فيزيولوجيا الجهاز العصبي

Nervous System

المحاضرة
10

المراجع المعتمدة

- الاطلاع على المراجع:

- Ref1: Walter F. Boron, Emile L. Boulpaep, Medical Physiology. Updated Edition, 2006, p: 555-584.
- Ref 2: Bruce R. Johnson PH.D, Human Physiology, 5th edition, 2010, p: 246-383.
- Periodical: The Journal of Physiology, monthly journal.

العناوين الرئيسية:

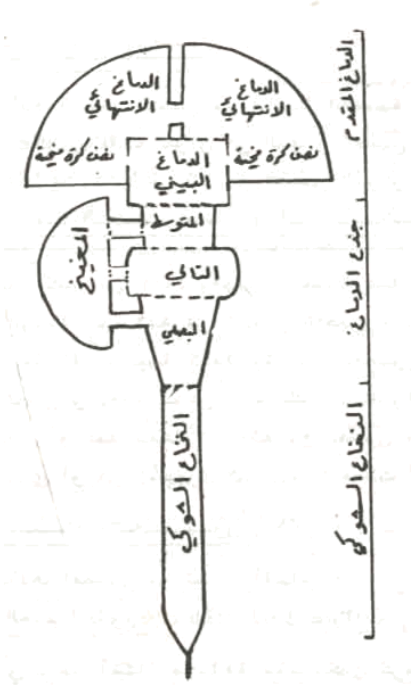
1- مقدمة
2- بنية العصبون
3- أنواع العصبونات
4- البناء الوظيفي العام
5- المستويات الوظيفية الثلاث للجهاز العصبي المركزي
6- فيزيولوجيا الأعصاب
7- خصائص الألياف العصبية
8- المنبهات وأنواعها
9- الطواهر الكهربائية في الألياف العصبية
10- فيزيولوجيا المشابك
11- التشريح الفيزيولوجي للمشبك
12- أنواع المشابك

1. مقدمــة:

تعمل مختلف أعضاء الجسم بشكل متكامل لتؤمن الوظائف الحيوية للعضوية بحيث تستمر في حياتها بتوازنٍ مع بيئتها الداخلية والخارجية. يسيطر على توازن العمل والتكامل على مختلف المستويات جهازين – الغدد الصم والجملة العصبية.

تعمل الغدد الصم على تنظيم الوظائف الاستقلابية في الجسم بينما الجهاز العصبي يتحكم بتنظيم عمل الغدد الصم وتكامل عمل الأجهزة وتوازنها مع تغيرات الوسطين الداخلي والخارجي.

يتلقى الجهاز العصبي المعلومات من أعضاء استقبال نوعية منتشرة في الجسم حيث تخضع المعلومات للتحليل والدراسة, ثم اتخاذ القرار المناسب ليصار إلى إصدار أوامر التنفيذ إلى الأعضاء.



الشكل 1. رسم تخطيطي يبين أقسام الجهاز العصبي المركزي عند الإنسان.

تشريحياً: يقسم الجهاز العصبي إلى قسمين:

- **محيطي**, ويشمل الأعصاب المحيطية وجذورها وهي الأعصاب القحفية والأعصاب الشوكية وأعصاب الجملة العصبية الذاتية الودية واللاودية.
- **مركزي**, ويتألف من:

I - **الدماغ** الذي يشمل:

1- المخ: ويضم نصفي الكرتين المخيتين، يفصلان عن بعضهما بشق أمامي خلفي ويتصلان بالجسم الثفني. القشر سنجابي اللون ويحوي أثلاماً بينها تلافيف تزيد من مساحة السطح. يوجد شقان هما شق رولاندو أو الشقالمركزي,

وهو عمودي على المحور الأمامي الخلفي، وشق سلفيوس الممتد من الأمام إلى الخلف على الوجه الجانبي، مما يحدد الفصوص وهي الفص الجبهي، الجداري، الصدغي، القفوي, وفص الجزيرة أو المركزي.

ويضم المخ كذلك الدماغ البيني الذي يتألف من المهاد وهو نواة عصبية كبيرة، والوطاء وهو مجموعة نوى عصبية.

2-جذع الدماغ: ويتألف من الحدبات التوأمية الأربع، الجسم الركبي الأنسي والوحشي، الجسر، التشكيل الشبكي والبصلة.

3- المخيخ: يقسم إلى نصفي كرة مخيخية, وفص متوسط هو الدودة, وقسم ثالث في الأسفل هو الفص الندفي أو العقدي. يحوي مجموعة من النوى العصبية.

