

الفصل الثاني

التواصل العصبي

مقدمة: تلتقط الحواس جميع الحساسيات النابعة من المحيط الذي نعيش فيه، وتحولها إلى رسالة عصبية تعالج على مستوى المراكز العصبية، التي تحدد نمط الاستجابة.

- فما هي طبيعة الرسائل العصبية وكيف تنتقل؟
- ما هي خصائص الأعصاب؟
- ما هي بنية الأعصاب والمراكز العصبية؟
- كيف يتم تبليغ الرسائل العصبية

I - خصائص العصب

① الكشف عن خصائص العصب:

أ - تجارب وملاحظات: أنظر الوثيقة 1

الوثيقة 1: الكشف عن خصائص العصب

★ نقوم بتخريب الدماغ والنخاع الشوكي لضفدعة قصد إبطال الحساسية الشعورية والتحركية الإرادية واللاإرادية. بعد إزالة جلد الطرف الخلفي، نبعد عضلتي الفخذ عن بعضهما، فنبرز العصب الوركي (الشكل ب).

عندما نقوم بقرص العصب الوركي بواسطة ملقط أو تهيجه بمهيج كهربائي، نلاحظ ثني الطرف الخلفي الذي يوجد فيه العصب الوركي.

1) ماذا تستنتج من هذه التجربة؟

★ بعد قطع العصب، نقوم بنفس التجربة السابقة، فلوحظ عدم حدوث أي استجابة.

2) ما هو استنتاجك؟



ب - تحليل واستنتاج:

- 1) ثني الطرف الخلفي للضفدعة ناتج عن تقلص عضلة بطن الساق، وينتج هذا التقلص عن تهيج كهربائي أو ميكانيكي للعصب الوركي. إذن العصب يستجيب للاهتياج وبالتالي فهو يتميز بخاصية الاهتياجية L'excitabilité.
- 2) عند قطع العصب لا تلاحظ أي استجابة رغم التهيج، يفسر هذا بعدم وصول التهيج إلى عضلة بطن الساق. هذا يدل على أن التهيج ينتقل من نقطة التهيج إلى العضلة. وبالتالي فالعصب يتميز بخاصية التوصيلية La conductibilité.

② دراسة خصائص العصب:

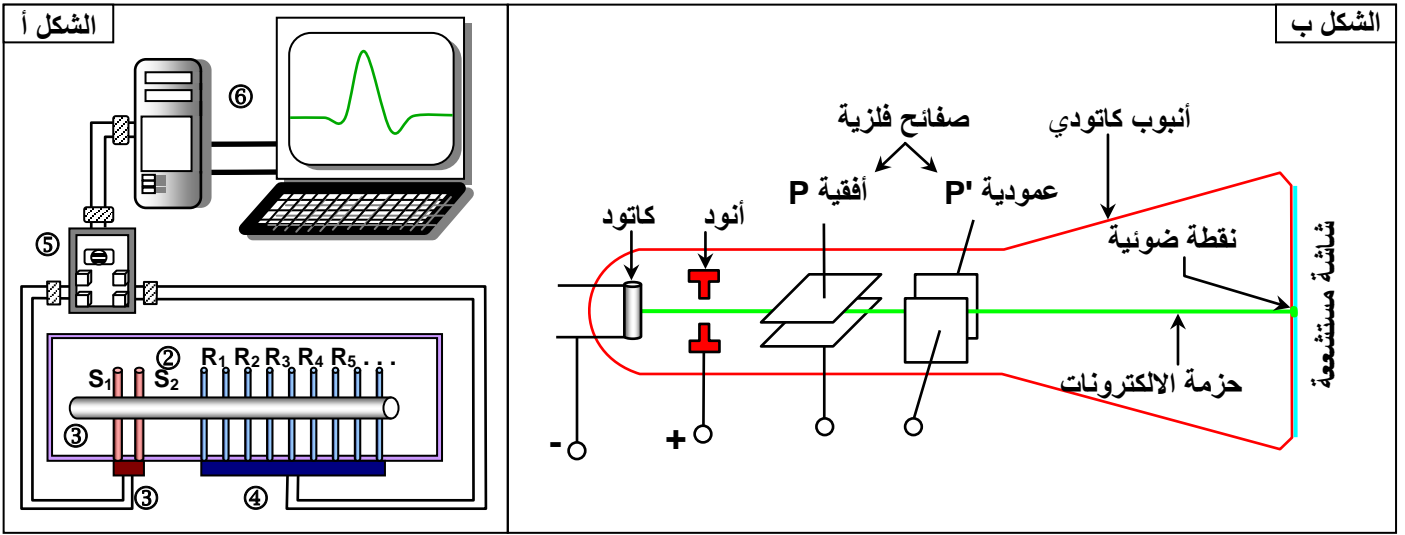
أ - العدة التجريبية: أنظر الوثيقة 2

الوثيقة 2: التركيب التجريبي لدراسة خصائص العصب

★ يعطي الشكل أ رسم تخطيطي تفسيري لعدة EXAO التي تمكن من التهيج الكهربائي للعصب، واستقبال مظهرات الاستجابة لهذا التهيج. ① = العصب، ② = حوض العصب، ③ = الكترودان مهيجان (S)، ④ = الكترودات مستقبلية (R)، ⑤ = مكيف ومرافق بيني، ⑥ = نظام التسجيل (حاسوب)

★ يعطي الشكل ب رسم تخطيطي لأهم أجزاء كاشف الذبذبات.

بالاعتماد على معطيات الوثيقة، صف مبدأ عمل عدة EXAO. ومبدأ عمل كاشف الذبذبات L'oscilloscope.



لدراسة النشاط الكهربائي للعصب يمكن استعمال تقنيات متطورة، تسمح بالتحكم في المهيج من حيث الشدة ومدة التطبيق. ومن بين هذه التقنيات نجد:

★ عدة EXAO (Expérience Assistée par Ordinateur):

مباشرة بعد عزل العصب، نضعه في حوض من زجاج يسمى حوض العصب، مزود بعدة الكترودات أو مساري Electrodes متصلة بنظام التسجيل، تسمى مساري الاستقبال ونرمز لها ب R_1, R_2, R_3, \dots وبالكترودات متصلة بدارة التهيج، تسمى مساري التهيج، ونرمز لها ب S_1, S_2 .

★ كشف الذبذبات L'oscilloscope، الذي يتكون كاشف الذبذبات من:

- أنبوب كاثودي: يولد حزمة من الالكترونات عن طريق تسخين خيط يدعى الكاثود.
- شاشة مستشععة Ecran fluorescent تسقط عليها حزمة الالكترونات وتظهر على شكل نقطة ضوئية.
- صفيحتان أفقيتان Plaques horizontales مرتبطين بمساري الاستقبال (R_1, R_2)، وتعملان على الانحراف العمودي للنقطة الضوئية.
- صفيحتان عموديتان Plaques verticales يوجد بينهما فرق جهد كهربائي يتغير بصفة منتظمة ويعملان على النقل الأفقي للنقطة الضوئية من اليسار إلى اليمين، لتظهر على الشاشة المستشععة على شكل خط أفقي. وبهذه الطريقة يمكن دراسة تغير الظاهرة المسجلة حسب الزمن.

ب - دراسة خاصة الاهتاجية:

a - أنواع المهيجات:

خلال التهيج تستعمل عدة مهيجات اصطناعية وهي منبهات ميكانيكية (الصرب، القرص، الوخز، ...)، حرارية، كيميائية، وكهربائية. ويعد المهيج الكهربائي الأكثر استعمالاً.

b - الشروط الضرورية لتهيج العصب: أنظر الوثيقة 3

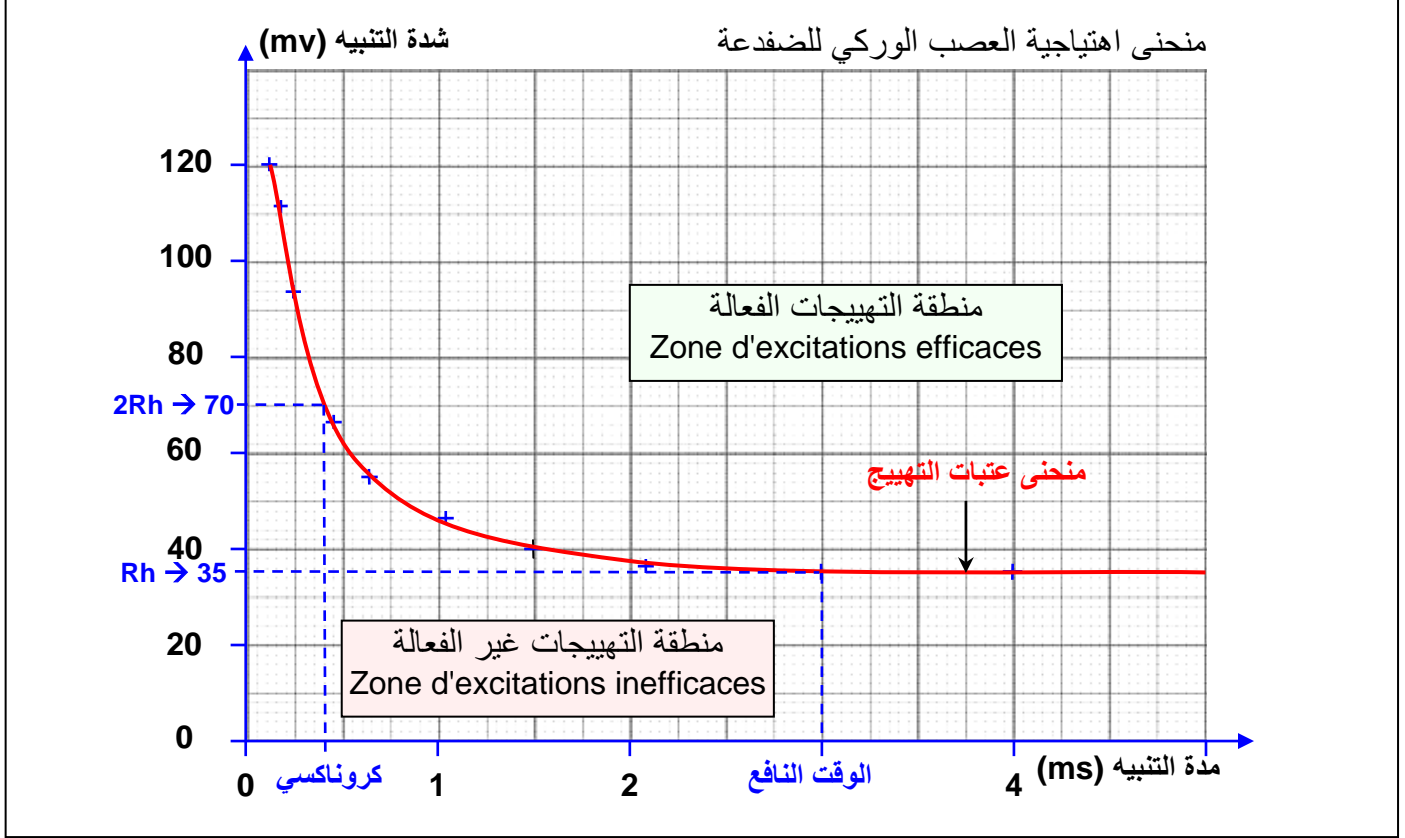
الوثيقة 3: الشروط الضرورية لتهيج العصب

تمكن عدة تسجيل اهتاجية العصب من تغيير شدة الاهاجة المعبر عنها بالميليفولت (mv)، وكذا مدة الاهاجة المعبر عنها ب (ms). نقوم بالتجربة على العصب الوركى Nerf sciatic للضفدعة. يتم تحديد شدة تهيج معينة ثم نعمل على تغيير مدته عدة مرات حتى يتم الحصول على اهاجة فعالة (تعطي إجابة). ثم نحدد مدة معينة ويتم تغيير شدة الاهاجة حتى الحصول على اهاجة فعالة. وفي كل اهاجة فعالة يتم تسجيل شدة ومدة الاهاجة الفعالة. ويبين الجدول التالي النتائج المحصل عليها:

4	3	2.15	1.5	1.05	0.65	0.45	0.2	0.15	0.10	مدة التنبيه t ب (ms)
35	35	37	40	47	55	65.5	94	112	120	شدة التنبيه I ب (mv)

- (1) أنجز منحنى تغيرات شدة التهيج بدلالة مدة التهيج. ($10\text{mm} \leftarrow 10\text{mv}$ ، $10\text{mm} \leftarrow 0.2\text{ms}$)
- (2) لنعبر اهاجة ذات الخصائص التالية ($40\text{mv}, 1.5\text{ms}$) ما هي العلاقة التي تربط بين القيمتين؟
- (3) انطلاقا من تحليل المنحنى حدد:
 - ما هي شدة التهيج الدنيا التي تعطي أول استجابة؟ وما هي المدة الزمنية المطابقة لها؟
 - أهم ثوابت تهيج العصب.

