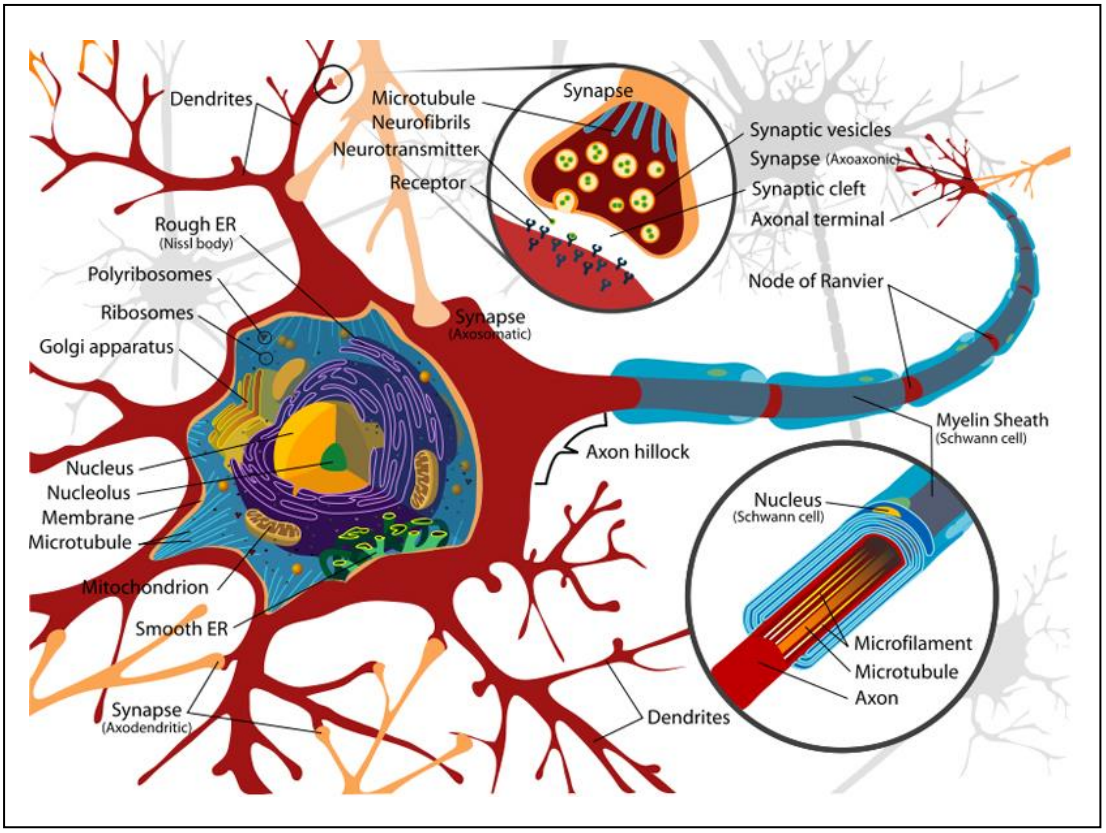
ثانوية عبد الله
الشفشاوني
التأهيلية
أولاد تايمة -
تارودانت

علوم الحياة و الأرض

الوحدة الثالثة : التواصلات الهرمونية و العصبية
LES COMMUNICATIONS HORMONALES ET NERVEUSES

الفصل 2 التواصلات العصبية



السنة الدراسية 2010 \ 2011

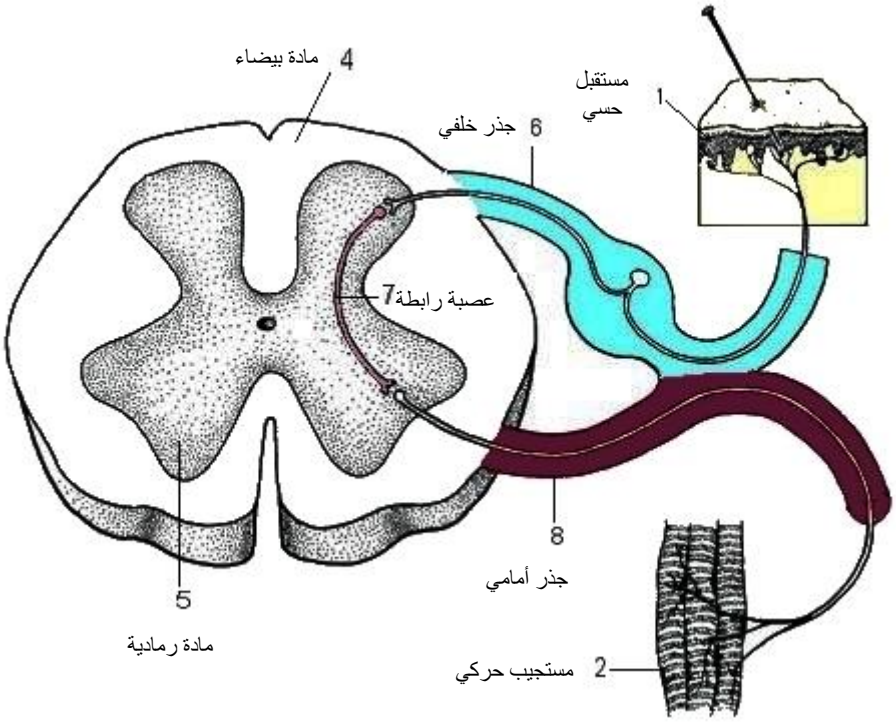
القسم: أولى باك علوم تجريبية

فهرس

تقديم
I- خاصية العصب و الليف العصبي
1 . الإهتياجية
أ- شروط التهييج الفعال
ب- الدور المقاوم Période refractaire
2- التوصيلية
أ- سرعة توصيل الرسالة العصبية
ب- الشروط الفيزيولوجية لتوصيل الرسالة العصبية
II- طبيعة الرسالة العصبية وكيفية نشوئها
1- الكشف عن جهد الكمون
2- الكشف عن جهد العمل ثنائي الطور
III- الأصل الكيميائي لجهد الكمون و آلية الحفاظ عليه
IV- الأصل الكيميائي لجهد العمل
V- البنيات المسؤولة عن التواصل العصبي
1-النخاع الشوكي
2- بنية العصب
3- مفهوم العصبة
VI- خاصيات الليف العصبي
1- مقارنة استجابة الليف العصبي و العصب لتهييجات ذات شدة متصاعدة
2- استجابة الليف العصبي لتهييجات تحت بدئية جد متقاربة
VII- كيف يتم تواصل عصبة مع أخرى؟
1- السينابس و مختلف أنماطها
2- اتجاه نقل الرسالة العصبية عبر السينابس
VIII- ما هي وظيفة السينابسات البيعصبية؟
1- وظيفة السينابسات البيعصبية
2- آلية التبليغ السينابسي
أ- كيفية عمل السينابسات المهيجة
ب- كيفية عمل السينابسات الكابحة
ج- بعض المواد تؤثر على العمل السينابسي

تقديم

تلتقط الحواس جميع الإشارات النابعة من المحيط الذي نعيش فيه، و تحولها إلى رسالات عصبية تُعالج على مستوى المراكز العصبية التي تحدد نمط الاستجابة المناسبة. تبين الوثيقة التالية تدخل المركز العصبي استجابة لرسالة عصبية من مستقبلات جلدية:



1- اعتمادا على مكتسباتك القبلية، حلل الوثيقة (بعد إتمام مفتاحها) ثم بين توالي الأحداث المؤدية لحدوث استجابة إثر حدوث إهاجة.

جواب: تستلزم الانعكاسات الشوكية (Reflexes médullaires) تدخل العناصر التالية:

1- مستقبلات حسية : تستقبل المهيج وتنشأ على مستواها سيالات عصبية Influx nerveux.

2- موصل حسي يتكون من ألياف عصبية حسية (ألياف موردة Fibres afférents) تنقل السيالات العصبية المركزية IN Centrale.

3- مركز عصبي انعكاسي (النخاع الشوكي) يستقبل السيالات العصبية الحسية وتنشأ على مستواه سيالات عصبية حركية IN Motrice.

4- موصل حركي يتكون من ألياف عصبية حركية (ألياف مصدرة Fibres efférents) تنقل السيالات العصبية النابذة IN Centrifuge.

5- مستجيب حركي : وهي العضلات.

تساؤلات:

1- ما هي طبيعة الرسالة العصبية؟

2- كيف يتم انتقالها داخل الجسم؟

I- خاصية العصب و الليف العصبي

وثيقة 2 نقوم بتخريب الدماغ و النخاع الشوكي لضفدعة. و بعد إزالة جلد أحد أطرافها الخلفية و إبراز العصب الوركي الموجود بين عضلتي الفخد. نقوم بتهييجه (قرصه بملقط). بعد إهاجة العصب الوركي نلاحظ تقلص عضلة بطن الساق.

ماذا تستنتج من هذه المعطيات؟

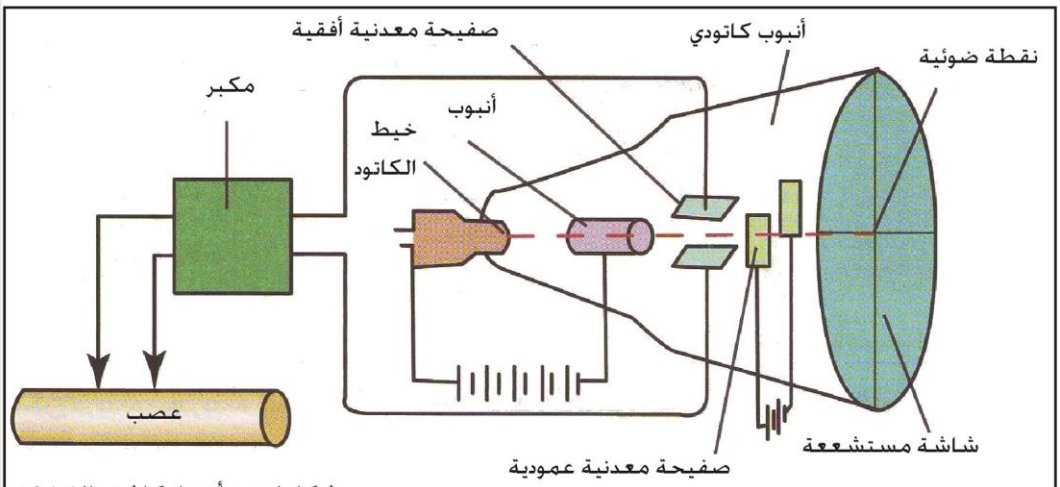
من خلال هذه النتائج، يتبين أن العصب يتميز بخاصيتين أساسيتين: الإهتياجية Excitabilité و التوصيلية Conductivité. تختفي هاتان الخاصيتان مؤقتا عند التبنيج و نهائيا عند موت العصب، إذن هاتين الخاصيتين بيولوجيتين ومرتبطتين بالنشاط الحيوي للعصب.

