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 خاصيات الأعصاب؟**
- **ما هي بنية الأعصاب والمراكز العصبية؟**
- **كيف يتم تبليغ الرسائل العصبية**

I – خاصيات العصب

① الكشف عن خاصيات العصب:

أ – تجارب وملاحظات: أنظر الوثيقة 1

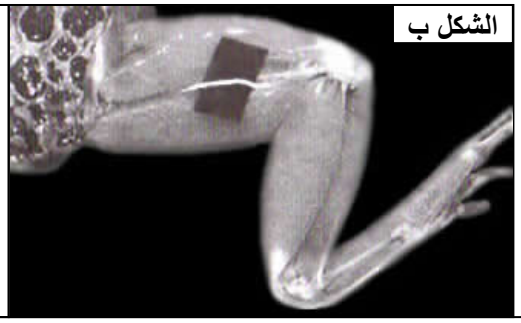
الوثيقة 1: الكشف عن خاصيات العصب

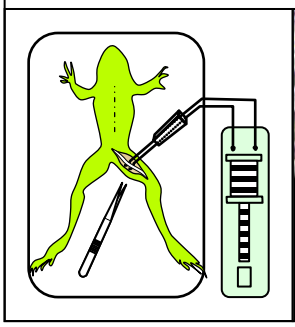
★ نقوم بتخريب الدماغ والنخاع الشوكي لضفدعة قصد إبطال الحساسية الشعورية والتحركية الإرادية واللاإرادية.
بعد إزالة جلد الطرف الخلفي، نبعد عضلتي الفخذ عن بعضهما، فنبرز العصب الوركي (الشكل ب) .
عندما نقوم بقرص العصب الوركي بواسطة ملقط أو تهييجه بمهيج كهربائي، نلاحظ ثني الطرف الخلفي الذي يوجد فيه العصب الوركي.

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 تهييج كهربائي أو ميكانيكي للعصب الوركي. إذن العصب يستجيب للاهاجة وبالتالي فهو يتميز بخاصية الاهتياجية L'excitabilité.

2) عند قطع العصب لا تلاحظ أي استجابة رغم التهييج، يفسر هذا بعدم وصول التهييج إلى عضلة بطن الساق. هذا يدل على أن التهييج ينتقل من نقطة التهييج إلى العضلة. وبالتالي فالعصب يتميز بخاصية التوصيلية La conductibilité.

② دراسة خاصيات العصب:

أ – العدة التجريبية: أنظر الوثيقة 2

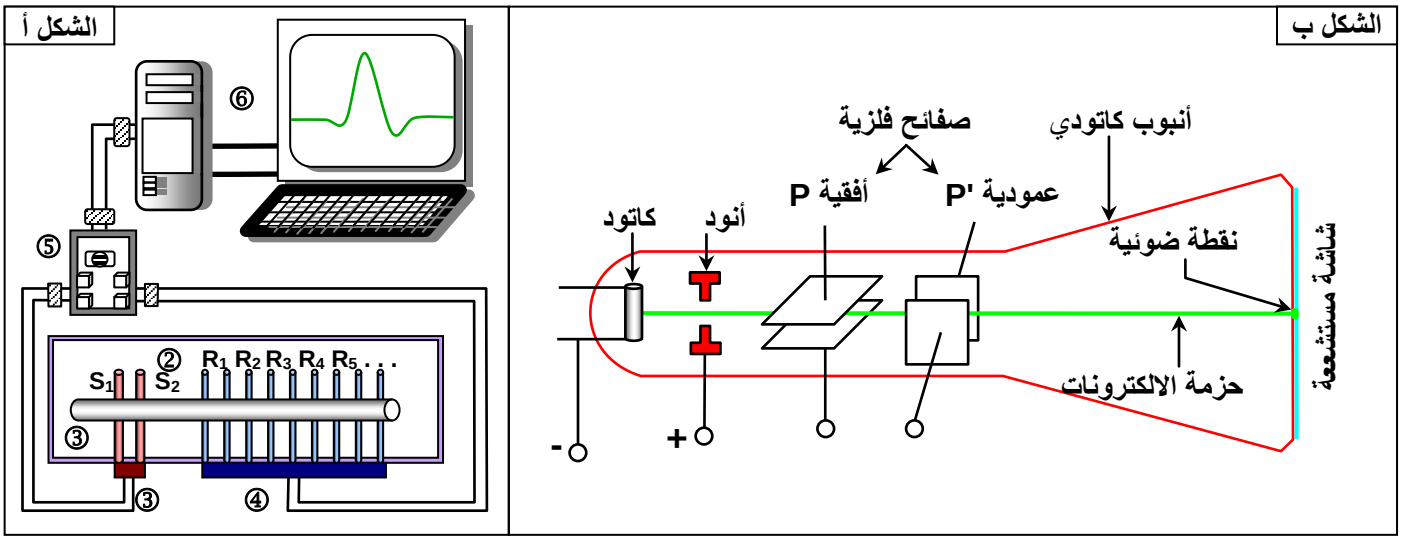
الوثيقة 2: التركيب التجريبي لدراسة خاصيات العصب

★ يعطي الشكل أ رسم تخطيطي تفسيري لعدة EXAO التي تمكن من التهييج الكهربائي للعصب، واستقبال تمظهرات الاستجابة لهذا التهييج. ① = العصب، ② = حوض العصب، ③ = الكترودان مهيجان (S)، ④ = الكترودات مستقبلة (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.

Moutamadris.ma



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،... وبالكترودات متصلة بدارة التهييج، تسمى مساري التهييج، ونرمز لها ب S_1، S_2.

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

- أنبوب كاتودي: يولد حزمة من الالكترونات عن طريق تسخين خيط يدعى الكاتود.
- شاشة مستشعة Ecran fluorescent تسقط عليها حزمة الالكترونات وتظهر على شكل نقطة ضوئية.
- صفيحتان أفقيتان Plaques horizontales مرتبطتان بمساري الاستقبال (R_2,R_1)، 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 المستشعة على شكل خط أفقي. وبهذه الطريقة يمكن دراسة تغير الظاهرة المسجلة حسب الزمن.

ب – دراسة خاصية الاهتياجية:

a – أنواع المهيجات:

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

b – الشروط الضرورية لتهييج العصب: أنظر الوثيقة 3

الوثيقة 3: الشروط الضرورية لتهييج العصب

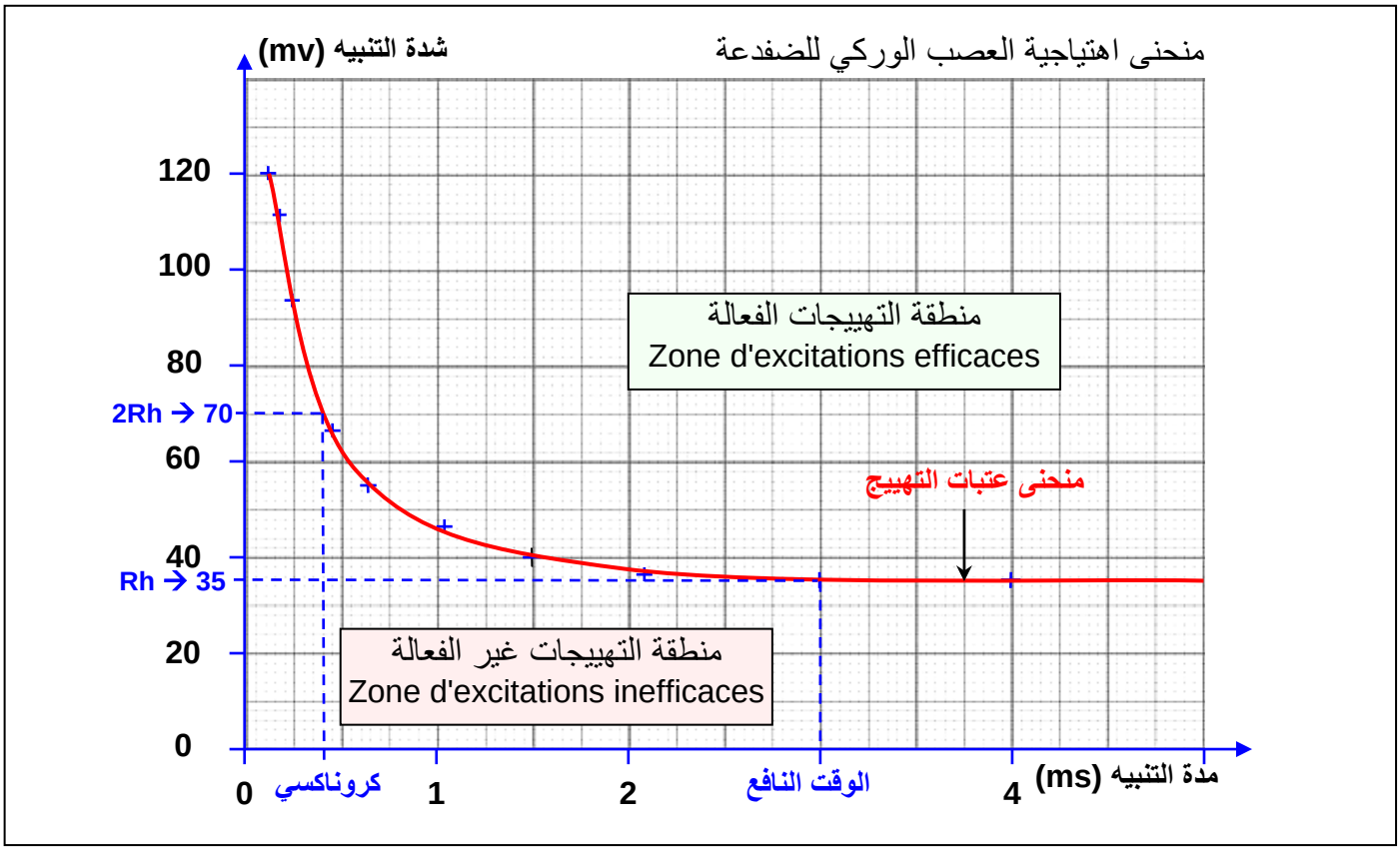
تمكن عدة تسجيل اهتياجية العصب من تغيير شدة الاهاجة المعبر عنها ب الميليفولت (mv)، وكذا مدة الاهاجة المعبر عنها ب (ms). نقوم بالتجربة على العصب الوركي Nerf sciatique للضفدعة.
يتم تحديد شدة تهييج معينة ثم نعمل على تغيير مدته عدة مرات حتى يتم الحصول على اهاجة فعالة (تعطي إجابة). ثم نحدد مدة معينة ويتم تغيير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