(1) منحنى اهتياجية العصب (أنظر الورق الميليمتري)



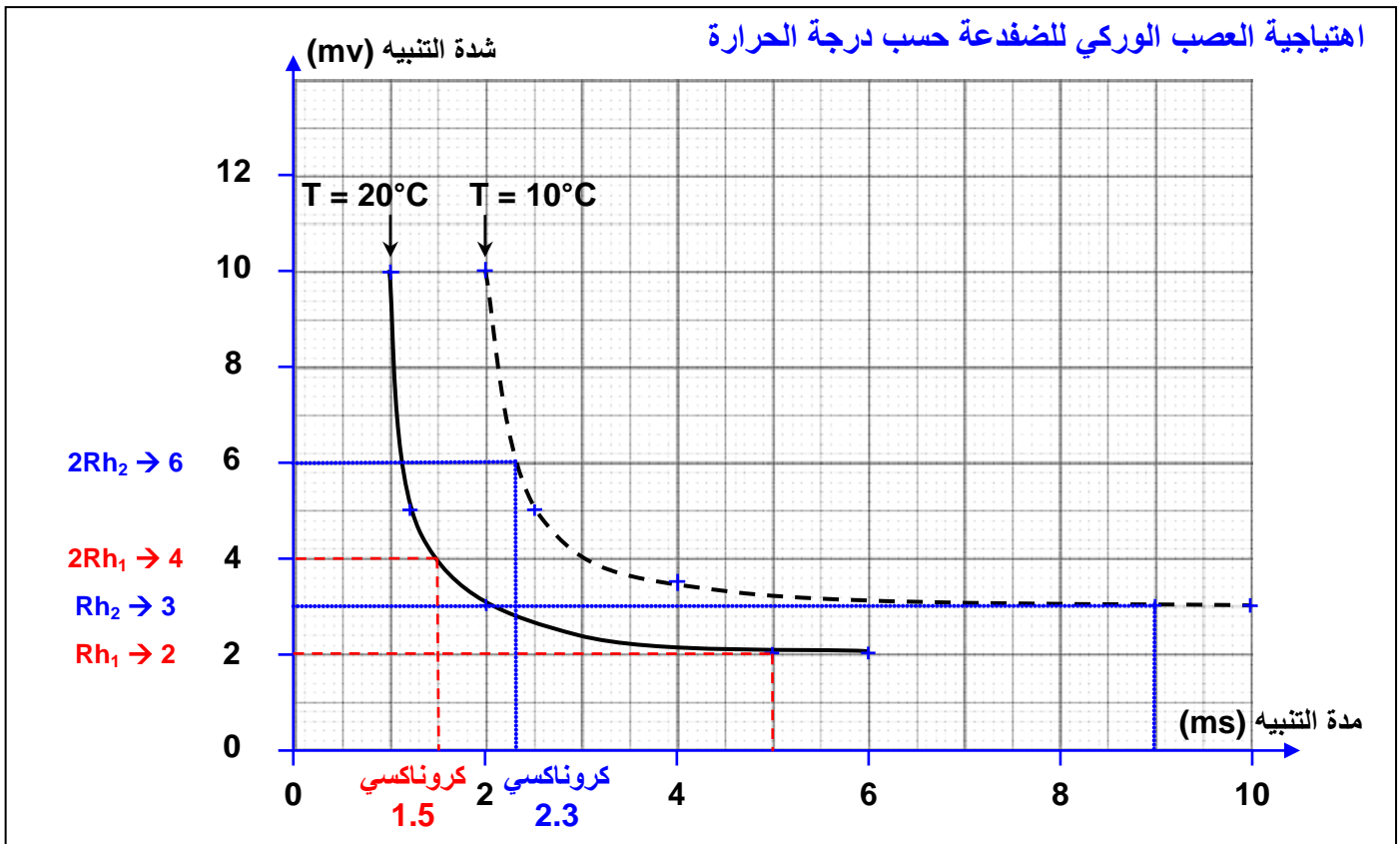
(2) لكي تكون اهاجة شدتها 40mv فعالة يجب أن تكون مدتها تساوي أو تفوق 1.5ms ، وتعتبر هذه المدة عتبة نسبية للمدة. ولكي تكون اهاجة مدتها 1.5ms فعالة ينبغي أن تكون شدتها تساوي أو تفوق 40mv ، وتعتبر هذه الشدة عتبة نسبية للشدة. ونطبق هذه العلاقة على جميع قيم الجدول الذي يحتوي بذلك على العتبات النسبية للشدة والمدة المطابقة لها.

(3) مدة التهيج الدنيا التي تعطينا أول استجابة هي 3.5mv تدعى الريوباز $Rh\acute{e}obase$. وتعتبر بذلك عتبة مطلقة للشدة، أي عندما تكون شدة الاهاجة تقل عن الريوباز، لن تكون فعالة مهما كانت مدتها. والمدة الزمنية المطابقة للريوباز تسمى بالوقت النافع. بما أن الوقت النافع يصعب تحديده على المنحنى، فقد تم اختيار خاصية أخرى تدعى الكروناكسي $Chronaxie$ وهي المدة الزمنية المطابقة للشدة التي تساوي ضعف الريوباز ($2Rh$). يمثل المنحنى المحصل عليه عتبات التهيج، ويفصل بين منطقتين: منطقة التهيجات الفعالة ومنطقة التهيجات غير الفعالة.

C - تمرين: أنظر الوثيقة 4

الوثيقة 4: تمرين					
قمنا بدراسة تهيج عصبين وركيين لضفدعة. الأول في درجة حرارة 10°C والتالي في درجة حرارة 20°C . النتائج المحصل عليها مدونة في الجدول أمامه:					
10	5	3	2	2	شدة التنبيه I ب (mv)
1	1.2	2	5	6	مدة التنبيه t ب (ms)
10	5	3.5	3	3	شدة التنبيه I ب (mv)
2	2.5	4	9	10	مدة التنبيه t ب (ms)

- (1) مثل هذه النتائج في رسم بياني واحد.
- (2) حدد خصائص تهيج هذه الأعصاب.
- (3) حدد العصب الأكثر تهيجا. ماذا يمكنك استنتاجه؟



(2) خصائص تهيج العصبين:

Ch (ms)	2Rh (mv)	Rh (mv)	
1.5	4	2	العصب $T + 20^{\circ}\text{C}$
2.3	6	3	العصب $T + 10^{\circ}\text{C}$

(3) العصب الأكثر اهتياجية هو العصب الموضوع في درجة حرارة $T=20^{\circ}\text{C}$ لأن الريبواز والكروناسي في هذه الحالة أقل من الريبواز والكروناسي للعصب الموضوع في درجة حرارة $T=10^{\circ}\text{C}$. إذن كلما كانت قيمة الريبواز والكروناسي ضعيفة، كان العصب أكثر قابلية للتهيج. وبالتالي فدرجة الحرارة تلعب دورا في اهتياجية العصب. حيث أنه كلما ارتفعت درجة الحرارة إلا وكان العصب أكثر اهتياجية.

ج - دراسة خاصة التوصيلية:

a - شروط التوصيلية أنظر الوثيقة 5

الوثيقة 5: شروط التوصيلية

لتحديد الشروط الفيزيولوجية المتحكممة في توصيل السيالة العصبية ثم القيام بالتجارب التالية:

- ★ نضع جزء من عصب في درجة حرارة تقل عن 2°C ، وجزء آخر في درجة حرارة تفوق 50°C ثم نحدث اهاجة فعالة.

- ★ نضع العصب في درجة حرارة عادية (25°C) مع إضافة كمية من الاثير أو الكلوروفورم (مخدر)، وبعد فترة زمنية نقوم بإحداث اهاجة فعالة.

- ★ نقوم بتخريب العصب بواسطة إبرة (أو قطعه)، ثم نقوم بإحداث اهاجة فعالة.

في جميع الحالات السابقة لا يسمح العصب بتوصيل السيالة العصبية.

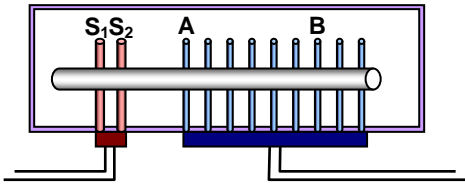
ماذا تستنتج من خلال هذه التجارب؟ وما هي الشروط اللازمة لتوصيل السيالة العصبية؟

التوصيلية هي قدرة العصب أو الليف العصبي على نقل الرسالة العصبية إثر تهيج فعال. يتبين من تحليل المعطيات التجريبية السابقة أن التوصيلية تختلف حسب بعض الظروف الفيزيولوجية. إذ لا يسمح العصب بتوصيل الرسالة العصبية إذا كان مقطوعا أو مضغوطا أو مخدرا (مبنجا) أو خاضعا لدرجات حرارة قصوية (أكثر من 50°C أو حرارة دنيا أقل من 2°C).

b - سرعة التوصيلية : أنظر الوثيقة 6

الوثيقة 6: سرعة التوصيلية

بعد عزل العصب الوركي لضفدعة ووضعها في حوض العصب، نطبق عليه اهاجتين متتاليتين بواسطة الالكترودين S_1S_2 ثم نستقبل استجابة العصب بواسطة مساري الاستقبال، موضوعة في مستويين مختلفين A و B حيث أن المسافة بين A و B هي $d_{AB}=12\text{mm}$.



(1) أحسب سرعة توصيل الرسالة العصبية بين A و B معتمدا على النتائج المسجلة في الجدول التالي:

28°C	18°C	حرارة الوسط
1	2	فارق الزمن (ms) (مرور السيالة من A إلى B)

(2) ماذا يمكنك استنتاجه؟

(3) هل يمكن أن نقول أن السيالة العصبية هي عبارة عن تيار كهربائي؟ لماذا؟

$$V_{AB} = \frac{\Delta d \text{ (mm)}}{\Delta t \text{ (ms)}}$$

(1) سرعة انتقال الرسالة العصبية من A إلى B هي V_{AB} :

$$\star \text{ عند درجة حرارة } 18^\circ\text{C} : V_{AB} = \frac{12 \text{ (mm)}}{2 \text{ (ms)}} = 6 \text{ mm/ms}$$

$$\star \text{ عند درجة حرارة } 28^\circ\text{C} : V_{AB} = \frac{12 \text{ (mm)}}{1 \text{ (ms)}} = 12 \text{ mm/ms}$$

(2) نستنتج من المعطيات السابقة أن سرعة التوصيلية تتغير حسب حرارة الوسط، فكلما ارتفعت درجة الحرارة إلا وارتفعت سرعة التوصيلية.

(3) السرعة المسجلة أقل بكثير من سرعة التيار الكهربائي، وبالتالي فالرسالة العصبية ليست بتيار كهربائي.

II - طبيعة الرسالة العصبية

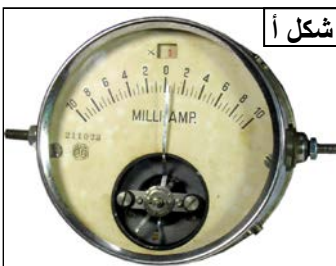
① الظواهر الكهربائية المصاحبة لنشاط الليف العصبي:

لتسجيل النشاط الكهربائي للعصب يتم الاعتماد على كاشف الذبذبات أو الكالفانومتر Galvanomètre.

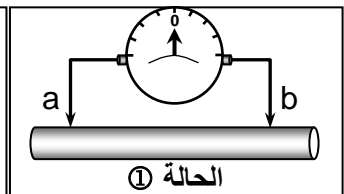
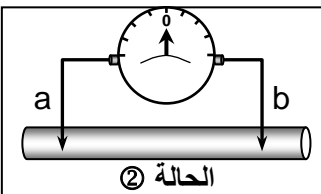
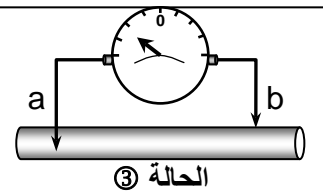
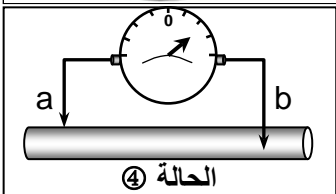
أ - استعمال الكالفانومتر: أنظر الوثيقة 7

الوثيقة 7: للكشف عن النشاط الكهربائي للعصب

للكشف عن النشاط الكهربائي للعصب، نستعمل الكالفانومتر Galvanomètre (شكل أ) الذي يمكن من الكشف عن وجود فرق جهد كهربائي (ddp) بين وسطين. في غياب أي تهيج، نقوم بالمناولات الممثلة على الرسوم التخطيطية أسفله. ماذا تستنتج من تحليل هذه المعطيات؟



شكل أ



★ في الحالة ① والحالة ② عندما نضع الالكترودين a و b معا إما خارج أو داخل العصب، نلاحظ أن مؤشر الكالفانومتر يبقى مستقرا في القيمة 0.

★ في الحالة ③ والحالة ④ عندما نضع أحد الالكترودين a أو b داخل العصب والآخر خارج العصب، نلاحظ أن مؤشر الكالفانومتر ينحرف ليستقر في قيمة مخالفة للصفر.

نستنتج من هذه الملاحظات أن جميع نقط سطح العصب لها نفس الجهد الكهربائي. بينما هناك اختلاف في الجهد الكهربائي بين الوسط الداخلي والخارجي للعصب.