II- النخاع الشوكي: يملأ النفق الفقري وينتهي عند اتصال الفقرة القطنية الأولى مع الثانية, يتصل مع 31 زوج عصبي شوكي، الجذر الخلفي لهذه الأعصاب حسي, والأمامي محرك. تجوف القناة السيسائية النخاع الشوكي.

الجهاز العصبي مرتب بحيث القطعة العلوية تسيطر على القطع الأسفل.

يتكون الجهاز العصبي عند الإنسان **نسيجياً** من مجموعة من الخلايا العصبية تدعى العصبونات, ويقدر عددها بحوالي 100بليون عصبون NEURONE.

يمثل العصبون الوحدة الوظيفية في الجهاز العصبي. تستقل العصبونات عن بعضها استقلالاً تاماً, ولا يتصل عصبون بآخر إلا من خلال مناطق اتصال وظيفية تدعى المشابك SYNAPSES.

تحيط بالعصبونات خلايا مشابهة لها لكنها لا تملك القدرة على إطلاق السيالة العصبية أو نقلها وتشكل هذه الخلايا ما يسمى بالدبق العصبي الذي يؤمن:

1- العزل الكهربائي.
2- تساهم في تشكيل الهيكل الاستنادي للخلايا العصبية.
3- التغذية الكافية للعصبونات.
4- ترميم العصبونات عند الإصابة.
5 - بلعمة الخلايا الآخذة بالانحلال.

2. بنية العصبون:

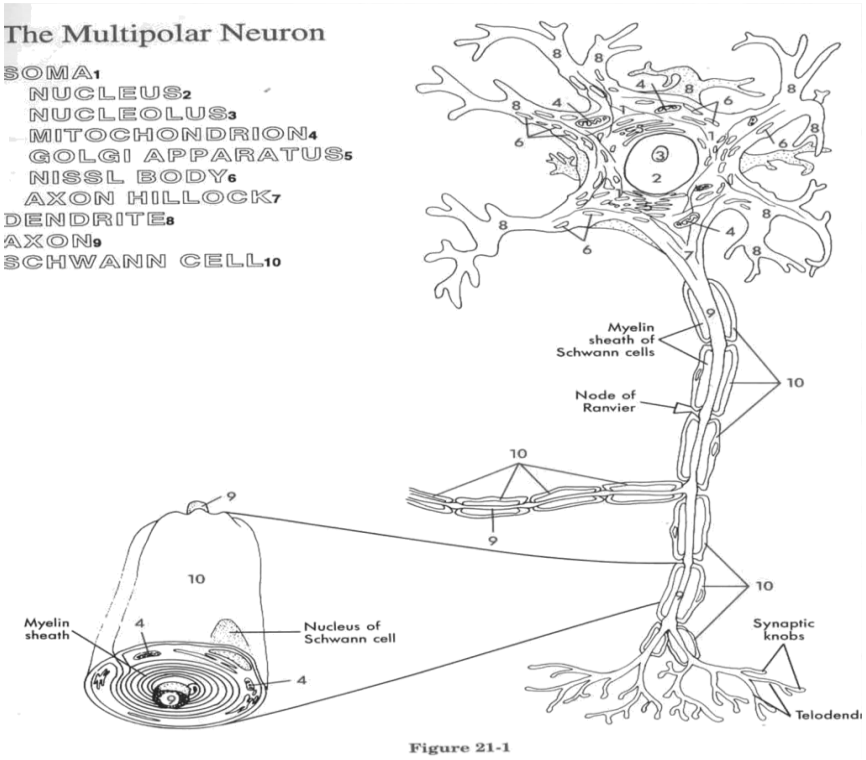
يتألف من3 أقسام هي جسم الخلية، الاستطالات الخلوية، المحور أو الليف العصبي.

1-الجسم الخلوي Cell body: يأخذ أشكالاً وأحجاماً مختلفةً, فقد يكون كروياً أو نجمياً أو مغزلياً، صغيراً أو كبيراً، يحتوي على نواة ونوية، يحيط بالخلية غشاء تقع ضمنه اللحمة العصبية وتحوي جهاز غولجي ومتقدرات وأجزاء خاصة بالخلية العصبية, وهي:

- جسيمات نيسل: عبارة عن حبيبات تحوي أحماضاً نووية ريبية RNA، موجودة في جسم الخلية والاستطالات وغير موجودة في المحور ولها دور في صناعة بروتينات الخلية العصبية.
- لييفات عصبية: موجودة في كامل الخلية العصبية.

لا تحوي الخلية العصبية جسيماً مركزياً فهي لا تنقسم، لبعضها مشابك كثيرة وبعضها الآخر أقل ارتباطاً.