ملحوظة: تتكون الرسالة العصبية من إشارات كهربائية قابلة للتسجيل، حيث يمكن تسجيلها باستعمال كاشف الذبذبات Oscilloscope (شكل 1، و3). يبين التسجيل (شكل 2، و3) سلسلة من الخطوط العمودية، كل خط يمثل منحنى متعدد الأطوار (شكل 3، و3) نحصل عليه عندما تكون سرعة مسح كاشف الذبذبات كبيرة. يمثل هذا المنحنى جهد عمل العصب Potentiel d'action.

وثيقة 3

لفهم التسجيل الممثل في الشكل 3 نعرض كيفية عمل الأنبوب الكاتودي لكشاف الذبذبات :

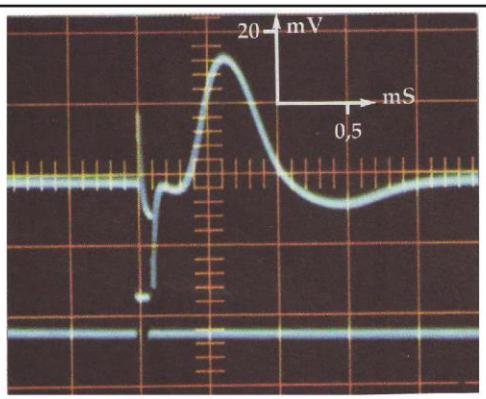
- يولد الأنبوب الكاتودي حزمة من الالكترونات عن طريق تسخين خيط يدعى الكاتود. تسقط هذه الالكترونات على شاشة مستشعة حيث تظهر نقطة ضوئية.
- صفيحتان أفقيتان مرتبطتين بمسرايين مستقبلين وتعملان على التحريف العمودي للنقطة الضوئية ذات شحنات سالبة.



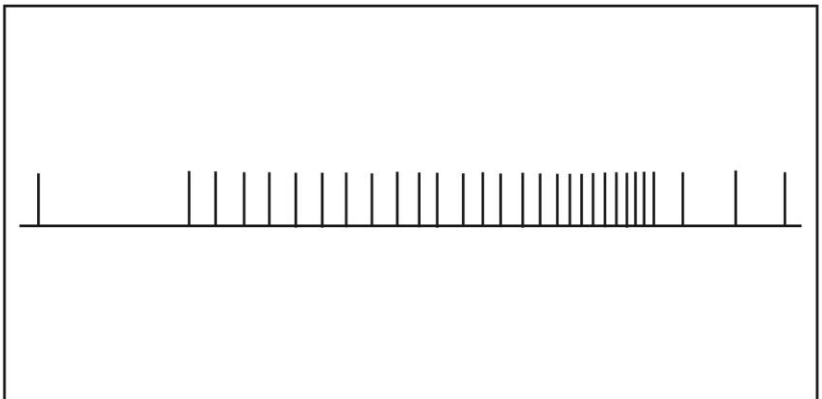
شكل 1 : مبدأ عمل كاشف الذبذبات

- صفيحتان عموديتان يوجد بينهما فرق جهد كهربائي. وتعملان على نقل أفقي للنقطة الضوئية من اليسار نحو اليمين.

تشتغل الصفائح الأفقية والعمودية في آن واحد لتسجيل الظاهرة الكهربائية المعينة حسب سرعة مسح الشاشة المستشعة.



شكل 3 : تسجيل الرسالة العصبية على مستوى عصب معزول

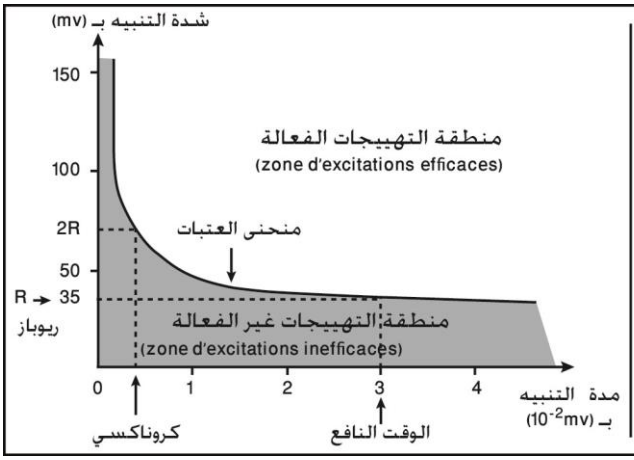


شكل 2 : تسجيل الرسائل العصبية على مستوى عصب داخل الجسم في ظروف طبيعية

1 . الإهتياجية

أ- شروط التهييج الفعال

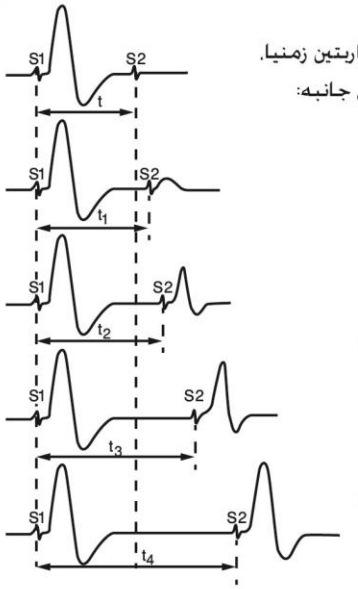
وثيقة 4



- منطقة التهييجات الفعالة تظم النقط المتواجدة على المنحنى و ما فوق و هي تمثل مجموع التهييجات فوق بدئية أي تفوق أو تساوي عتبة التهييج.
- منطقة التهييجات غير الفعالة تظم كل النقط المتواجدة تحت المنحنى وتمثل مجموع التهييجات تحت بدئية أي أقل من عتبة التهييج.
- نلاحظ أن كل قيمة زمن تقابلها شدة تهييج دنيا ضرورية للحصول على استجابة و العكس بالعكس. تعبر هاتان القيمتان على عتبتين نسبيتين: عتبة الشدة و عتبة المدة.
- تبقى الشدة التي لم تصل إلى 35mV غير فعالة مهما كانت مدتها. و تعتبر هذه الشدة عتبة مطلقة للتهييج تدعى الريوباز Réobase و تسمى أقل مدة التي تناسبها: الوقت النافع Temps utile هنا يساوي 3.10^{-2}ms.
- الكروناكسي Chronaxie هي المدة الزمنية التي تحدث استجابة بالنسبة لشدة تيار كهربائي تساوي ضعف الريوباز. فكلما كانت الكروناكسي صغيرة كلما كان العصب أو الليف أكثر اهتياجية (استجابة أسرع).

ب- الدور المقاوم Période réfractaire

وثيقة 5



نطبق على عصب وركي لضفدعة اهاجتين متتاليتين S1 و S2 من نفس الشدة و لنفس المدة. في البداية S1 و S2 متقاربتين زمنيا.
بعد ذلك نعيد الإهاجتين عدة مرات و لكنهما مفصولتين بحيز زمني متصاعد و النتائج المحصل عليها ممثلة في الشكل جانبه:

1- حلل الوثيقة؟

2- كيف يمكنك تفسير هذه النتائج؟

أجوبة:

1- نلاحظ في الزمن t عدم ظهور جهد العمل عند تطبيق الإهاجة S2. و يظهر في t1 بوسع ضعيف ثم يبدأ وسع جهد العمل في الإرتفاع كلما ازدادت المدة الفاصلة بين الإهاجتين حتى يصبح جهد العمل للإهاجة الثانية له نفس وسع الإهاجة الأولى في t4.

2- يمكن تفسير هذا التغير بـ :

- الدور المقاوم المطلق: هي المدة الزمنية التي لا يستجيب فيها العصب للتهييج الفعال المماثل ل t.

-الدور المقاوم النسبي: هي المدة الزمنية التي نحصل فيها على جهد عمل ثاني أقل وسعا من الأول استجابةً لتهييج ثاني فعال مماثل.

2- التوصيلية

أ- سرعة توصيل الرسالة العصبية

وثيقة 6

قصد دراسة سرعة انتشار الرسالة العصبية عبر العصب، مكنت العدة التجريبية الممثلة في الشكل 1 من إنجاز التجربة التالية :

- بعد وضع المسرارين المستقبلين R1 و R2 بكشاف الذبذبات، نُحدِثُ إهاجة فعالة بالمسرايين المهيجين E1 و E2، فنحصل على التسجيل 1 من الشكل 2.
- تم ربط المسرايين R5 و R6 بكشاف الذبذبات، ويبعدان عن R1 و R2 بـ 8cm نُحدِثُ إهاجة فعالة و نحصل على التسجيل 2 من الشكل 2.

لحساب سرعة توصيل الرسالة العصبية نتبع الخطوات التالية:

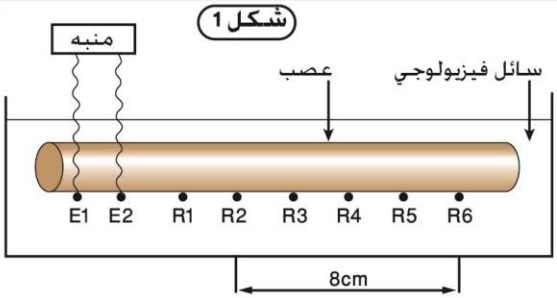
- تعتبر d1 المسافة الفاصلة بين المسرى المهيج E2 و المسرى المستقبل R2.
- تعتبر d2 المسافة الفاصلة بين المسرى المهيج E2 و المسرى المستقبل R6.
- عندما نقارن التسجيلين 1 و 2 من الشكل 2، نلاحظ تفاوتا في الزمن بين جهدي العمل، إذا اعتبرنا Δt المدة الزمنية التي استغرقتها الرسالة العصبية لقطع المسافة $\Delta d = d2 - d1$

تكون السرعة إذن هي : $V = \Delta d / \Delta t$

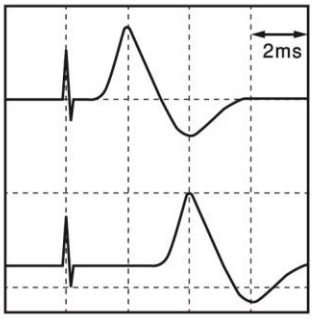
1- أحسب سرعة انتشار السيالة العصبية في هذا العصب.

2- ماذا تستنتج؟

شكل 1



شكل 2



-1

$$d2 = E2R6 \quad d1 = E2R2$$

$$\Delta d = d2 - d1 = 8\ cm = 8.10^{-2} m\ ;\ \Delta t = t2 - t1 = 2\ ms = 2.10^{-3} s$$

$$V = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{80}{2} = 40 m/s$$

2- من هذه النتيجة نستنتج أن الرسالة العصبية ليست عبارة عن تيار كهربائي ولا رسالة ضوئية لكون سرعة الرسالة العصبية أقل بكثير من سرعة التيار الكهربائي 270 000 km/s أو سرعة الضوء $3.10^8 m/s$.

ب- الشروط الفيزيولوجية لتوصيل الرسالة العصبية

لتوصيل الرسالة العصبية يجب أن :

- تكون درجة حرارة العصب محصورة بين 20°C و 50°C
- يكون العصب سليما.
- عدم وجود بعض المواد المؤثرة على العصب (البنج مثلا.....).