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

Moutamadris.ma

1) أنجز منحنى تغيرات شدة التهييج بدلالة مدة التهييج. (0.2ms ← 10mm ،10mv ← 10mm)
2) لنعتبر اهاجة ذات الخصائص التالية (40mv,1.5ms) ما هي العلاقة التي تربط بين القيمتين؟
3) انطلاقا من تحليل المنحنى حدد:
- ما هي شدة التهييج الدنيا التي تعطي أول استجابة؟ وما هي المدة الزمنية المطابقة لها؟
- أهم ثوابت تهييج 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 التهييج الدنيا التي تعطينا أول استجابة هي 3.5mv تدعى الريوباز Rhéobase. 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 التهييج، ويفصل بين منطقتين: منطقة التهييجات الفعالة ومنطقة التهييجات غير الفعالة.

c – تمرين: أنظر الوثيقة 4

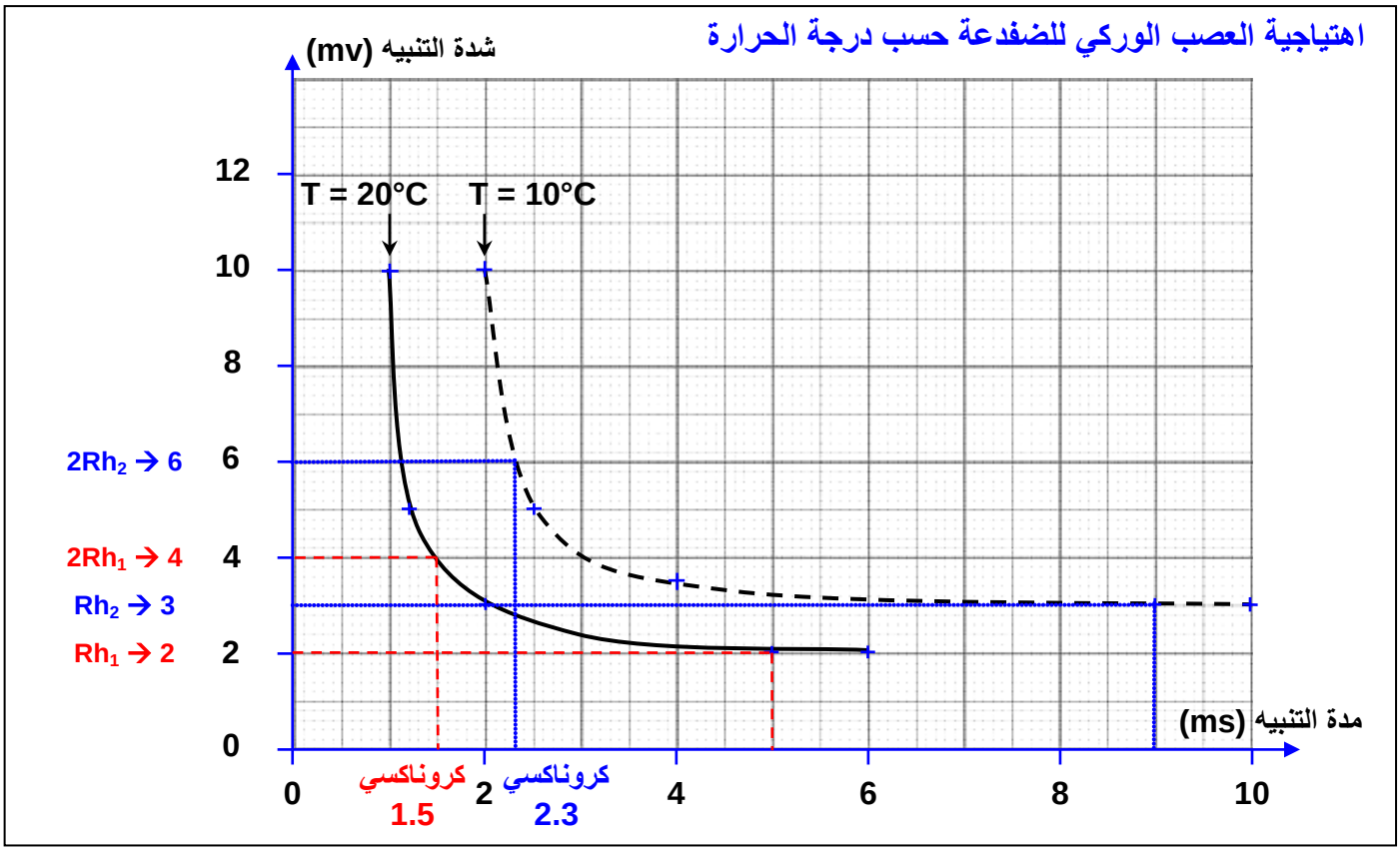
الوثيقة 4: تمرين قمنا بدراسة تهييج عصبين وركيين لضفدعة. الأول في درجة حرارة 10°C والتالي في درجة حرارة 20°C. النتائج المحصل عليها مدونة في الجدول أمامه:

T = 20°C	شدة التنبيه I ب (mv)	2	2	3	5	10
	مدة التنبيه t ب (ms)	6	5	2	1.2	1
T = 10°C	شدة التنبيه I ب (mv)	3	3	3.5	5	10
	مدة التنبيه t ب (ms)	10	9	4	2.5	2

1) مثل هذه النتائج في رسم بياني واحد.
2) حدد خصائص تهييج هذه الأعصاب.
3) حدد العصب الأكثر تهييجا. ماذا يمكنك استنتاجه؟

Moutamadris.ma

1) التمثيل البياني للنتائج:



2) خصائص تهييج العصبين:

Ch (ms)	2Rh (mv)	Rh (mv)	
1.5	4	2	العصب T + 20°C
2.3	6	3	العصب T + 10°C

3) العصب الأكثر اهتياجية هو العصب الموضوع في درجة حرارة T=20°C لأن الريوباز والكروناكسي في هذه الحالة أقل من الريوباز والكروناكسي للعصب الموضوع في درجة حرارة T=10°C.
إذن كلما كانت قيمة الريوباز والكروناكسي ضعيفة، كان العصب أكثر قابلية للتهييج. وبالتالي فدرجة الحرارة تلعب دورا في اهتياجية العصب. حيث أنه كلما ارتفعت درجة الحرارة إلا وكان العصب أكثر اهتياجية.

ج – دراسة خاصية التوصيلية:

a – شروط التوصيلية أنظر الوثيقة 5

الوثيقة 5: شروط التوصيلية

لتحديد الشروط الفيزيولوجية المتحكمة 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؟

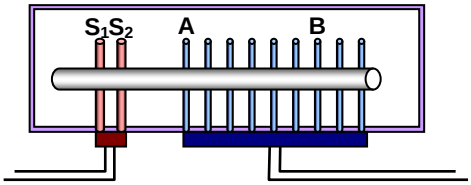
Moutamadris.ma

التوصيلية هي قدرة العصب أو الليف العصبي على نقل الوسالة العصبية إثر تهييج فعال.
يتبين من تحليل المعطيات التجريبية السابقة أن التوصيلية تختلف حسب بعض الظروف الفزيولوجية. 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 اقل من 2°C).

b – سرعة التوصيلية : أنظر الوثيقة 6

الوثيقة 6: سرعة التوصيلية

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



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

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

2) ماذا يمكنك استنتاجه؟
3) هل يمكن أن نقول أن السيالة العصبية هي عبارة عن تيار كهربائي؟ لماذا؟

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

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

★ عند درجة حرارة 18°C : $V_{AB} = \frac{12\ (mm)}{2\ (ms)} = 6\ mm/ms$

★ عند درجة حرارة 28°C: $V_{AB} = \frac{12\ (mm)}{1\ (ms)} = 12\ mm/ms$

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

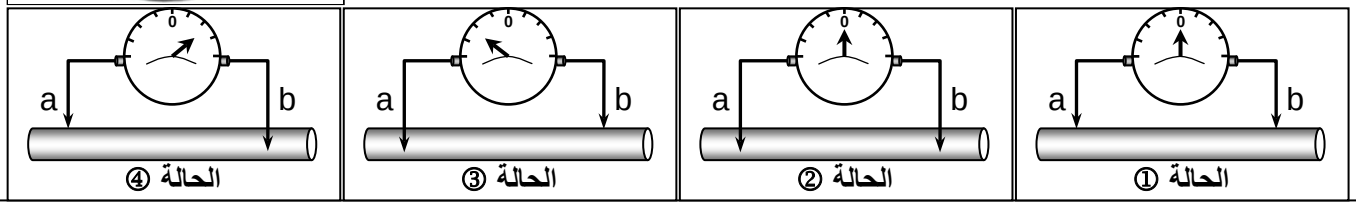
① الظواهر الكهربائية المصاحبة لنشاط الليف العصبي:

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 تهييج، نقوم بالمناولات الممثلة على الرسوم التخطيطية أسفله.
ماذا تستنتج من تحليل هذه المعطيات؟



Moutamadris.ma

★ في الحالة ① والحالة ② عندما نضع الالكترودين a وb 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 أوb داخل العصب والآخر خارج العصب، نلاحظ أن مؤشر الكالفانومتر ينحرف ليستقر في قيمة مخالفة للصفر.

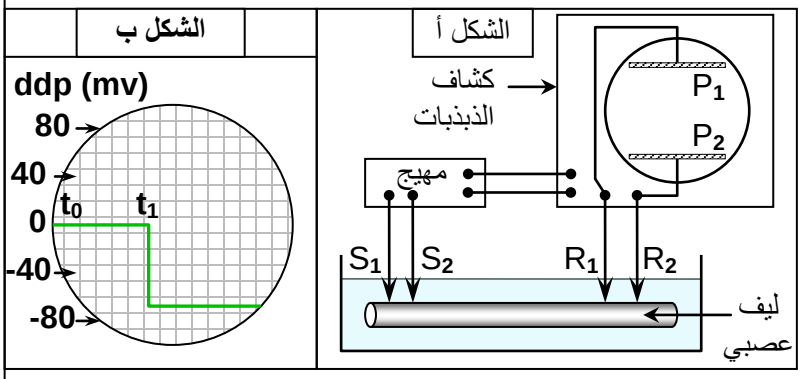
نستنتج من هذه الملاحظات أن جميع نقط سطح العصب لها نفس الجهد الكهربائي. بينما هناك اختلاف في الجهد الكهربائي بين الوسط الداخلي والخارجي للعصب.

