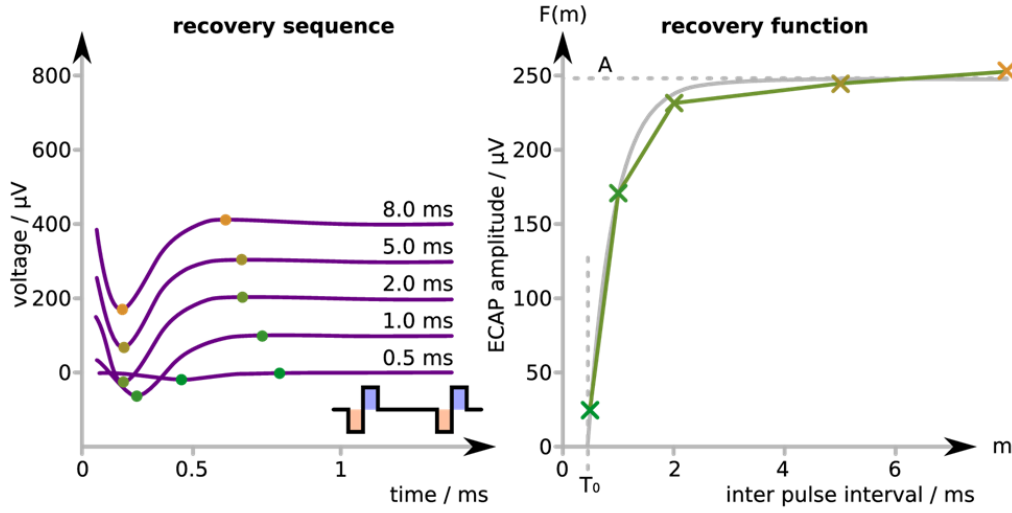
هناك طريقتان لإظهار نتيجة تسلسل ازدياد المطال. تتمثل إحدى الطرق الشائعة في رسم جميع التسجيلات في نفس المخطط أعلى بعضها البعض ، مع إزاحة بينها للمساعدة في فصل المنحنيات الفردية بصرياً أو باستخدام تابع ازدياد المطال الذي يحدد مطال ECAP بدلالة تيار التنبيه تسمى نقطة التقاطع مع المحور السيني عتبة ECAP أو عتبة ART (التسجيل قد تم باستخدام نظام ART). حيث تمثل عتبة ECAP القيمة الأكثر شيوعاً عند استخدام ART لدعم ضبط الغرسة implant fitting ولكن يمكن أيضاً النظر في خصائص أخرى. ومن المهم التأكيد على أن عتبات ECAP لا ترتبط بشكل موثوق بالعتبة السلوكية أو مستوى علو الصوت الأكثر راحة most comfortable loudness level في خريطة الضبط fitting map وهذا هو الحال بالنسبة لجميع أنظمة زراعة القوقعة.



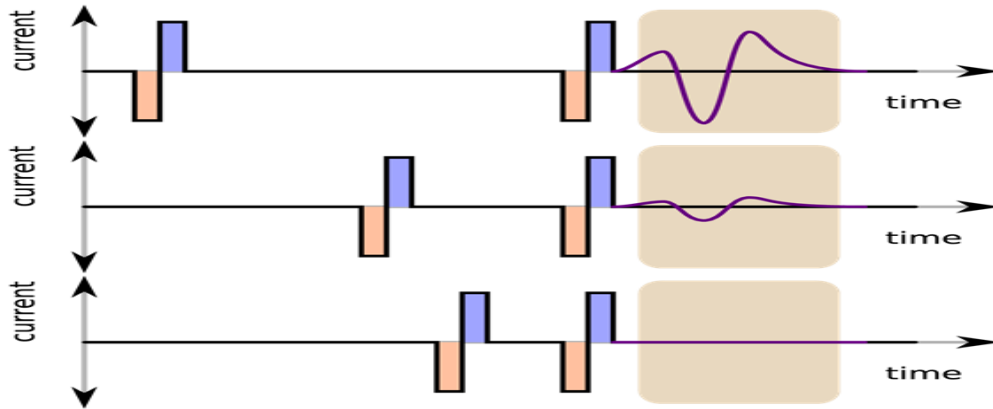
الشكل (3-8) تابع ازدياد المطال كما يظهر على واجهة البرنامج

■ تابع استرداد النشاط العصبي Recovery function

كما هو الحال مع تسلسل ازدياد المطال ، هناك أيضًا طريقتان شائعتان لإظهار نتيجة تسلسل استعادة النشاط العصبي وهي منحنيات منفصلة في مخطط واحد وتابع استعادة النشاط كمخطط لمطال ECAP كدالة للفواصل الزمني بين النبضتين.



الشكل (4-8) طريقتا إظهار تابع استعادة النشاط العصبي



الشكل (5-8) مخطط علاقة الفاصل بين النبضات والاستجابة العصبية الناتجة

(علاقة معدل التنبيه والاستجابة العصبية الناتجة)

■ انتشار الإثارة Spread of excitation

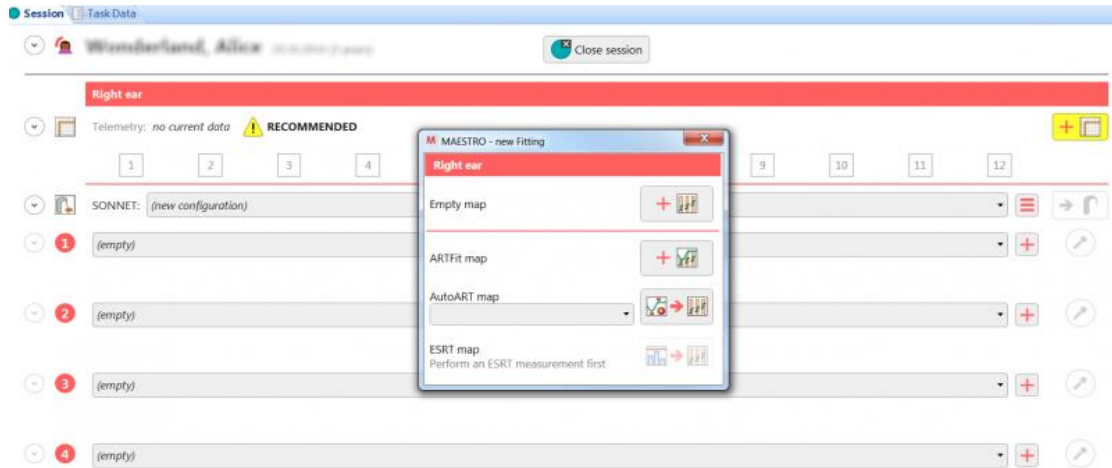
فكرة تسجيلات انتشار الإثارة (SOE) هي تقدير المناطق داخل القوقعة التي تثيرها الكترودات التنبيه الفردي

3-2-8 قياس الاستجابة العصبية السمعية الخاصة بعملية الضبط ART Fit:

أنشأت شركة MEDEL أداة جديدة في برنامجها MAESTRO 7 وهي ARTFit وهي تتيح إنشاء خرائط برمجة MAP تستند إلى القياس الموضوعي بسرعة وبصورة تلقائية. وبالتالي تعتبر خيارًا مثاليًا للمرضى الذين لا يستطيعون توفير قياسات سلوكية واضحة.

الضبط المستند على قياس الاستجابة العصبية عن بعد لإنشاء خرائط البرمجة بشكل سريع

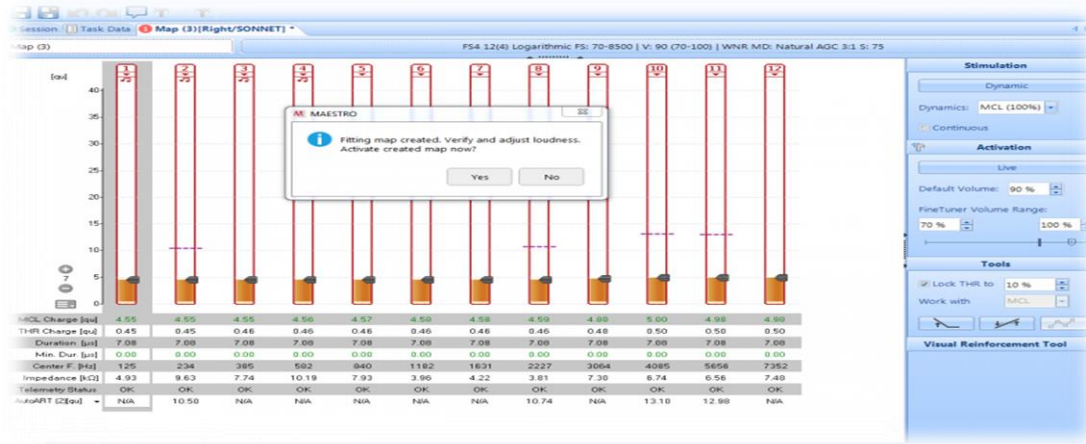
يمكن بدء إنشاء خرائط البرمجة المعتمدة على ART Fit بنقرة واحدة. حيث يمكن اختيار مهمة ART Fit من القائمة الخاصة بالمرضى ببرنامج MAESTRO 7



الشكل (6-8) كيفية إنشاء خرائط البرمجة التي تعتمد على ART fit

يقوم ARTFit بتحليل بيانات ECAP ويقوم تلقائيًا بإنشاء خريطة برمجة استنادًا إلى عتبات ECAP. وبالتالي تكون الخطوة الوحيدة المتبقية هي ضبط إجمالي علو الصوت overall loudness والتحقق verifying من خريطة البرمجة

لضمان سهولة الإدارة والوصول لراحة المريض، تبدأ خريطة ART Fit بمستوى علو صوت منخفض. فهذا يوفر هامش أمان مريح. حيث يمكن ببساطة ضبط علو الصوت الإجمالي عن طريق إزاحة مستويات الراحة الأعظمية (MCLs) إلى الأعلى حتى يتم الوصول إلى علو الصوت المريح. وتتطلب هذه الخطوة البسيطة فقط الاستجابة السلوكية الأساسية أو الملاحظة ، لذلك يمكن القيام بها مع الحد الأدنى نسبياً من الوقت والجهد.