II- طبيعة الرسالة العصبية وكيفية نشوئها

1- الكشف عن جهد الكمون

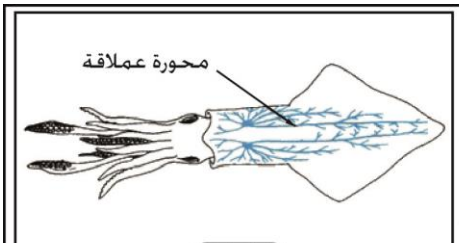
وثيقة 7

لمعرفة طبيعة الرسالة العصبية، نستعمل الليف العصبي العملاق عند بعض رئسيات الأرجل كالخداق، نظرا لقطره الكبير الذي يُمكِن أن يصل إلى 1mm (شكل 1) و تنجز عليه التجربتان التاليتين :

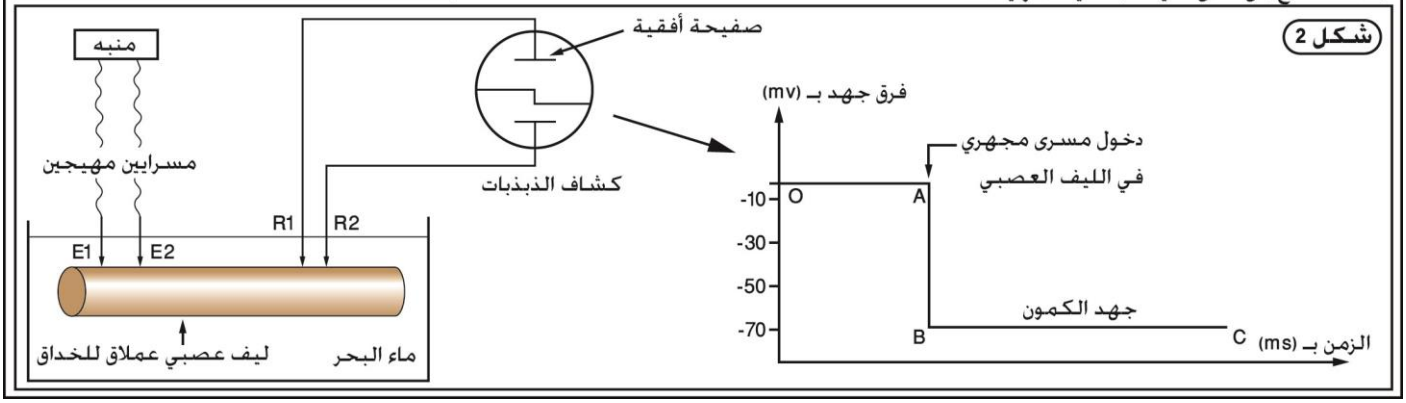
- تجربة 1 : في غياب أي تنبيه نضع المسرايين R1 و R2 على سطح المحورة، نلاحظ على شاشة كشاف الذبذبات الخط OA في التسجيل الممثل في الشكل 2.
- تجربة 2 : في الزمن t_1 نُدِّ خِل المسرى R1 داخل محورة ليف الخداق مع الاحتفاظ بالمسرى R2 على سطحها، فنحصل على الجزء ABC من نفس التسجيل.

ماذا تستنتج من خلال تحليلك لمعطيات الوثيقة ؟

شكل 1

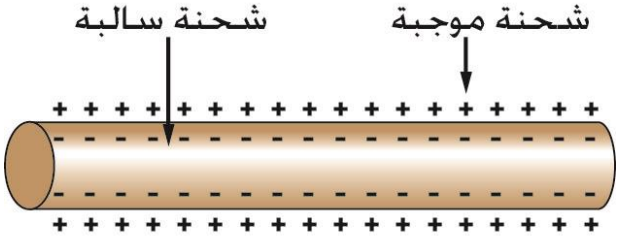


شكل 2



يعبر الخط الأفقي OA للحزمة الإلكترونية عن ثبات الخاصية الكهربائية المسجلة بين الصفيحتين أي أن للصفيحتين نفس الاستقطاب.

في غياب أي تهييج و عند عرز المسرى RT في الليف، تنحرف الحرمة الإلكترونية نحو الأسفل. يمكن تفسير ذلك بكون الصفيحة العليا أصبحت سالبة بينما الصفيحة السفلى أصبحت موجبة، و بالتالي يمكننا أن نستنتج أنه في حالة سكون هناك قطبية على مستوى الليف العصبي بحيث يكون سطح المحورة موجبا و داخلها سالبا، و فرق الجهد الموجود بين داخل و خارج الليف العصبي يدعى بجهد الكمون أو بجهد الغشاء، و يقدر بـ 70mV- في هذه الحالة.



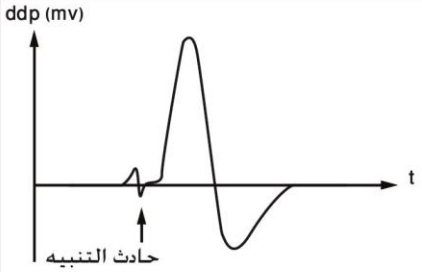
2- الكشف عن جهد العمل ثنائي الطور

وثيقة 8

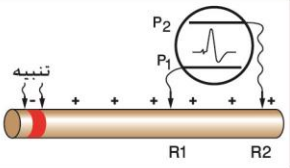
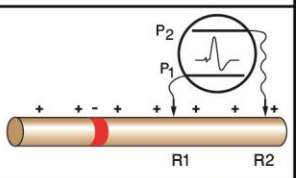
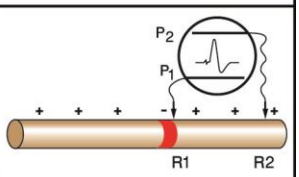
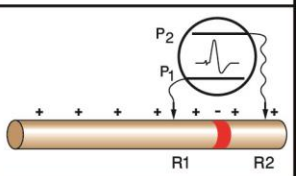
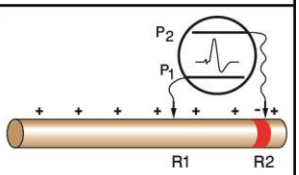
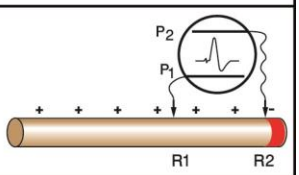
عند وضع مسريين مستقبلين على سطح ليف عصبي، و بعد تهييج فعال نلاحظ على شاشة كاشف الذبذبات التسجيل المبين في الشكل جانبه.

هذا التسجيل عبارة عن منحنى يتكون من جزئين متعاكسي الإتجاه، لذا يسمى بجهد العمل ثنائي الطور.

ويشمل المراحل التالية :



ddp (différence de potentiel) فرق الجهد

	يولد التهييج منطقة إزالة الاستقطاب التي تنتقل عبر المحورة على شكل موجة سالبة. ويسجل المسريان المستقبلان R1 و R2 الظاهرة الكهربائية المتزامنة مع وقت التنبيه التي تسمى حادث التنبيه.
	يمثل الخط الأفقي بين حادث التنبيه والمسرى المستقبل R1 المدة الزمنية التي يستغرقها انتقال الموجة السالبة من نقطة التنبيه إلى المسرى R1. ويطلق على هذه المدة اسم زمن الكمون. وخلال هذه المدة يكون المسريان R1 و R2 وبالتالي الصفيحتان P1 و P2 في نفس مستوى الجهد الكهربائي.
	عندما تصل الموجة السالبة إلى R1، ينتج عن ذلك فرق جهد بين R1 و R2 مما يؤدي إلى انحراف النقطة الضوئية نحو الصفيحة P2. ويفسر هذا الانحراف بكون R1 مرتبط بـ P1 التي توجد تحت جهد سالب. الشيء الذي يؤدي إلى انحراف حزمة الإلكترونات المكونة للنقطة الضوئية نحو P2. وتسمى هذه المرحلة بطور إزالة الاستقطاب بالنسبة لـ R1.
	عندما تتواجد الموجة السالبة بين R1 و R2، يسترجع R1 جهده الأصلي (جهد R1 = جهد R2). وينتج عن ذلك عودة النقطة الضوئية إلى الصفر. تُعرَفُ هذه المرحلة بطور إعادة الاستقطاب بالنسبة لـ R1.
	عندما تصل الموجة السالبة إلى R2، تُوَلِد فرق جهد بين هذا المسرى و R1، مما يؤدي إلى انحراف النقطة الضوئية نحو الصفيحة P1 ويفسر هذا الانحراف بكون R2 مرتبطا بـ P2 التي توجد تحت جهد سالب. وتسمى هذه المرحلة بطور إزالة الاستقطاب بالنسبة لـ R2.
	عندما تغادر الموجة السالبة R2 يرجع هذا الأخير إلى الجهد الأصلي، مما يؤدي إلى عودة النقطة الضوئية من جديد إلى الصفر. تسمى هذه المرحلة بطور إعادة الاستقطاب بالنسبة لـ R2.

ملحوظة : للحصول على جهد عمل أحادي الطور، يُحتَفَظُ بـ R2 في موضع ذي جهد ثابت.

III- الأصل الكيميائي لجهد الكمون و آلية الحفاظ عليه

وثيقة 9

الأيونات	تركيز الأيونات بـ m mol/l	
	داخل المحورة	خارج المحورة
Na^+	50	440
K^+	400	20

تجربة 1 : يعبر جهد الكمون عن فرق جهد كهربائي بين الوسط الداخلي والوسط الخارجي لليف العصبي. وبما أن الليف العصبي يوجد مغمورا في السائل البيفرجي، فهذا يدفعنا إلى مقارنة تركيز بعض الأيونات الموجودة في الوسط داخل الليف العصبي وخارجه.

تجربة 2 :

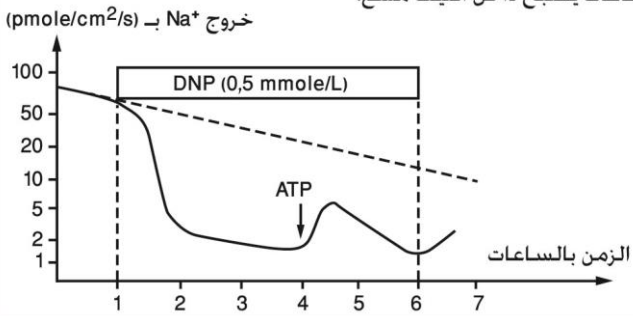
- وضع ليف عصبي عملاق للخذاق في محلول Ringer يحتوي على Na^+ مشع، وبعد بضع ساعات يصبح داخل الليف مشع.
- بعد وضع الليف المشع في محلول Ringer غير مشع، يصبح هذا الأخير مشع.
- عندما نستعمل أيونات K^+ مشعة نحصل على نفس النتيجة.

تجربة 3 :

نغمر محورة عملاقة للخذاق في ماء البحر الذي يحتوي على Na^+ مشع. يدخل هذا العنصر تدريجيا إلى المحورة. وبعد ذلك نضع نفس المحورة في وسط خال من Na^+ المشع، ثم نقيس خروج هذا العنصر حسب الظروف التجريبية المبينة في الشكل 2.