تتوضع أجسام الخلايا في المادة الرمادية في الجهاز العصبي وفي النوى والعقد العصبية.



الشكل 2. بنية العصبون

1-الهيولى
2- النواة
3- النوية
4-المتقدرات
5- جهاز كولجي
6- جسيم نيسل
7- جذر المحوار
8- الاستطالات الخلوية
9-المحوار
10- خلايا شوان

2- الاستطالات الخلوية: dendritis

وهي عبارة عن فروع قصيرة وكثيفة تشكل شجرة التغصنات, تخرج من جسم الخلية العصبية، تبدي تفرعات ثانوية وهي تستقبل السيالة العصبية.

3- المحور العصبي (المحوار):axon

هو امتداد مفرد يخرج من الخلية، مختلف الطول من عدة ميكرونات حتى أكثر من متر، يعطي تفرعات جانبية ونهايات تعرف بالأزرار الانتهائية تحوي حبيبات مليئة بالوسيط الكيميائي. يقوم بنقل السيالات العصبية من جسم الخلية العصبية إلى الفروع الانتهائية.

يتركب الليف العصبي مـــن:

I- **المحور الأسطواني:** يشغل مركز المحور ويغلف بغشاء هو امتداد لغشاء الخلية العصبية، تتم عبره المبادلات الشاردية التي ترافق سير السيالة العصبية. يتميز الغشاء بالنفوذية الانتقائية للشوارد مما يجعل تراكيزها مختلفة على جانبيه, ويحدث فرقاً في الكمون بين المحور والوسط الخارجي.

II- غمد النخاعين:

مادة دهنية فوسفورية تحيط بالمحور الأسطواني بشكل وريقات دائرية، ثخانة الغمد مختلفة, فقد تكون ثخينة في بعض الألياف وتأخذ لوناً أبيضَ, وتدعى الألياف النخاعينية Myelinated fiber, وتوجد في الألياف الجسمية المحيطية والذاتية قبل العقدية وفي أجزاء الجهاز العصبي المركزي التي تشكل ما يعرف بالمادة البيضاء, وهناك ألياف لانخاعينية Unmyelinated fiber غير مغمدة بالنخاعين.

لا يكسو غمد النخاعين كل الليف العصبي, فبدايته وتفرعاته الانتهائية غير محاطة بالغمد. أيضاً فإن الغمد غير متواصل إذ ينقطع على مسافات معينة باختناقات تدعى عقد رانفييه، تحدد قطعاً بطول 1مم. تخرج الفروع الجانبية من هذه العقد.

ينشأ غمد النخاعين من غمد شوان ويشكل طبقة عازلة تساعد على سهولة انتشار السيالة العصبية، تتميز الألياف النخاعينية بسرعة نقل عالية إذ لا يتشكل كمون العمل فيها إلا عند عقد رانفييه, وتنتقل السيالات بشكل قفزي بين العقد وهذا يزيد من سرعة النقل مع توفير الطاقة لأن المضخات التي تعيد توازن الشوارد تحتاج إلى طاقة، وتعمل فقط في مواقع العقد وليس على طول الليف.

لا تتكامل الألياف النخاعينية وظيفياً إلا بعد تكامل بنائها وتغطيتها بغمد النخاعين.

III – غمد شوان:

عبارة عن غلاف رقيق شفاف يحوي نوى عديدة ويحيط بالنخاعين في الألياف النخاعينية بحيث يكون لكل قطعة نواة, ويحيط بالمحور الأسطواني للألياف اللانخاعينية، يبقى غمد شوان محيطاً بالمحور حتى ضمن عقد رانفيه.

لا يغطي غمد شوان كل الليف العصبي بل يتوقف عند اتصاله مع جسم الخلية وفي الفروع الانتهائية بنقطة أبعد قليلاً من نقطة توقف غمد النخاعين في جسم الخلية.

تكمن أهمية غمد شوان في أن الألياف المحاطة به قابلة للتجدد بخلاف الألياف في الجملة العصبية المركزية غير المحاطة به والتي لا تكون قابلة للتجدد.

3. أنواع العصبونات:

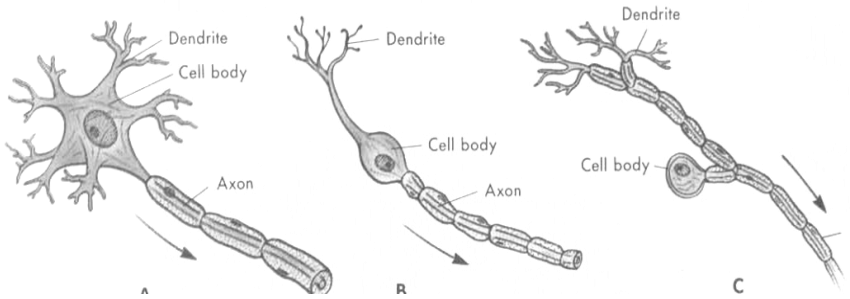
من الناحية الشكلية يمكن تصنيف العصبونات اعتماداً على الاستطالات التي تملكها إلـــى:

أ-**عصبونات متعددة الأقطاب** Multipolar neuron لها محور واحد طويل مع عدة استطالات خلوية.