الشكل (7-8) لقطة شاشة تظهر خريطة برمجة تعتمد على ART Fit

فوائد ART Fit:

- إنشاء خرائط البرمجة والضبط بشكل تلقائي وأوتوماتيكي
- تتطلب استجابة سلوكية بشكل أقل
- خوارزمية ضبط ART Fit ذكية
- خرائط برمجة تعتمد على القياسات الموضوعية
- ضبط وبرمجة أسرع وأسهل
- تتطلب جهد أقل للمريض
- توفر المزيد من الوقت لتقديم النصائح والإرشادات للمريض

لكن يجب التنويه إلى أنه يجب القيام ب telemetry:

- قبل الجراحة
- أثناء الجراحة/ بعد الجراحة
- عند كل موعد ضبط للغرسة (قياس الممانعة ضروري من أجل ضبط الغرسة)

4-2-8 القياس عن بعد telemetry:

تستخدم تقنية القياس عن بعد لجمع المعلومات من الغرسة:

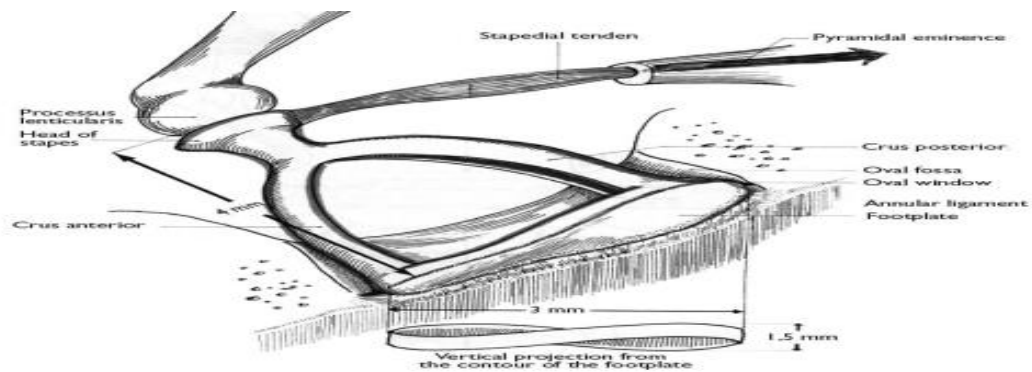
للتأكد من:

- الاقتران
- السلامة الإلكترونية للغرسة
- سلامة مصفوفة الالكترود النشطة:
- ممانعة الالكترود electrode impedances
- ممانعة المسار الأرضي Ground path impedance (مقدار الاتصال بين الالكترود المرجعي والانسجة المحيطة به)
- الكشف التلقائي واليدوي عن الدارات المقصورة short-circuits

ما يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار عند الضبط (فيما يخص telemetry)

- القنوات التي لها ممانعة عالية تحتاج إلى شدة تنبيه عالية : يمكن إيقافها
- قصر دائرة في قناتين متجاورتين : يمكن إيقاف أحدهما أو كلاهما (حسب تفضيل المريض)
- قصر دائرة على أكثر من قناتين أو على قنوات غير متجاورة: يمكن إيقاف جميع القنوات

5-2-8 منعكس الركابة المحرض كهربائياً ESRT:



الشكل (8-8) صورة توضح منعكس ركابة محرّض كهربائياً

تتيح هذه المهمة للمستخدم إظهار انقباض عضلة عن طريق تنبيه العصب السمعي كهربائياً ويمكن إدخال عتبات ESRT وحفظها من خلال برنامج MAESTRO

لقياس منعكس الركابة المحرّض كهربائياً أثناء العمل الجراحي:

١. نقوم باختيار القناة Select channel
٢. نزيد مستوى التنبيه بمقدار بخطوات تصاعدية بمقدار 15% حتى يظهر المنعكس (في حين أن الجراح يقوم بمراقبة الوتر الركابي stapedial tendon على المجهر)
٣. ثم نقوم بزيادة مستوى التنبيه وإنقاظه بمقدار 3% حول ذاك المستوى بحثاً عن العتبة

6-2-8 استجابة جذع الدماغ السمعية المحرّضة كهربائياً EABR:

تقوم هذه المهمة على تنبيه العصب السمعي بسلسلة من النبضات وتسجيل استجابة جذع الدماغ السمعية الناتجة عن ذلك

3-8 بعض البارامترات لبرنامج MAESTRO

Some Of Parameters In MAESTRO

تستخدم طريقتان لوصف مطال نبض التنبيه: الأولى يوصف المطال بوحدة تسمى وحدة تيار current units والطريقة الثانية يوصف مطال التنبيه بالشحنة charge (وحدة شحنة charge units (qu)

وحدة التيار Cu يتم التعبير عن مطال نبضات التنبيه (التيار) من خلال واحدة تسمى ب وحدة تيار current unit حيث تقابل واحدة تيار (current unit) $1\mu A$ تقريباً عند استخدام نبضات ثلاثية الأطوار تشير وحدة التيار current unit إلى الطور المتوسط (= أعلى highest) (لكن هناك شركات أخرى لزراعة الحلزون تشير إلى مطال التنبيه بواحدات أخرى وتدعى أحياناً أيضاً بوحدة تيار current units لكن هذه الواحدات غير قابلة للمقارنة مع وحدة التيار current units الخاصة بشركة MEDEL)

وحدة الشحنة qu تشير وحدة الشحنة إلى إجمالي الشحنة الكهربائية التي تتدفق في اتجاه واحد أثناء نبض التنبيه ، على سبيل المثال شحنة طور واحد من نبض تنبيه ثنائي الطور. حيث تقابل وحدة الشحنة نانو كولون واحد nano Coulomb

وترتبط واحدتي القياس ببعضهما بواسطة المعادلة التالية:

$$\frac{\text{المطال (Cu)} = \text{الشحنة (qu)} \cdot 1000}{\text{مدة الطور (}\mu\text{s)}}$$

المطال الأصغر (Cu): يتم رفع المطال من هذا المستوى حتى نصل إلى المطال الأعظمي لإجمالي الخطوات L ("عدد مستويات المطال والتي تتساوى القيم بينها (خطوات ثابتة)"). يمكن ضبط هذا المطال على القيمة 0 (حيث أنه يوصى بهذا).

المطال الأعظمي (Cu): هو أعلى مطال يجب أن يتوقف عنده تسلسل نمو المطال حيث يكون المدى من 1cu إلى 1200cu

مدة الطور Phase duration (μs): تحدد مدة الطور إضافة إلى مطال التنبيه كمية الشحنة بنبضات التنبيه ويكون لجميع نبضات التنبيه مدة طور واحدة حيث أن القيمة النموذجية هي $30\mu\text{s}$ (يمكن أن يكون المدى : $20\mu\text{s}$ إلى $100\mu\text{s}$)

الشحنة العظمى Maximum charge (qu): يتم حساب شحنة النبضة ذات المطال الأعظمي تلقائياً (بضرب المطال الأعظمي بمدة الطور).

عدد التكرارات Number of iterations: لا ينبغي إجراء التسجيل لمرة واحدة فقط ، لأن الضوضاء العشوائية random noise يمكن أن تهيمن على التسجيل. وبالتالي يحدد بارامتر عدد مرات التكرار (المسمى N هنا) عدد مرات تكرار التسجيل للحصول على نتيجة "مفردة" واحدة ، حيث يتم حساب متوسط النتائج الفرعية (القيمة الافتراضية لـ N هي 25) وكلما زاد N كلما كانت نسبة الإشارة إلى الضجيج signal-to-noise ratio أفضل لكن عندها ستطول مدة التسجيل الكلي (يمكن أن يكون المدى من 1 إلى 99) [49, 51, 52, 53]

الفصل التاسع

الدراسة العملية

Practical & Experimental Study

1-9 مقدمة Introduction

خلفية البحث وهدفه Background & Objective

منذ عام 1998 توافرت إمكانية القياس عن بُعد لكمونات العمل المركب المحرض كهربائياً (ECAP) من العصب السمعي عند المستفيدين من زرع القوقعة تجارياً حيث تمثل ECAP الاستجابة العصبية لخلايا العقدة الحلزونية spiral ganglion cells التي تبطن الجزء الداخلي من القوقعة (قناة روزنتال Rosenthal's channel) ويمكن قياسها استجابةً للتنبيه الكهربائي بواسطة القياس عن بعد telemetry في CI. و على الرغم من أن جميع CIs تقيس نفس الاستجابة الفيزيولوجية الكهربائية، فإن كل مُصنَّع CI له طريقة قياس خاصة به ومصطلحاته لوصف قياس هذه الاستجابات العصبية ويهدف هذا البحث إلى توصيف بعض النتائج المعيارية التي تشاهد بعد العمل الجراحي لزرع القوقعة الخاصة بشركة MEDEL.

سوف نورد في هذا الفصل شرحاً عن الأدوات المستخدمة بالدراسة بالإضافة إلى عينة الاختبار التي تمَّ إجراء الاختبارات عليها. وسيتم استعراض النتائج التي توصلنا إليها في هذه الدراسة وفقاً لعدة محاور:

- جداول ومخططات تظهر مقارنة لنتائج قياس عتبة التنبيه الكهربائي في المواقع المختلفة بالقوقعة تبعاً لاختلاف العمر عند استخدام AutoART
- جداول ومخططات تظهر مقارنة لنتائج قياس عتبة التنبيه الكهربائي في المواقع المختلفة بالقوقعة تبعاً لوجود البقايا السمعية عند استخدام AutoART
- جداول ومخططات تظهر مقارنة لنتائج قياس عتبة التنبيه الكهربائي تبعاً لموقع الكترود التسجيل عند استخدام AutoART
- جداول ومخططات تظهر مقارنة لنتائج قياس عتبة التنبيه الكهربائي في المواقع المختلفة بالقوقعة تبعاً لاختلاف العمر عند استخدام ART
- جداول ومخططات تظهر مقارنة لنتائج قياس عتبة التنبيه الكهربائي في المواقع المختلفة بالقوقعة تبعاً لوجود البقايا السمعية عند استخدام ART
- جداول ومخططات تظهر مقارنة لنتائج قياس عتبة التنبيه الكهربائي تبعاً لموقع الكترود التسجيل عند استخدام ART

- جداول ومخططات تظهر مقارنة لنتائج قياس المطال الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المطال عند مواقع التسجيل المختلفة داخل القوقعة وتبعاً لاختلاف العمر (عند استخدام ART)
- جداول ومخططات تظهر مقارنة لنتائج قياس المطال الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المطال عند مواقع التسجيل المختلفة داخل القوقعة وتبعاً لوجود البقايا السمعية (عند استخدام ART)
- جداول ومخططات تظهر مقارنة لنتائج قياس المطال الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المطال تبعاً لموقع الكترود التسجيل (عند استخدام ART)
- جداول ومخططات تظهر مقارنة لنتائج قياس زمن الحران النسبي للعصب تبعاً لمناطق المختلفة للكترود التسجيل

2-9 عينة الاختبار وشروط القياس

Test Sample and Measurement conditions

تضمن البحث دراسة للمرضى المجري لهم زرع قوقعة من 15/2/2019 وحتى 15/10/2019 بمشفى الرشيد (المرضى الذين أجري لهم العمل الجراحي من قبل د. عبد الرحمن عوض أو د. فادي الشامي) وفي المشفى السوري التخصصي (المرضى الذين أجري لهم العمل الجراحي من قبل د. جمال قسومة) وتضمن البحث أيضاً الأطفال الذين أجري لهم زرع قوقعة برعاية منظمة آمال للأشخاص ذوي الإعاقة من تاريخ 1/6/2019 وحتى 1/8/2019 تضمنت معايير الدخول في الدراسة ما يلي:

- إجراء الزرع باستخدام الغرسة FLEX28 التابعة لشركة MEDEL
- نفي إصابة المريض بطيف الاعتلال العصبي السمعي قبل إجراء العمل الجراحي
- عدم وجود أي تشوهات تشريحية لبنية القوقعة أو الجهاز العصبي السمعي

تم استبعاد جميع المرضى الذين لم يحققوا المعايير السابقة.