ب – استعمال كاشف الذبذبات:

a – الكشف عن جهد الكمون أنظر 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 (S_1S_2= مساري التهييج، R_1R_2 = مساري الاستقبال، P_1P_2 = صفائح معدنية).



في غياب أي تهييج نقوم بالتجربتين التاليتين:

★ في الزمن t_0 (بداية التجربة) نضع المساري المستقبلة R_1R_2 على سطح الليف العصبي.

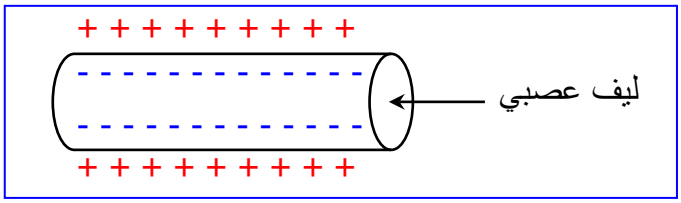
★ في الزمن t_1 نضع المسرى R_1 داخل الليف والمسرى R_2 على السطح.

نحصل على النتائج الممثلة على الشكل ب.

1) حدد قيمة فرق الجهد المسجل قبل الزمن t_1.
2) حدد قيمة فرق الجهد المسجل بعد الزمن t_1.
3) فسر النتائج المحصل عليها.

★ في الزمن t_0 عند وضع المساري المستقبلة **R_1R_2** على سطح الليف العصبي، نلاحظ على شاشة كاشف التذبذب خط أفقي يمر من 0. هذا يعني أن فرق الجهد الكهربائي بين الصفيحتين الأفقيتين **P_1** و**P_2** منعدم وبالتالي بين المسرايين **R_1R_2**.

★ في الزمن t_1 عند وضع المسرى **R_1** داخل الليف والمسرى **R_2** على السطح، نلاحظ على الشاشة أن النقطة الضوئية قد انحرفت نحو الأسفل في اتجاه الصفيحة **P_2** الموجبة (لأن الالكترونات مشحونة سالبة) والمرتبطة ب **R_2** 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 التهييج، يكون هناك فرق في الاستقطاب الكهربائي بين الوسط الداخلي والخارجي لليف العصبي يقرب -70mv يسمى جهد الكمون Potentiel de repos أو جهد الغشاء.

b – الكشف عن جهد العمل أنظر الوثيقة 9

الوثيقة 9: الكشف عن جهد العمل Potentiel d'action

نضع ليفا عصبيا معزولا للخداق Calmar في حوض عصب يحتوي على مساري مهيجة S_1S_2 ومساري مستقبلة R_1R_2 مرتبطة بكشاف الذبذبات.

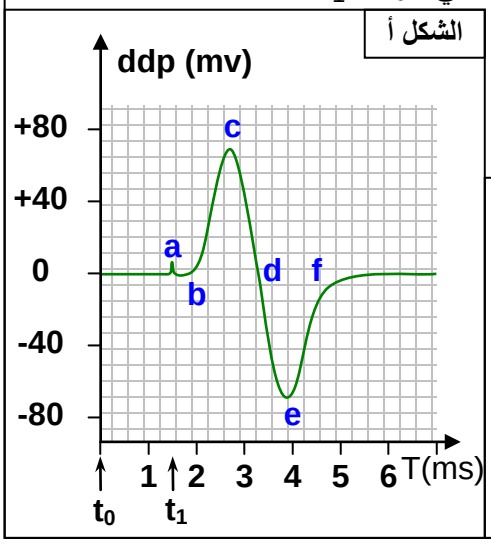
★ التجربة 1: في الزمن t_0 نضع R_1R_2 على سطح الليف، ثم في الزمن t_1 نهيج هذا الليف تهييجا فعالا فنحصل على التسجيل الممثل في الشكل أ.

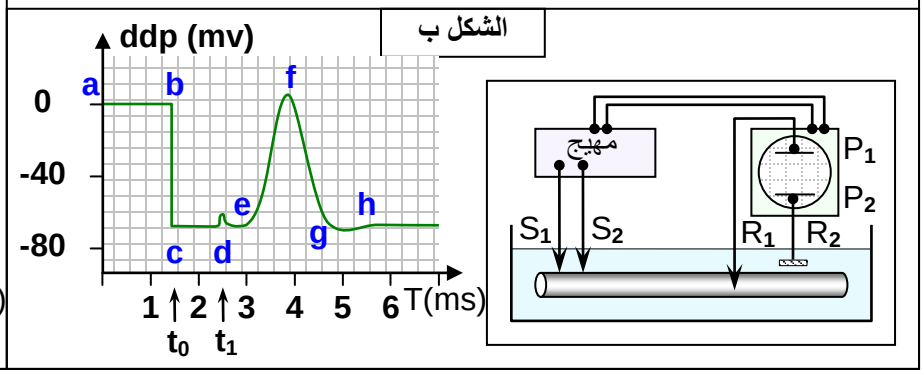
Moutamadris.ma

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.

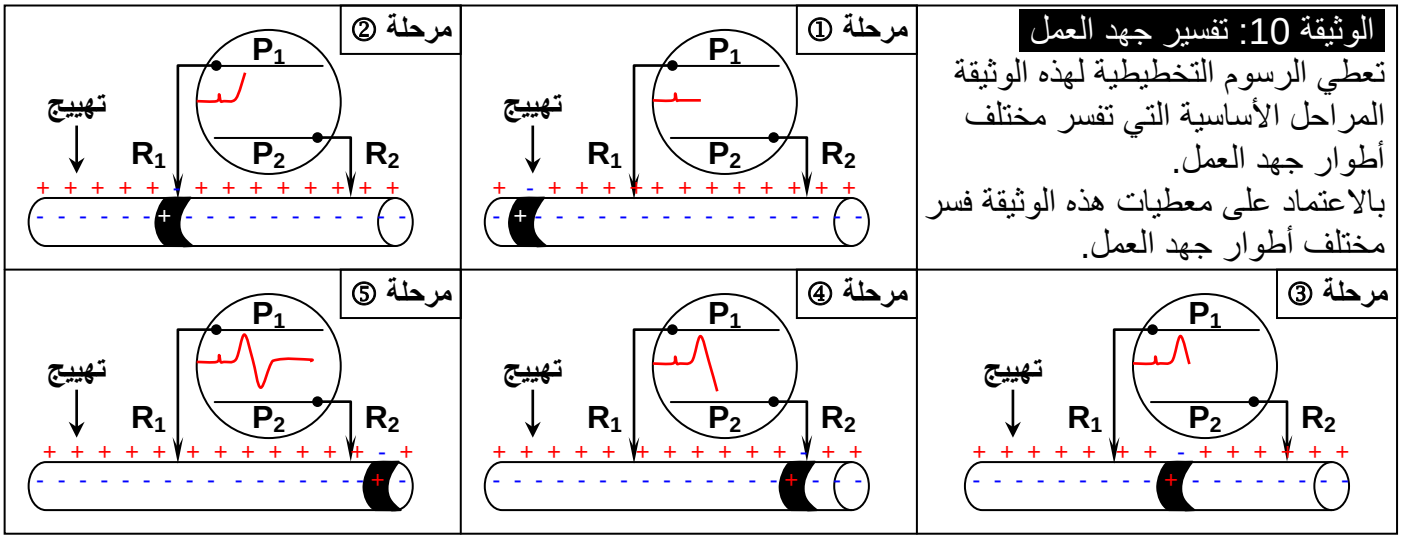
3) ماذا يمثل التسجيل المحصل عليه بعد التهييج؟
4) حدد مراحل التسجيل مع تفسير التغيرات المحصل عليها.





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 السيالة العصبية Influx nerveux .
تسجل مساري الاستقبال R_1R_2 إشارة متزامنة مع لحظة التهييج 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 وR_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 وR_2 يسترجع المسرى R_1 جهده الأصلي، مما يؤدي إلى عودة النقطة الضوئية إلى المستوى 0، نتكلم عن مرحلة إعادة الاستقطاب لR_1 (c-d) .

★ المرحلة ④: بوصول الموجة السالبة إلى R_2 ينتج فرق جهد كهربائي بين R_1 وR_2 مما يؤدي إلى انحراف النقطة الضوئية نحو الصفيحة P_2، وتسجيل مرحلة إزالة الاستقطاب ل R_2 (d-e).

Moutamadris.ma

★ 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 التهييج وعند إدخال المسرى R_1 في الزمن t_0 نلاحظ على الشاشة أن النقطة الضوئية قد انحرفت نحو الأسفل في اتجاه الصفيحة P_2 ، فنسجل بذلك فرق جهد كهربائي بين الصفيحتين P_1 وP_2 يمثل جهد الكمون.
بعد التهييج 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 التهييج إلى المسرى المستقبل R_1.
- المرحلة (e-f): تمثل إزالة الاستقطاب للمسرى R_1. وصول الموجة السالبة إلى المسرى R_1 ، وبذلك تنحرف النقطة الضوئية نحو الصفيحة P_1.
- المرحلة (f-g): تمثل إعادة الاستقطاب للمسرى R_1 . تبتعد 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 لليف عصبي، نقوم بالتجارب التالية:
التجربة 1: نقوم بقياس تركيز أيونات Na^+ وK^+ في كل من الوسط الداخلي لليف العصبي والوسط الخارجي الذي هو السائل البيفرجي.
النتائج المحصل عليها مدونة في جدول الشكل أ.