ب- **عصبونات ثنائية القطب** Biopolar neuron: لها استطالة واحدة بالإضافة لمحورها الخلوي.

ت- **عصبونات أحادية القطب** Unipolar neuron: لها محور خلوي واحد يتشعب إلى شعبتين مما يعطي الخلية شكل حرف T.

ومهما كان الشكل فالاستطالات الخلوية تتلقى السيالات الواردة, والمحوار العصبي هو الوحيد الذي ينقل السيالة العصبية إلى الفروع الانتهائية.



الشكل3. تصنيف العصبونات حسب الأقطاب

a- عصبون عديد الأقطاب.

b- عصبون ثنائي القطب. c- عصبون وحيد القطب

من الناحية **الوظيفية** هناك 3 أنواع من العصبونات:

عصبونات حسية: تتلقى المعلومات وتنقلها إلى الجملة العصبية المركزية, وهي من النمط أحادي أو ثنائي القطب. من ثنائية القطب خلايا في الشبكية والنواة السمعية والدهليزية والشمية، تتوضع أجسامها خارج الجملة العصبية المركزية. أما العصبونات الحسية أحادية القطب فتتوضع أجسامها في العقد الشوكية للجذور الظهرية الشوكية, وفي نوى الأعصاب القحفية وتنقل الإحساسات من الجلد والأحشاء والعضلات.

تتفرع استطالة العصبون إلى فرع محيطي يتجه إلى الأعضاء المستقبلة في الجلد أو الأحشاء أو العضلات, أما الفرع المركزي فيتجه إلى المركز وينتهي في العصبونات البينية أو الحركية.

عصبونات حركية: عديدة الأقطاب، تقع أجسامها في المادة الرمادية, وتغادر محاورها عبر الجذر الأمامي للنخاع الشوكي والأعصاب الشوكية, وتنقل الأوامر من الجملة العصبية المركزية إلى الأعضاء الهدفية.

عصبونات بينية: متعددة الأقطاب تتوضع ضمن الجملة العصبية المركزية, ولا ترسل محاورها للمحيط إطلاقاً, وهي أكثر من النوعين السابقين مجتمعين.

الخصائص البيولوجية للعصبون:

تتمتع الخلية العصبية بجملة خصائص حيوية خاصة:

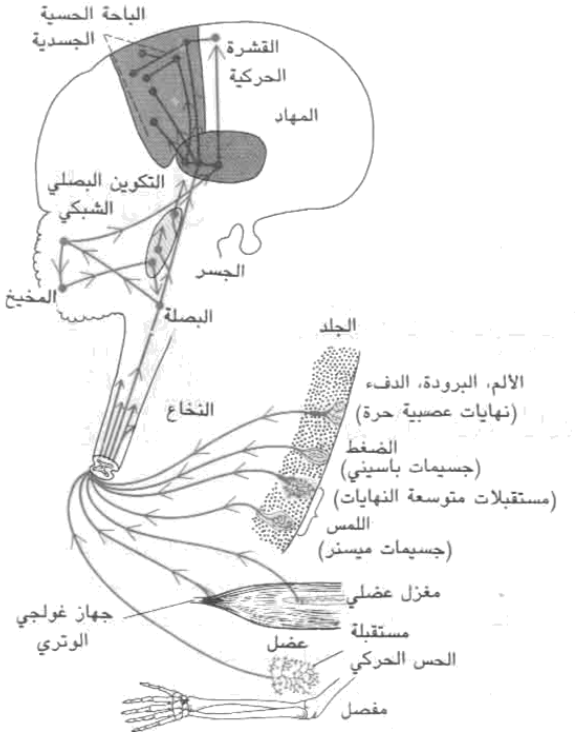
1. عدم إمكانية تجدد جسم الخلية التالفة, إذ يولد الإنسان ومعه عدد محدد من الخلايا العصبية (اكتشف مؤخراً إمكانية تجدد خلايا الحصين).
2. شكل العصبون عند الولادة غير نهائي, إذ يمكن أن تتشكل استطالات وتفرعات جانبية أو انتهائية تحت تأثير عوامل البيئة.
3. تتأذى الخلية العصبية بشدة من نقص الأكسجة.
4. يستهلك العصبون الغلوكوز فقط.
5. الألياف العصبية المحيطية قابلة للتجدد لأنها محاطة بغمد شوان بخلاف الألياف العصبية المركزية.