3-9 التجهيزات المستخدمة في البحث

Equipment Used in Research

تم إجراء القياس باستخدام MAESTRO 7.0 الخاص بشركة MEDEL حيث تم قياس الاستجابة العصبية السمعية للعينة بأكملها باستخدام Auto ART (أداة سريعة غير بحثية) لكن المرضى الذين لم تظهر لهم أي استجابات تم استبعادهم ودراسة الاستجابة العصبية لهم باستخدام ART بالإضافة إلى المرضى الذين لم تكن استجاباتهم جيدة على الالكتروودات جميعها فتم إعادة الاختبار لهم باستخدام ART (بسبب القدرة على التنبيه بشكل يدوي والقدرة على التنبيه بمستويات تيار مرتفعة أكثر باستخدام ART)

إضافة أنه تم إجراء قياس زمن الحران النسبي ل 10 أفراد من العينة السابقة (43 فرداً) حيث تم إجراء هذا القياس بناءً على موافقة الجراح بتمديد فترة العمل الجراحي وبناءً على ذلك لم نتمكن من إجراء القياس إلا لهذه المجموعة الصغيرة.

بارامترات التنبيه المستخدمة ل Auto ART :

- منبه ثنائي الطور
- مستوى التنبيه الأعظمي 35qu
- معدل التنبيه 80Hz
- مدة الطور 40μs
- فجوة بين الطورين 2.1μs

بارامترات التنبيه المستخدمة ل ART :

- منبه ثنائي الطور
- المطال الاعظمي للتنبيه 1200Cu
- مدة الطور 40μs
- التكرار 15
- فجوة بين الطورين 2.1μs
- مستويات التنبيه لتابع ازدياد المطال 10 مستويات

- يتم التنبيه بواسطة الالكترود المجاور مباشرة لالكترود التسجيل
- تم تحديد العتبة باستخدام تابع ازدياد المطال

بارامترات التنبيه المستخدمة في قياس استرداد النشاط العصبي (المستخدم لقياس زمن الحران النسبي للعصب)

- مطال منبه التشويش 1000Cu
- مطال منبه السبر 95%
- مدة الطور $30\mu\text{s}$
- التكرار 15
- وتم إجراء القياس بتغيير الفجوة بين نبضة التشويش ونبضة السبر والقياس عند كل مدة

(300 μs - 400 μs - 500 μs - 750 μs - 1000 μs - 1500 μs - 2000 μs - 3000 μs - 6000 μs - 8000 μs)

- تم التنبيه بواسطة الالكترود 2 والتسجيل بواسطة الالكترود 1 ثم التنبيه بواسطة 2 والتسجيل بواسطة 3 (المنطقة القمية) ثم تم التنبيه بواسطة الالكترود 5 والتسجيل بواسطة 4 ثم 6 (المنطقة المتوسطة) ثم تم التنبيه بواسطة الالكترود 10 والتسجيل بواسطة 9 ثم 11 (المنطقة القاعدية)

عند قياس استخدام ART و AutoART وبما أن التسجيل تم ل 12 الكترود وحيث أن الكترودات شركة MEDEL ترقم من 1 بدءاً من القمة وحتى الالكترود 12 في القاعدة بالتالي سيتم الإشارة إلى (الالكترود 1-2-3-4) على أنها المنطقة القمية و (الالكترود 5-6-7-8) على أنها المنطقة المتوسطة و (الالكترود 9-10-11-12) على أنها المنطقة القاعدية بينما عند قياس زمن الحران النسبي وبما أن التسجيل لم يكن للالكترودات جميعاً فسيتم اعتبار (الالكترود 1-3) المنطقة القمية بينما (الالكترود 4-6) المنطقة المتوسطة و (الالكترود 9-11) المنطقة القاعدية

وتم تعريف زمن الحران النسبي على أنه الزمن الذي يكون عنده مطال ECAP يساوي متوسط المطال الأعظمي والمطال الأصغري الناتجين عن تسلسل استرداد النشاط العصبي [5].

4-9 التحليل الإحصائي Statistical Analysis

تم جمع البيانات وتحليلها باستخدام برنامج SPSS وتم تلخيص النتائج وتوضيحها بالجدول والمخططات البيانية

5-9 النتائج Results

حقق معايير الدخول ضمن الدراسة 43 شخص تتراوح أعمارهم من 2 سنة وحتى 50 سنة حيث شملت العينة المدروسة على 21 من الإناث و 22 من الذكور

مجموعة الدراسة N= 43		
الجنس	ذكر	22(51%)
	أنثى	21(49%)

الجدول (1-9) مجموعة الدراسة التي حققت المعايير

1-5-9 دراسة عتبة كمونات العمل المركب المحرصة كهربائياً باستخدام AutoART

دراسة التوزيع الطبيعي لعتبة كمونات العمل المركب المحرصة كهربائياً باستخدام AutoART لمواقع الكترودات التسجيل الثلاث (قمة القوقعة – المتوسط – القاعدة)

كان مجموع عينة الخاضعة لهذا الاختبار 38 فرداً منهم 18 ذكر و 20 أنثى

تم استخدام اختبار كولموغوروف سميرونوف لتحديد طبيعة توزيع البيانات كما في الجدول التالي

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test				
		عتبة كمونات العمل المركب المحرضة كهربائياً في المتوسط	عتبة كمونات العمل المركب المحرضة كهربائياً في القاعدة	
N		38	38	38
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	13.8526	15.2105	16.3447
	Std. Deviation	3.81921	4.42657	3.99288
Most Extreme Differences	Absolute	.121	.115	.120
	Positive	.121	.115	.120
	Negative	-.066-	-.065-	-.065-
Test Statistic		.121	.115	.120
(p-value). Sig. (2-tailed)		.172 ^c	.200 ^{c,d}	.187 ^c

الجدول (2-9) جدول يحدد طبيعة البيانات للعينات التي أجري عليها اختبار Auto ART

يظهر الجدول السابق أن القيمة الاحتمالية لعتبة كمونات العمل المركب المحرصة كهربائياً لكل من المواقع الثلاث كانت أكبر من 0.05 ($(p\text{-value}). \text{Sig} > 0.05$) وبالتالي البيانات تخضع للتوزيع الطبيعي ويمكننا استخدام الاختبارات البارامترية في تحليل البيانات .

دراسة مقارنة عتبة كمونات العمل المركب المحرصة كهربائياً تبعاً للمناطق المختلفة
للكثروادات التسجيل:

تم استخدام اختبار تحليل التباين وحيد الاتجاه كما في الجداول التالية :

Descriptives								
عتبة كمون العمل المركب المحرض كهربائياً تبعاً لموقع الكثروادات التسجيل								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
قمي	38	13.8526	3.81921	.61956	12.5973	15.1080	7.70	25.50
أوسط	38	15.2105	4.42657	.71808	13.7556	16.6655	8.30	24.50
قاعدي	38	16.3447	3.99288	.64773	15.0323	17.6572	10.00	25.40
Total	114	15.1360	4.17843	.39135	14.3606	15.9113	7.70	25.50

يظهر جدول الإحصائيات الوصفية السابق وجود فروق ملحوظة في المؤشرات الإحصائية لعتبة كمونات العمل المحرصة كهربائياً بين مواقع الكترودات التسجيل الثلاث ولدراسة معنى الفروق تم استخدام اختبار (ANOVA) كما في الجدول التالي :

ANOVA					
عتبة كمون العمل المركب المحرض كهربائياً تبعاً لمواقع الكترودات التسجيل					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	(p-value) Sig.
Between Groups	118.318	2	59.159	3.541	.032
Within Groups	1854.584	111	16.708		
Total	1972.903	113			

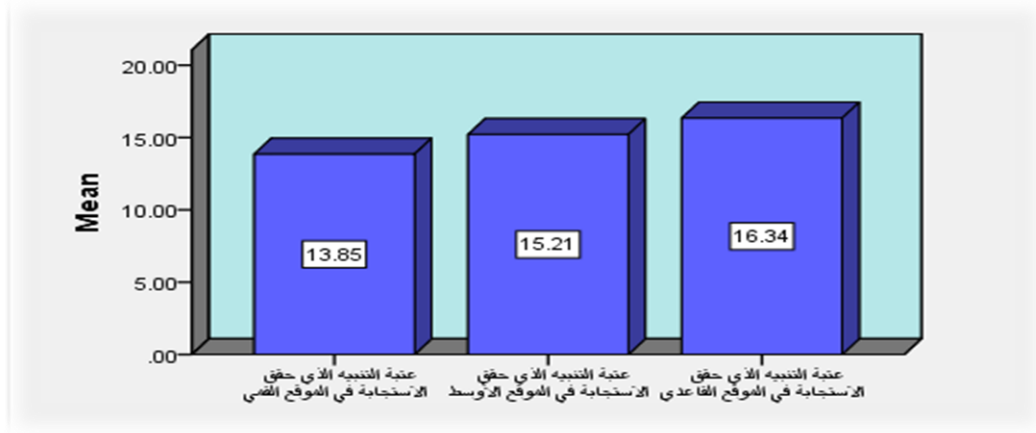
يظهر الجدول السابق أن قيمة (Sig. = 0.032 < 0.05) وبالتالي يوجد فروق ذات دلالة في متوسط عتبة كمون العمل المركب المحرض كهربائياً ECAP تبعاً لموقع الكترودات التسجيل، ولتحديد موقع التسجيل الذي تكون عنده عتبة ECAP هي الأخفض سوف نستخدم اختبار بونفوريوني للمقارنات الثنائية المتعددة كما في الجدول التالي :