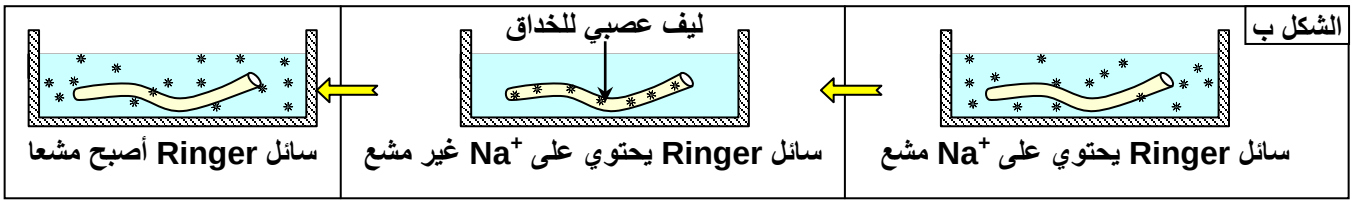
الشكل أ

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

1) قارن تركيز أيونات Na^+ وK^+ 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 ايونات البوتاسيوم المشع.

الشكل ب



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، ستنتقل الأيونات إذن تبعا للدرجة التنازلية للتركيز، إلى أن يتساوى التركيز بين الوسطين، فيختفي بذلك جهد الكمون. إذن الغشاء يعتمد آليات النقل النشيط لإخراج K^+ وإدخال Na^+.

Moutamadris.ma

3) في مرحلة أولى يظهر الإشعاع داخل الليف العصبي، هذا يدل على دخول Na^+ إلى الليف تبعا 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.

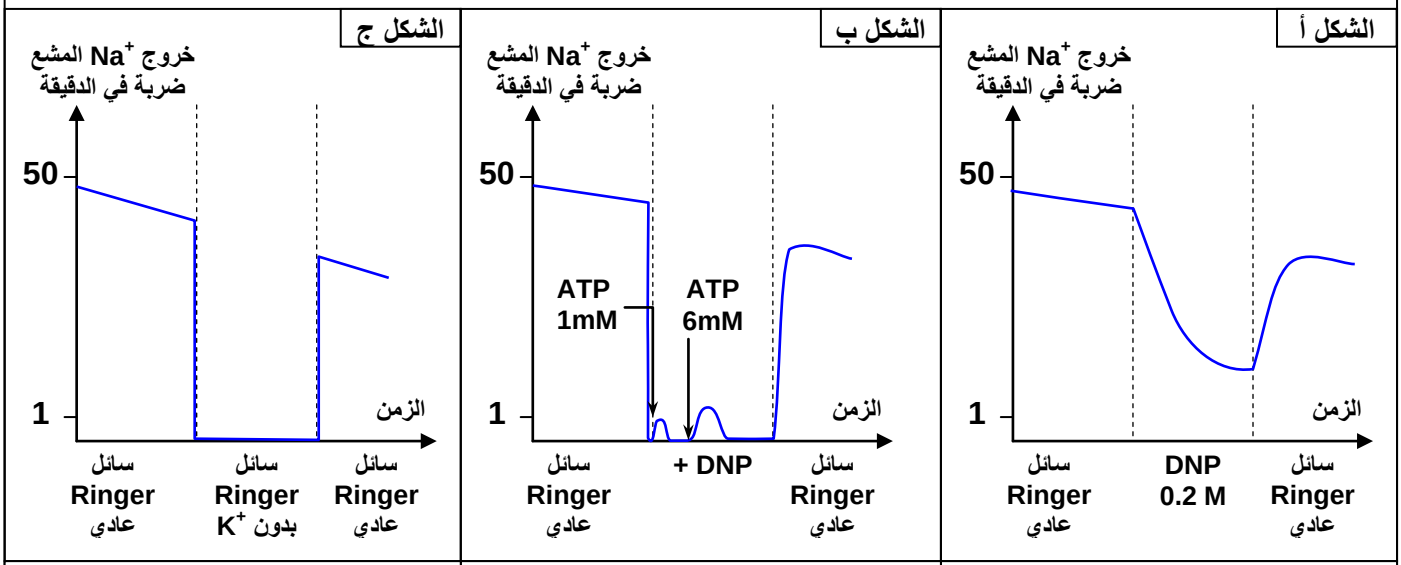
نستنتج من هذه المعطيات أن غشاء الليف العصبي نفوذ لأيونات Na^+ وK^+ بواسطة الانتشار الحر الذي يعمل على إدخال أيونات Na^+ وإخراج أيونات K^+، وذلك حسب الدرجة التنازلية للتركيز. لكن إذا استمرت ظاهرة الانتشار لوحدها سيحدث تساوي تركيز الأيونات Na^+ وK^+ من جهتي الغشاء، وبذلك سينعدم جهد الكمون.

أ – الحفاظ على جهد الكمون؟ أنظر الوثيقة 12

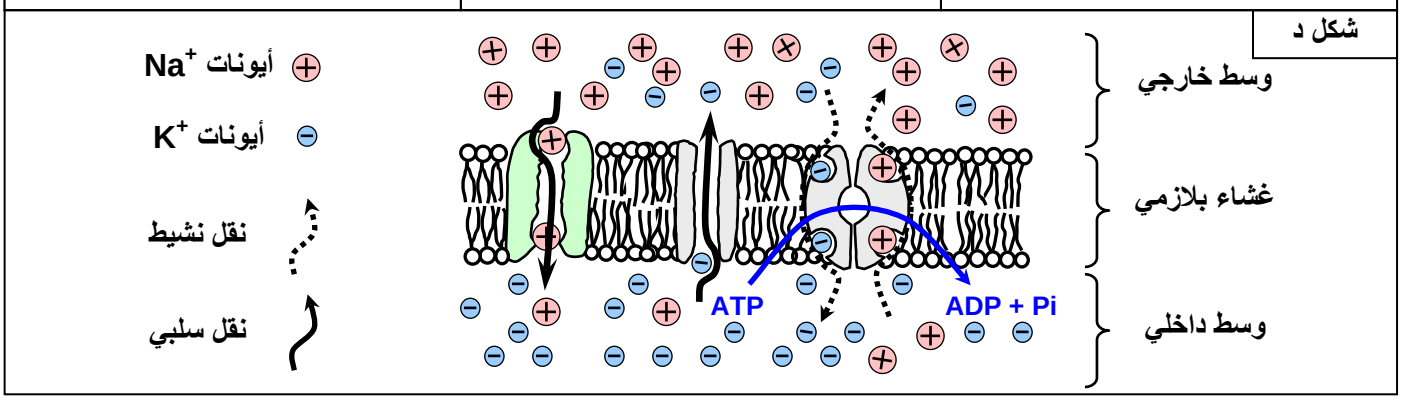
الوثيقة 12: الحفاظ على جهد الكمون

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.



إضافة DNP (يوقف تفسفر ADP إلى ATP) | إضافة ATP للخلايا المخضعة لفعل DNP | وضع الخلايا في سائل Ringer بدون K^+



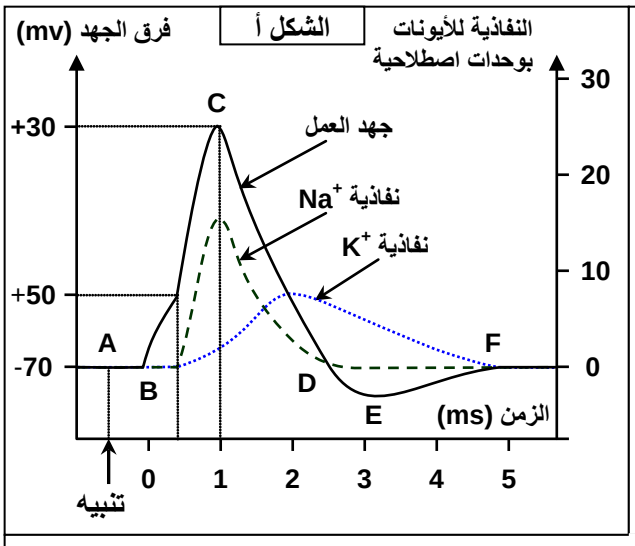
إن خروج ايونات Na^+ من الوسط الداخلي لليف العصبي الأقل تركيزا، إلى الوسط الخارجي الأكثر تركيزا، هو عكس الدرجة التنازلية للتركيز. ويتوقف هذا التدفق لأيونات Na^+ في غياب ATP أي الطاقة، وفي غياب أيونات K^+.
يتبين من هذه المعطيات أن تدفق Na^+ نحو الوسط الخارجي يتم بواسطة النقل النشيط والذي يتم بواسطة ناقلات خاصة تدعى مضخات Na^+ وK^+ . 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.

Moutamadris.ma

ج – أصل جهد العمل: أنظر الوثيقة 13

الوثيقة 13: أصل جهد العمل

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



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

★ يوجد على مستوى الغشاء السيتوبلازمي لليف عصبي نوعان من القنوات (قنوات X وقنوات Y) تتدخل في تدفق أيونات Na^+ وK^+. 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.

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

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

3) اعتمادا على مقارنة المنحنيين المحصل عليهما مع المعطيات السابقة، استخلص دور كل من القنوات X وY.

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

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 ايونات Na^+).
- من 1ms إلى 2.5ms تنخفض نفاذية الغشاء ل Na^+.
- انطلاقا من 2.5ms تتوقف نفاذية الغشاء لايونات Na^+.

بالنسبة لأيونات K^+:

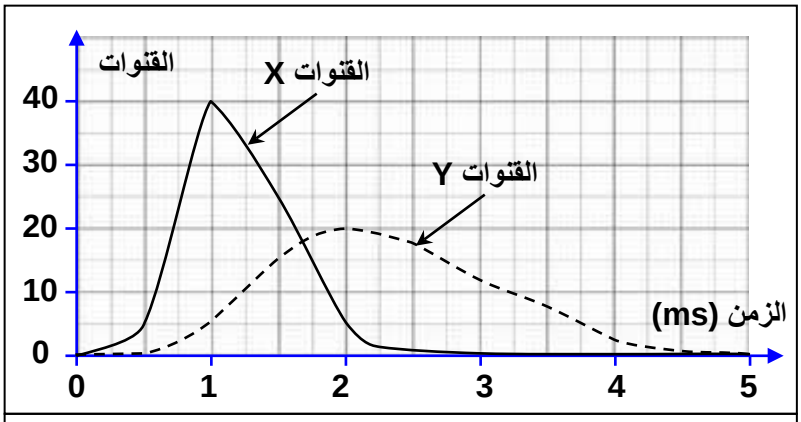
- من لحظة التنبيه إلى الزمن 1ms نلاحظ غياب نفاذية الغشاء ل K^+.
- من 1ms إلى 2ms ترتفع نفاذية الغشاء ل K^+ (ارتفاع خروج ايونات K^+).
- من 2ms إلى 4.7ms تنخفض نفاذية الغشاء ل K^+.
- انطلاقا من 4.7ms تتوقف نفاذية الغشاء لايونات K^+.