ملحوظة : (DNP : Dinitrophénol) مانع استقلابي يوقف تفسفر ADP إلى ATP

ماذا تستنتج من خلال تحليلك للتجارب الثلاث ؟



يتبين من تحليل جدول التجربة 1 أن تركيز Na^+ ضعيف داخل المحورة و مرتفع خارجها، بينما أيونات K^+ تركيزها مرتفع داخل المحورة و ضعيف خارجها.

يبدو أن جهد الكمون مرتبط باختلاف توزيع الأيونات بين داخل و خارج المحورة.

- كيف يمكن تفسير الاختلاف الملاحظ في تركيز أيونات Na^+ و K^+ بين داخل و خارج المحورة ؟

جهد الكمون ناتج عن الاختلاف في تركيز أيونات Na^+ و K^+ من جهتي الغشاء. وحسب قانون الانتشار سوف تنتقل الأيونات من الوسط الأكثر تركيزا إلى الوسط الأقل تركيزا مما يؤدي إلى حدوث حالة توازن. وحسب هذا القانون يجب أن يختفي جهد الكمون عند حدوث التوازن، إلا أنه في الظروف الفيزيولوجية العادية لا يحصل ذلك، مما يدفعنا إلى طرح التساؤل التالي :

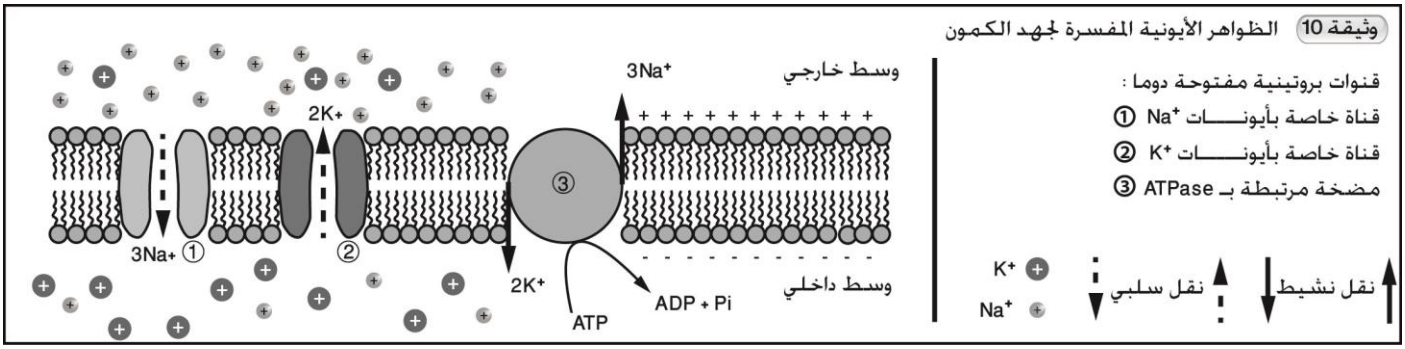
كيف يبقى الاختلاف في تركيز أيونات Na^+ و K^+ من جهتي الغشاء؟

للإجابة عن هذا السؤال يمكن افتراض عدم نفاذية غشاء الليف العصبي لهذه الأيونات ؟

من معطيات التجربة 2 يتضح أن الفرضية السابقة خاطئة حيث نلاحظ أن Na^+ و K^+ يمران عبر الغشاء في الإتجاهين.

من تحليل معطيات التجربة 3 يجب افتراض وجود مضخة تعمل بالطاقة (ATP) على مستوى الغشاء، بحيث تقوم بإخراج Na^+ و إدخال K^+ ، و تسمى مضخات أيونية أو مضخات K^+/Na^+ حيث تعمل على إخراج 3 أيونات Na^+ مقابل إدخال أيونين من K^+ في نفس الوقت، و هكذا يبقى التركيز مختلفا من جهتي الغشاء أي بين الوسط الداخلي و الوسط الخارجي لليف العصبي، مما يمكننا من تفسير استمرار فارق الجهد بين الداخل و الخارج، أي استمرار جهد الكمون أو جهد الغشاء.

خلاصة : جهد الكمون هو فرق جهد كهربائي ناتج عن فرق في توزيع الأيونات بين داخل و خارج الليف العصبي، و هو مرتبط بالنشاط الإحيائي للخلية.



IV- الأصل الكيميائي لجهد العمل

تجربة 1 :

- ارتفاع نفاذية غشاء الليف العصبي لأيونات Na^+ بكيفية سريعة ومهمة يوافق مرحلة إزالة استقطاب الغشاء.
- ارتفاع النفاذية الغشائية لأيونات K^+ بوتيرة ضعيفة وبطيئة بالمقارنة مع أيونات Na^+ يوافق مرحلة إعادة استقطاب الغشاء.

أما استمرار خروج K^+ فينتج عنه استقطاب زائد أو مفرط.

- بعد ذلك يتم الرجوع إلى التركيزات الأصلية لأيونات Na^+ و K^+ كما كانت عليه أثناء جهد الكمون.

نستنتج أنه خلال نشأة السيالة العصبية تقع تغيرات في نفاذية الغشاء تجاه أيونات Na^+ و K^+.

تجربة 2 :

يتضح من مقارنة أشكال التجربة 2 أن :

- مادة TDT تكبح دخول Na^+ لليف العصبي دون تأثير على خروج K^+ منه.
- مادة TEA تكبح خروج K^+ من الليف العصبي دون تأثير على دخول Na^+ إليه.

نستنتج أن هناك قنوات خاصة بـ Na^+ و قنوات خاصة بـ K^+. هذه القنوات مرتبطة بالفولتية يخضع انفتاحها لتأثير تغير فرق الجهد الكهربائي المحلي.

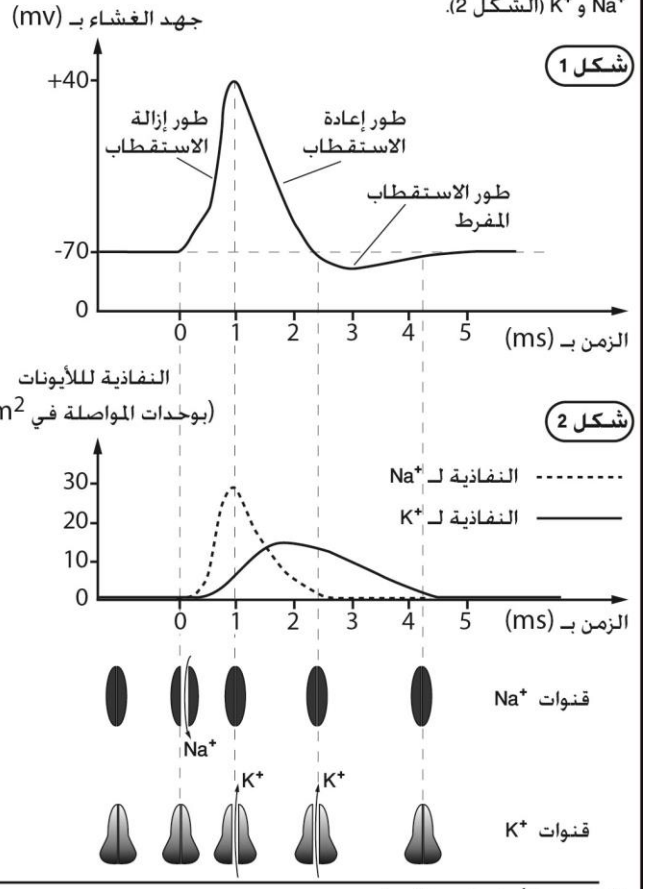
خلاصة : من كل هذه المعطيات التجريبية نستنتج أنه خلال نشأة السيالة العصبية تقع تغيرات في نفاذية الغشاء تجاه أيونات Na^+ و K^+، ترتفع نفاذية الغشاء اتجاه أيونات Na^+ حيث تنفتح قنوات مرتبطة بالفولتية فيحدث دخول متفجر لـ Na^+ ويحدث هذا الدخول إزالة استقطاب الغشاء. بعد ذلك تنغلق هذه القنوات و تنفتح القنوات البروتينية لـ K^+ المرتبطة بالفولتية، مما ينتج عنه ارتفاع نفاذية الغشاء تجاه K^+ حيث يحدث خروج تدريجي لـ K^+ فينتج عن ذلك إعادة استقطاب الغشاء، و يؤدي استمرار خروج K^+ إلى استقطاب مفرط.

بعد مرور الموجة السالبة تتدخل المضخات الأيونية لإرجاع التراكيز الأصلية لأيونات Na^+ و K^+ كما كانت عليه أثناء جهد الكمون.

إذن فالسيالة العصبية هي عبارة موجة سالبة تنتشر عبر الليف العصبي أثناء التهييج الفعال و هي ظاهرة بيوكيميائية.

وثيقة 11 تجربة 1 : الكشف عن الظواهر الأيونية المصاحبة لجهد العمل

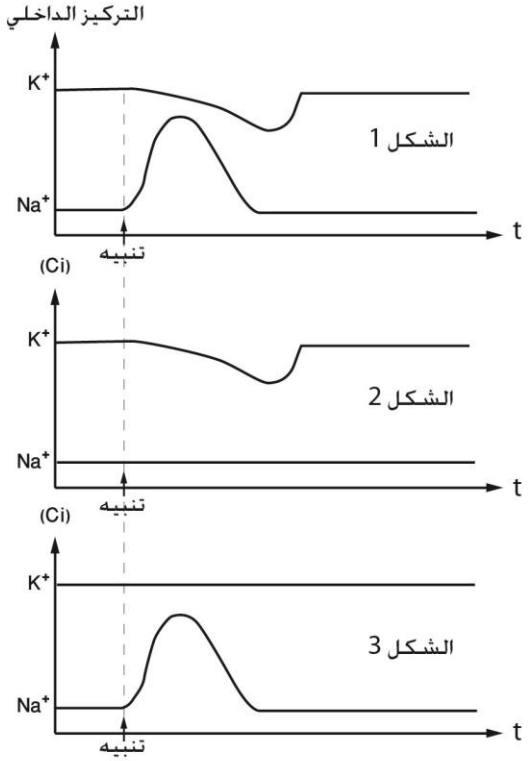
تمكن كل من Hodgkin و Huxley من قياس تغيرات نفاذية غشاء محورة عملاقة للخذاق لأيونات Na^+ و K^+ خلال مرور جهد العمل : يجسد المبيانان تغيرات الجهد الغشائي (شكل 1) بالموازاة مع تغيرات نفاذية الغشاء لأيونات Na^+ و K^+ (الشكل 2).