ب - استعمال كاشف الذبذبات:

a - الكشف عن جهد الكمون الوثيقة 8

الوثيقة 8: الكشف عن جهد الكمون Potentiel de repos

في حالة استعمال كاشف التذبذب يمكن تمثيل التركيب التجريبي المستعمل كما هو ممثل على الشكل أ (S₁S₂ = مساري التهيج، R₁R₂ = مساري الاستقبال، P₁P₂ = صفائح معدنية).

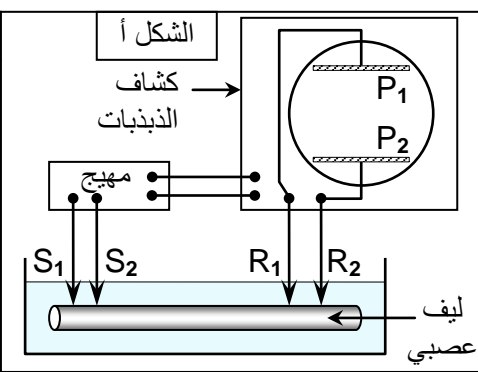
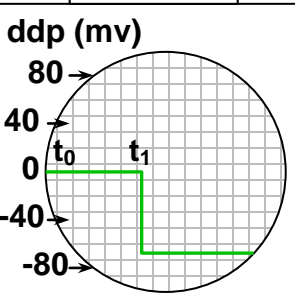
في غياب أي تهيج نقوم بالتجربتين التاليتين:

★ في الزمن t₀ (بداية التجربة) نضع المساري المستقبلية R₁R₂ على سطح الليف العصبي.

★ في الزمن t₁ نضع المسري R₁ داخل الليف والمسري R₂ على السطح.

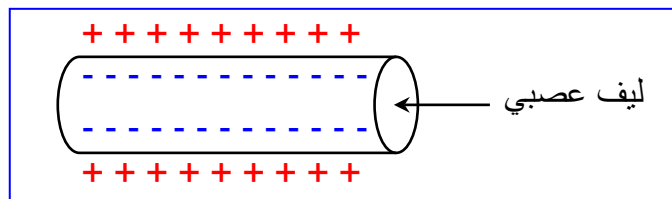
نحصل على النتائج الممثلة على الشكل ب.

- 1) حدد قيمة فرق الجهد المسجل قبل الزمن t₁.
- 2) حدد قيمة فرق الجهد المسجل بعد الزمن t₁.
- 3) فسر النتائج المحصل عليها.

★ في الزمن t₀ عند وضع المساري المستقبلية R₁R₂ على سطح الليف العصبي، نلاحظ على شاشة كاشف التذبذب خط أفقي يمر من 0. هذا يعني أن فرق الجهد الكهربائي بين الصفيحتين الأفييتين P₁ و P₂ منعدم وبالتالي بين المساريين R₁R₂.

★ في الزمن t₁ عند وضع المسري R₁ داخل الليف والمسري R₂ على السطح، نلاحظ على الشاشة أن النقطة الضوئية قد انحرقت نحو الأسفل في اتجاه الصفيحة P₂ الموجبة (لأن الالكترونات مشحونة سالبة) والمرتبطة ب R₂ الموجودة على سطح الليف العصبي، ومنه نستنتج أن سطح الليف له شحنة موجبة وداخل الليف شحنة سالبة.



نستنتج من هذه المعطيات أنه في حالة الراحة أي في غياب التهيج، يكون هناك فرق في الاستقطاب الكهربائي بين الوسط الداخلي والخارجي للليف العصبي يقرب -70mv. يسمى جهد الكمون Potentiel de repos أو جهد الغشاء.

b - الكشف عن جهد العمل الوثيقة 9

الوثيقة 9: الكشف عن جهد العمل Potentiel d'action

نضع ليفا عصبيا معزولا للخدق Calmar في حوض عصب يحتوي على مساري مهيجة S₁S₂ ومساري مستقبلية R₁R₂ مرتبطة بكشاف الذبذبات.

★ التجربة 1: في الزمن t₀ نضع R₁R₂ على سطح الليف، ثم في الزمن t₁ نهيج هذا الليف تهيجا فعلا فنحصل على التسجيل الممثل في الشكل أ.

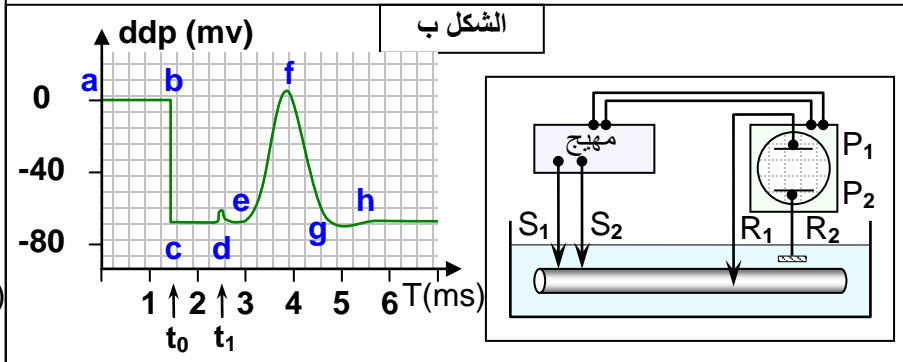
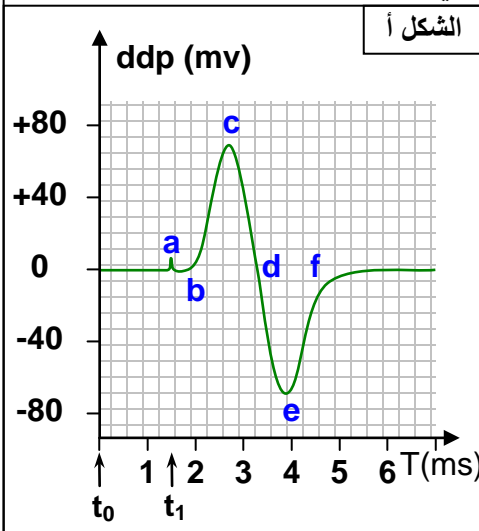
(1) ماذا يمثل هذا التسجيل؟

(2) فسر مراحل هذا النشاط الكهربائي مستعينا بالوثيقة 10.

★ التجربة 2: في الزمن t_0 ندخل المسرى R_1 في الليف العصبي ونحتفظ ب R_2 في جهد ثابت (مسرى مرجعي)، فنحصل على التسجيل الممثل في الشكل ب، بعد تطبيق اهاجة فعالة على الليف في الزمن t_1 .

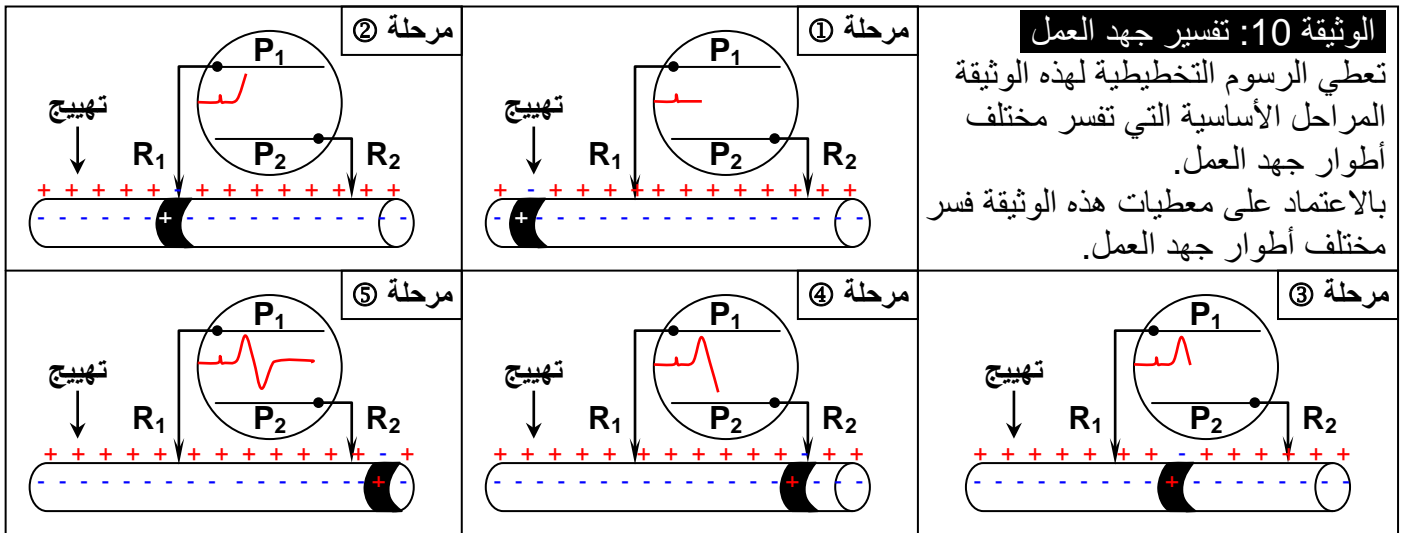
(3) ماذا يمثل التسجيل المحصل عليه بعد التهيج؟

(4) حدد مراحل التسجيل مع تفسير التغيرات المحصل عليها.



(1) يمثل التسجيل المحصل عليه جهد عمل ثنائي الطور (يتكون من جزئين متعاكسين). Diphasique.

(2) تفسير مراحل جهد العمل (أنظر الوثيقة 10):



يمكن تقسيم التسجيل إلى المراحل التالية:

★ المرحلة ①: تحدث الاهاجة منطقة إزالة الاستقطاب (تغيير الشحن الكهربائية من جهتي غشاء الليف العصبي)، والتي تنتقل عبر الليف العصبي في شكل موجة سالبة. نتكلم عن السيادة العصبية Influx nerveu .

تسجل مساري الاستقبال $R_1 R_2$ إشارة متزامنة مع لحظة التهيج تسمى حادث التنبيه (a). يستغرق انتقال الموجة السالبة من نقطة الاهاجة إلى المسرى R_1 مدة زمنية تدعى زمن الكمون (a-b).

★ المرحلة ②: يحدث وصول الموجة السالبة إلى R_1 فرق جهد كهربائي بين R_1 و R_2 مما يؤدي إلى انحراف النقطة الضوئية نحو الصفيحة P_1 وتسجيل مرحلة إزالة الاستقطاب بالنسبة للمسرى R_1 . (b-c).

★ المرحلة ③: عندما تتواجد الموجة السالبة بين R_1 و R_2 يسترجع المسرى R_1 جهده الأصلي، مما يؤدي إلى عودة النقطة الضوئية إلى المستوى 0، نتكلم عن مرحلة إعادة الاستقطاب ل R_1 (c-d).

★ المرحلة ④: بوصول الموجة السالبة إلى R_2 ينتج فرق جهد كهربائي بين R_1 و R_2 مما يؤدي إلى انحراف النقطة الضوئية نحو الصفيحة P_2 ، وتسجيل مرحلة إزالة الاستقطاب ل R_2 (d-e).

★ المرحلة ⑤: عند مغادرة الموجة السالبة R_2 يسترجع هذا المسرى جهده الأصلي، مما يؤدي إلى عودة النقطة الضوئية من جديد المستوى 0 وبالتالي تسجيل مرحلة إعادة الاستقطاب بالنسبة ل R_2 (e-f).

(3) يمثل التسجيل المحصل عليه في هذه الحالة بعد اهاجة فعالة جهد عمل أحادي الطور Monophasique.

(4) قبل التهيج وعند إدخال المسرى R_1 في الزمن t_0 نلاحظ على الشاشة أن النقطة الضوئية قد انحرقت نحو الأسفل في اتجاه الصفيحة P_2 ، فنسجل بذلك فرق جهد كهربائي بين الصفيحتين P_1 و P_2 يمثل جهد الكمون. بعد التهيج في الزمن t_1 نسجل جهد عمل أحادي الطور، يمكن تقسيمه إلى المراحل التالية:

- المرحلة (d): تمثل حادث التنبيه والتي تتزامن مع لحظة الاهاجة.
- المرحلة (d-e): تمثل زمن الكمون، وهي المدة التي تستغرقها الموجة السالبة لتمر من نقطة التهيج إلى المسرى المستقبل R_1 .
- المرحلة (e-f): تمثل إزالة الاستقطاب للمسرى R_1 . وصول الموجة السالبة إلى المسرى R_1 ، وبذلك تتحرك النقطة الضوئية نحو الصفيحة P_1 .
- المرحلة (f-g): تمثل إعادة الاستقطاب للمسرى R_1 . تبعد الموجة السالبة عن المسرى R_1 ، وبذلك تبتعد النقطة الضوئية عن الصفيحة P_1 .
- المرحلة (g-h): تمثل الاستقطاب المفرط، حيث يتجاوز انحراف النقطة الضوئية قيمة جهد الكمون.