بعد الاهاجة وفترة الكمون، نسجل ارتفاعا سريعا في نفاذية Na^+ بشكل موازي لمرحلة إزالة الاستقطاب، لتنخفض نفاذية Na^+ خلال مرحلة إعادة الاستقطاب.
بعد الاهاجة وفترة الكمون ترتفع بشكل تدريجي نفاذية K^+ لتصل أقصاها خلال مرحلة إعادة الاستقطاب، ثم تعود تدريجيا إلى قيمتها الأصلية مع نهاية مرحلة الاستقطاب المفرط.

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

Moutamadris.ma

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 التهييج يؤدي إلى انفتاح القنوات الأيونية الخاصة ب Na^+ مما يؤدي إلى دخول كثيف لأيونات Na^+. بعد هذا بوقت وجيز تنفتح القنوات الخاصة ب K^+ فتخرج أيونات K^+.



عدد القنوات المفتوحة في كل μm^2 من الغشاء السيتوبلازمي حسب الزمن

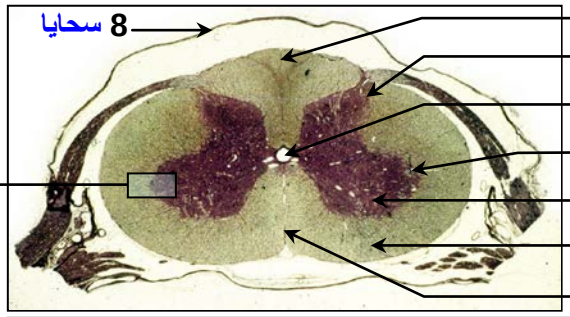
عندما تصل نفاذية الغشاء إلى أقصاها، تبدأ نفاذية الأيونات بالانخفاض وذلك بانغلاق القنوات الخاصة بها وتدخل المضخات الأيونية التي تعمل على إخراج Na^+ وإدخال K^+.

4) يرتبط نشوء جهد العمل بتغيير في نفاذية الغشاء لأيونات Na^+ وK^+ ، حيث يترتب عن وصول التهييج 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 ل K^+ وإعادة استقطاب الغشاء. يترتب عن استمرار خروج K^+ فرط في الاستقطاب الغشائي الذي يتم تصحيحه بعمل مضخات Na^+ وK^+.
يعود تدفق أيونات Na^+ وK^+ خلال جهد العمل، لوجود قنوات خاصة مرتبطة بالفولتية يخضع انفتاحها لتأثير تغير فرق الجهد الكهربائي المحلي. Les canaux voltage dépendant

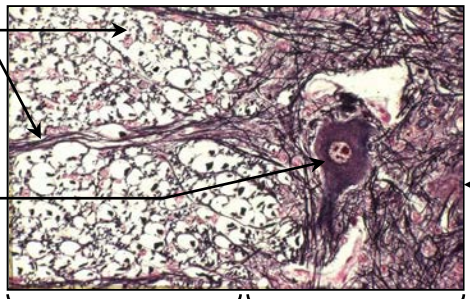
III – البنيات المسؤولة عن التواصل العصبي

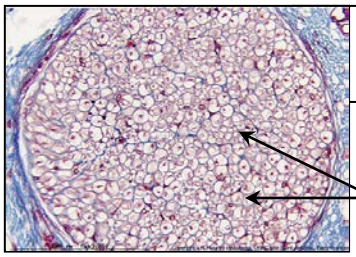
① البنيات النسيجية للعصب والنخاع الشوكي أنظر الوثيقة 14

الوثيقة 14: ملاحظات مجهرية للنسيج العصبي

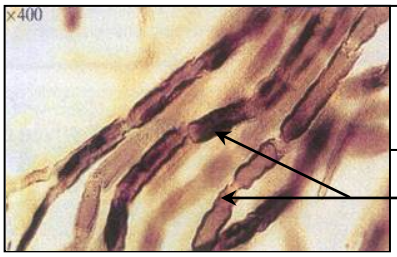


شكل أ : ملاحظة مجهرية لمقطع عرضي للنخاع الشوكي





شكل ب: ملاحظة مجهرية لمقطع عرضي للعصب



شكل ج : ملاحظة مجهرية لعصب مؤرب Dilacéré

لاحظ بالمجهر الضوئي تحاضير للنخاع الشوكي. مستحضرا مكتسباتك السابقة وبالاعتماد على معطيات الوثيقة:
- تعرف مكونات المركز العصبي النخاع 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.

Moutamadris.ma

أ – ملاحظات مجهرية للنخاع الشوكي La moelle épinière:

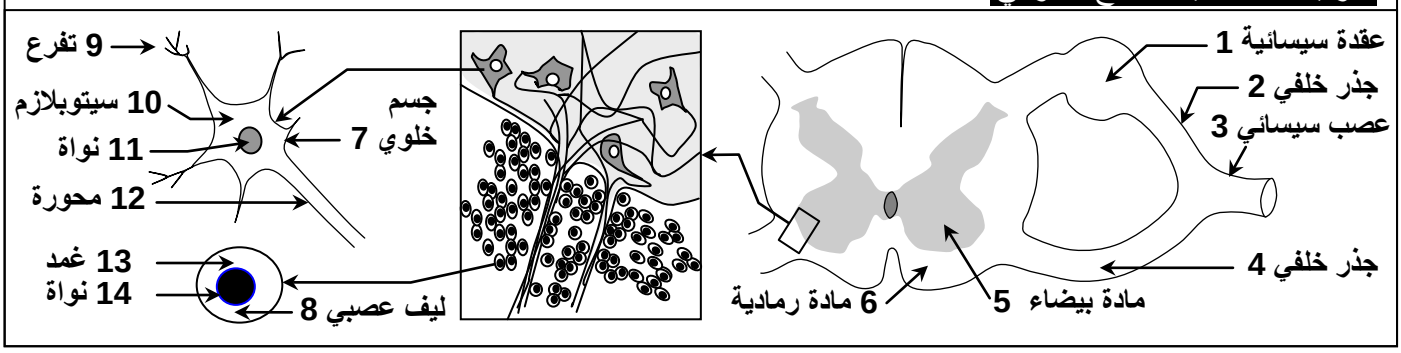
يوجد النخاع الشوكي في العمود الفقري على شكل حبل أبيض يرتبط بالأعضاء الجانبية بواسطة الأعصاب السيسائية Les nerfs rachidiens. ويتكون النخاع الشوكي من مادتين أساسيتين، مادة رمادية مركزية ومادة بيضاء محيطية.

★ 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 اقتيات 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)

الوثيقة 15: بنية النخاع الشوكي



ب – ملاحظات مجهرية للعصب Le nerf:

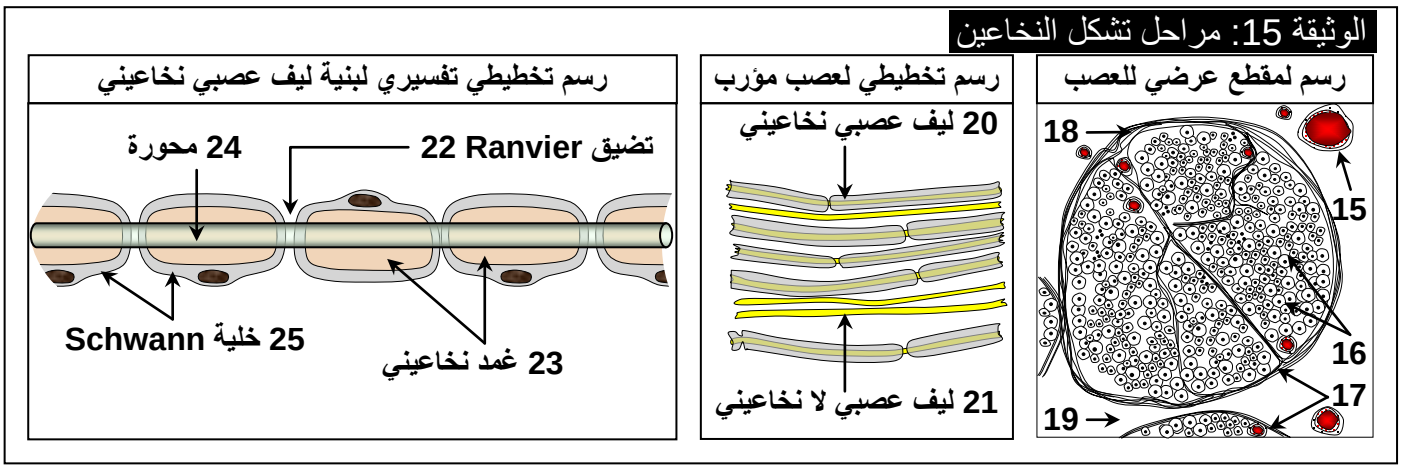
يتكون العصب من حزم من الألياف العصبية Les fibres nerveuses، تحاط بنسيج ضام ويفصل بين مختلف الحزم نسيج ضام يحتوي على شعيرات دموية.

★ 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 رونفيي 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)

الوثيقة 15: مراحل تشكل النخاعين

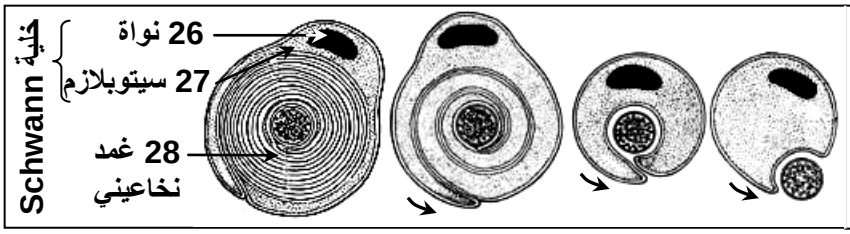


★ يتشكل الغمد النخاعيني أثناء نمو الجنين ويستمر بعد الولادة. ويتكون انطلاقا من التفاف خلية Schwann حول المحورة لعدة مرات، فتتشكل بذلك طبقة سميكة من الأغشية ذات طبيعة فوسفودهنية، تمثل غمد النخاعين الذي يدفع بنواة خلية Schwann نحو المحيط (أنظر الرسوم على الوثيقة 15).