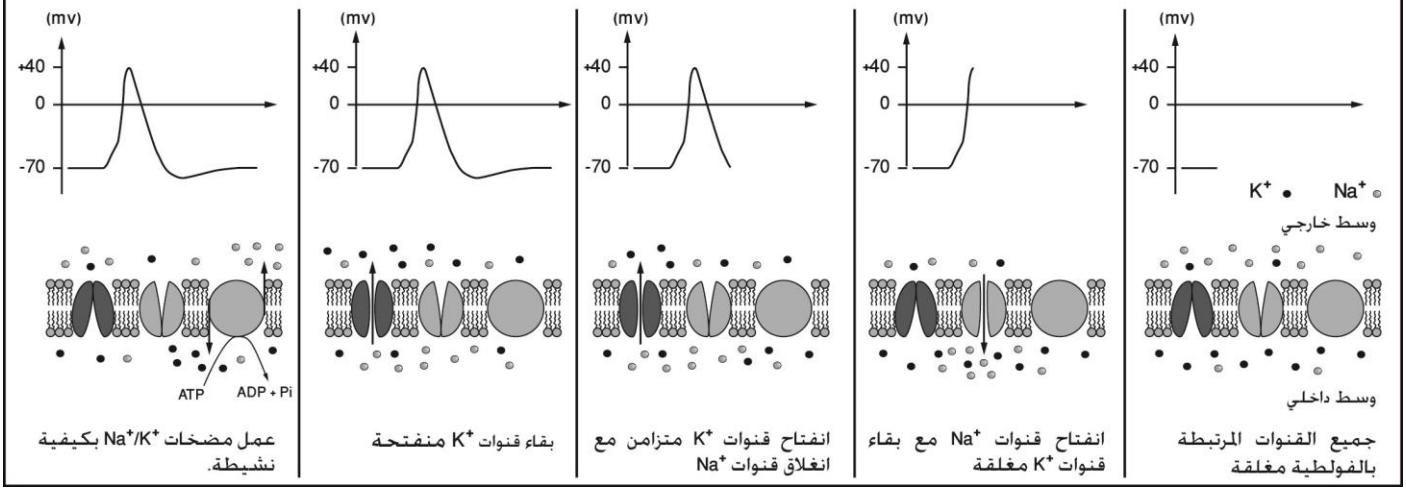
تجربة 2 : الكشف عن البنيات المسؤولة عن التبادلات الأيونية أثناء جهد العمل

للكشف عن هذه البنيات نقوم بتهييج ليف عصبي ثم نقيس التركيز الداخلي (Ci) لكل من Na^+ و K^+ في الظروف التالية :

- ليف عصبي في حالة عادية (شكل 1).
- نضيف مادة سامة TDT (Tétrodotoxine) بمقدار ضئيل للوسط الخارجي لليف العصبي (شكل2).
- نحقن الليف العصبي بمادة TEA (Tétraéthylammonium) (شكل 3).



التفسير الأيوني لجهد العمل



V- البنيات المسؤولة عن التواصل العصبي

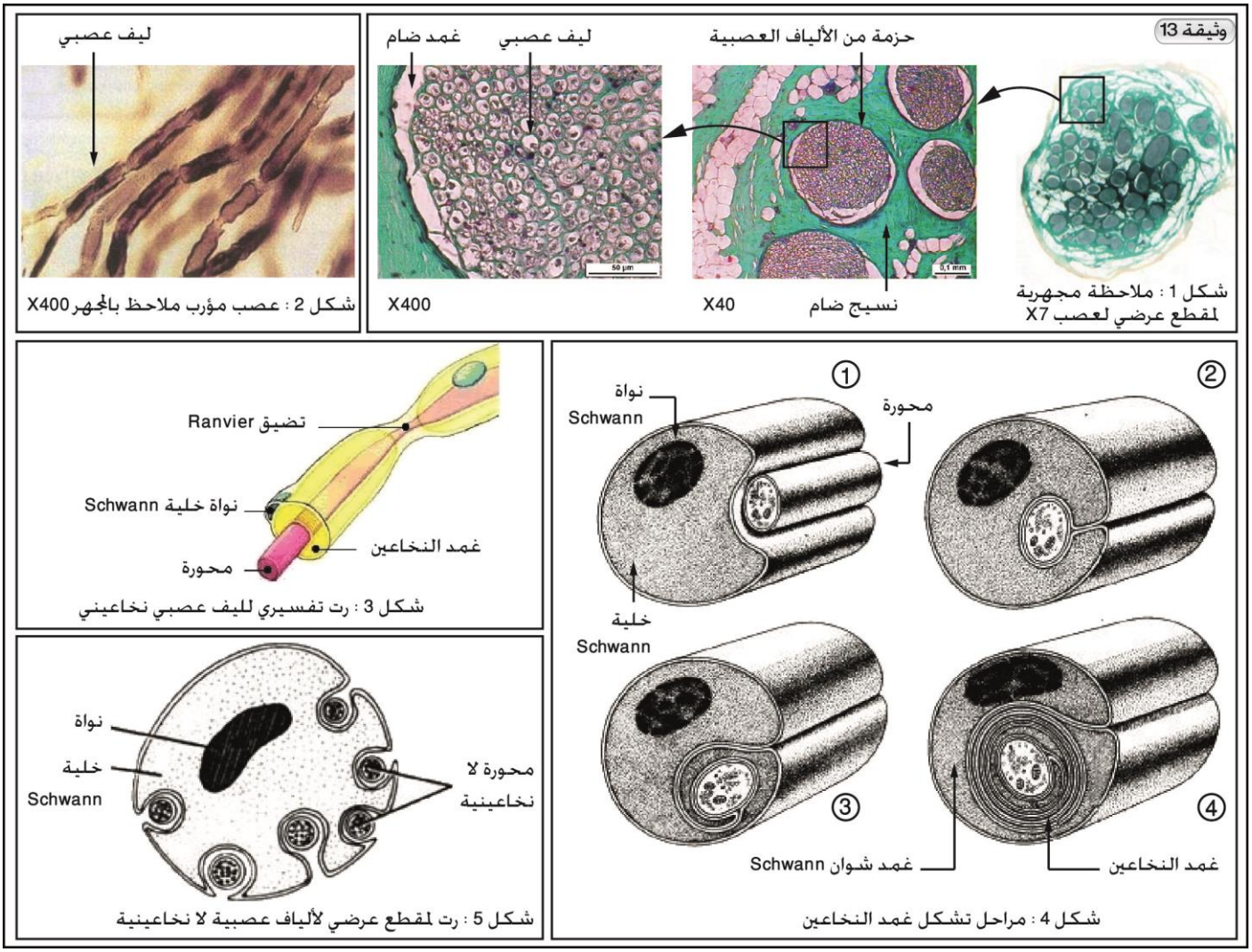
يلعب العصب والنخاع الشوكي دورا أساسيا في نقل الرسالة العصبية نحو الأعضاء المستجيبة. فما هي البنية النسيجية لهذه العناصر المسؤولة عن التواصل العصبي ؟

1-النخاع الشوكي

النخاع الشوكي عبارة عن حبل أبيض يوجد في قناة العمود الفقري، و هو امتداد للدماغ ينطلق منه أزواج من الأعصاب السيسائية Nerfs rachidiens. كل عصب سيسائي يرتبط بالنخاع الشوكي بواسطة جذرين: أمامي و خلفي. يُظهر كل جذر خلفي انتفاخا يسمى العقدة السيسائية (أو العقدة الشوكية) Ganglion rachidien ou spinal.

تبين الملاحظة المجهرية لمقطع عرضي أن النخاع الشوكي يتكون من جزء مركزي على شكل X يسمى المادة الرمادية تضم أشكالا نجمية الشكل تمثل الأجسام الخلوية للخلايا العصبية بينما تضم المادة البيضاء عناصر مستديرة تشكل مقاطع الألياف العصبية، و تختلف من حيث القطر. كل ليف عصبي تتوسطه محورة Axone و يحيط بها غمد النخاعين Gaine de myéline (مصدره خلايا دبقية Cellules Gliales).

2- بنية العصب



شكل 1 : يتكون العصب من خيوط طويلة تسمى الألياف العصبية Fibres nerveuses و هي متجمعة على شكل حُزم ذات قطر متفاوت، يحيط بكل حزمة عصبية (faisceau nerveux) غمد ضام (gaine conjonctive) سميك، و يفصل بين مختلف الحزم نسيج ضام يحتوي على شعيرات دموية و كتل من الخلايا الودكية (cellules adipeuses).
الشكل 2 : يمكن تفكيك (تأريب Dilacération) الألياف المكونة لعصب ضفدعة بواسطة إبرة وتلوينها بأزرق المتلين المخفف وملاحظتها بالمجهر الضوئي.

الشكل 3 : يتبين أن الليف العصبي يتكون من محورة محاطة بغمد النخاعين (Gaine de myéline) وعمد شوان (Schwann). كما نلاحظ تضيقات على طول الليف العصبي يختفي على مستواها غمد النخاعين تسمى تضيقات رانفيي (Etranglement de Ranvier).

الشكل 4 : يبين مراحل تشكل غمد النخاعين : ينتج غمد النخاعين عن تلولب الغشاء السيتوبلازمي لخلايا Schwann حول المحورة (50 إلى 100 طبقة).

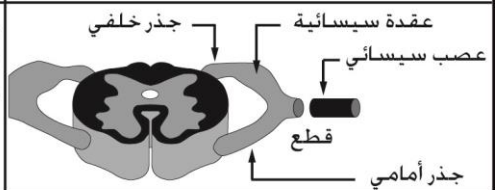
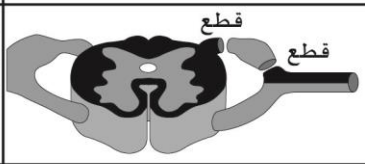
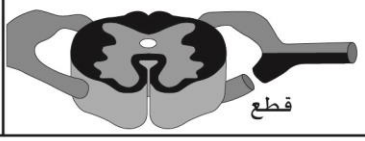
الشكل 5 : ينعدم غمد النخاعين في بعض الألياف العصبية التي تتوفر فقط على غمد Schwann، وتسمى بألياف لا نخاعينية. في هذه الحالة خلية Schwann واحدة يمكنها أن تضم أكثر من 15 ليف عصبي.