② الظواهر الأيونية المصاحبة لنشاط الليف العصبي:

أ - أصل جهد الكمون: أنظر الوثيقة 11

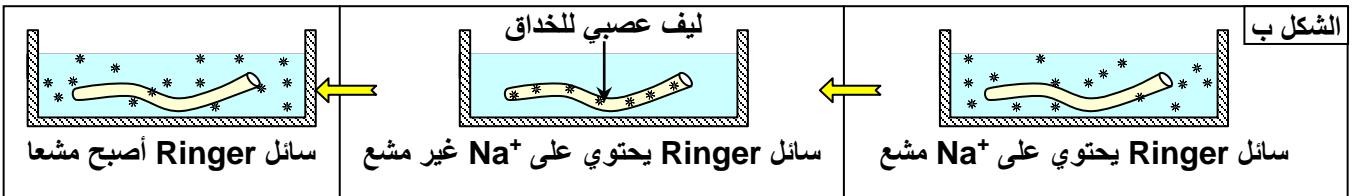
الوثيقة 11: أصل جهد الكمون

لمعرفة الآليات التي أدت إلى خلق جهد الكمون بين الوسط الداخلي والخارجي للليف العصبي، نقوم بالتجارب التالية:
التجربة 1: نقوم بقياس تركيز أيونات Na^+ و K^+ في كل من الوسط الداخلي للليف العصبي والوسط الخارجي الذي هو السائل البيفرجي. النتائج المحصل عليها مدونة في جدول الشكل أ.

تركيز الأيونات ب mmol/l		الشكل أ
السائل البيفرجي	داخل الليف	الأيونات
450	50	Na^+
20	400	K^+

- (1) قارن تركيز أيونات Na^+ و K^+ داخل وخارج الليف العصبي.
- (2) اقترح فرضية لتفسير الاختلاف الملاحظ في تركيز هذه الأيونات

التجربة 2: نضع ليفا عصبيا في محلول Ringer يحتوي على أيونات الصوديوم المشع، وبعد بضع ساعات يصبح داخل الليف العصبي مشعا، وإذا وضعنا هذا الليف المشع في محلول غير مشع، نلاحظ ظهور نشاط إشعاعي في هذا المحلول (الشكل ب). نفس النتائج نحصل عليها إذا استعملنا أيونات البوتاسيوم المشع.



(3) ما هي الاستنتاجات التي يمكن استخلاصها من نتائج هذه التجربة؟

(1) يبين الجدول أن تركيز أيونات K^+ داخل الليف العصبي أكبر بكثير من تركيزه خارج الليف، وأن تركيز Na^+ داخل الليف أقل من تركيزه خارج الليف.

(2) لو افترضنا أن غشاء الليف العصبي يعتمد على النقل السلبي فقط، سنتقل الأيونات إذن تبعا للدرجة التنازلية للتركيز، إلى أن يتساوى التركيز بين الوسطين، فيختفي بذلك جهد الكمون. إذن الغشاء يعتمد آليات النقل النشط لإخراج K^+ وإدخال Na^+ .

(3) في مرحلة أولى يظهر الإشعاع داخل الليف العصبي، هذا يدل على دخول Na^+ إلى الليف تبعاً للدرجة التنازلية للتركيز. انه نقل سلبي.

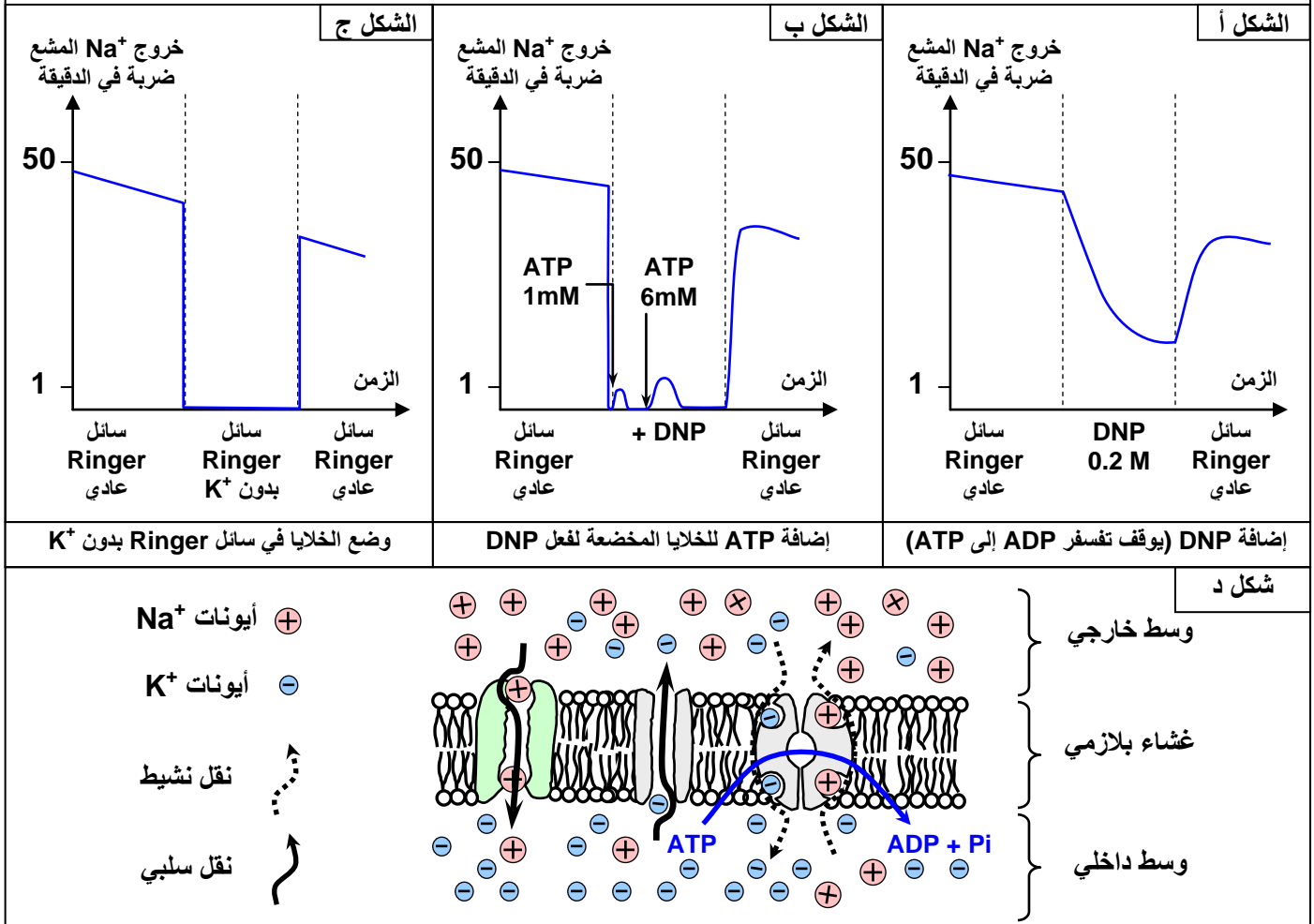
في مرحلة ثانية يظهر الإشعاع في ماء البحر، هذا يدل على خروج Na^+ من الليف إلى الوسط الخارجي، وذلك عكس الدرجة التنازلية للتركيز، انه نقل نشيط.

نستنتج من هذه المعطيات أن غشاء الليف العصبي نفوذ لأيونات Na^+ و K^+ بواسطة الانتشار الحر الذي يعمل على إدخال أيونات Na^+ وإخراج أيونات K^+ ، وذلك حسب الدرجة التنازلية للتركيز. لكن إذا استمرت ظاهرة الانتشار لوحدها سيحدث تساوي تركيز الأيونات Na^+ و K^+ من جهتي الغشاء، وبذلك سينعدم جهد الكمون.

أ - الحفاظ على جهد الكمون؟ أنظر الوثيقة 12

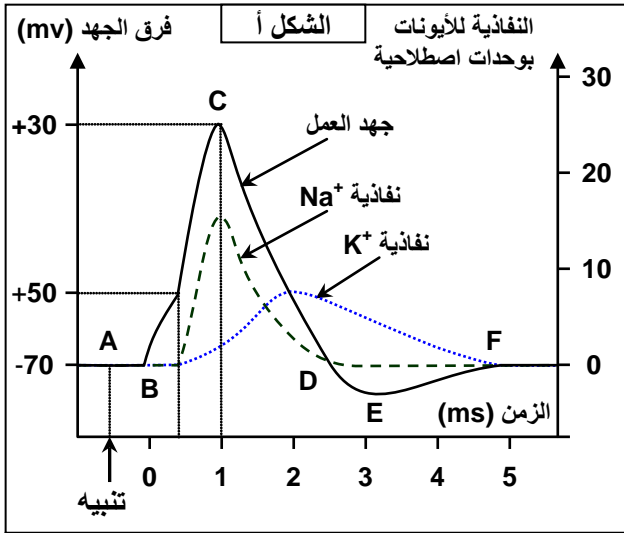
الوثيقة 12: الحفاظ على جهد الكمون

لتحديد طبيعة آليات الحفاظ على جهد الكمون، نقوم بحقن كمية قليلة من الصوديوم المشع داخل الليف العصبي، ثم نضع هذا الليف في سائل يحتوي على الصوديوم العادي مع تجديد السائل خلال فترات زمنية منتظمة، وقياس كمية الصوديوم المشع الذي يظهر في السائل كل مرة وحصلنا على النتائج الممثلة في الشكل أ والشكل ب والشكل ج. بالاعتماد على هذه المعطيات ومعطيات الشكل د، حدد طبيعة وعمل الآليات المسؤولة عن الحفاظ عن جهد العمل.



إن خروج أيونات Na^+ من الوسط الداخلي لليف العصبي الأقل تركيزاً، إلى الوسط الخارجي الأكثر تركيزاً، هو عكس الدرجة التنازلية للتركيز. ويتوقف هذا التدفق لأيونات Na^+ في غياب أي الطاقة، وفي غياب أيونات K^+ . يتبين من هذه المعطيات أن تدفق Na^+ نحو الوسط الخارجي يتم بواسطة النقل النشط والذي يتم بواسطة ناقلات خاصة تدعى مضخات Na^+ و K^+ . إذ تعمل هذه المضخة على إخراج ثلاثة أيونات Na^+ مقابل إدخال أيونين K^+ ويساهم بذلك في جعل سطح الليف العصبي مشحون موجب مقارنة مع الوسط الداخلي.

ج - أصل جهد العمل: أنظر الوثيقة 13



★ لفهم الظواهر الأيونية التي تؤدي إلى نشأة جهد العمل، قام كل من Hodgkin و Huxley سنة 1950 من قياس تغيرات نفاذية غشاء الليف العصبي لأيونات Na^+ و K^+ خلال مرور جهد العمل. يجسد الرسم البياني أمامه (الشكل أ) تغيرات الجهد الغشائي بالموازاة مع تغيرات نفاذية الغشاء لأيونات Na^+ و K^+ .

(1) انطلاقاً من تحليل معطيات الشكل أ من الوثيقة أبرز العلاقة المتواجدة بين تدفق الأيونات Na^+ و K^+ عبر الغشاء السيتوبلازمي ومراحل جهد العمل.

★ يوجد على مستوى الغشاء السيتوبلازمي للليف عصبي نوعان من القنوات (قنوات X وقنوات Y) تتدخل في تدفق

أيونات Na^+ و K^+ . بواسطة تقنية ملائمة تم تحديد عدد القنوات المفتوحة في كل μm^2 من الغشاء السيتوبلازمي أثناء جهد العمل. يمثل جدول الشكل 2 النتائج المحصل عليها.

عدد القنوات المفتوحة في كل μm^2 من الغشاء السيتوبلازمي حسب الزمن											الشكل ب
5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0	الزمن (ms)
0	0	0	0	0	2	5	25	40	5	0	القنوات X
0	1	2	8	12	18	20	15	5	0	0	القنوات Y

(2) أنجز على نفس المعلم الرسم البياني الذي يمثل تغير عدد القنوات X المفتوحة، والذي يمثل تغير عدد القنوات Y المفتوحة حسب الزمن.

(3) اعتماداً على مقارنة المنحنيين المحصل عليهما مع المعطيات السابقة، استخلص دور كل من القنوات X و Y.

(4) على ضوء كل المعطيات السابقة حدد مختلف الأحداث التي تطرأ على مستوى الليف العصبي بعد اهتزازة.

(1) بالنسبة لأيونات Na^+ :

- من لحظة التنبيه إلى الزمن 0.4 ms نلاحظ غياب نفاذية الغشاء ل Na^+ .
- من 0.4ms إلى 1ms ترتفع نفاذية الغشاء ل Na^+ (ارتفاع دخول أيونات Na^+).
- من 1ms إلى 2.5ms تنخفض نفاذية الغشاء ل Na^+ .
- انطلاقاً من 2.5ms تتوقف نفاذية الغشاء لأيونات Na^+ .