Multiple Comparisons						
Dependent Variable:						
Bonferroni						
(I) موقع التسجيل	(J) موقع الاستجابة	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-) Sig. (value	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
قمي	أوسط	-1.35789	.93775	.451	-3.6374	.9216
	قاعدي	-2.49211*	.93775	.027	-4.7716	-.2126
أوسط	قمي	1.35789	.93775	.451	-.9216	3.6374
	قاعدي	-1.13421	.93775	.687	-3.4137	1.1453
قاعدي	قمي	2.49211*	.93775	.027	.2126	4.7716
	أوسط	1.13421	.93775	.687	-1.1453	3.4137

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

الجدول (3-9) عتبة ECAP تبعاً لمواقع الكترودات التسجيل (باستخدام Auto ART)

يظهر الجدول السابق أن قيمة (Sig. = 0.027 < 0.05) (p-value) بين قيمة القوقعة والقاعدة وبالتالي يوجد فرق دال إحصائياً بينما تبين عدم وجود فروق دالة إحصائية بين متوسط عتبة ECAP بين كل من الموقع الأوسط وقيمة القوقعة و بين متوسط القوقعة والقاعدة



الشكل (9-1) اختلاف عتبة ECAP تبعاً لمواقع الكترودات التسجيل الثلاث (باستخدام (Auto ART

دراسة مقارنة عتبة ECAP في الموقع القمي تبعاً للبقايا السمعية :

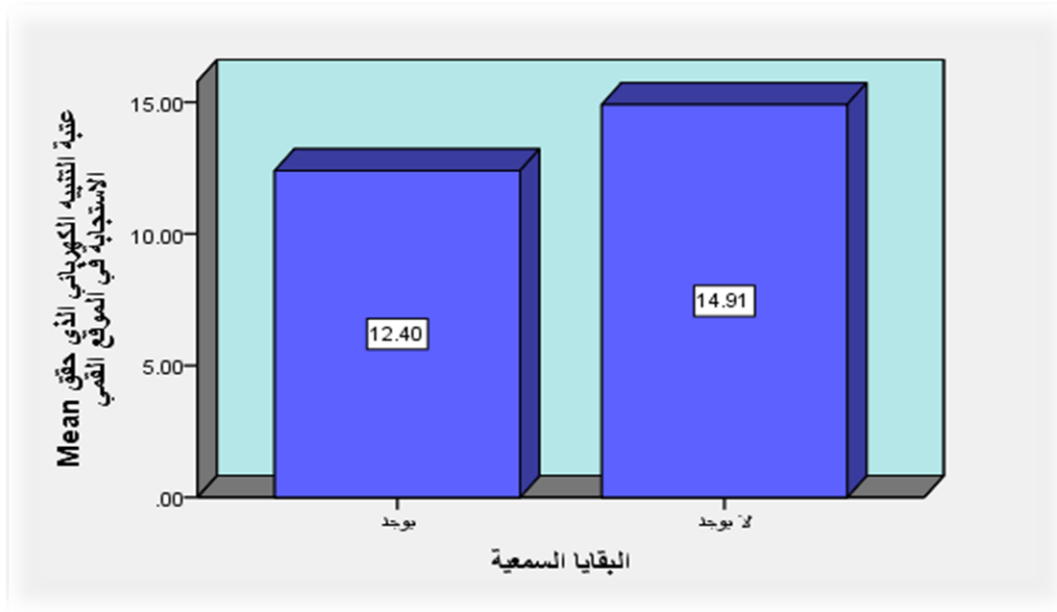
سوف نستخدم اختبار ستيوننت للعينات المستقلة كما في الجداول التالية :

Group Statistics					
	البقايا السمعية	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
عتبة ECAP في الموقع القمي	يوجد	16	12.4000	2.90333	.72583
	لا يوجد	22	14.9091	4.11118	.87651

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	T	Df	Sig. p- (value	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
عتبة ECAP في الموقع القمي	Equal variances assumed	2.022	.164	2.088-	36	.044	-2.50909-	1.20147	4.94578-	.07240-
	Equal variances not assumed			2.205-	35.986	.034	-2.50909-	1.13802	4.81714-	.20104-

الجدول (4-9) العتبة في القمة تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام Auto ART)

يظهر الجدول السابق أن قيمة ($\text{Sig.} = 0.044 < 0.05$) وبالتالي يوجد فرق دال إحصائياً بين متوسط عتبة ECAP في الموقع القمي للأفراد الذين لديهم بقايا سمعية و بين متوسط عتبة ECAP في قمة القوقعة للأفراد الذين ليس لديهم بقايا سمعية



الشكل (2-9) اختلاف متوسط عتبة ECAP تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام Auto ART)

دراسة مقارنة لعتبة ECAP في متوسط القوقعة تبعاً للبقايا السمعية:

سوف نستخدم اختبار ستيودنت للعينات المستقلة كما في الجداول التالية :

Group Statistics					
	البقايا السمعية	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
عتبة ECAP في متوسط القوقعة	يوجد	16	14.4125	5.09639	1.27410
	لا يوجد	22	15.7909	3.89015	.82938

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	T	Df	)Sig p- (value	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
عتبة ECAP في متوسط القوقعة	Equal variances assumed	1.584	.216	-.946-	36	.350	-1.37841-	1.45647	4.33226-	1.57544
	Equal variances not assumed			-.907-	26.949	.373	-1.37841-	1.52026	4.49800-	1.74119

الجدول (5-9) العتبة في المتوسط تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام Auto ART)

يظهر الجدول السابق أن قيمة ($\text{Sig.} = 0.35 > 0.05$) و بالتالي لا يوجد فرق دال إحصائياً

دراسة مقارنة عتبة ECAP في الموقع القاعدي تبعاً للبقايا السمعية :

سوف نستخدم اختبار ستيودنت للعينات المستقلة كما في الجداول التالية :

Group Statistics					
	البقايا السمعية	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
عتبة ECAP في الموقع القاعدي	يوجد	16	15.7688	3.96732	.99183
	لا يوجد	22	16.7636	4.05105	.86369

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	T	Df	p-)Sig (value	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
عتبة ECAP في الموقع القاعدي	Equal variances assumed	.225	.638	-.754-	36	.456	-.99489-	1.31964	3.67123-	1.68146
	Equal variances not assumed			-.756-	32.873	.455	-.99489-	1.31517	3.67102-	1.68125

الجدول (6-9) العتبة في قاعدة القوقعة تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام Auto ART)

يظهر الجدول السابق أن قيمة ($\text{Sig.} = 0.456 > 0.05$) وبالتالي لا يوجد فرق دال إحصائياً

دراسة مقارنة بين العمر عند إجراء الزرع وبين عتبة ECAP في قمة القوقعة:

سوف نستخدم اختبار معامل ارتباط بيرسون كما في الجدول التالي :

Correlations		
العمر عند إجراء الزرع *	Pearson Correlation	.095
	(p-value)Sig	.571
	N	38

الجدول (7-9) العتبة في القمة تبعاً للعمر عند إجراء الزرع (باستخدام Auto ART)

يظهر الجدول السابق أن ($\text{Sig.} = 0.571 > 0.05$) وبالتالي لا يوجد علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية

دراسة مقارنة بين العمر عند إجراء الزرع وبين عتبة ECAP في متوسط القوقعة

سوف نستخدم اختبار معامل ارتباط بيرسون كما في الجدول التالي :

Correlations			
		عمر الزرع	العتبة الدنيا لمقدار التنبيه الكهربائي المقدم الذي حقق الاستجابة في الموقع الاوسط
العمر عند إجراء الزرع	Pearson Correlation	1	-.178-
	(p-value)Sig		.284
	N	38	38
عتبة ECAP في متوسط القوقعة	Pearson Correlation	-.178-	1
	(p-value)Sig	.284	
	N	38	38

الجدول (8-9) العتبة في متوسط القوقعة تبعاً للعمر عند إجراء الزرع (باستخدام Auto ART)

يظهر الجدول السابق أن ($\text{Sig. (p-value)} = 0.284 > 0.05$) وبالتالي لا يوجد علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية

دراسة مقارنة بين العمر عند إجراء الزرع وبين عتبة ECAP في قاعدة القوقعة

سوف نستخدم اختبار معامل ارتباط بيرسون كما في الجدول التالي

Correlations			
		العمر عند إجراء الزرع	عتبة ECAP في قاعدة القوقعة
عمر الزرع	Pearson Correlation	1	.077
	(p-value)Sig		.645
	N	38	38
عتبة ECAP في قاعدة القوقعة	Pearson Correlation	.077	1
	(p-value)Sig	.645	
	N	38	38

الجدول (9-9) العتبة في قاعدة القوقعة تبعاً للعمر عند إجراء الزرع (باستخدام Auto ART)

يظهر الجدول السابق أن (Sig. = 0.645 > 0.05) و بالتالي لا يوجد علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية.

2-5-9 دراسة كمونات العمل المركب المحرصة كهربائياً باستخدام ART (عند الأشخاص ضعيفي الاستجابة وفق Auto ART)

كان مجمل العينة الخاضعة لهذا الاختبار هي 15 وتشمل على 10 ذكراً و 5 أنثى

دراسة عتبة كمونات العمل المركب المحرصة كهربائياً

دراسة التوزيع الطبيعي لبيانات عتبة ECAP للمواقع الثلاث لالكتروودات التسجيل:

تم استخدام اختبار كولموغوروف سميرونوف لتحديد طبيعة توزيع البيانات فتبين أن البيانات تخضع للتوزيع الطبيعي ويمكننا استخدام الاختبارات البارامترية في تحليل البيانات

دراسة مقارنة عتبة كمونات العمل المركب المحرصة كهربائياً تبعاً للمناطق المختلفة لالكتروودات التسجيل:

سوف نستخدم اختبار تحليل التباين وحيد الاتجاه كما في الجداول التالية :

Descriptives								
متوسط عتبة ECAP تبعاً لمواقع الكتروودات التسجيل								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
قمي	15	370.3222	180.71774	46.66112	270.2441	470.4004	168.00	900.00
أوسط	14	593.6250	265.51341	70.96144	440.3221	746.9279	212.00	1200.00
قاعدي	12	766.2778	285.19015	82.32731	585.0766	947.4790	262.00	1100.00

يظهر جدول الإحصائيات الوصفية السابق وجود فروق ملحوظة في المؤشرات الإحصائية لعتبة ECAP بين مواقع التسجيل الثلاث .