3- مفهوم العصبة

لقد مكنت ملاحظة النسيج العصبي بالمجهر الضوئي من طرح التساؤل التالي : بماذا ترتبط الألياف العصبية التي تكون كل من العصب و المادة البيضاء؟

للإجابة عن هذا التساؤل، تم اقتراح فرضية مفادها أن الألياف العصبية عبارة عن امتدادات للأجسام الخلوية الموجودة في المادة الرمادية. لاختبار هذه الفرضية أجريت تجارب و ملاحظات ندلي ببعض نتائجها :

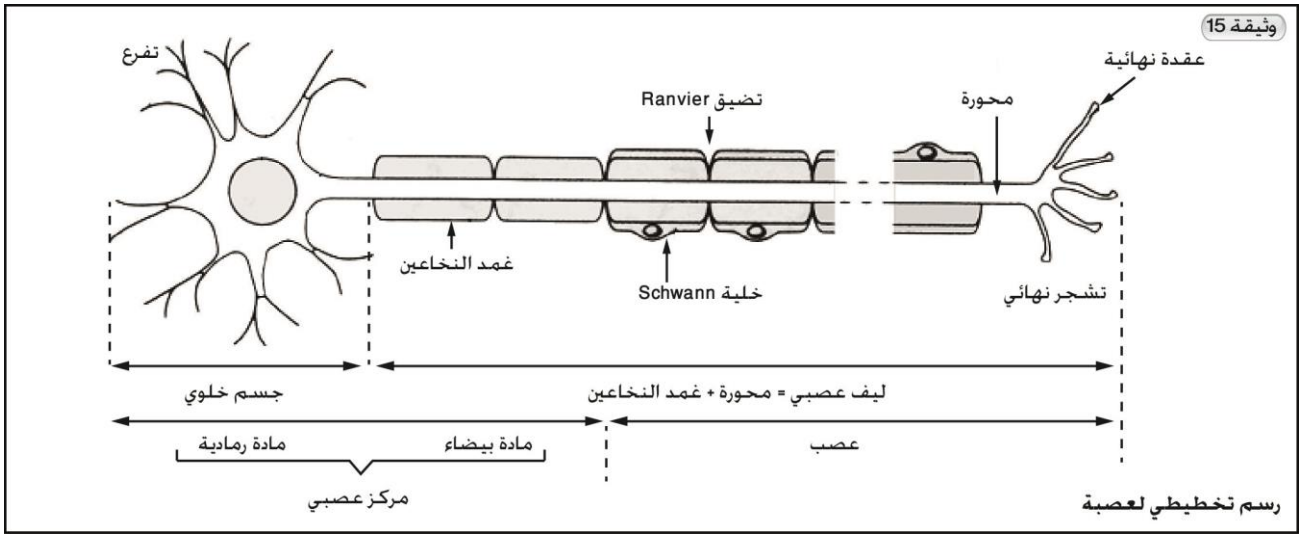
وثيقة 14

تجارب القطع	نتائج تجارب Magendie	استنتاجات Magendie	نتائج تجارب Waller	استنتاجات Waller
	تفقد المنطقة المعصوبة بالعصب السيسائي المقطوع كل حساسية وكل تحركية.	يضم هذا العصب أليافا حسية وأليافا حركية فهو إذن عصب مختلط.	انحلال الجزء المحيطي للعصب انطلاقا من نقطة القطع.	توجد الأجسام الخلوية بين المقطع والنخاع الشوكي.
	تفقد المنطقة المعصوبة بالعصب كل حساسية مع الاحتفاظ بالتحركية سواء كان القطع بين العصب و العقدة السيسائية أو بينها وبين النخاع الشوكي.	يضم هذا الجذر أليافا حسية فقط.	انحلال الألياف العصبية من جهتي العقدة السيسائية.	توجد الأجسام الخلوية للألياف الحسية في العقد السيسائية.
	تفقد المنطقة المعصوبة بالعصب كل تحركية مع الاحتفاظ بالحساسية.	يحتوي هذا الجذر على ألياف حركية.	انحلال الألياف العصبية للجذر الأمامي في اتجاه محيطي	توجد الأجسام الخلوية للألياف الحركية في القرن.

ألياف عصبية سليمة — ألياف عصبية منحلة

استنتاج: إن الألياف العصبية عبارة عن امتدادات للأجسام الخلوية الموجودة في المادة الرمادية (العقدة الشوكية و النخاع الشوكي)، و من هنا يظهر أن الوحدة الوظيفية للتواصلات العصبية مكونة من الجسم الخلوي و الليف العصبي و التشجر النهائي و تشكل هذه العناصر متجمعة الخلية العصبية Cellule nerveuse أو العصبة Le neurone.

وثيقة 15

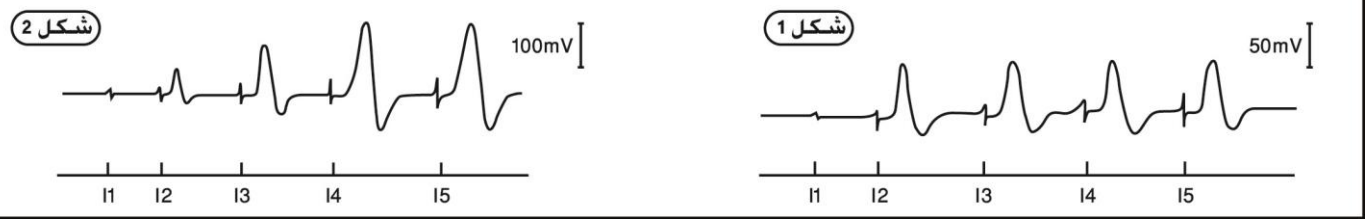


رسم تخطيطي لعصبة

VI- خاصيات الليف العصبي

1- مقارنة استجابة الليف العصبي و العصب لتهييجات ذات شدة متصاعدة

وثيقة 16 نطبق على ليف عصبي تهييجات ذات شدة متصاعدة I5 > I4 > I3 > I2 > I1. فنحصل على التسجيل المبين في الشكل 1.
من أجل المقارنة، نعيد نفس التجربة بالنسبة للعصب فنحصل على التسجيل المبين في الشكل 2.
سؤال : بعد تحليلك للشكلين 1 و 2، حدد الظاهرتين اللتان تم الكشف عنهما. و اعط تفسيرا لذلك.

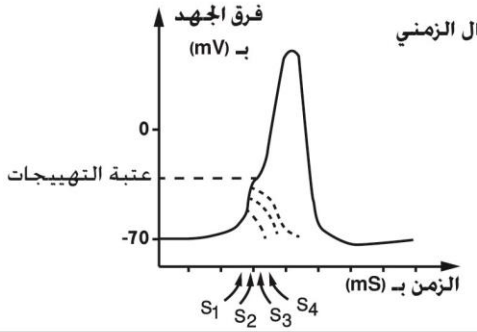


▪ بالنسبة لليف العصبي، يبقى وسع الاستجابة ثابتا، مهما كانت شدة التهييج. فالليف العصبي إما يستجيب إذا كانت الشدة فوق بدئية أو لا يستجيب إذا كانت الشدة تحت بدئية، نتحدث عن قانون الكل أو العدم (La loi du tout ou rien).
▪ بالنسبة للعصب، وسع الاستجابة يزداد مع ارتفاع شدة التهييج إلى أن يصل إلى وسع قصوي حيث يبقى ثابتا رغم الزيادة في شدة التهييج، و نفسر ذلك بارتفاع عدد الألياف المستجيبة و المتناسب مع شدة التهييج، نتحدث عن قانون التجنيد أو التعبئة. (phénomène de recrutement)

2- استجابة الليف العصبي لتهييجات تحت بدئية جد متقاربة

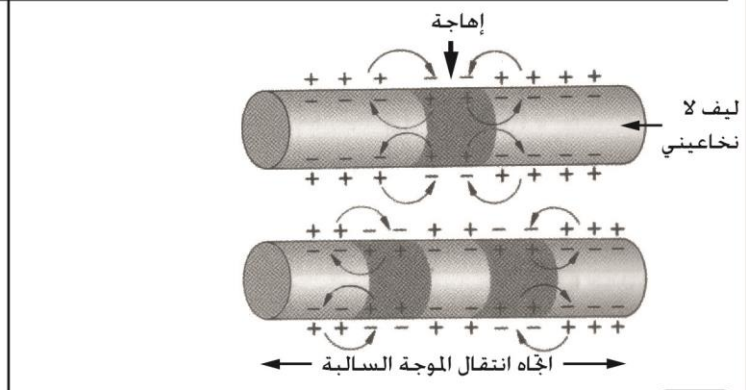
وثيقة 17
لفهم الظاهرة التي أدت إلى ظهور جهود عمل متصاعدة الوسع، نقوم بتطبيق أربع تنبيهات ذات نفس الشدة و غير فعالة (تحت بدئية). إذا كانت هذه التنبيهات متقاربة زمنيا، تصبح فعالة فنحصل على التسجيل المبين في الشكل 1. و إذا كانت متباعدة زمنيا فإنها تبقى غير فعالة.
1- حلل و فسر التسجيل المحصل عليه في الشكل 1.
2- باعتمادك على المعلومات المبينة في الأشكال 2 و 3 و 4، استخرج العوامل المؤثرة على سرعة توصيل الرسالة العصبية.

شكل 1 ظاهرة الإجمال الزمني

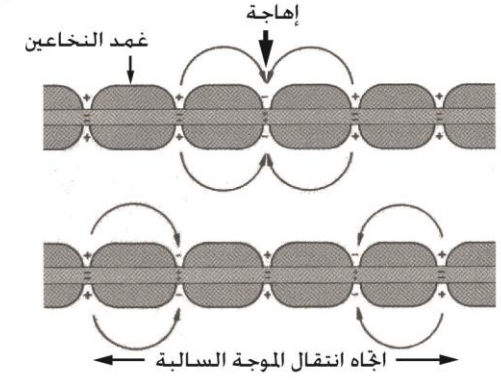


شكل 2 بعض العوامل المؤثرة على سرعة السيالة العصبية

أنماط الألياف العصبية	القطر	السرعة بـ m/s
ألياف نخاعينية لثدييات	10µm 20µm	60 120
ألياف نخاعينية لعصب وركي لضفدعة	10µm 20µm	17 30
ليف عملاق لا نخاعيني عند الخذاق	1mm	33



شكل 3 توصيل السيالة العصبية بواسطة التيارات المحلية بالنسبة لليف عصبي لانخاعيني



شكل 4 توصيل السيالة العصبية بواسطة تيارات قفزية بالنسبة لليف عصبي نخاعيني

1- عند تطبيق عدة إهاجات غير فعالة (تحت بدئية) و متقاربة جدا زمنيا (تردد جد مرتفع) نحصل على استجابة لليف العصبي بظهور جهد عمل. و نفسر الاستجابة بإجمال الشحنات التحت بدئية التي ترتقي لعتبة التهييج : نتكلم عن الإجمال الزمني للتهييجات.
2- ترتبط سرعة انتشار السيالة العصبية على مستوى الألياف العصبية بقطرها و وجود أو غياب النخاعين.
▪ التوصيل المحلي للألياف اللانخاعينية Conduction locale
تسبب الإهاجة ارتفاع نفاذية الغشاء على مستوى نقطة التهييج و يترتب عن ذلك دخول مكثف لأيونات Na^+ يسبب تغيير استقطاب الغشاء فيصبح سالبا في الخارج و موجبا في الداخل، الشيء الذي يؤدي إلى نشوء حقل كهربائي أو تيار محلي.

هذا الأخير يلعب دور مهيج، فيسبب بدوره تغيير استقطاب الغشاء في المناطق المجاورة، فينشأ من جديد حفل كهربائي و تتكرر العملية حتى نهاية المحورة في الاتجاهين المتعاكسين انطلاقا من نقطة التهييج (بالنسبة لمحورة معزولة).

في هذه الحالة، يتم توصيل السيالة العصبية محليا بين النقط المتجاورة : التوصيل المحلي. و هذا ما يفسر كون سرعة السيالة العصبية بطيئة على مستوى الألياف اللانخاعينية.

- التوصيل القفزي للألياف النخاعينية Conduction saltatoire

تسبب الإهاجة تغيير استقطاب الليف على مستوى تضيق Ranvier لكون النخاعين مادة عازلة كهربائيا، فيترتب عن ذلك نشوء تيارات محلية بين تضيقات Ranvier المتتابعة.