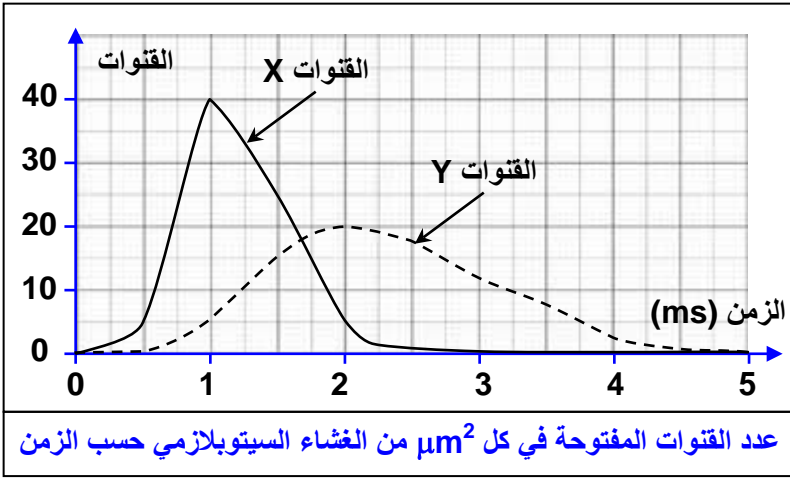
بالنسبة لأيونات K^+ :

- من لحظة التنبيه إلى الزمن 1ms نلاحظ غياب نفاذية الغشاء ل K^+ .
- من 1ms إلى 2ms ترتفع نفاذية الغشاء ل K^+ (ارتفاع خروج أيونات K^+).
- من 2ms إلى 4.7ms تنخفض نفاذية الغشاء ل K^+ .
- انطلاقاً من 4.7ms تتوقف نفاذية الغشاء لأيونات K^+ .

بعد الاهتزازة وفترة الكمون، نسجل ارتفاعاً سريعاً في نفاذية Na^+ بشكل موازي لمرحلة إزالة الاستقطاب، لتتخف نفاذية Na^+ خلال مرحلة إعادة الاستقطاب.

بعد الاهتزازة وفترة الكمون ترتفع بشكل تدريجي نفاذية K^+ لتصل أقصاها خلال مرحلة إعادة الاستقطاب، ثم تعود تدريجياً إلى قيمتها الأصلية مع نهاية مرحلة الاستقطاب المفرط.

(2) الرسم البياني الذي يمثل تغير عدد القنوات المفتوحة: أنظر الرسم أسفله



(3) بما أن انفتاح القنوات X يتزامن مع دخول Na^+ نستنتج إذن أن القنوات X خاصة بأيونات Na^+ .
وبما أن انفتاح القنوات Y يتزامن مع خروج K^+ نستنتج إذن أن القنوات Y خاصة بأيونات K^+ . نستخلص من هذه المقارنة أن التهيج يؤدي إلى انفتاح القنوات الأيونية الخاصة بـ Na^+ مما يؤدي إلى دخول كثيف لأيونات Na^+ . بعد هذا بوقت وجيز تفتتح القنوات الخاصة بـ K^+ فتخرج أيونات K^+ .

عندما تصل نفاذية الغشاء إلى أقصاها، تبدأ نفاذية الأيونات بالانخفاض وذلك بانغلاق القنوات الخاصة بها وتدخل المضخات الأيونية التي تعمل على إخراج Na^+ وإدخال K^+ .

(4) يرتبط نشوء جهد العمل بتغيير في نفاذية الغشاء لأيونات Na^+ و K^+ ، حيث يترتب عن وصول التهيج إلى ارتفاع نفاذية الغشاء لأيونات Na^+ وبالتالي دخول متفجر لهذه الأيونات وانقلاب في قطبية الغشاء. يليها ارتفاع في نفاذية K^+ وينتج عنه خروج تدريجي وبطيء لـ K^+ وإعادة استقطاب الغشاء. يترتب عن استمرار خروج K^+ فرط في الاستقطاب الغشائي الذي يتم تصحيحه بعمل مضخات Na^+ و K^+ . يعود تدفق أيونات Na^+ و K^+ خلال جهد العمل، لوجود قنوات خاصة مرتبطة بالفولتية يخضع انفتاحها لتأثير تغير فرق الجهد الكهربائي المحلي. Les canaux voltage dépendant.

III - البنيات المسؤولة عن التواصل العصبي

① البنيات النسيجية للعصب والنخاع الشوكي أنظر الوثيقة 14

الوثيقة 14: ملاحظات مجهرية للنسيج العصبي

شك أ : ملاحظة مجهرية لمقطع عرضي للنخاع الشوكي

شك ب : ملاحظة مجهرية لمقطع عرضي للعصب

شك ج : ملاحظة مجهرية لعصب مؤرب Dilacéré

1 شق خلفي
2 قرن خلفي
3 قناة ابينديم
4 قرن أمامي
5 مادة رمادية
6 مادة بيضاء
7 شق أمامي
8 سحايا
9 ألياف عصبية
10 جسم خلوي
11 مادة بيضاء
12 مادة رمادية
12 ألياف عصبية

لاحظ بالمجهر الضوئي تحاضير للنخاع الشوكي. مستحضرا مكتسباتك السابقة وبالاعتماد على معطيات الوثيقة:

- تعرف مكونات المركز العصبي للنخاع الشوكي، ثم أنجز رسوما تخطيطية لملاحظاتك مع وضع تعاليق مناسبة لهذه الرسوم.
- تعرف مكونات العصب، ثم أنجز له رسوما تخطيطية بتعاليق مناسبة.
- أوجد العلاقة القائمة بين بنية العصب والنخاع الشوكي.

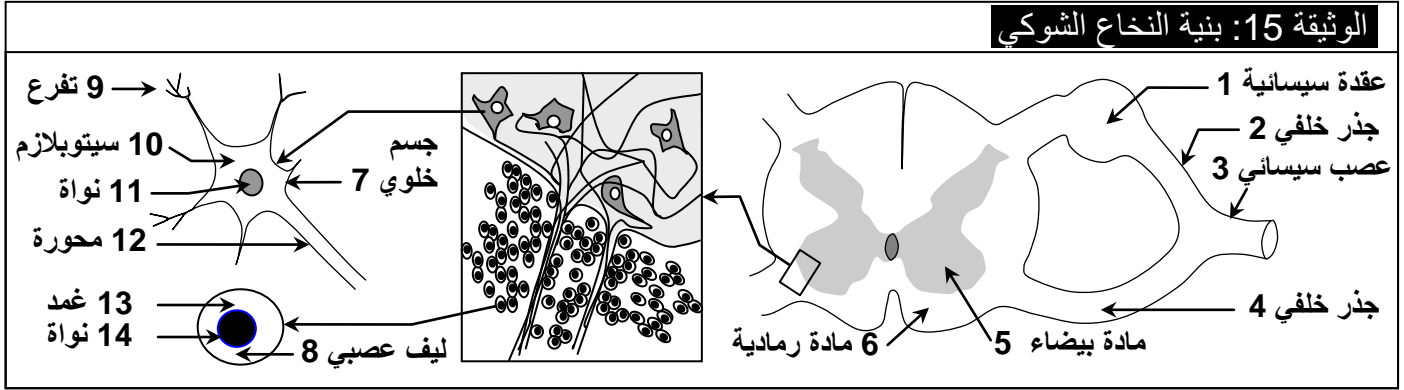
أ - ملاحظات مجهرية للنخاع الشوكي :La moelle épinière

يوجد النخاع الشوكي في العمود الفقري على شكل حبل أبيض يرتبط بالأعضاء الجانبية بواسطة الأعصاب السيسائية Les nerfs rachidiens. ويتكون النخاع الشوكي من مادتين أساسيتين، مادة رمادية مركزية ومادة بيضاء محيطية.

★ تتكون المادة الرمادية من بقع نجمية الشكل، هي عبارة عن أجسام خلوية تنطلق منها عدة امتدادات سيتوبلازمية. كما نلاحظ وجود عدة نوى لخلايا عصبية أخرى تسمى الخلايا الدبقية Les cellule gliales = névroglie التي تلعب دورا في اقتنيات ودعم الأجسام الخلوية.

★ تتكون المادة البيضاء من عدة عناصر مستديرة الشكل، يمثل كل منها ليفا عصبيا مقطوعا عرضيا. ويتكون كل ليف عصبي من محورة Axone محاطة بغمد النخاعين La gaine de myéline

★ الرسوم التخطيطية: (أنظر الوثيقة 15)



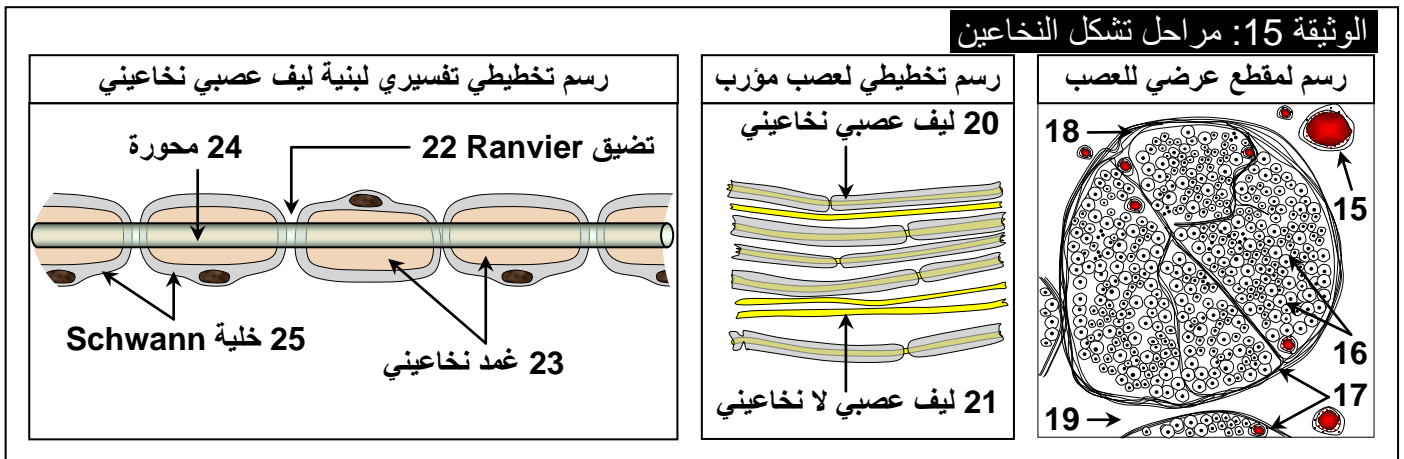
ب - ملاحظات مجهرية للعصب :Le nerf

يتكون العصب من حزم من الألياف العصبية Les fibres nerveuses، تحاط بنسيج ضام ويفصل بين مختلف الحزم نسيج ضام يحتوي على شعيرات دموية.

★ تبين الملاحظة بتكبير قوي أن كل ليف عصبي يتكون من محورة ذات تركيب سيتوبلازمي محاطة بغمد نخاعيني وغمد شفان La gaine de myéline et la gaine de Schwann، كما نلاحظ تضيقات يختفي على مستواها الغمد النخاعيني تسمى تضيقات رونفبي Etranglements de Ranvier.

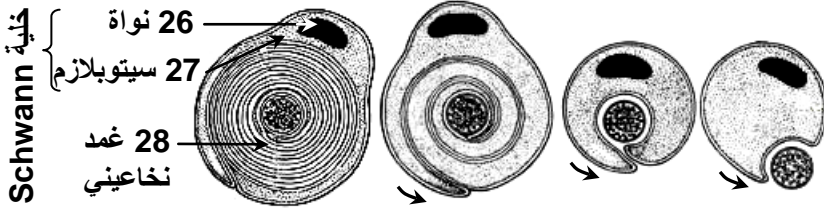
★ تسمى الألياف العصبية المحاطة بالغمد النخاعيني بالألياف النخاعينية Les fibres myéliniques. كما توجد ألياف عصبية غير محاطة بالغمد النخاعيني تسمى أليافا لا نخاعينية Les fibres amyéliniques.

★ الرسوم التخطيطية: (أنظر الوثيقة 15)



★ يتشكل الغمد النخاعيني أثناء نمو الجنين ويستمر بعد الولادة. ويتكون انطلاقا من التفاف خلية Schwann حول المحورة لعدة مرات، فتتشكل بذلك طبقة سميكة من الأغشية ذات طبيعة فوسفودهنية، تمثل غمد النخاعين الذي يدفع بنواة خلية Schwann نحو المحيط (أنظر الرسوم على الوثيقة 15).

الوثيقة 15: كيفية تشكل غمد النخاعين



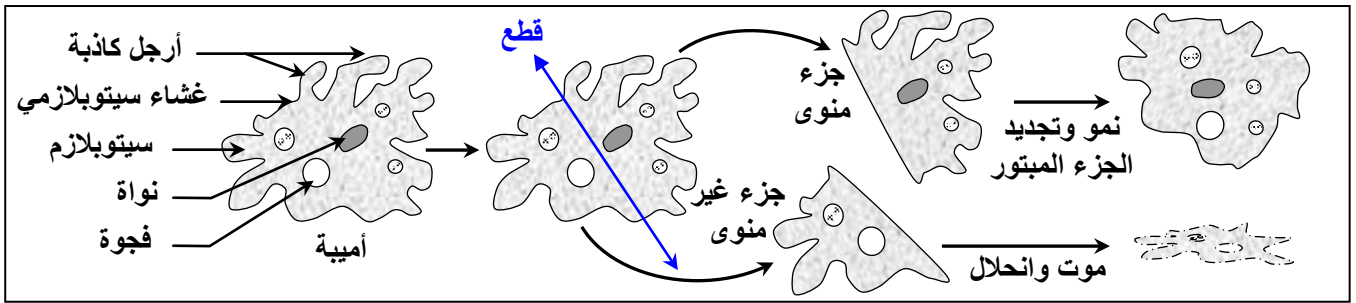
رسوم تخطيطية لمقاطع عرضية لليف نخاعيني تمثل مراحل تشكل النخاعين: النخاعين مادة عازلة يتم تشكيلها انطلاقاً من تلويب غشاء خلايا Schwann حول المحورة.