ولدراسة معنى الفروق سنستخدم اختبار (ANOVA) كما في الجدول التالي :

ANOVA					
متوسط عتبة ECAP تبعاً لمواقع الكترودات التسجيل					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	(p-value) Sig.
Between Groups	1065851.724	2	532925.862	8.928	.001
Within Groups	2268358.124	38	59693.635		
Total	3334209.848	40			

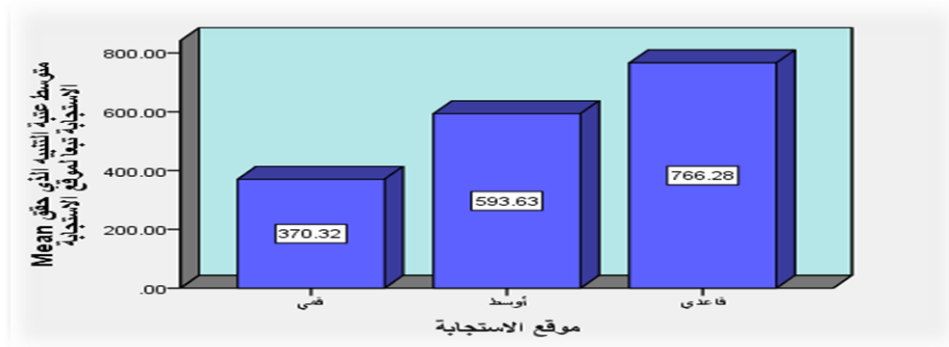
يظهر الجدول السابق أن قيمة (Sig. (p-value) = 0.001 < 0.05) وبالتالي يوجد فروق ذات دلالة في متوسط عتبة ECAP تبعاً لمواقع الكترودات التسجيل ولتحديد موقع التسجيل الذي تكون عنده العتبة هي الأقل سوف نستخدم اختبار بونفيريوني للمقارنات الثنائية المتعددة كما في الجدول التالي :

Multiple Comparisons						
Dependent Variable:						
Bonferroni						
(I) موقع الاستجابة	(J) موقع الاستجابة	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-) Sig. (value	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
قمي	أوسط	-223.30278-	90.79321	.056	-450.7047-	4.0991
	قاعدي	-395.95556*	94.62582	.000	-632.9567-	-158.9544-
أوسط	قمي	223.30278	90.79321	.056	-4.0991-	450.7047
	قاعدي	-172.65278-	96.11608	.241	-413.3864-	68.0809
قاعدي	قمي	395.95556*	94.62582	.000	158.9544	632.9567
	أوسط	172.65278	96.11608	.241	-68.0809-	413.3864

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

الجدول (9-10) عتبة ECAP تبعاً لموقع الكترودات التسجيل (باستخدام ART)

يظهر الجدول السابق أن قيمة (Sig. (p-value) = 0 < 0.05) بين قمة القوقعة وقاعدتها وبالتالي يوجد فرق دال إحصائياً بينما تبين عدم وجود فروق دالة إحصائية بين متوسط عتبة ECAP بين كل من الموقع المتوسط والقمة و بين الموقع المتوسط والقاعدة



الشكل (3-9) اختلاف متوسط عتبة ECAP تبعاً لموقع الكترودات التسجيل (باستخدام ART)

دراسة مقارنة عتبة ECAP في الموقع القمي تبعاً للبقايا السمعية :

سوف نستخدم اختبار ستيودنت للعينات المستقلة كما في الجداول التالية :

Group Statistics					
	البقايا السمعية	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
عتبة ECAP في الموقع القمي	يوجد	7	357.1429	131.83251	49.82800
	لا يوجد	8	381.8542	223.81945	79.13213

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
				F	Sig.	T	Df	)Sig p- (value	Mean Difference	Std. Error Difference
		Lower	Upper							
عتبة في ECAP الموقع القمي	Equal variances assumed	.284	.603	-.255-	13	.803	-24.71131-	96.81872	-233.87543-	184.45282
	Equal variances not assumed			-.264-	11.536	.796	-24.71131-	93.51322	-229.37245-	179.94983

الجدول (11-9) عتبة ECAP في القمة تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام ART)

يظهر الجدول السابق أن قيمة (Sig. = 0.803 > 0.05) (p-value) وبالتالي لا يوجد فرق دال إحصائياً

دراسة مقارنة عتبة ECAP في الموقع المتوسط تبعاً للبقايا السمعية

سوف نستخدم اختبار ستيودنت للعينات المستقلة كما في الجداول التالية :

Group Statistics					
	البقايا السمعية	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
عتبة ECAP في الموقع المتوسط	يوجد	7	660.0714	338.77597	128.04528
	لا يوجد	7	527.1786	166.35258	62.87537

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	T	df	p- (value Sig)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
عتبة ECAP في الموقع المتوسط	Equal variances assumed	4.310	.060	.932	12	.370	132.89286	142.64959	177.91390-	443.69962
	Equal variances not assumed			.932	8.734	.377	132.89286	142.64959	191.30457-	457.09029

الجدول (9-12) عتبة ECAP في المتوسط تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام ART)

يظهر الجدول السابق أن قيمة (Sig. = 0.37 > 0.05) (p-value) وبالتالي لا يوجد فرق دال إحصائياً

دراسة مقارنة عتبة ECAP في الموقع القاعدي تبعاً للبقايا السمعية

سوف نستخدم اختبار ستيودنت للعينات المستقلة كما في الجداول التالية :

Group Statistics					
	البقايا السمعية	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
عتبة ECAP في الموقع القاعدي	يوجد	5	711.4000	313.73524	140.30666
	لا يوجد	7	805.4762	281.40569	106.36135

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	T	df	Sig p- (value	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
عتبة ECAP في الموقع القاعدي	Equal variances assumed	.003	.959	-.545-	10	.598	-94.07619-	172.59573	478.64344-	290.49106
	Equal variances not assumed			-.534-	8.129	.607	-94.07619-	176.06447	498.96584-	310.81346

الجدول (9-13) عتبة ECAP عند القاعدة تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام ART)

يظهر الجدول السابق أن قيمة ($\text{Sig.} = 0.598 > 0.05$) وبالتالي لا يوجد فرق دال إحصائياً

دراسة مقارنة بين العمر عند إجراء الزرع وبين عتبة ECAP في قمة القوقعة

سوف نستخدم اختبار معامل ارتباط بيرسون كما في الجدول التالي :

Correlations			
		العمر عند إجراء الزرع	عتبة ECAP في قمة القوقعة
العمر عند إجراء الزرع	Pearson Correlation	1	.027
	(p-value) Sig.		.927
	N	15	15
عتبة ECAP في قمة القوقعة	Pearson Correlation	.027	1
	(p-value) Sig.	.927	
	N	15	15

الجدول (9-14) عتبة ECAP عند القمة تبعاً للعمر عند إجراء الزرع (باستخدام ART)

يظهر الجدول السابق أن ($\text{Sig. (p-value)} = 0.927 > 0.05$) وبالتالي لا يوجد علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية

دراسة مقارنة بين العمر عند إجراء الزرع وبين عتبة ECAP في متوسط القوقعة

سوف نستخدم اختبار معامل ارتباط بيرسون كما في الجدول التالي :

Correlations			
		العمر عند إجراء الزرع	عتبة ECAP في متوسط القوقعة
العمر عند إجراء الزرع	Pearson Correlation	1	-.241-
	(p-value) Sig.		.407
	N	14	14
عتبة ECAP في متوسط القوقعة	Pearson Correlation	-.241-	1
	(p-value) Sig.	.407	
	N	14	14

الجدول (9-15) عتبة ECAP عند المتوسط تبعاً للعمر عند إجراء الزرع (باستخدام ART)

يظهر الجدول السابق أن ($\text{Sig. (p-value)} = 0.407 > 0.05$) وبالتالي لا يوجد علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية

دراسة مقارنة بين العمر عند إجراء الزرع وبين عتبة ECAP في قاعدة القوقعة

سوف نستخدم اختبار معامل ارتباط بيرسون كما في الجدول التالي :

Correlations			
		العمر عند إجراء الزرع	عتبة ECAP في قاعدة القوقعة
العمر عند إجراء الزرع	Pearson Correlation	1	-.453-
	(p-value) Sig		.139
	N	12	12
عتبة ECAP في قاعدة القوقعة	Pearson Correlation	-.453-	1
	(p-value) Sig	.139	
	N	12	12

الجدول (9-16) عتبة ECAP عند القاعدة تبعاً للعمر عند إجراء الزرع (باستخدام ART)

يظهر الجدول السابق أن ($\text{Sig. (p-value)} = 0.139 > 0.05$) وبالتالي لا يوجد علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية.

دراسة مطال الاستجابة الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المطال

دراسة مقارنة المطال الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المطال تبعاً لمواقع الكترودات التسجيل

سوف نستخدم اختبار تحليل التباين وحيد الاتجاه كما في الجداول التالية :

Descriptives								
متوسط المطال الأعظمي للاستجابة باستخدام تابع ازدياد المطال (μ_v) تبعاً لموقع التسجيل								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
قمي	15	750.4722	335.82048	86.70848	564.5010	936.4434	161.33	1311.25
أوسط	14	538.9821	305.10935	81.54390	362.8172	715.1470	131.00	1296.25
قاعدي	12	316.2153	175.46669	50.65287	204.7291	427.7015	67.50	559.00

يظهر جدول الإحصائيات الوصفية السابق وجود فروق ملحوظة في المؤشرات الإحصائية لمطال الاستجابة الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المطال بين مواقع التسجيل الثلاث.