Moutamadris.ma

الوثيقة 15: كيفية تشكل غمد النخاعين

رسوم تخطيطية لمقاطع عرضية لليف نخاعيني تمثل مراحل تشكل النخاعين: النخاعين مادة عازلة يتم تشكلها انطلاقا من تلولب 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 عصبي يظهر محورة محاطة بغمد. وأن المادة الرمادية تتكون من أجسام خلوية تظهر امتدادات لها نفس مظهر المحورات.

انطلاقا من هذه الملاحظات يمكن افتراض أن هناك استمرارية بين محورات الأجسام الخلوية بالمادة الرمادية، ومحورات المادة البيضاء، ومحورات العصب.

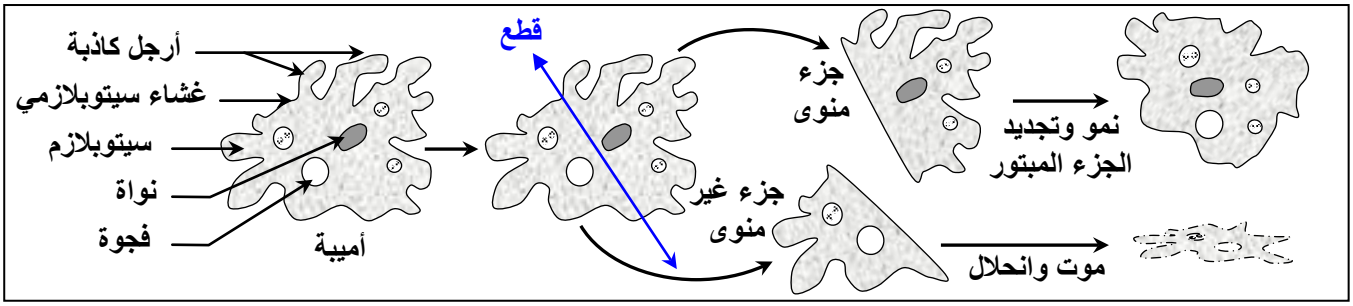
② العلاقة بين بنية العصب وبنية النخاع الشوكي أنظر الوثيقة 14

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 الأميبة L'amibe كما هو مبين على الرسوم التالية:



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

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

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

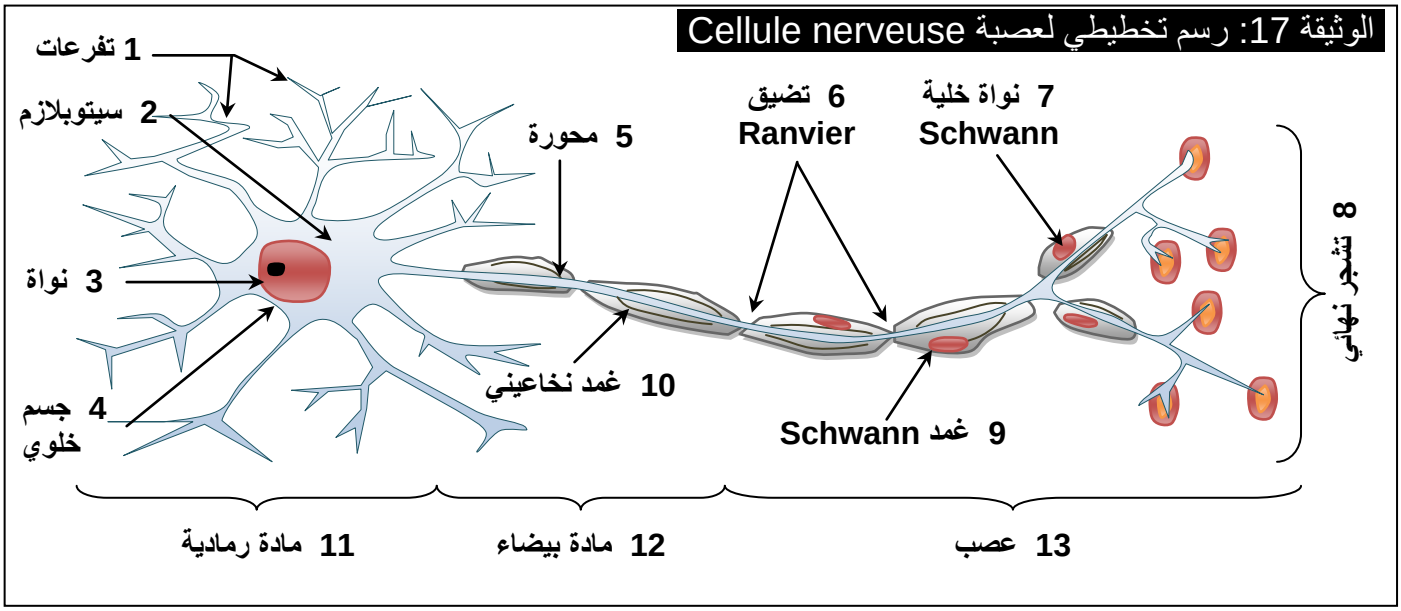
Moutamadris.ma

b – تحليل واستنتاج:

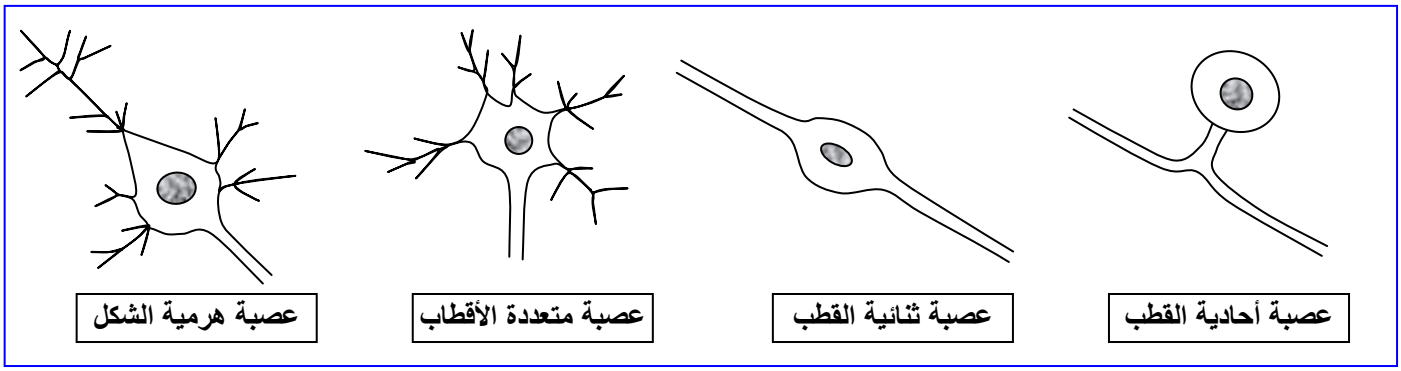
★ يتبين من تجربة التقطيع الدقيق للأميبة أن الجزء المنوى يعيش ويجدد الأجزاء المبتورة بينما الجزء غير المنوى ينحل ويموت. نستنتج إذن أن النواة هي المسؤولة عن نمو وتجديد الخلية.

★ 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.

الوثيقة 17: رسم تخطيطي لعصبة Cellule nerveuse



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



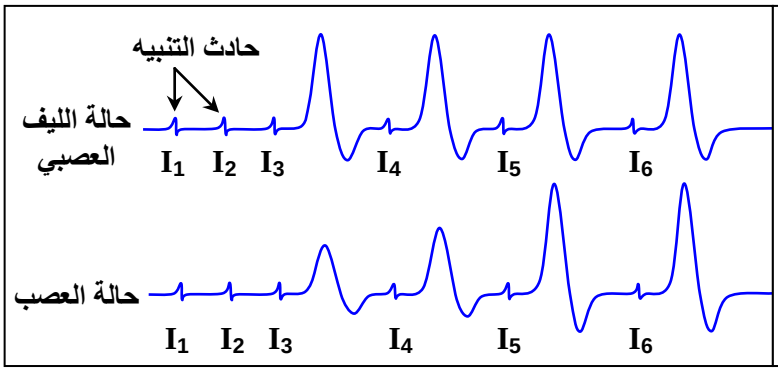
IV – خاصيات الليف العصبي

① استجابة الليف العصبي والعصب لاهاجات متصاعدة الشدة أنظر الوثيقة 18

الوثيقة 18: الخاصيات الاهتياجية لليف العصبي

باستعمال عدة تجريبية مناسبة، نطبق على ليف عصبي ثم على عصب تهييجات ذات شدة متصاعدة $I_1 < I_2 < I_3 \ldots < I_6$. فنحصل على التسجيلات الممثلة أمامه.

1) حلل التسجيلين.
2) ما هي الخاصية المميزة لليف العصبي وللعصب



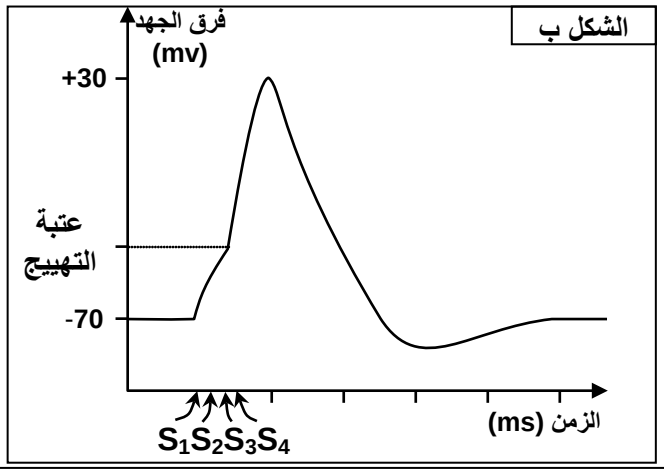
Moutamadris.ma

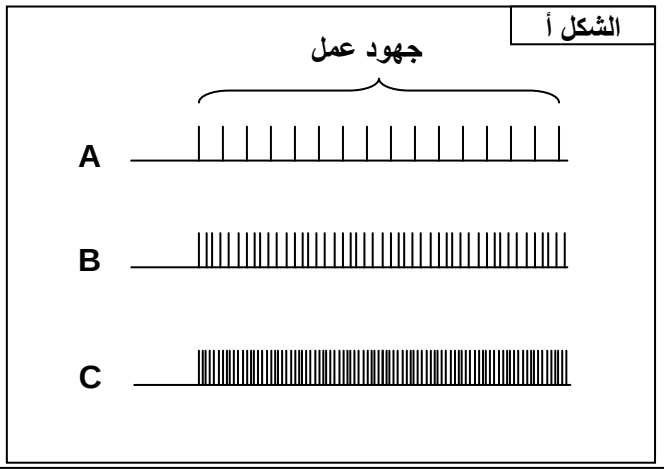
★ عند إحداث تهييجات ذات شدة متصاعدة علة ليف عصبي A<B<C في الحالة الفيزيولوجية العادية نحصل على التسجيلات المبينة على الشكل أ.