في هذه الحالة يتم توصيل السيالة العصبية عن طريق القفز و هذا ما يفسر كون سرعة السيالة العصبية مرتفعة على مستوى الألياف النخاعينية.

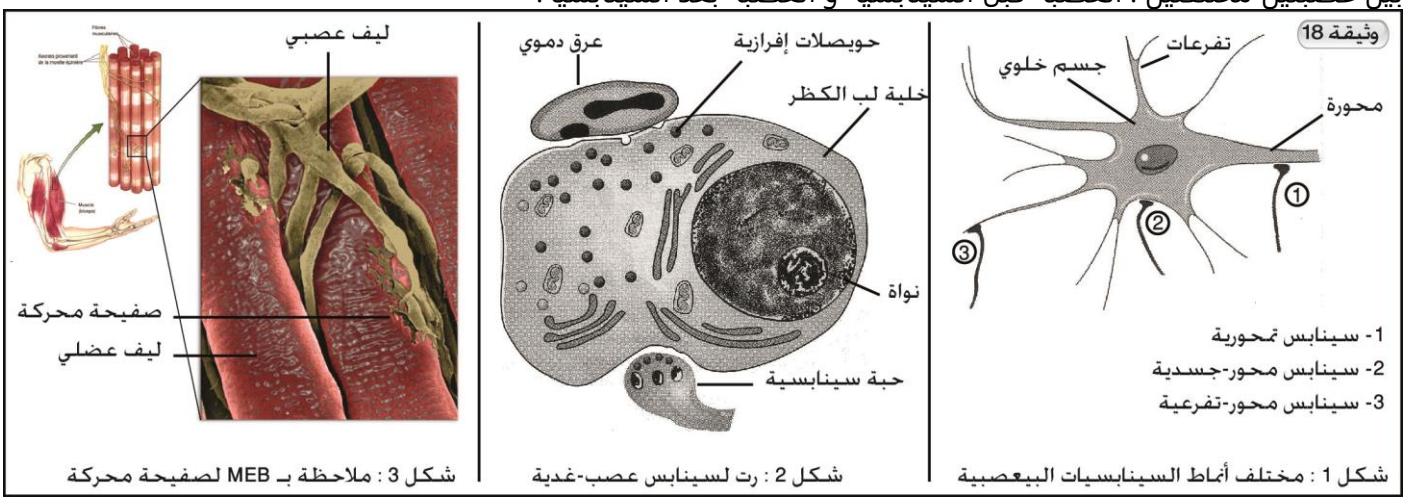
ملحوظة : تكون تضيقات Ranvier أكثر تباعدا كلما ارتفع قطر الألياف العصبية النخاعينية وهذا ما يفسر ارتفاع سرعة التوصيل بالنسبة للالياف النخاعينية ذات القطر الكبير.

VII- كيف يتم تواصل عصبة مع أخرى؟

تتكون المراكز العصبية من شبكات من العصبات التي تتواصل بينها بواسطة ارتباطات بنيوية تدعى السينابسات.

1- السينابس و مختلف أنماطها

تتفرع محورة العصبة عند نهايتها مشكلة التشجر النهائي. وينتهي كل فرع من هذا التشجر بحبة سينابسية تعتبر بمثابة رابط بين عصبتين مختلفتين : العصبة قبل السينابسية و العصبة بعد السينابسية.



يمكن التمييز بين مختلف السينابسات حسب طبيعة الخلية بعد السينابسية، فإذا ارتبطت العصبة :

- بعصبات أخرى نتكلم عن سينابس بيعصبية (Synapse neuro-neuronique) (شكل 1 و 18) التي تتفرع بدورها إلى :
  - 1-السينابس التمحورية (S. Axo-asconique)
  - 2-السينابس المحور- جسدية (S. Axo-somatique)
  - 3-السينابس المحور- تفرعية (S. Axo-dentritique)
- بخلايا غدية نتكلم عن سينابس عصب-غدية (شكل 2 و 18).
- بألياف عضلية نتكلم عن سينابس عصب-عضلية أو صفيحة محركة (Synapse neuro-musculaire ou plaque motrice)(شكل 3 و 18).

ملحوظة : نميز نوعين من السينابسات:

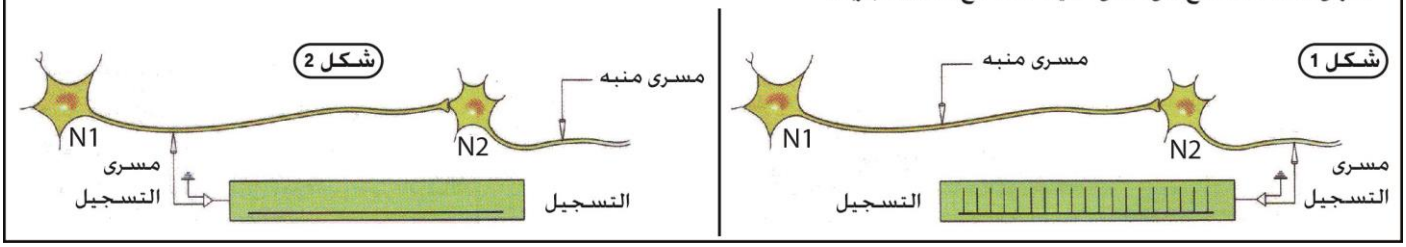
- السينابسات الكيميائية: تتميز بوجود حيز بين الغشائين قبل و بعد سينابسي يسمى حيز بيسينابسي.
- السينابسات الكهربائية : تتميز بالتصاق عضوي بين العصبة قبل السينابسية و بعد السينابسية حيث لا يتعدى الحيز السينابسي 2nm.

2- اتجاه نقل الرسالة العصبية عبر السينابس

وثيقة 19

في التجربة المبينة أسفله، يتم إحداث إهاجات فعالة على مستوى العصبة N1 و يتم تسجيل الرسالة العصبية على مستوى العصبة N2 (شكل 1). و بعد ذلك يتم إحداث الإهاجات على مستوى العصبة N2 و يتم تسجيل الرسالة العصبية على مستوى العصبة N1 (شكل 2).

سؤال: ماذا تستنتج من خلال تحليلك لنتائج هذه التجربة.



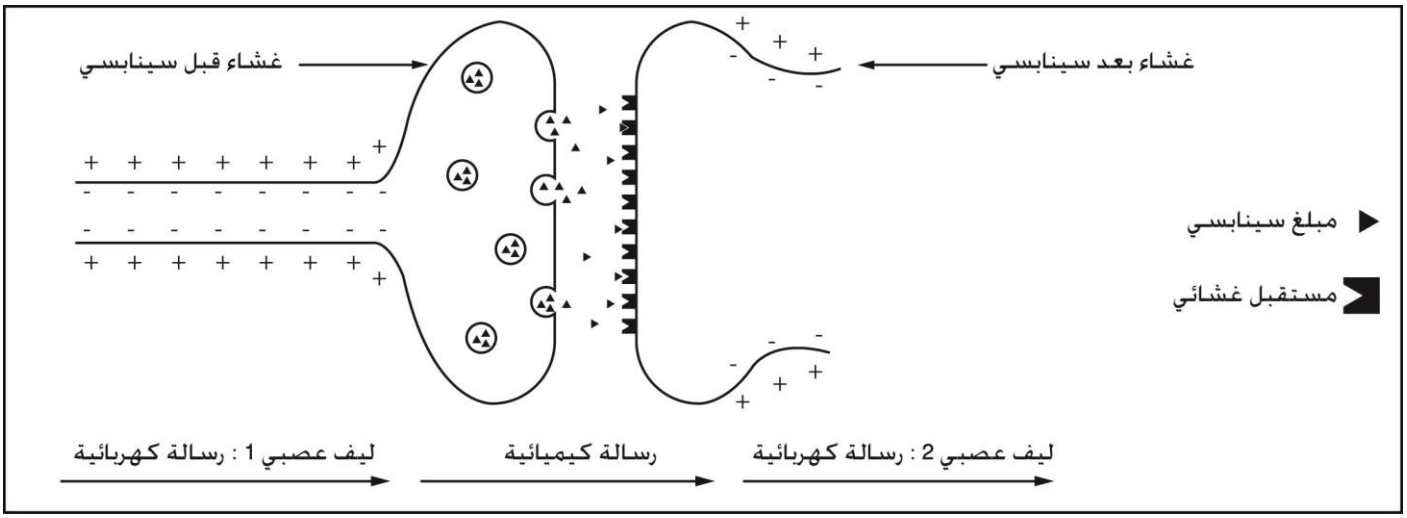
استنتاج:

يتم التواصل بين عصبة و أخرى عبر السينابس حيث تنقل الرسالة العصبية في اتجاه واحد من الحبة السينابسية للعصبة الأولى نحو الجسم الخلوي أو التفرع أو المحورة للعصبة الثانية حسب نمط السينابس.

VIII- ما هي وظيفة السينابسات البيعصبية؟

لكي يكون عمل مختلف الأعضاء متناسقا ومتكاملا، من الضروري أن يكون للسينابس على الأقل وظيفتين متعارضتين هما التهييج والكبح.

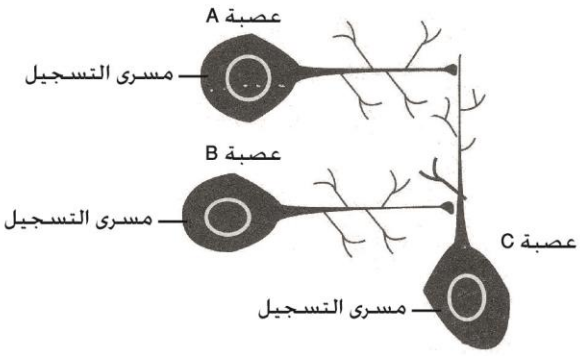
- فكيف يمكن الكشف عن هاتين الوظيفتين ؟
- وما هي البنيات السينابسية المسؤولة عنها ؟



1- وظيفة السينابسات البيعصبية

وثيقة 20

أجريت تجربة على عصبات تشكل عقدة عصبية لحيوان رخوي بحري (الشكل أسفله). النتائج مبينة في الجدول أسفله.



	إهاجة العصبة A	إهاجة العصبة B
استجابة العصبة A	+	-
استجابة العصبة B	-	+
استجابة العصبة C	+	+
+ انتشار جهد العمل	- غياب جهد العمل	

1- ماذا تستنتج من نتائج التجربة.

يمثل الشكل 1 عُدة تُمكن من تسجيل النشاط الكهربائي (شكل 2) للعصبة D المرتبطة بثلاث محورات لعصبات قبل سينابسية A و B و C.