ولدراسة معنى الفروق سنستخدم اختبار (ANOVA) كما في الجدول التالي :

ANOVA					
متوسط المطال الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المطال (μV) تبعاً لموقع التسجيل					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	(p-value) Sig.
Between Groups	1260344.901	2	630172.451	7.656	.002
Within Groups	3127721.990	38	82308.473		
Total	4388066.892	40			

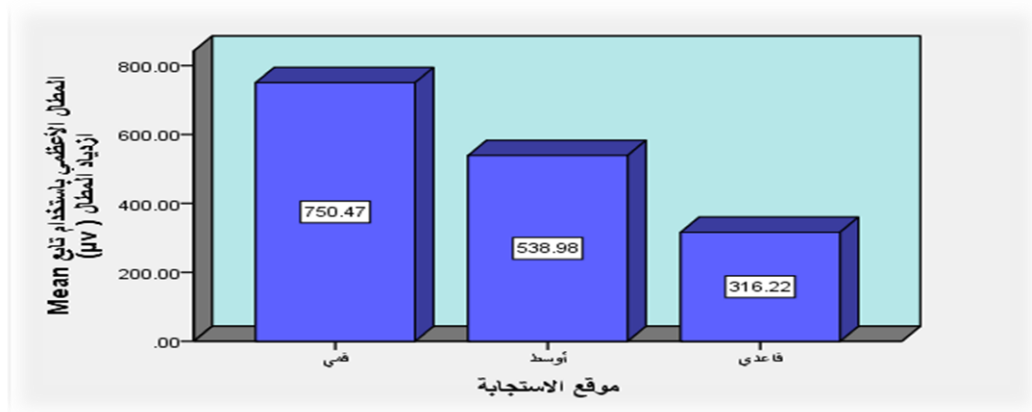
يظهر الجدول السابق أن قيمة ($\text{Sig. (p-value)} = 0.002 < 0.05$) وبالتالي يوجد فروق ذات دلالة في متوسط المطال الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المطال تبعاً لموقع التسجيل ولتحديد موقع الاستجابة ذو المطال الأعظمي سنستخدم اختبار بونفيريوني للمقارنات الثنائية المتعددة كما في الجدول التالي :

Multiple Comparisons						
Dependent Variable:						
Bonferroni						
(I) موقع التسجيل	(J) موقع التسجيل	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-) Sig. (value	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
قمي	أوسط	211.49008	106.61336	.164	-55.5352-	478.5154
	قاعدي	434.25694*	111.11378	.001	155.9599	712.5540
أوسط	قمي	-211.49008-	106.61336	.164	-478.5154-	55.5352
	قاعدي	222.76687	112.86371	.167	-59.9131-	505.4469
قاعدي	قمي	-434.25694*	111.11378	.001	-712.5540-	-155.9599-
	أوسط	-222.76687-	112.86371	.167	-505.4469-	59.9131

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

الجدول (9-17) المطال الأعظمي ل ECAP تبعاً لموقع الكترودات التسجيل (باستخدام ART)

يظهر الجدول السابق أن قيمة ($\text{Sig. (p-value)} = 0.001 < 0.05$) بين قمة القوقعة والقاعدة وبالتالي يوجد فرق دال إحصائياً بينما تبين عدم وجود فروق دالة إحصائياً بين متوسط المطال الأعظمي بين كل من الموقع المتوسط والقمي و بين الموقع المتوسط والقاعدي.



الشكل (4-9) اختلاف متوسط المظال الأعظمي ل ECAP تبعاً لموقع الكترودات التسجيل (باستخدام ART)

دراسة مقارنة المظال الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المظال في الموقع القمي تبعاً للبقايا السمعية

سوف نستخدم اختبار ستيودنت للعينات المستقلة كما في الجداول التالية

Group Statistics					
	البقايا السمعية	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
المظال الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المظال (μV) للاستجابة في قمة القوقعة	يوجد	7	865.9286	351.95051	133.02479
	لا يوجد	8	649.4479	307.21842	108.61811

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	T	Df	p-)Sig (value	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
المظال الأعظمي في قمة القوقعة	Equal variances assumed	.221	.646	1.273	13	.225	216.48065	170.07778	150.95005-	583.91136
	Equal variances not assumed			1.261	12.069	.231	216.48065	171.73669	157.46371-	590.42502

الجدول (18-9) المظال الأعظمي ل ECAP في القمة تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام ART)

يظهر الجدول السابق أن قيمة (Sig. = 0.225 > 0.05) (p-value) وبالتالي لا يوجد فرق دال إحصائياً

دراسة مقارنة المطال الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المطال في الموقع المتوسط من القوقعة تبعاً للبقايا السمعية

سوف نستخدم اختبار ستيودنت للعينات المستقلة كما في الجداول التالية :

Group Statistics					
	البقايا السمعية	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
المطال الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المطال (μ_v) في الموقع المتوسط من القوقعة	يوجد	7	635.2857	375.29312	141.84747
	لا يوجد	7	442.6786	198.02418	74.84611

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	T	Df	p-)Sig (value	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
المطال الأعظمي في الموقع المتوسط من القوقعة	Equal variances assumed	1.119	.311	1.201	12	.253	192.60714	160.38280	156.83696-	542.05125
	Equal variances not assumed			1.201	9.101	.260	192.60714	160.38280	169.59322-	554.80751

الجدول (9-19) المطال الأعظمي ل ECAP في المتوسط تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام ART)

يظهر الجدول السابق أن قيمة (Sig. = 0.253 > 0.05) (p-value) وبالتالي لا يوجد فرق دال إحصائياً

دراسة مقارنة المطال الأعظمي الناتج عن تابع ازدياد المطال في قاعدة القوقعة تبعاً للبقايا السمعية

سوف نستخدم اختبار ستيودنت للعينات المستقلة كما في الجداول التالية :

Group Statistics					
	البقايا السمعية	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
المطال الأعظمي باستخدام تابع ازدياد المطال (μv) في الموقع القاعدي	يوجد	5	405.4833	117.37955	52.49373
	لا يوجد	7	252.4524	189.41068	71.59051

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	T	Df	p-)Sig (value	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
المطال الأعظمي باستخدام تابع ازدياد المطال (μv) في الموقع القاعدي	Equal variances assumed	3.141	.107	1.589	10	.143	153.03095	96.28000	61.49425-	367.55615
	Equal variances not assumed			1.724	9.896	.116	153.03095	88.77383	45.05294-	351.11484

الجدول (9-20) المطال الأعظمي ل ECAP عند القاعدة تبعاً للبقايا السمعية (باستخدام ART)

يظهر الجدول السابق أن قيمة ($\text{Sig.} = 0.143 > 0.05$) وبالتالي لا يوجد فرق دال إحصائياً

3-5-9 دراسة مقارنة زمن الحران النسبي تبعاً لمواقع الكترودات التسجيل

كان مجمل العينة المدروسة هو 10 أفراد وتشمل على 4 ذكراً و 6 أنثى

سوف نستخدم اختبار تحليل التباين وحيد الاتجاه كما في الجداول التالية :

Descriptives								
متوسط زمن الحران النسبي للعصب تبعاً لموقع الاستجابة								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
قمي	9	1475.0000	175.00000	58.33333	1340.4831	1609.5169	1275.00	1750.00
أوسط	9	1291.6667	160.07811	53.35937	1168.6197	1414.7136	1100.00	1600.00
قاعدي	10	1055.0000	146.15441	46.21808	950.4474	1159.5526	850.00	1400.00

يظهر جدول الاحصائيات الوصفية السابق وجود فروق ملحوظة في المؤشرات الاحصائية لزمن الحران النسبي للعصب بين مواقع التسجيل الثلاث

ولدراسة معنى الفروق سنستخدم اختبار (ANOVA) كما في الجدول التالي :

ANOVA					
متوسط زمن الحران النسبي للعصب تبعاً لموقع التسجيل					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	(p-value) Sig.
Between Groups	844267.857	2	422133.929	16.432	.000
Within Groups	642250.000	25	25690.000		
Total	1486517.857	27			

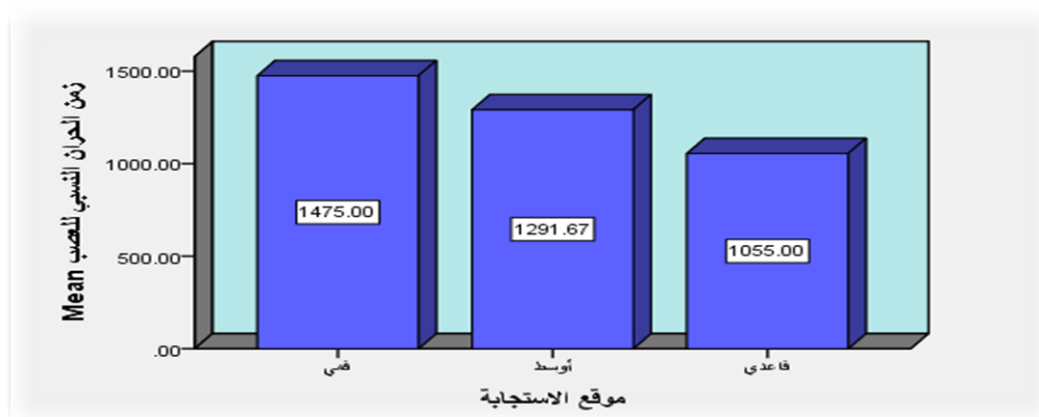
يظهر الجدول السابق أن قيمة (Sig. = 0 < 0.05) (p-value) وبالتالي يوجد فروق ذات دلالة في متوسط زمن الحران النسبي للعصب تبعاً لموقع التسجيل

لتحديد موقع التسجيل ذو زمن الحران الأكبر سوف نستخدم اختبار بونفوريوني للمقارنات الثنائية المتعددة كما في الجدول التالي

Multiple Comparisons						
Dependent Variable:						
Bonferroni						
(I) موقع التسجيل	(J) موقع التسجيل	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p-) Sig. (value	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
قمي	أوسط	183.33333	75.55719	.068	-10.5448-	377.2115
	قاعدي	420.00000*	73.64404	.000	231.0310	608.9690
أوسط	قمي	-183.33333-	75.55719	.068	-377.2115-	10.5448
	قاعدي	236.66667*	73.64404	.011	47.6976	425.6357
قاعدي	قمي	-420.00000-*	73.64404	.000	-608.9690-	-231.0310-
	أوسط	-236.66667-*	73.64404	.011	-425.6357-	-47.6976-
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.						

الجدول (9-21) زمن الحران النسبي للعصب تبعاً لموضع الكترودات التسجيل

يظهر الجدول السابق أن قيمة (Sig. = 0 < 0.05) (p-value) بين قمة القوقعة والقاعدة وبالتالي يوجد فرق دال إحصائياً كما تبين وجود فرق دال إحصائياً بين الموقع المتوسط و الموقع القاعدي بينما تبين عدم وجود فروق دالة إحصائياً بين متوسط زمن الحران النسبي للعصب بين كل من الموقع المتوسط والقمي



الشكل (5-9) اختلاف زمن الحران النسبي للعصب تبعاً لموقع الكترودات التسجيل

6-9 المناقشة Discussion:

تم إجراء القياس باستخدام AutoART نظراً لسهولة استخدامها وتفسير نتائجها ونظراً لأنها أداة سريعة وذلك لأهمية اختصار الوقت المستغرق أثناء العمل الجراحي وكانت نتائج إجراء القياس بواسطتها في بحثنا:

- ❖ يوجد فرق دال إحصائياً بين متوسط عتبة ECAP في الموقع القمي و بين متوسط عتبة ECAP في الموقع القاعدي حيث كانت عتبة ECAP في القمة منخفضة أكثر بالقمة وبلغ قيمة المتوسط لها (13.85 qu) ، في حين كانت عتبة ECAP مرتفعة أكثر عند القاعدة وكانت قيمة المتوسط لها (16.34 qu) بينما تبين عدم وجود فروق دالة إحصائياً بين متوسط عتبة ECAP بين كل من الموقع المتوسط والقمي و بين الموقع المتوسط والقاعدي. وهذا يفسر بوجود كثافة عصبية أعلى في قمة القوقعة
- ❖ يوجد فرق دال إحصائياً بين متوسط عتبة ECAP في الموقع القمي للمرضى الذين لديهم بقايا السمعية و بين متوسط عتبة ECAP في الموقع القمي للمرضى الذين ليس لديهم بقايا سمعية حيث كانت العتبة لدى من لديهم بقايا سمعية منخفضة أكثر بمتوسط (12.4 qu) ، في حين كانت عتبة ECAP عند من ليس لديهم بقايا سمعية أكبر وبلغت قيمة المتوسط (14.9 qu) وذلك في الموقع القمي.