تبين من الملاحظات السابقة أن العصب هو عبارة عن مجموعة من الألياف العصبية، كل ليف يظهر محورة محاطة بغمد. وأن المادة البيضاء تتكون من ألياف عصبية، كل ليف عصبى يظهر محورة محاطة بغمد. وأن المادة الرمادية تتكون من أجسام خلوية تظهر امتدادات لها نفس مظهر المحورات. انطلاقاً من هذه الملاحظات يمكن افتراض أن هناك استمرارية بين محورات الأجسام الخلوية بالمادة الرمادية، ومحورات المادة البيضاء، ومحورات العصب.

② العلاقة بين بنية العصب وبنية النخاع الشوكي أنظر الوثيقة 14
a - تجارب: أنظر الوثيقة 16

الوثيقة 16: العلاقة بين بنية العصب وبنية النخاع الشوكي

لتحديد العلاقة المتواجدة بين بنية العصب وبنية النخاع الشوكي نقوم بالتجارب التالية:
★ تجربة التقطيع: نقوم بالتقطيع الدقيق لحيوان وحيد الخلية مثل الأميبية L'amibe كما هو مبين على الرسوم التالية:



★ تجارب Waller و Magendie: لتحديد العلاقة البنوية بين كل من العصب والنخاع الشوكي قام الباحثين بانجاز التجارب المدونة على الجدول التالي.

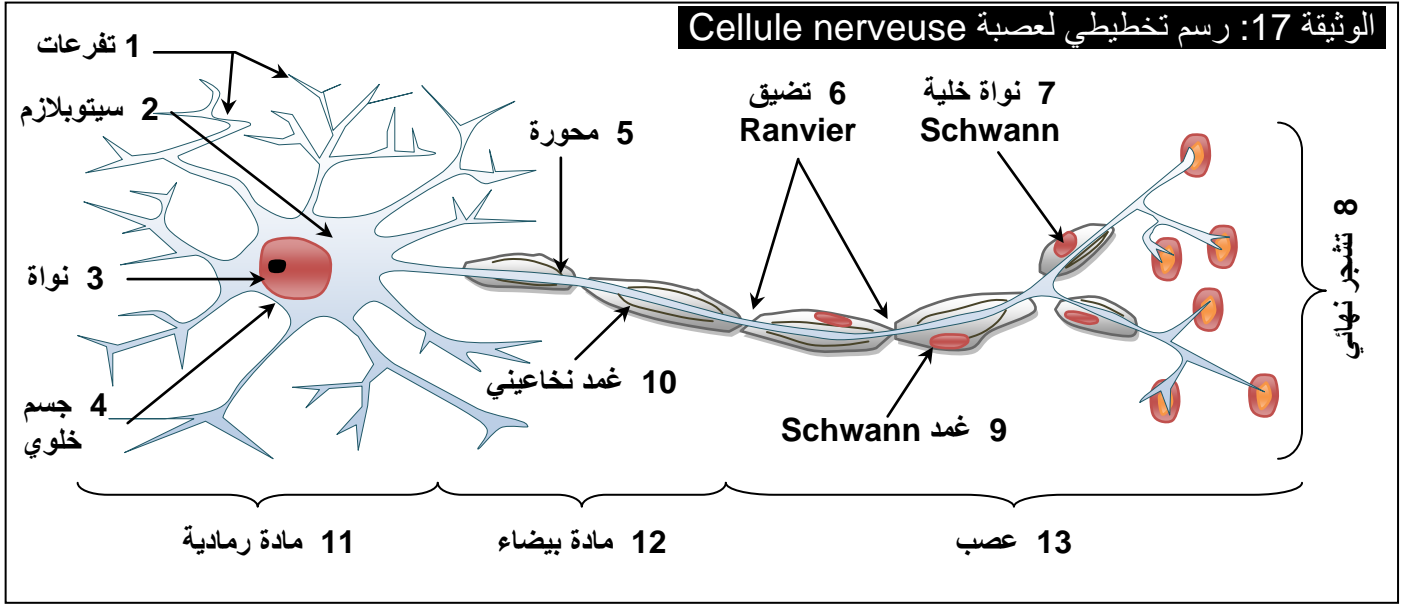
استنتاجات	ملاحظات Waller	تجارب	ملاحظات Magendie	استنتاجات
توجد الأجسام الخلوية للألياف الحسية والحركية بين القطع والنخاع الشوكي	انحلال الجزء المحيطي للعصب انطلاقاً من نقطة القطع	قطع	فقدان الحساسية والحركية في جميع المناطق المعصوبة بهذا العصب	يضم العصب السيسائي أليافاً حسية وحركية فهو إذن عصب مختلط
الأجسام الخلوية للألياف الحركية توجد في المادة الرمادية للنخاع الشوكي	انحلال الألياف العصبية للجذر الأمامي في اتجاه محيطي	قطع ↑	شلل العضلات المعصوبة بهذا العصب مع الاحتفاظ بالحساسية	الجذر الأمامي للنخاع الشوكي يضم الألياف الحركية فقط
الأجسام الخلوية للألياف الحركية توجد بين القطع والنخاع الشوكي	انحلال الألياف العصبية للجذر الخلفي في اتجاه محيطي	قطع ←	فقدان الحساسية مع الاحتفاظ بالحركية	الجذر الخلفي للنخاع الشوكي يضم الألياف الحسية فقط
الأجسام الخلوية للألياف الحسية توجد في العقدة السيسائية	انحلال الألياف العصبية للجذر الخلفي في اتجاه مركزي	قطع ←	فقدان الحساسية مع الاحتفاظ بالحركية	الجذر الخلفي للنخاع الشوكي يضم الألياف الحسية فقط

بعد تحليل نتائج التجارب وإعطاء الاستنتاج الخاص بكل تجربة، أوجد العلاقة القائمة بين بنية العصب وبنية النخاع الشوكي.

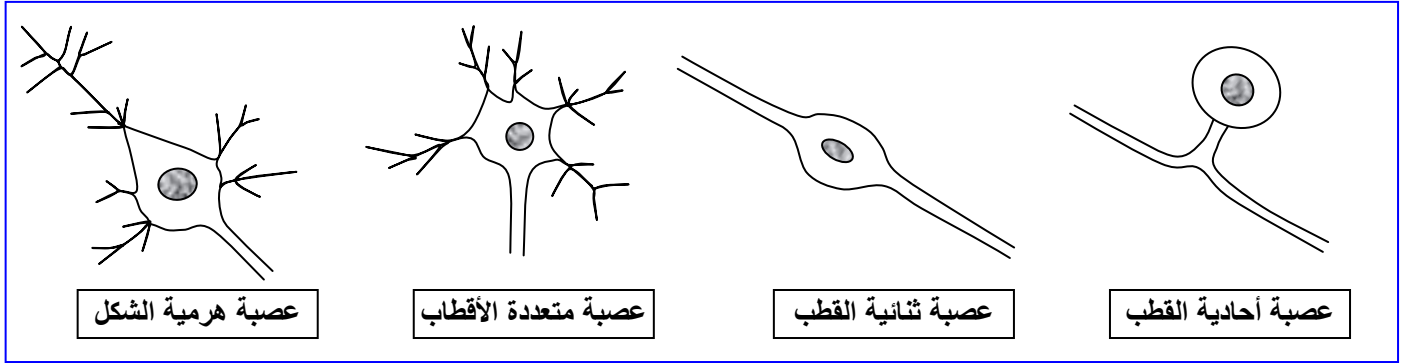
b - تحليل واستنتاج:

★ يتبين من تجربة التقطيع الدقيق للأمية أن الجزء المنوى يعيش ويجدد الأجزاء المبتورة بينما الجزء غير المنوى ينحل ويموت. نستنتج إذن أن النواة هي المسؤولة عن نمو وتجديد الخلية.

★ يتبين من تجارب Waller و Magendie أن الفرضية المقترحة صحيحة وأن الألياف العصبية للعصب والألياف العصبية للمادة البيضاء ما هي إلا امتدادات سيتوبلازمية للأجسام الخلوية المتواجدة على مستوى المادة الرمادية. وكل هذه البنيات تشكل وحدة وظيفية للجهاز العصبي، هي الخلية العصبية Cellule nerveuse أو عصبون Neurone. تعطي الوثيقة 17 رسم تفسيري لبنية الخلية العصبية.

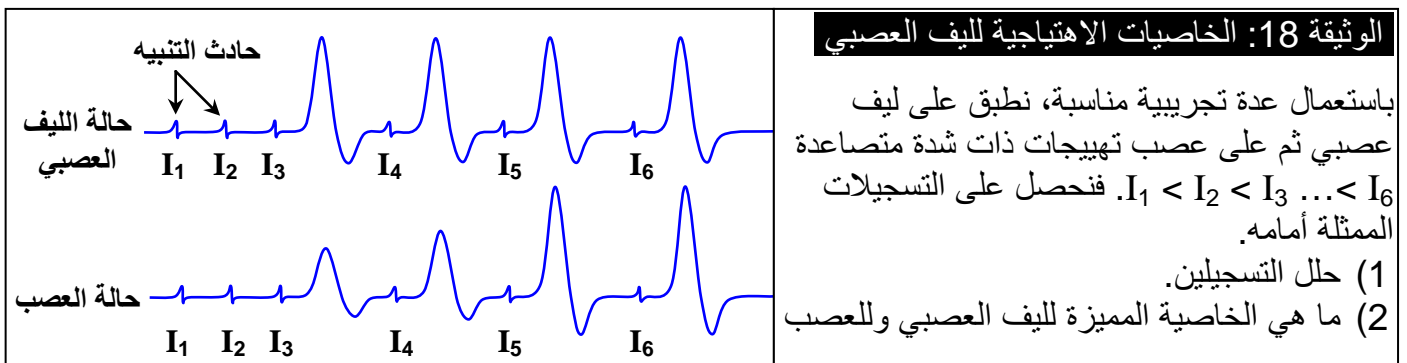


★ بينت الملاحظة المجهرية أن هناك أشكالاً مختلفين من الخلايا العصبية حسب المراكز العصبية التي تتواجد بها، حيث تكون إما أحادية القطب أو على شكل حرف T (العقد السيسانية)، أو ثنائية القطب (شبكة العين)، أو متعددة الأقطاب (النخاع الشوكي)، أو هرمية الشكل (القشرة المخية). أنظر الرسم أسفله.



IV - خصائص الليف العصبي

① استجابة الليف العصبي والعصب لاهجات متصاعدة الشدة أنظر الوثيقة 18

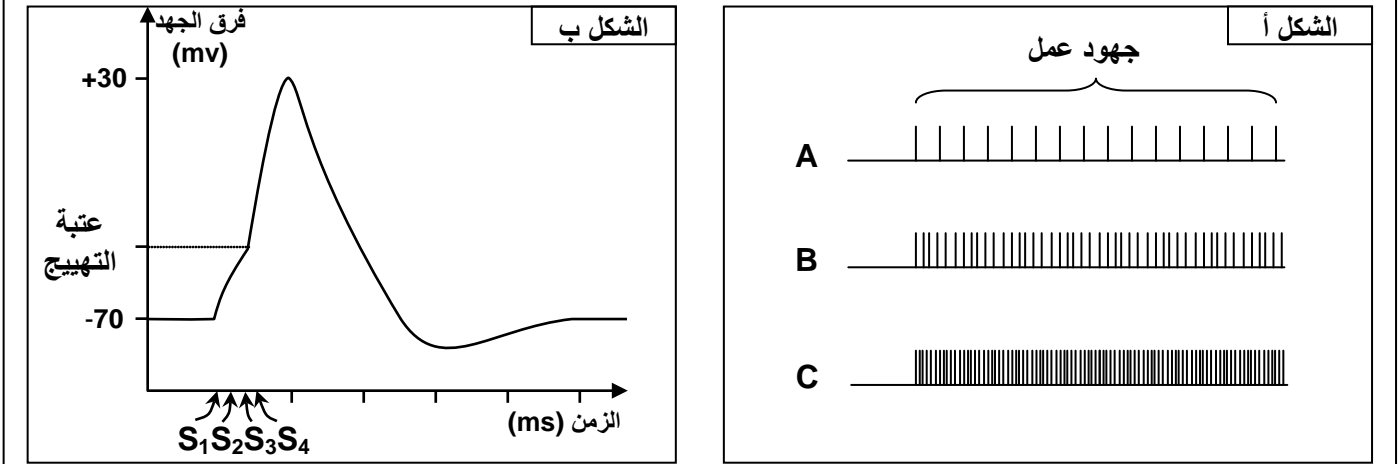


★ عند إحداث تهييجات ذات شدة متصاعدة علة ليف عصبي $A < B < C$ في الحالة الفيزيولوجية العادية نحصل على التسجيلات المبينة على الشكل أ.