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 زمنيا تعطينا التسجيل الممثل على الشكل ب، وإذا كانت متباعدة زمنيا فإنها تبقى غير فعالة.

4) ماذا تستخلص من تحليل هذه المعطيات؟





1) في حالة الليف العصبي: نلاحظ أن الاهاجتين I_1 وI_2 لم تحدث أي استجابة فهي إذن اهاجات تحت بدئية، وابتداء من I_3 نسجل استجابات (جهد عمل) يبقى وسعها ثابت رغم زيادة شدة التهييج.
في حالة العصب: نلاحظ أن الاهاجتين I_1 وI_2 لم تحدث أي استجابة فهي إذن اهاجات 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 (اهاجات تحت بدئية) أو يظهر ويبقى في وسع ثابت، فنقول أن الليف العصبي يخضع لقانون الكل أو العدم La loi du tout ou rien. ويفسر هذا القانون بكون الليف يكون وحدة بنيوية 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 التعبئة 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 اهاجات 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، فنتكلم في هذه الحالة عن الإجمال الحيزي La sommation spatiale.

② علاقة بنية الليف بتوصيل السيالة العصبية

أ – دراسة معطيات تجريبية أنظر الوثيقة 19

Moutamadris.ma

الوثيقة 19: علاقة بنية الليف العصبي بتوصيل السيالة العصبية

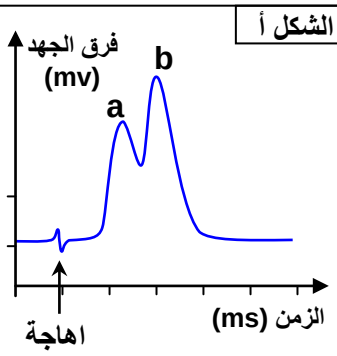
★ يؤدي تهييج فعال لعصب صافن Saphène عند قنية إلى الحصول على التسجيل الممثل في الشكل أ.

1) انطلاقا من تحليل التسجيل المحصل عليه كيف تفسر وجود الطورين a وb؟

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

2) ماذا تستنتج من تحليل هذه المعطيات؟

الشكل أ



الشكل ب

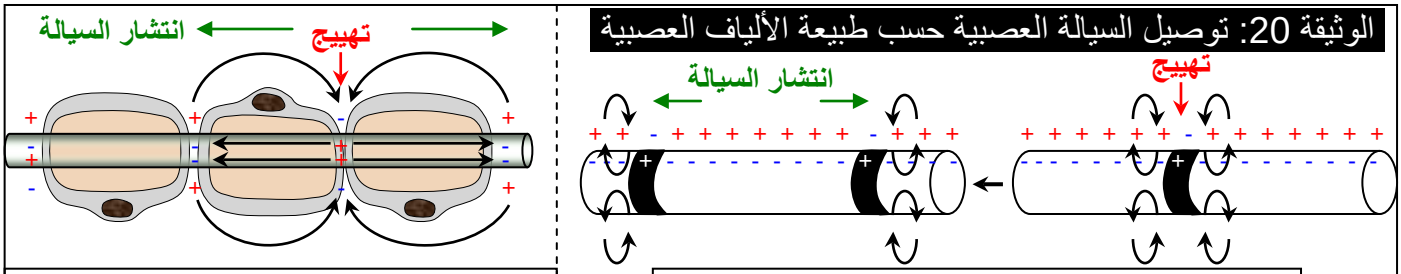
أنماط الألياف العصبية	القطر µmب	السرعة m/sب
ألياف نخاعينية لثدييات	10	60
	20	120
ألياف نخاعينية لعصب وركي عند الضفدعة	10	17
	20	30
ليف عملاق لا نخاعيني عند الخداق	1	33

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 نخاعينية أم لا نخاعينية، ونوع الكائن الحي.

ب – علاقة بنية الليف العصبي بخاصية التوصيلية أنظر الوثيقة 20

الوثيقة 20: توصيل السيالة العصبية حسب طبيعة الألياف العصبية



شكل أ: توصيل السيالة العصبية على ليف لا نخاعيني

شكل ب: توصيل السيالة العصبية على ليف نخاعيني

★ بالنسبة لليف اللانخاعيني (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 لليف النخاعيني (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 التهييج.

★ تكون تضيقات Ranvier أكثر تباعدا كلما كان قطر الليف كبيرا، وهذا ما يفسر ارتفاع سرعة التوصيلية بالنسبة للألياف النخاعينية ذات القطر الكبير.

③ مفهوم السينابس وآلية التبليغ السينابسي

أ – التأخر السينابسي أو المهلة السينابسية أنظر الوثيقة 21

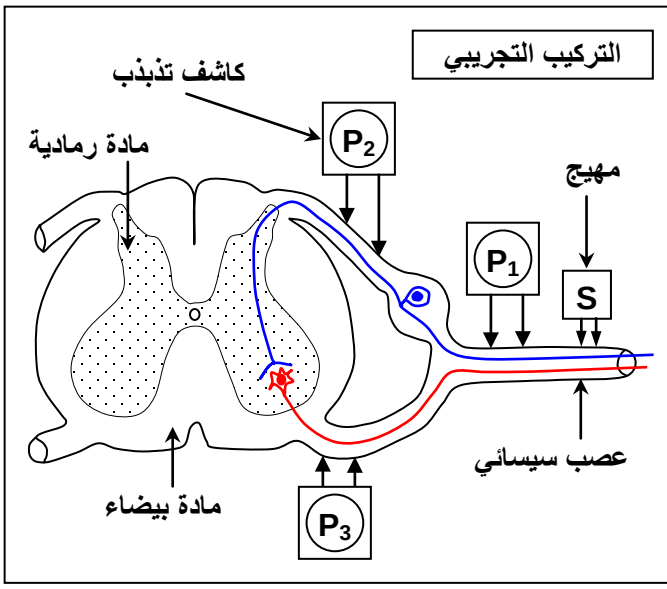
Moutamadris.ma

الوثيقة 21: الكشف التجريبي عن نقط الاشتباك

نبرز بالتشريح عصبا سيسائيا لضفدعة صحبة جذوره، ثم نطبق اهاجة فعالة على العصب السيسائي (النقطة S) مع تسجيل الزمن الذي تستغرقه السيالة العصبية عند انتقالها بين نقط مختلفة (بين النقطتين P_1 وP_2 وبين النقطتين P_2 وP_3) ويبين الجدول التالي النتائج المحصلة.

	المسافة ب mm	الزمن الذي استغرقته السيالة ب ms
بين P_1 وP_2	4	0.2
بين P_2 وP_3	2	0.25

أحسب سرعة السيالة العصبية بين النقطتين P_1 وP_2 وبين النقطتين P_2 وP_3، واقترح تفسيرا للاختلاف الملاحظ.



★ نحسب سرعة السيالة العصبية:

• السرعة بين P_1 وP_2 هي V_1:

$$V_1 = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{4}{0.2} = \frac{4.10^{-3}\ m}{0.2.\ 10^{-3}\ s} = 20 m/s$$

• السرعة بين P_2 وP_3 هي V_2:

$$V_2 = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{2}{0.25} = \frac{2.10^{-3}\ m}{0.25.\ 10^{-3}\ s} = 8 m/s$$

★ نلاحظ أن السرعة بين P_1 وP_2 هي أكبر من السرعة بين P_2 وP_3 ، هذا يعني أن هناك تأخر في انتقال السيالة العصبية على مستوى النخاع الشوكي، يسمى هذا التأخر بالمهلة السينابسية Le délai synaptique ، والذي يفسر بوجود مناطق تشابك بين العصبات على مستوى المادة الرمادية، تسمى سينابسات Les synapses .

★ لنحسب مدة التأخير السينابسي T:

• سرعة السيالة العصبية بدون سينابس هي $V_1 = 20\ m/s$.

• الزمن الذي تستغرقه السيالة العصبية لقطع المسافة بين P_2 وP_3 بوجود السينابس هو t_1: $t_1 = 0.25\ ms$.

• الزمن الذي تستغرقه السيالة العصبية لقطع المسافة بين P_2 وP_3 بغياب السينابس هي t_2:

$$t_2 = \frac{\Delta d}{V_1} = \frac{2.10^{-3}}{20} = 1.10^{-4}\ s = 0.1\ ms$$

إذن التأخير السينابسي هو T: $T = t_1 - t_2 = 0.25 - 0.1 = 0.15\ ms$

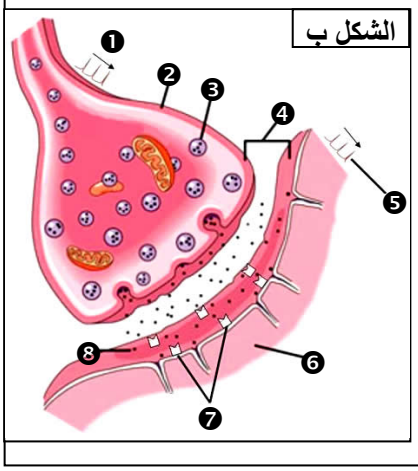
ب – دراسة السينابس

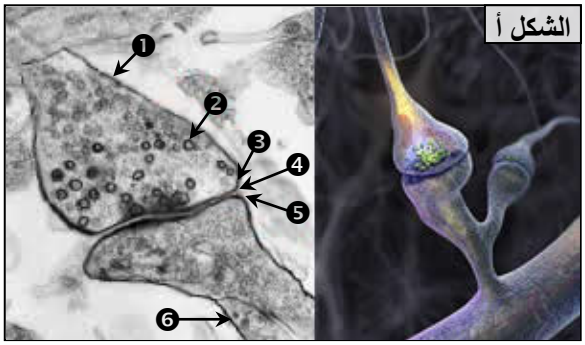
a – ملاحظات مجهرية: أنظر الوثيقة 22

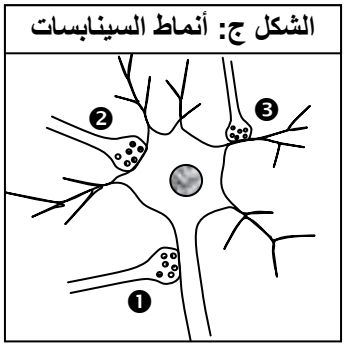
الوثيقة 22: بنية وأنماط السينابس

يعطي الشكل أ من الوثيقة صورة الكترونوغرافية لنقطة اشتباك عصبي. وصورة توضيحية لهذه البنية. كما يعطي الشكل ب رسم تفسيري لبنية السينابس.