بينما تم استخدام ART لإجراء القياس للأشخاص الذين استبعدوا من المجموعة الأولى وعددهم 5 نظراً لعدم إمكانية تسجيل أي استجابة لهم وإضافة إلى 10 أشخاص كانت استجاباتهم غير جيدة على بعض الالكترودات وبالتالي كانت النتائج

- ❖ يوجد فرق دال إحصائياً بين متوسط عتبة ECAP في الموقع القمي و بين متوسط العتبة في الموقع القاعدي حيث كانت عتبة الموقع القمي منخفضة بشكل أكبر بمتوسط (370.32 qu) ، في حين كانت عتبة ECAP في قاعدة القوقعة مرتفعة بشكل أكبر فكانت قيمة المتوسط (766.27 qu).

- ❖ بينما تبين عدم وجود فروق دالة إحصائياً بين متوسط عتبة ECAP بين كل من الموقع المتوسط والقمي و بين الموقع المتوسط والقاعدي، وذلك باستخدام ART لإجراء القياس وهذا يفسر أيضاً بوجود بقاء عصبي وكثافة عصبية أعلى في قمة القوقعة

❖ لا يوجد فرق دال إحصائياً بين متوسط عتبة ECAP في الموقع القمي للمرضى ذوي البقايا السمعية و بين متوسط عتبة ECAP في الموقع القمي للمرضى الذين ليس لديهم بقايا سمعية يمكن أن يكون ذلك بسبب التشويش على الإشارة المقاسة أو لصغر حجم العينة (15 شخص تم إجراء القياس لهم باستخدام ART) وبالتالي ربما نحن بحاجة لإجراء القياس على عينة أكبر

❖ يوجد فرق دال إحصائياً بين متوسط المطال الأعظمي باستخدام تابع ازدياد المطال في الموقع القمي و بين متوسط المطال الأعظمي في الموقع القاعدي حيث كان متوسط المطال عند الموقع القمي أكبر وبلغت قيمة المتوسط ($750.47 \mu v$) ، في حين بلغ متوسط المطال للموقع القاعدي ($316.21 \mu v$).

❖ بينما تبين عدم وجود فروق دالة إحصائياً بين متوسط المطال الأعظمي بين كل من الموقع المتوسط والقمي و بين الموقع المتوسط والقاعدي .

❖ لا يوجد فرق دال إحصائياً بين متوسط المطال الأعظمي باستخدام تابع ازدياد المطال في الموقع القمي للمرضى الذين لديهم بقايا سمعية و بين متوسط المطال الأعظمي باستخدام تابع ازدياد المطال في الموقع القمي للمرضى الذين ليس لديهم بقايا سمعية وقد يكون ذلك بسبب صغر حجم العينة المدروسة أو التشويش على الإشارة

❖ لا يوجد فرق دال إحصائياً بين متوسط المطال الأعظمي باستخدام تابع ازدياد المطال في الموقع المتوسط أو القاعدي للمرضى الذين لديهم بقايا سمعية و بين متوسط المطال الأعظمي باستخدام تابع ازدياد المطال في الموقع المتوسط أو القاعدي للمرضى الذين ليس لديهم بقايا سمعية وقد تم تفسير هذا سابقاً

❖ بينما لا يوجد فرق دال إحصائياً بين متوسط عتبة ECAP في الموقع المتوسط أو القاعدي للمرضى الذين لديهم بقايا سمعية و بين متوسط عتبة ECAP في الموقع المتوسط أو القاعدي للمرضى الذين ليس لديهم بقايا سمعية سواءً عند استخدام ART أو AutoART وهذا من النتائج الطبيعية لأن البقايا السمعية غالباً ما تتركز في قمة القوقعة و لا يوجد علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية بين العمر عند إجراء الزرع وبين عتبة ECAP في الموقع القمي أو المتوسط أو القاعدي سواءً عند استخدام ART أو AutoART من الممكن ان تختلف هذه النتائج إذا شملت العينة أطفال تحت عمر السنة

والنصف أو إذا شملت العينة أشخاصاً فوق عمر 80 عاماً لكن نحن بحاجة لدراسة هذا ضمن عينة تحتوي على الفئات العمرية المذكورة وعند قياس زمن الحران النسبي كانت النتائج:

❖ وجود فرق دال إحصائياً بين متوسط زمن الحران النسبي للعصب السمعي في الموقع المتوسط و بين متوسط زمن الحران النسبي للعصب السمعي في الموقع القاعدي حيث بلغ متوسط زمن الحران النسبي في الموقع القاعدي ($1055\mu s$) ، في حين بلغ متوسط زمن الحران النسبي للموقع المتوسط ($1291.66\mu s$).

❖ بينما تبين عدم وجود فروق دالة إحصائياً بين متوسط زمن الحران النسبي للعصب السمعي بين كل من الموقع المتوسط والقمي يوجد فرق دال إحصائياً بين متوسط زمن الحران النسبي للعصب السمعي في الموقع القمي و بين متوسط زمن الحران النسبي للعصب السمعي في الموقع القاعدي حيث بلغ متوسط زمن الحران النسبي في الموقع القاعدي ($1055\mu s$) ، في حين بلغ متوسط زمن الحران النسبي للموقع القمي ($1475\mu s$).

7-9 المقارنة مع الدراسات السابقة:

عند المقارنة مع الدراسة التي أجراها Stefan Brill وزملاؤه بعنوان موقع التنبيه داخل القوقعة وأثره على كمونات العمل المركب المحرصة كهربائياً باستخدام مصفوفة الالكترود standard لشركة MED-EL تم نشرها في مجلة BioMedical Engineering OnLine نشرت في 16 كانون الأول 2009: مع العلم أن المصفوفة المستخدمة بهذه الدراسة يبلغ طولها 31.5mm بينما المصفوفة المستخدمة في دراستنا العملية طولها 28mm

- تتفق هذه الدراسة مع بحثنا في أن العتبة تختلف تبعاً لمواقع الكترودات التسجيل وهي منخفضة في القمة بشكل أكبر
- تتفق هذه الدراسة مع بحثنا في أن المطال الأعظمي المقاس باستخدام تابع ازدياد المطال يختلف تبعاً لاختلاف مواقع الكترودات التسجيل وهو ذو قيمة أعلى في قمة القوقعة

- تتفق الدراسة هذه مع بحثنا في أن زمن الحران النسبي للعصب السمعي يختلف تبعاً لاختلاف مواقع التسجيل داخل القوقعة
- الاختلافات بالقيم:

- كان زمن الحران النسبي في الدراسة عند القاعدة $1267.9 \pm 301.9 \mu s$ بينما كان زمن الحران النسبي للعصب السمعي في دراستنا العملية عند قاعدة القوقعة $1055 \pm 146.154 \mu s$

- زمن الحران النسبي في الدراسة عند المتوسط $1236.0 \pm 415.6 \mu s$ بينما كان زمن الحران النسبي في دراستنا العملية عند الموقع المتوسط $1291.66 \pm 160.0781 \mu s$

- زمن الحران النسبي في الدراسة عند القمة $1519 \pm 431.8 \mu s$ بينما كان زمن الحران النسبي في دراستنا عند القمة هو $1475 \pm 175.0 \mu s$

وهذه الأرقام متقاربة نوعاً ما وقد يكون هذا الاختلاف البسيط بسبب الفروق الفردية للأشخاص أو اختلاف العوامل المسببة للصرع وقد يكون بسبب اختلاف توزيع الاعمار بين الدراستين

8-9 الاستنتاجات:

- تختلف عتبة ECAP بين قمة القوقعة ومتوسطها وعند القاعدة وهي منخفضة بالقمة بشكل أكبر
- يختلف المطال الأعظمي ل ECAP تبعاً للموقع وهو ذو قيمة أكبر في قمة القوقعة
- يختلف زمن الحران النسبي للعصب السمعي تبعاً للمواقع المختلفة داخل القوقعة
- لا يوجد علاقة بين العمر عند الزرع وعتبة ECAP (ضمن المدى الذي شملته الدراسة)
- عتبة ECAP تختلف في قمة القوقعة تبعاً لوجود البقايا السمعية وتكون عندها منخفضة بشكل أكبر

9-9 محدوديات الدراسة:

- الدراسة تشمل لشركة MEDEL وذلك بسبب عدم توافر العينات الكافية للدراسة على باقي الشركات
- الدراسة شملت لنوع واحد من الغرسات لشركة MEDEL وذلك بسبب أنه غالباً ما يتم استخدامها بالترّة الأخيرة وذلك بسبب سهولة إدخالها أثناء العمل الجراحي (يتم طلب أنواع أخرى عند وجود حالات خاصة وهذه الحالات استبعدت أساساً من الدراسة)
- صغر حجم العينة التي تم دراسة زمن الحران النسبي عليها وذلك بسبب عدم توافر الظروف المناسبة للإجراء على عينة أكبر

10-9 التوجهات المستقبلية:

- دراسة خصائص العصب السمعي الزمنية المتغيرة تبعاً لتغيير بارامترات التنبيه الكهربائي والاستفادة من ذلك في برمجة معالج الكلام تبعاً للاختلافات الفردية
- توسيع الدراسة لتشمل الغرسات التابعة لشركة cochlear وشركة AB ومقارنة النتائج (لدراسة تأثير طول الغرسة - عدد الالكترودات - مكان الغرسة وبعدها عن العماد - اختلاف طريقة التنبيه) لكي نحصل على مجموعة من البيانات معيارية لتوصيف النتائج السريرية للشركات الثلاث