(3) فسر كيف يتم ترميز الرسالة العصبية عند الليف العصبي في الحالة الفيزيولوجية العادية.

★ لفهم الظاهرة التي أدت عند العصب إلى ظهور جهود عمل متصاعدة الوسع، نقوم بتطبيق أربع تنبيهات S_1, S_2, S_3, S_4 ذات نفس الشدة وغير فعالة (تحت بدئية). إذا كانت هذه التهييجات متقاربة زمنياً تعطينا التسجيل الممثل على الشكل ب، وإذا كانت متباعدة زمنياً فإنها تبقى غير فعالة.

(4) ماذا تستخلص من تحليل هذه المعطيات؟



- (1) في حالة الليف العصبي: نلاحظ أن الاهجتين I_1 و I_2 لم تحدث أي استجابة فهي إذن اهجات تحت بدئية، وابتداء من I_3 نسجل استجابات (جهد عمل) يبقى وسعها ثابت رغم زيادة شدة التهييج.
- في حالة العصب: نلاحظ أن الاهجتين I_1 و I_2 لم تحدث أي استجابة فهي إذن اهجات تحت بدئية، وابتداء من I_3 نسجل استجابات (جهد عمل) يرتفع وسعها مع ارتفاع شدة التهييج، إلى أن نصل إلى الشدة I_5 فيستقر وسع الاستجابة رغم ارتفاع شدة التهييج.
- (2) في حالة الليف العصبي، عندما ينشأ جهد العمل فهو لا يتأثر بشدة الاهاجة، فإما لا يظهر (اهجات تحت بدئية) أو يظهر ويبقى في وسع ثابت، فنقول أن الليف العصبي يخضع لقانون الكل أو العدم أو *La loi du tout ou rien*. ويفسر هذا القانون بكون الليف يكون وحدة بنوية تستجيب استجابة تامة أو لا تستجيب.
- في حالة العصب، عندما ينشأ جهد العمل فوسع الاستجابة يتزايد بتزايد شدة الاهاجة، إلى حدود قيمة قصوية يصبح عندها الوسع ثابت، فنقول أن العصب يخضع لقانون التجنيد أو *La loi de recrutement*. ويفسر هذا القانون ببنية العصب الذي يتكون من عدة ألياف عصبية تختلف من حيث عتبات التهييج، فكلما زادت شدة التهييج ارتفع عدد الألياف المستجيبة (المجندة)، وبذلك يزداد وسع الاستجابة.
- (3) في الحالة الفيزيولوجية العادية لليف العصبي نلاحظ أن ارتفاع شدة التهييج تترجم إلى الزيادة في عدد جهود العمل بوسع ثابت. وهكذا فالليف العصبي يترجم اختلاف شدة التهييج بتعديل ترددات جهود العمل وليس بتعديل الوسع.
- (4) عندما نطبق على العصب اهجات تحت بدئية بتردد ضعيف (متباعدة) فإنها لا تعطي أي استجابة. لكن عند رفع التردد (تقارب التهييجات) فإننا نحصل على استجابة (جهد عمل). ويفسر ذلك بتجميع الشحن الناتجة عن كل التهييجات لترتقي إلى شدة فوق بدئية تعطي جهد عمل. وهذا ما يعرف بالإجمال الزمني *La sommation temporelle*. في حالة خاصية التجنيد فاستجابة العصب فهي نتيجة إجمال استجابات الألياف المكونة له، فننكلم في هذه الحالة عن الإجمال الحيزي *La sommation spatiale*.

② علاقة بنية الليف بتوصيل السيالة العصبية

أ – دراسة معطيات تجريبية أنظر الوثيقة 19

الوثيقة 19: علاقة بنية الليف العصبي بتوصيل السيالة العصبية

★ يؤدي تهيج فعال لعصب صافن Saphène عند قنية إلى الحصول على التسجيل الممثل في الشكل أ.

السرعة m/s	القطر μm	الشكل ب	
		أنماط الألياف العصبية	
60	10	ألياف نخاعية لثدييات	
120	20	ألياف نخاعية لعصب وركي عند الضفدعة	
17	10	ليف عملاق لا نخاعية عند الخدق	
30	20		
33	1		

الشكل أ

(1) انطلاقا من تحليل التسجيل المحصل عليه كيف تفسر وجود الطورين a و b؟

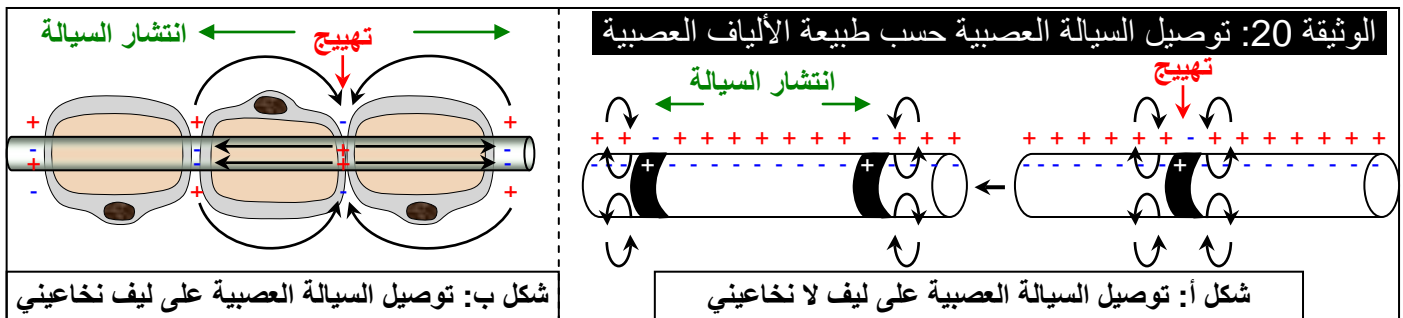
★ يعطي جدول الشكل ب نتائج دراسة بعض العوامل التي تؤثر في انتشار السيالة العصبية.

(2) ماذا تستنتج من تحليل هذه المعطيات؟

(1) نلاحظ أن اهاجة فعالة واحدة أدت إلى تسجيل جهد عمل يتوفر على طورين لإزالة الاستقطاب، الطور a والطور b الذي يظهر خلال مرحلة إعادة الاستقطاب للطور a. يفسر وجود الطورين بكون العصب يتوفر على نوعين من الألياف العصبية، تختلف من حيث سرعة توصيل السيالة العصبية.

(2) نستنتج من تحليل معطيات الجدول أن سرعة انتشار السيالة العصبية تختلف حسب القطر، ونوع الألياف العصبية نخاعية أم لا نخاعية، ونوع الكائن الحي.

ب - علاقة بنية الليف العصبي بخاصية التوصيلية أنظر الوثيقة 20



★ بالنسبة للليف اللانخاعية (الشكل أ): في غياب غمد النخاعين تتواجد قنوات Na^+ و K^+ في نقط متقاربة، مما يمكن جهد العمل الناتج عن الاهاجة الفعالة من توليد جهد عمل في النقطة المجاورة، وفق تيار محلي، أنها نظرية التيارات المحلية Les courants locaux التي تسمح بتوصيل بطيء للسيالة العصبية.

★ بالنسبة للليف النخاعية (الشكل ب): مع تواجد غمد النخاعين العازل كهربائيا، تتواجد قنوات Na^+ و K^+ النشيطة في تضيقات Ranvier فقط. فعند الاهاجة الفعالة يظهر جهد العمل في أقرب تضيق، فيتولد عن ذلك جهد عمل في التضيق الموالي وذلك وفق تيار قفزي، أنها نظرية التيارات القفزية Les courants saltatoires التي تسمح بتوصيل سريع للسيالة العصبية.

ملاحظات:

- ★ في حالة ليف عصبي معزول، تنتقل السيالة العصبية في الاتجاهين انطلاقا من نقطة التهيج.
- ★ تكون تضيقات Ranvier أكثر تباعدا كلما كان قطر الليف كبيرا، وهذا ما يفسر ارتفاع سرعة التوصيلية بالنسبة للألياف النخاعية ذات القطر الكبير.

③ مفهوم السينابس وآلية التبليغ السينابسي

أ - التأخر السينابسي أو المهلة السينابسية أنظر الوثيقة 21

الوثيقة 21: الكشف التجريبي عن نقط الاشتباك

نبرز بالتشريح عصباً سيسائياً لضفدعة صحية جذوره، ثم نطبق اهاجة فعالة على العصب السيسائي (النقطة S) مع تسجيل الزمن الذي تستغرقه السيالة العصبية عند انتقالها بين نقط مختلفة (بين النقطتين P₁ و P₂ وبين النقطتين P₂ و P₃) وببين الجدول التالي النتائج المحصلة.

المسافة ب mm	الزمن الذي استغرقته السيالة ب ms	
4	0.2	بين P ₁ و P ₂
2	0.25	بين P ₂ و P ₃

أحسب سرعة السيالة العصبية بين النقطتين P₁ و P₂ وبين النقطتين P₂ و P₃، واقترح تفسيراً للاختلاف الملاحظ.

★ نحسب سرعة السيالة العصبية:

$$V_1 = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{4}{0.2} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0.2 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$$

• السرعة بين P₁ و P₂ هي V₁:

$$V_2 = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{2}{0.25} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0.25 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 8 \text{ m/s}$$

• السرعة بين P₂ و P₃ هي V₂:

★ نلاحظ أن السرعة بين P₁ و P₂ هي أكبر من السرعة بين P₂ و P₃، هذا يعني أن هناك تأخر في انتقال السيالة العصبية على مستوى النخاع الشوكي، يسمى هذا التأخر بالمهلة السينايبسية Le délai synaptique، والذي يفسر بوجود مناطق تشابك بين العصبات على مستوى المادة الرمادية، تسمى سينايبسات Les synapses.

★ لنحسب مدة التأخير السينايبسي T:

• سرعة السيالة العصبية بدون سينايبس هي V₁ = 20 m/s.

• الزمن الذي تستغرقه السيالة العصبية لقطع المسافة بين P₂ و P₃ بوجود السينايبس هو t₁ = 0.25 ms.

• الزمن الذي تستغرقه السيالة العصبية لقطع المسافة بين P₂ و P₃ بغياب السينايبس هي t₂.

$$t_2 = \frac{\Delta d}{V_1} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{20} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 0.1 \text{ ms}$$

إذن التأخير السينايبسي هو T = t₁ - t₂ = 0.25 - 0.1 = 0.15 ms

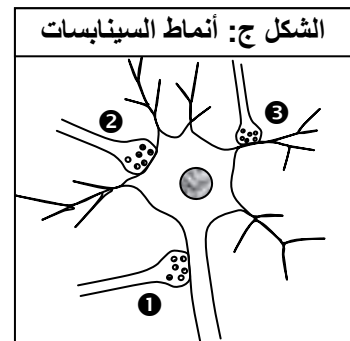
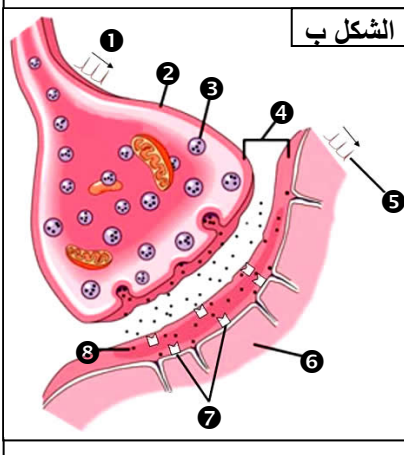
ب - دراسة السينايبس

a - ملاحظات مجهرية: أنظر الوثيقة 22

الوثيقة 22: بنية وأنماط السينايبس يعطي الشكل أ من الوثيقة صورة الكرونوغرافية لنقطة اشتباك عصبي. وصورة

توضيحية لهذه البنية. كما يعطي الشكل ب رسم تفسيري لبنية السينايبس.

بعد إعطاء الأرقام المناسبة لعناصر الوثيقة، صف بنية السينايبس.



★ الشكل أ: ① = عصبة قبل سينابسية، N.présynaptique = ② = حويصلة سينابسية، Vésicule synaptique = ③ = غشاء قبل سينابسي، ④ = حيز سينابسي، ⑤ = غشاء بعد سينابسي، ⑥ = عصبة بعد سينابسية

★ الشكل ب: ① = جهد عمل قبل سينابسي، ② = حبة سينابسية Bouton synaptique، ③ = حويصلة سينابسية، ④ = حيز سينابسي، ⑤ = جهد عمل بعد سينابسي، ⑥ = عصبة بعد سينابسية، ⑦ = مستقبلات غشائية، ⑧ = مبلغ عصبي Neurotransmetteur.