بعد إعطاء الأرقام المناسبة لعناصر الوثيقة، صف بنية السينابس.







Moutamadris.ma

الأسماء المناسبة لعناصر الوثيقة:

★ الشكل أ: ❶ = عصبة قبل سينابسية، N.présynaptique ❷ = حويصلة سينابسية Vésicule synaptique
❸ = غشاء قبل سينابسي، ❹ = حيز سينابسي، ❺ = غشاء بعد سينابسي، ❻ = عصبة بعد سينابسية

★ الشكل ب: ❶ = جهد عمل قبل سينابسي، ❷ = حبة سينابسية Bouton synaotique، ❸ حويصلة سينابسية
❹ = حيز سينابسي، ❺ = جهد عمل بعد سينابسي، ❻ = عصبة بعد سينابسية،
❼ = مستقبلات غشائية، ❽ = 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:

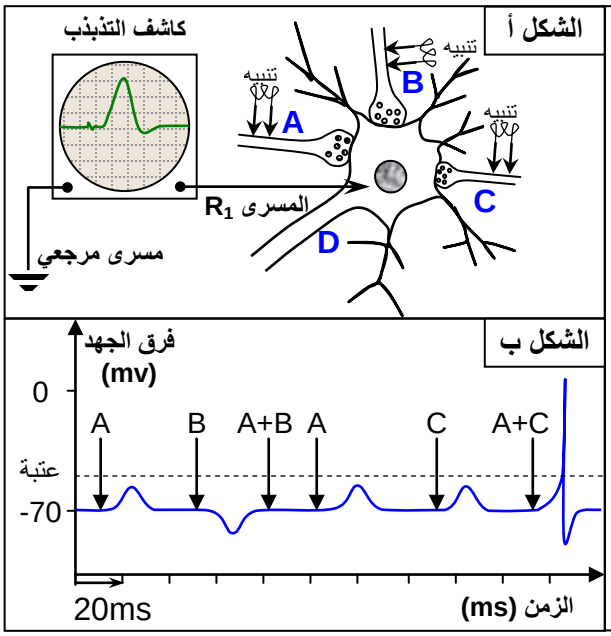
- عندما ترتبط العصبة بعصبات أخرى نتكلم عن سينابس عصب عصبية أو بيعصبية Synapse neuro-neuronique.
ونميز في هذه الحالة:
  - ✓ سينابس تمحورية Synapse axo-axonique. (❶)
  - ✓ سينابس محور جسدية Synapse axo-somatique. (❷)
  - ✓ سينابس محور تفرعية Synapse axo-dendritique. (❸)
- عندما ترتبط العصبة بعضلة نتكلم عن سينابس عصب عضلية Synapse neuro-musculaire تسمى كذلك صفيحة محركة Plaque motrice.
- عندما ترتبط العصبة بغدة نتكلم عن سينابس عصب غدية Synapse neuro-glandulaire.

c – وظيفتي الكبح والتهييج للسينابس: أنظر الوثيقة 23

الوثيقة 23: وظيفتي الكبح والتهييج للسينابس

يمثل الشكل أ من الوثيقة رسم تخطيطي مبسط لتشابك ثلاثة ألياف عصبية A وb وc مع عصبة D عن طريق سينابسات، وكل ليف مرتبط بمنبه معزول.
بواسطة المسرى R_1 الذي أدخل في الجسم الخلوي للعصبة D، نقيس جهد الغشاء في الحالات الثلاث التالية:
الحالة ①: تهييج النهاية العصبية A، الحالة ②: تهييج النهاية العصبية B، الحالة ③: تهييج النهاية العصبية C،
الحالة ④: تهييج نهايتي A وB، الحالة ⑤: تهييج نهايتي A وC.
نحصل على النتائج المبينة على الشكل ب من الوثيقة.

1) ماذا تستنتج إذا علمت أن تهييج العصبة D لا يعطي استجابة عند العصبات A وB وC؟
2) ماذا تستنتج من تحليل هذه النتائج؟
3) ما هي التسجيلات المتوقعة عند تهييج B وC ثم A وB وC؟



Moutamadris.ma

1) بما أن تهييج D لا يؤدي إلى ظهر جهد عمل على العصبات A وb وC، فهذا يعني أن السيالة العصبية لا تنتقل عبر السينابس إلا في اتجاه واحد، من العصبة القبل 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 كابح (PPSI) = Potentiel post-synaptique inhibiteur.
- العصبتين A وB معا في آن واحد لا يعطي أي تغيير في فرق الجهد عند العصبة D.
- العصبتين A وC 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 لجهدي الكبح والتهييج (PPSI وPPSE):

✌ 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.

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

3) التسجيلات المتوقعة عند:

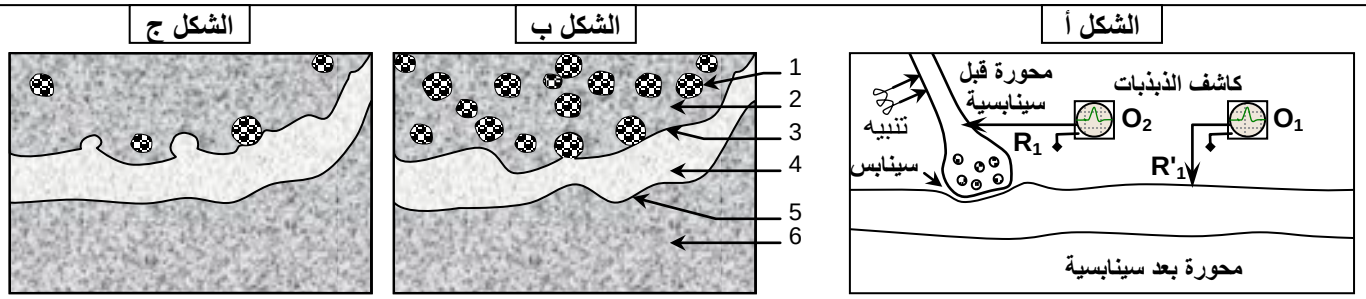
- تهييج B وC في آن واحد لا يعطي أي تغيير في فرق الجهد عند العصبة D.
- A وB وC في آن واحد ظهور جهد بعد سينابسي مهيج (PPSE) على العصبة D.

ب – آلية التبليغ السينابسي

a – معطيات تجريبية: أنظر الوثيقة 24

الوثيقة 24: آلية التبليغ السينابسي

لفهم آلية التبليغ السينابسي أجريت عدة تجارب على سينابس عملاق للخداق. ويمثل الشكل أ من الوثيقة رسما تخطيطيا للعدة التجريبية المستعملة. والشكل ب رسم تخطيطي لنفس السينابس 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 للسينابس 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 Acétylcholine 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 الكلسيوم Ca^{2+} من الوسط الذي غمرنا فيه العصبتين، وعندما نهيج نسجل جهد عمل على مستوى O_2 فقط، كما أن الملاحظة المجهرية للسينابس تبين المظهر الممثل بالشكل ب.
4) ماذا تبين هذه التجربة؟

Moutamadris.ma

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

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

b – تحليل المعطيات التجريبية:

1) الأسماء المناسبة لأرقام الوثيقة:

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

2) نستنتج من ملاحظة الشكل ج مقارنة بالشكل ب أن التبليغ السينابسي مرتبط بتفريغ الحويصلات السينابسية في الحيز السينابسي.

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

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

5) تفسر هذه التجربة بكون دخول ايونات Ca^{2+} إلى الحبة السينابسية يسبب تحرير المبلغ العصبي المتواجد بالحويصلات السينابسية في الحيز السينابسي، وبالتالي ظهور جهد عمل بعد سينابسي.

6) آلية التبليغ السينابسي:

- بعد الاهاجة تنتقل السيالة العصبية عبر المحورة إلى أن تصل إلى الحبة السينابسية فتؤدي إلى انفتاح قنوات Ca^{2+} ودخول الكالسيوم إلى الحبة السينابسية.
- يحفز الكالسيوم التحام الحويصلات السينابسية مع الغشاء قبل السينابسي وبالتالي إفراز المبلغ العصبي بالحيز السينابسي.
- يثبت المبلغ العصبي على مستقبلات خاصة به مدمجة في الغشاء بعد السينابسي، الشيء الذي يؤدي إلى انفتاح قنوات بروتينية خاصة ب Na^+ وK^+ وبالتالي ظهور جهد عمل بعد سينابسي.
- ينفصل المبلغ العصبي عن مستقبلاته تحت تأثير أنزين خاص، فتنغلق قنوات Na^+ وK^+.

c – السينابس الكابح والمهيج:

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

- السينابس المهيجة:
يؤدي المبلغ العصبي إلى انفتاح قنوات Na^+ وK^+ الشيء الذي يسمح بدخول Na^+ وخروج K^+وبالتالي نشوء موجة إزالة الاستقطاب على مستوى العصبة بعد السينابسية.

- السينابس الكابحة:
يؤدي المبلغ العصبي إلى انفتاح قنوات Cl^- وK^+ الشيء الذي يسمح بدخول مكثف لأيونات Cl^- وخروج أيونات K^+ وبالتالي نشوء استقطاب مفرط على مستوى الغشاء بعد السينابسي، وهو جهد بعد سينابسي كابح.

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

Moutamadris.ma