المراجع References

1. Bayat, A. (2018). Comparison of Neural Response Telemetry and Electrical Stapedius Reflexes with Behavioral Thresholds in Cochlear Implant Users. *Asian Journal of Pharmaceutics (AJP): Free full text articles from Asian J Pharm*, 12(03)
2. Bordure P, "Electrophysiological and objective tests in pediatric cochlear implantation", *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac*. 1996;113(3):147–54
3. Briaire, J. J., & Frijns, J. H. (2005). Unraveling the electrically evoked compound action potential. *Hearing research*, 205(1-2), 143-156.
4. Brian R. MacIntosh, Phillip F. Gardiner, Alan J. McComas, Skeletal Muscle: Form and Function, Second Edition, Champaign, Ill. ; Leeds : Human Kinetics, 2006, December 2017
5. Brill, S., Müller, J., Hagen, R., Möltner, A., Brockmeier, S. J., Stark, T., ... & Nopp, P. (2009). Site of cochlear stimulation and its effect on electrically evoked compound action potentials using the MED-EL standard electrode array. *Biomedical engineering online*, 8(1), 40.
6. Carvalho, B., Hamerschmidt, R., & Wiemes, G. (2015). Intraoperative neural response telemetry and neural recovery function: a comparative study between adults and children. *International archives of otorhinolaryngology*, 19(1), 10-15.
7. Caldas, F. F., Cardoso, C. C., Barreto, M. A. D. S. C., Teixeira, M. S., Hilgenberg, A. M. D. S., Serra, L. S. M., & Bahmad Junior, F. (2016). Analysis of electrically evoked compound action potential of the auditory nerve in children with bilateral cochlear implants. *Brazilian journal of otorhinolaryngology*, 82(2), 123-130
8. Cohen, L. T.; Richardson, L. M.; Saunders, E. and Cowan, R. S. C. "Spatial spread of neural excitation in cochlear implant recipients: comparison of improved ECAP method and psychophysical forward masking". *Hearing Research*, 179, pages 72–87, 2003
9. Chen, J. K. C., Chuang, A. Y. C., Sprinzl, G. M., Tung, T. H., & Li, L. P. H. (2013). Impedance and electrically evoked compound action potential (ECAP) drop within 24 hours after cochlear implantation. *PloS one*, 8(8), e71929
10. De Clercq, D., Broux, B., Declodt, A., Vera, L., & van Loon, G. (2017). Day-to-day variability of right atrial and ventricular monophasic action potential and refractory period measurements in the standing non-sedated horse. *Diagnosis and Treatment of Atrial Arrhythmias in Horses*, 127.
11. de Vos, J. J., Biesheuvel, J. D., Briaire, J. J., Boot, P. S., van Gendt, M. J., Dekkers, O. M., ... & Frijns, J. H. (2018). Use of electrically evoked compound action potentials for cochlear implant fitting: a systematic review. *Ear and hearing*, 39(3), 401-411
12. de Moura, A. C. G., Goffi-Gomez, M. V. S., Couto, M. I. V., Brito, R., Tsuji, R. K., Befi-Lopes, D. M., ... & Bento, R. F. (2014). Longitudinal analysis of

- the absence of intraoperative neural response telemetry in children using cochlear implants. *International archives of otorhinolaryngology*, 18(04), 362-368
13. Dees, D. C., Dillier, N., Lai, W. K., Von Wallenberg, E., Van Dijk, B., Akdas, F., ... & Chanal, J. M. (2005). Normative findings of electrically evoked compound action potential measurements using the neural response telemetry of the Nucleus CI24M cochlear implant system. *Audiology and Neurotology*, 10(2), 105-116
 14. Dhuldhoya, A. N. (2013). Characterization of Temporal Interactions in the Auditory Nerve of Adult and Pediatric Cochlear Implant Users
 15. Flint, P. W., Haughey, B. H., Niparko, J. K., Richardson, M. A., Lund, V. J., Robbins, K. T., ... & Thomas, J. R. (2010). *Cummings Otolaryngology-Head and Neck Surgery E-Book: Head and Neck Surgery, 3-Volume Set*. Elsevier Health Sciences
 16. Firszt JB, Chambers RD, Kraus N, Reeder RM, “Neurophysiology of cochlear implant users I: effects of stimulus current level and electrode site on the electrical ABR, MLR, and N1-P2 response”, *Ear Hear* 2002;23(6):502–515
 17. Garrido, L. C., Schwarz, K., Lauss, K., de Paula Vernetta, C., Kontides, A., Gomez, M. D., ... & Carceller, M. A. (2018). Comparison of a Traditional and Novel Evoked Compound Action Potentials Recording Approach and Evoked Auditory Brainstem Responses in Pediatric Cochlear Implants Users. *The journal of international advanced otology*, 14(3), 353.
 18. Guedes, M. C., Brito Neto, R. V., Goffi Gomez, M. V. S., Sant'Anna, S. B. G., Peralta, C. G. O., Castilho, A. M., & Bento, R. F. (2005). Neural response telemetry measures in patients implanted with Nucleus 24®. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia*, 71(5), 660-667.
 19. Hall, J. E. (2015). *Guyton and Hall textbook of medical physiology e-Book*. Elsevier Health Sciences
 20. Hall III, J. W. (2015). eHandbook of auditory evoked responses: principles, procedures & protocols. *Pretoria: Pearson*.
 21. Hughes, M. L. (2006). Fundamentals of Clinical ECAP Measures in Cochlear Implants-Part 1: Use of the ECAP in Speech Processor Programming. *Audiology Online*, 1569
 22. Hughes, M. L., & Stille, L. J. (2010). Effect of stimulus and recording parameters on spatial spread of excitation and masking patterns obtained with the electrically evoked compound action potential in cochlear implants. *Ear and hearing*, 31(5), 679.
 23. Hey, M., Müller-Deile, J., Hessel, H., & Killian, M. (2017). Facilitation and refractoriness of the electrically evoked compound action potential. *Hearing research*, 355, 14-22.
 24. Hughes, M. L., & Laurello, S. A. (2017). Effect of stimulus level on the temporal response properties of the auditory nerve in cochlear implants. *Hearing research*, 351, 116-129

25. Hughes, M. L., Castioni, E. E., Goehring, J. L., & Baudhuin, J. L. (2012). Temporal response properties of the auditory nerve: Data from human cochlear-implant recipients. *Hearing research*, 285(1-2), 46-57.
26. He, S., Abbas, P. J., Doyle, D. V., McFayden, T. C., & Mulherin, S. (2016). Temporal Response Properties of the Auditory Nerve in Implanted Children with Auditory Neuropathy Spectrum Disorder and Implanted Children with Sensorineural Hearing Loss. *Ear and hearing*, 37(4), 397-411.
27. Kamal, A., & Yousef, M. (2018). Comparison between behavioral, Modified Brown ECAP, ESRT. *Journal of Hearing Science*, 8(2).
28. Klinke, R. and Silbernagl, S. *Lehrbuch der Physiologie*. Thieme, Stuttgart, 2003. Thieme Verlag, 3. Auflage 2003
29. Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. (2013). *Clinically oriented anatomy*. Lippincott Williams & Wilkins
30. Møller, A. R. (2012). *Hearing: anatomy, physiology, and disorders of the auditory system*. Plural Publishing
31. M G Felfela,.. (2017). Ear Anatomy. *Global Journal of Otolaryngology*, 4(1), 1-18
32. Morsnowski, A.; Charasse, B.; Collet, L.; Killian, M. and Müller-Deile, J. "Measuring the refractoriness of the electrically stimulated auditory nerve." *Audiol Neurotol*, 11(6), pages 389–402, 2006
33. Miller, C. A.; Brown, C. J.; Abbas, P. J. and Chi, S.-L. "The clinical application of potentials evoked from the peripheral auditory system." *Hear Res*, 242(1-2), pages 184–197, 2008
34. Preston, R. R., & Wilson, T. E. (2018). *Lippincott® Illustrated Reviews: Physiology*. Lippincott Williams & Wilkins
35. Parker, J. L., Shariati, N. H., & Karantonis, D. M. (2018). Electrically evoked compound action potential recording in peripheral nerves. *Bioelectronics in Medicine*, 1(1), 71-83
36. Polak, M., Hodges, A. V., King, J. E., & Balkany, T. J. (2004). Further prospective findings with compound action potentials from Nucleus 24 cochlear implants. *Hearing research*, 188(1-2), 104-116
37. Rattay, F.; Leao, R. and Felix, H. "A model of the electrically excited human cochlear neuron. II. Influence of the three-dimensional cochlear structure on neural excitability". *Hearing research*, 153, pages 64–79, 2001
38. Rattay, F.; Lutter, P. and Felix, H. "A model of the electrically excited human cochlear neuron. I. Contribution of neural substructures to the generation and propagation of spikes". *Hearing research*, 153, pages 43–63, 2001
39. Sanna, M., Free, R. H., Falcioni, M., & Merkus, P. (2016). *Surgery for Cochlear and Other Auditory Implants*. Thieme.
40. Stach, B. A. (2008). The audiologist's assessment tools: behavioral measures. *Clinical audiology: an introduction*. 2nd ed. Independence, KY: Cengage Learning, 193-256
41. Spoendlin, H. and Schrott, A. "Analysis of the human auditory nerve". *Hearing Research*, 43, pages 25–38, 1989.

42. Schwartz-Leyzac, K. C., & Pfingst, B. E. (2016). Across-site patterns of electrically evoked compound action potential amplitude-growth functions in multichannel cochlear implant recipients and the effects of the interphase gap. *Hearing research*, 341, 50-65
43. Tabibi, S., Kegel, A., Lai, W. K., Bruce, I. C., & Dillier, N. (2019). Measuring temporal response properties of auditory nerve fibers in cochlear implant recipients. *Hearing research*, 380, 187-196
44. Van den Honert C & Stypulkowski PH, "Characterization of the electrically evoked auditory brainstem response (ABR) in cats and humans", *Hear Res* 1986;21(2): 109–26
45. van de Heyning, P., Arauz, S. L., Atlas, M., Baumgartner, W. D., Caversaccio, M., Chester-Browne, R., ... & Han, D. (2016). Electrically evoked compound action potentials are different depending on the site of cochlear stimulation. *Cochlear implants international*, 17(6), 251262
46. Wayne M. Becker, Lewis J. Kleinsmith, Jeff Hardin. (2006) *The World of the Cell*, 6th edition, San Francisco: Benjamin Cummings
47. Zierhofer, C. M. "Analysis of a Linear Model for Electrical Stimulation of Axons – Critical Remarks on the "Activating Function Concept"." *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 48, pages 173–184, 2001
48. MEDEL / ARTFit & MAESTRO 7: Automatically CreateCochlear Implant Maps
49. MEDEL ART Guide
50. MEDEL Electrodes arrays
51. MEDEL MAESTRO 7.0 User Manual
52. MEDEL Intraoperative Measurements
53. [www. MEDEL.com](http://www.MEDEL.com)