تعتبر الخلية العصبية وحدة تقيم عدة اتصالات مع خلايا عصبية أخرى، مما يعطي مظهرا متشابكا لمناطق الاتصال والتي يطلق عليها نقط الاشتباك العصبي أو السينابسات.

تنتهي محورة كل عصبة بتفرعات تشكل التشجر النهائي. كل فرع ينتهي بحبة سينابسية Bouton synaptique والتي تعتبر بمثابة الرابط بين عصبة قبل سينابسية Neurone présynaptique وعصبة بعد سينابسية N.postsynaptique. أو بين عصبة وخلية مستجيبة (عضلة، غدة، ...)

خلاصة: السينابس هي بنية منتفخة تشكل نقطة التلاقي بين نهايات المحورات وجسم خلوي أو محورة أو تفرع. وتتميز العصبة قبل السينابسية بوجود حويصلات سينابسية، كما نجد حيزا يفصل بين العصبة قبل وبعد سينابسية يسمى حيز سينابسي Espace synaptique.

b - أنماط السينابسات: أنظر الشكل ج الوثيقة 22

يمكن التمييز بين أنماط مختلفة من السينابسات:

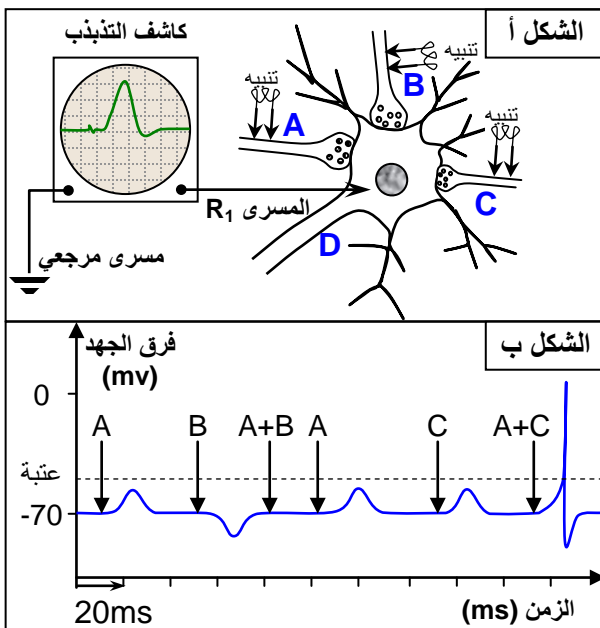
• عندما ترتبط العصبة بعصبات أخرى نتكلم عن سينابس عصب عصبية أو ببيعصية Synapse neuro-neuronique. ونميز في هذه الحالة:

- ✓ سينابس تمحورية Synapse axo-axonique (①)
- ✓ سينابس محور جسدية Synapse axo-somatique (②)
- ✓ سينابس محور تفرعية Synapse axo-dendritique (③)

• عندما ترتبط العصبة بعضلة نتكلم عن سينابس عصب عضلية Synapse neuro-musculaire تسمى كذلك صفيحة محرقة Plaque motrice.

• عندما ترتبط العصبة بغدة نتكلم عن سينابس عصب غدية Synapse neuro-glandulaire.

c - وظيفتي الكبح والتهيج للسينابس: أنظر الوثيقة 23



الوثيقة 23: وظيفتي الكبح والتهيج للسينابس

يمثل الشكل أ من الوثيقة رسم تخطيطي مبسط لتشابك ثلاثة ألياف عصبية A و b و c مع عصبة D عن طريق سينابسات، وكل ليف مرتبط بمنبه معزول.

بواسطة المسرى R₁ الذي أدخل في الجسم الخلوي للعصبة D، نقيس جهد الغشاء في الحالات الثلاث التالية:

الحالة ①: تهيج النهاية العصبية A، الحالة ②: تهيج النهاية العصبية B، الحالة ③: تهيج النهاية العصبية C،

الحالة ④: تهيج نهايتي A و B، الحالة ⑤: تهيج نهايتي A و C. نحصل على النتائج المبينة على الشكل ب من الوثيقة.

(1) ماذا تستنتج إذا علمت أن تهيج العصبة D لا يعطي استجابة عند العصبات A و B و C؟

(2) ماذا تستنتج من تحليل هذه النتائج؟

(3) ما هي التسجيلات المتوقعة عند تهيج B و C ثم A و B و C؟

(1) بما أن تهييج D لا يؤدي إلى ظهور جهد عمل على العصبات A و b و C، فهذا يعني أن السيالة العصبية لا تنتقل عبر السينايس إلا في اتجاه واحد، من العصبة قبل سينابسية إلى العصبة البعد سينابسية.

(2) إن تهييج:

- إن تهييج العصبة A يؤدي إلى ظهور جهد بعد سينابسي يترجم بظاهرة إزالة الاستقطاب على مستوى العصبة D. يصطلح على هذا التسجيل بالجهد بعد السينابسي المهيج (PPSE) = Potentiel post-synaptique excitateur.
 - العصبة C يؤدي إلى نفس النتيجة المحصل عليها عند تهييج العصبة A.
 - العصبة B يؤدي إلى ظهور استقطاب مفرط على مستوى العصبة D، ويعتبر هذا الاستقطاب بمثابة جهد بعد سينابسي كايح (PPSI) = Potentiel post-synaptique inhibiteur.
 - العصبتين A و B معا في آن واحد لا يعطي أي تغيير في فرق الجهد عند العصبة D.
 - العصبتين A و C معا في آن واحد يؤدي إلى تعدي عتبة التهييج، وبالتالي ظهور جهد عمل على العصبة D.
- نستنتج من هذا التحليل أن العصبة بعد السينابسية تستجيب للحصيلة الجبرية لجهد الكيح والتهييج (PPSI و PPSE):

✍ إذا كانت هذه الحصيلة الجبرية ايجابية أي تبلغ العتبة، فإنها تولد جهد عمل.

✍ إذا كانت هذه الحصيلة الجبرية غير كافية لبلوغ العتبة، فلا يتولد عنها أي جهد عمل.

إن للسينايسات الكابحة والمهيجة أهمية بالغة في تناسق الحركات. مثلا عند حركة الثني لا بد من ارتخاء عضلة البسط، وتقلص عضلة الثني.

(3) التسجيلات المتوقعة عند:

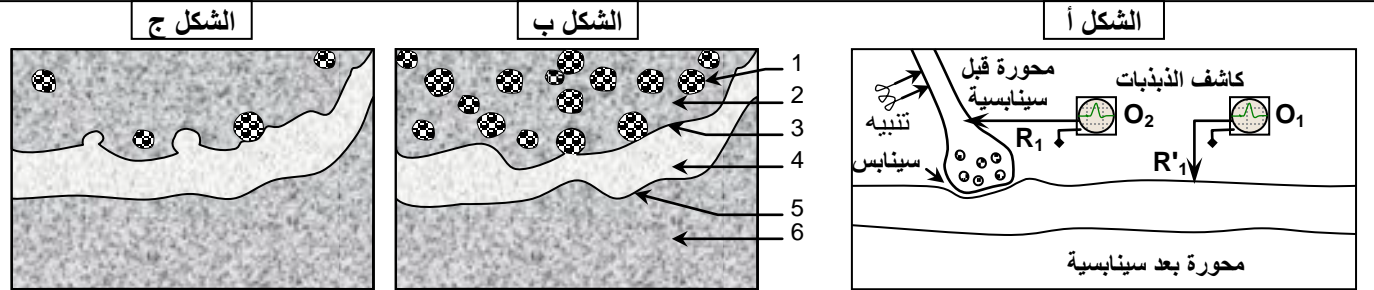
- تهييج B و C في آن واحد لا يعطي أي تغيير في فرق الجهد عند العصبة D.
- A و B و C في آن واحد ظهور جهد بعد سينابسي مهيج (PPSE) على العصبة D.

ب - آلية التبليغ السينايسي

a - معطيات تجريبية: أنظر الوثيقة 24

الوثيقة 24: آلية التبليغ السينايسي

لفهم آلية التبليغ السينايسي أجريت عدة تجارب على سينايس عملاق للخداق. ويمثل الشكل أ من الوثيقة رسما تخطيطيا للعدة التجريبية المستعملة. والشكل ب رسم تخطيطي لنفس السينايس في غياب التهييج.



- (1) فسر الشكل ب بوضع الأسماء المناسبة لأرقام هذه الوثيقة.
★ تجربة 1: نقوم بتهييج العصبة قبل السينابسية العديد من المرات، وبعد الملاحظة المجهرية للسينايس أنجز الرسم الممثل على الشكل ج.
- (2) ماذا تستنتج من ملاحظة الشكل ج مقارنة بالشكل ب؟
★ تجربة 2: في غياب أي تهييج نضع قطرة مجهرية من مادة الأستيلكولين Acetylcholine في المكان 4 من الشكل ب، فنلاحظ أن كاشف الذبذبات O_1 وحده هو الذي يسجل جهد عمل.
- (3) ماذا توضح هذه التجربة؟
★ تجربة 3: نزيل جميع أيونات الكالسيوم Ca^{2+} من الوسط الذي غمرنا فيه العصبتين، وعندما نهيج نسجل جهد عمل على مستوى O_2 فقط، كما أن الملاحظة المجهرية للسينايس تبين المظهر الممثل بالشكل ب.
- (4) ماذا تبين هذه التجربة؟

★ تجربة 4: في غياب أي تنبيه نحقن بواسطة ماصة مجهرية أيونات Ca^{2+} في الحبة السينايبسية، فنلاحظ تسجيل جهد عمل في مستوى O_1 . كما أن عدد الحويصلات السينايبسية يتناقص.
(5) فسر هذه النتيجة.

إذا علمت أن تحرير الأستيلكولين بالحيز السينايبسي ينتج عنه تغيير نفاذية الغشاء بعد السينايبسي تجاه أيونات Na^+ و K^+ ، وأن الأستيلكولين لا تخترق الغشاء بعد السينايبسي.
(6) حدد آلية التبليغ السينايبسي.

b - تحليل المعطيات التجريبية:

(1) الأسماء المناسبة لأرقام الوثيقة:

1 = حويصلة سينايبسية، 2 = سيتوبلازم قبل سينايبسي، 3 = غشاء قبل بلازمي، 4 = حيز سينايبسي،
5 = غشاء بعد سينايبسي، 6 = سيتوبلازم بعد سينايبسي.

(2) نستنتج من ملاحظة الشكل ج مقارنة بالشكل ب أن التبليغ السينايبسي مرتبط بتفريغ الحويصلات السينايبسية في الحيز السينايبسي.

(3) يتبين من هذه التجربة أن توليد جهد عمل في الغشاء بعد سينايبسي يرتبط بتحرير المبلغ العصبي الأستيلكولين في الحيز السينايبسي.

(4) يتبين من هذه التجربة أن أيونات الكالسيوم لها دور أساسي في نقل السيالة العصبية على مستوى السينايبس.

(5) تفسر هذه التجربة بكون دخول أيونات Ca^{2+} إلى الحبة السينايبسية يسبب تحرير المبلغ العصبي المتواجد بالحويصلات السينايبسية في الحيز السينايبسي، وبالتالي ظهور جهد عمل بعد سينايبسي.

(6) آلية التبليغ السينايبسي:

- بعد الإهاجة تنتقل السيالة العصبية عبر المحورة إلى أن تصل إلى الحبة السينايبسية فتؤدي إلى انفتاح قنوات Ca^{2+} ودخول الكالسيوم إلى الحبة السينايبسية.
- يحفز الكالسيوم التحام الحويصلات السينايبسية مع الغشاء قبل السينايبسي وبالتالي إفراز المبلغ العصبي بالحيز السينايبسي.
- يثبت المبلغ العصبي على مستقبلات خاصة به مدمجة في الغشاء بعد السينايبسي، الشيء الذي يؤدي إلى انفتاح قنوات بروتينية خاصة ب Na^+ و K^+ وبالتالي ظهور جهد عمل بعد سينايبسي.
- ينفصل المبلغ العصبي عن مستقبلاته تحت تأثير أنزيم خاص، فتتعلق قنوات Na^+ و K^+ .

c - السينايبس الكابح والمهيج:

نميز عدة مبلغات عصبية، منها ما هو مهيج ومنها ما هو كابح: أنظر الوثيقة 25

• السينايبس المهيجة:

يؤدي المبلغ العصبي إلى انفتاح قنوات Na^+ و K^+ الشيء الذي يسمح بدخول Na^+ وخروج K^+ وبالتالي نشوء موجة إزالة الاستقطاب على مستوى العصبية بعد السينايبسية.

• السينايبس الكابحة:

يؤدي المبلغ العصبي إلى انفتاح قنوات Cl^- و K^+ الشيء الذي يسمح بدخول مكثف لأيونات Cl^- وخروج أيونات K^+ وبالتالي نشوء استقطاب مفرط على مستوى الغشاء بعد السينايبسي، وهو جهد بعد سينايبسي كابح.

هناك عدة مواد تؤثر في عمل السينايبسات من تنشيط أو كبح. مثلا الكورار Curare، النيكوتين Nicotine، الكوكايين Cocaine، مواد تثبت على مستقبلات الأستيلكولين فتوقف بذلك عملها فتعيق تبليغ السيالات العصبية.