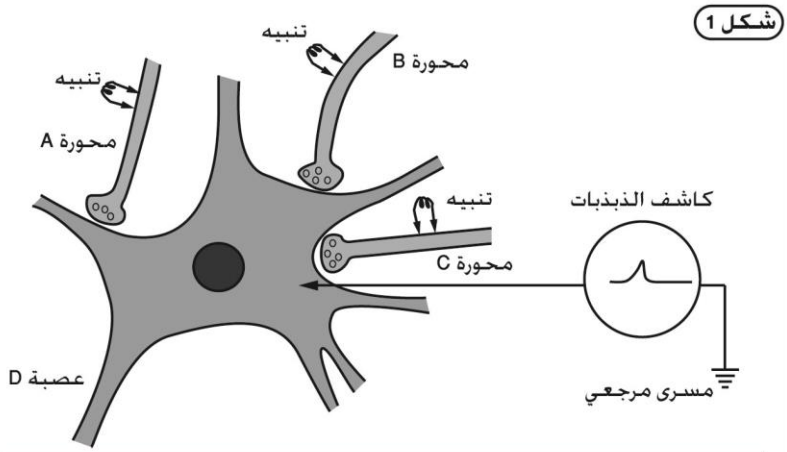
-نهيج المحورة A فنحصل على التسجيل A ثم المحورة C فنحصل على التسجيل C.

- -نهيج المحورة B فنحصل على التسجيل B.

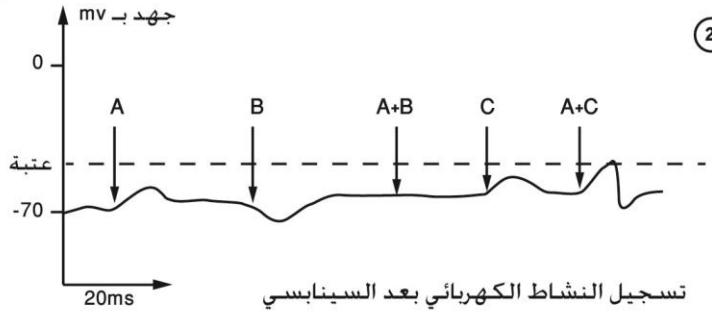
- نهيج في آن واحد المحورتين A و B فنحصل على التسجيل A + B.

2- ماذا تستنتج من النتائج التجريبية.

شكل 1



شكل 2



تسجيل النشاط الكهربائي بعد السينابسي

1- يظهر من تحليل الجدول أن تطبيق إهاجة فعالة :

- على مستوى العصبة A يؤدي إلى نشوء جهد عمل ينتشر عبر السينابس ويظهر على مستوى العصبة C إلا أنه لا يظهر على مستوى العصبة B.

- على مستوى العصبة B يؤدي إلى نشوء جهد عمل يظهر على مستوى العصبة C إلا أنه لا يظهر على مستوى العصبة A.

نستنتج أن السيالة العصبية لا تنتقل عبر السينابس إلا في اتجاه واحد : من العصبة قبل السينابسية إلى العصبة بعد السينابسية.

2- يتم تسجيل جهد عمل أحادي الطور إثر تهييج المحورة A و C يسمى بجهد التهييج بعد السينابسي = PPSE إذن السينابس AD و السينابس CD تعتبرا سينابسين مهيجتين.

- يتم تسجيل استقطاب مفرط إثر تهييج المحورة B يسمى جهد الكبح بعد السينابسي = PPSI إذن سينابس العصبة B هي سينابس كابحة.

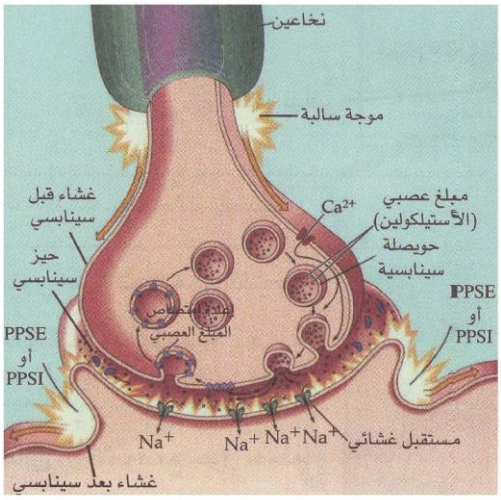
- تهييج المحورتين A و B في نفس الوقت لا يعطي أية نتيجة على مستوى العصبة D. يمكن تفسير ذلك بأن العصبة بعد السينابسية تستجيب للحصيلة الجبرية لجهدي الكبح و التهييج.

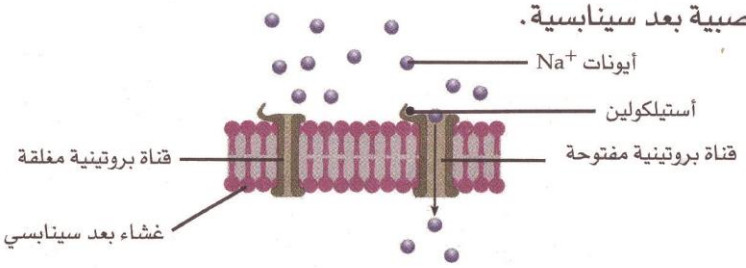
2- آلية التبليغ السينابسي

أ- كيفية عمل السينابسات المهيجة

وثيقة 21

يؤدي وصول رسالة عصبية إلى نهاية السينابس إلى دخول أيونات Ca^{++} ثم التحام الحويصلات السينابسية مع الغشاء قبل سينابسي ينتج عنه تحرير المبلغ العصبي في الحيز السينابسي يُثَبِّت الأستيلكولين على المستقبلات الخاصة به فتنفتح قنوات Na^+ التي تسمح بدخول مكثف لأيونات Na^+ مع إزالة استقطاب الغشاء بعد سينابسي يليه خروج K^+ وبالتالي نشوء رسالة عصبية بعد سينابسية.

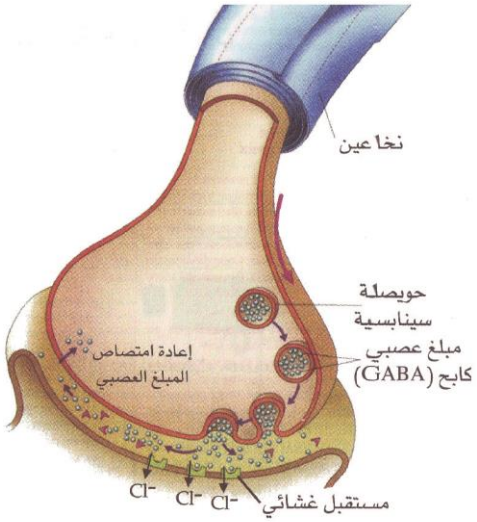


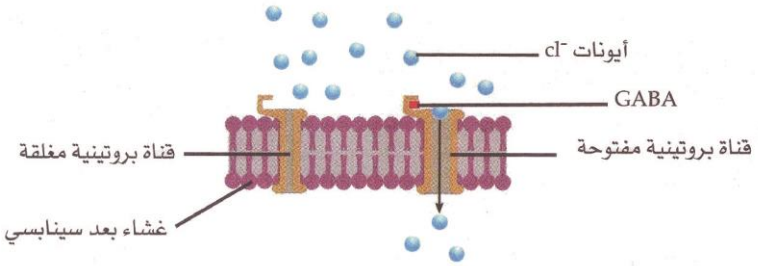


ب- كيفية عمل السينابسات الكابحة

وثيقة 22

بعد تثبيت المبلغ العصبي GABA (Acide-gamma-amino-butirique) على المستقبلات الخاصة به تنفتح قنوات Cl^- التي تسمح بدخول مكثف لأيونات Cl^- مصحوب بخروج K^+ فينشأ استقطاب مفرط على مستوى الغشاء بعد سينابسي وبالتالي عدم ظهور رسالة عصبية بعد سينابسية.

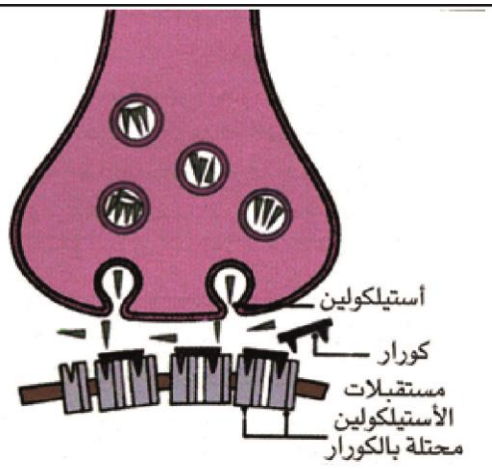




ج- بعض المواد تؤثر على العمل السينابسي

وثيقة 23

استعمل هنود أمريكا منذ القدم مادة الكورار Curare لتسميم سهامهم لأن لها مفعول إحداث شلل سريع للحيوانات المصابة بها عند الصيد أو في الحرب. تعتبر جزيئة الكورار مشابهة في جزئها النشيط لجزيئة الأستيلكولين. بذلك تحتل مكان مستقبلات هذه الأخيرة و المتواجدة على مستوى الغشاء بعد سينابسي. هذا ما يعرف بالتوقيف بواسطة الكبح التنافسي (أنظر الوثيقة جانبه).



المواد الكيميائية المتدخلة	مستوى تأثيرها و كيفية عملها			المبلغات العصبية المعنية و مضاعفاتها على الجسم
	غشاء قبل سينابسي	حيز سينابسي	مستقبلات بعد سينابسية	
كورار Curare	-	-	كبح	أستيلكولين غير مستعمل --> شلل

أتروبين Atropine	-	-	كبح	أستيلكولين غير مستعمل --> إسراع دقات القلب و تمدد بؤرة العين
نيكوتين	مقدار ضئيل	-	-	تنشيط	محاكات الأستيلكولين --> إبطاء دقات القلب
	مقدار مرتفع	-	-	كبح	أستسلكولين غير مستعمل --> إسراع دقات القلب
مادة L.S.D	-	-	تنشيط	Sérotonine--> النوم و الهلوسة
مورفين Morphine	-	-	كبح	محاكات Endorphine --> التخفيف من الآلام
كوكايين Cocaine	-	اختفاء تدريجي	-	فائض من الأستيلكولين --> مهيج ضد انخفاض الضغط
إيزرين Esérine	-	كبح	-	استيلكولين غير مفكك --> تأثير أطول
سمين بوتيليني Toxine botulinique	توقيف	-	-	نقص في الأستيلكولين--> شلل ثم موت

وثيقة 27: تأثير بعض المواد الكيميائية على عمل السينابس

أسئلة:

1- اعتمادا على الوثيقتين 24 و 25، قارن عمل السينابس المهيجة بالسينابس الكابحة.

2- باعتمادك على الوثيقة 27، حدد العلاقة الموجودة بين عمل المواد الواردة في الجدول و عمل كل من الأستيلكولين و GABA مستعينا بالوثيقة 3.

حصيلة:

تكمن وظيفة الخلايا العصبية في تحقيق اندماج بين جميع أصناف المعلومات الداخلية و الخارجية التي تتلقاها، و تبليغها إلى الجهات المعنية بدقة متناهية.

و تنتج الرسالة العصبية عند نشوئها عن تغيرات نفاذية الغشاء اتجاه أيونات K^+ و Na^+ و التي تُترجم إلى ظواهر كهربائية على شكل جهود عمل، كما تترجم الرسالة المتضمنة في جهود العمل بترددتها.

- هناك بعض المواد التي تؤثر على سلامة الجهاز العصبي، كالمخدرات، لكونها تدخل في تنافس مع المبلغات العصبية الطبيعية للجسم.