4. البناء الوظيفي العام:

ذكرنا سابقاً أن لوظائف الجملة العصبية المركزية 3 مراحل:
حسـية، حركـية، دمج المعلومـات (الشكل 4).

- **القسم الحسي للجهاز العصبي:** مستقبلات منتشرة في الجسم أو مجتمعة في أعضاء استقبال خاصة تتلقى المعلومات لتولد ارتكاس فوري أو تختزن المعلومات في الذاكرة بعد دخولها عبر طرق خاصة للنخاع الشوكي ومنه إلى مراكز أعلى "التشكيل الشبكي في البصلة والجسر، الدماغ المتوسط، المخيخ، الوطاء، باحات الحس في القشرة ".
- **القسم الحركي:** يعمل على إحداث التقلص في العضلات الهيكلية أو تقلص في العضلات الملس للأعضاء الداخلية أو إفراز الغدد الصم، يتحكم الجهاز العصبي الذاتي بالوظيفتين الأخيرتين.
- **معاملة المعلومات:** وهي الوظيفة الأساسية للجهاز العصبي, إذ يعمل على معاملة المعلومات الواردة بطريقة تسمح بحدوث استجابة حركية مناسبة.

يهمل الدماغ 99 % من المعلومات الواردة إليه لأنها غير مهمة، ويختار المعلومات الهامة ويرسلها إلى المراكز المسؤولة لتعطي الاستجابة المطلوبة, وهذا ما يسمى الدمج, أي إدخال المعلومة في مسارها.



الشكل 4.البناء الوظيفي العام للجملة العصبية.

تلعب المشابك دوراً هاماً في معاملة المعلومات, فهي ليست فقط ممراً لها وإنما يمكنها أن تهمل معلومات أو بالعكس تقوي بعض الإشارات أو توجه بعض الإشارات في طرق محددة. قسم من المعلومات يختزن في الذاكرة بظواهر مشبكية.

5. المستويات الوظيفية الثلاث للجهاز العصبي المركزي:

1) **مستوى النخاع الشوكي**
2) **مستوى الدماغ السفلي**
3) **المستوى القشري الدماغي**

1- **مستوى النخاع الشوكي:** النخاع الشوكي ليس فقط طريقاً لنقل الإشارات بين المحيط والمركز, لكنه يقوم بوظائف عديدة, ويمكن القول أن المراكز العليا لا ترسل دفعاتها إلى المحيط مباشرةً وإنما إلى مراكز التحكم في النخاع الشوكي أي أنها تأمر النخاع الشوكي لينجز وظائفه.

2- **المستوى السفلي للدماغ:**

البصلة والجسر، الدماغ المتوسط، الوطاء والمهاد، والنوى القاعدية, هذا المستوى مسؤول عن مختلف نشاطات الجسم دون الوعي: تنظيم الضغط الشرياني والتنفس والتوازن والمنعكسات المتعلقة بالطعام والجنس والعواطف.

3- **المستوى العلوي للدماغ:**

يعطي وظائف المستوى السفلي معناها, ويحول الوظائف اللاشعورية إلى أفعال محددة, وهو يعمل بشكل متكامل مع المراكز السفلى.

كل قسم من الجهاز العصبي يقوم بوظائف محددة، فالنخاع يقوم بوظائف الدمج, والمناطق السفلى تقوم بوظائف مادون الوعي، أما القشر فهو المهيمن, وهو النافذة على العالم.

6. فيزيولوجيا الأعصاب:

تجتمع عدة ألياف عصبية لتشكل حزمة عصبية, وتجتمع الحزم لتشكل الأعصاب. فالأعصاب عبارة عن حبال بيض صدفية اللون إذا كانت نخاعينية, مختلفة الأقطار والأطوال ولكل عصب غمد خاص به شديد التوعية الدموية.

تقسم الأعصاب من الناحية الوظيفية إلى:

1- **أعصاب حسية:** تنقل السيالة العصبية من المحيط إلى المركز.
2- **أعصاب حركية:** تنقل السيالة من المركز إلى المحيط.
3- **أعصاب مختلطة:** تحوي ألياف حسية وألياف حركية مثل الأعصاب الشوكية.

7. خصائص الألياف العصبية:

تتميز الألياف العصبية بـ: الاستثارية والتوصيلية.

1. الاستثارية أو قابلية التنبيه Exitability: قابلة للتأثر حتى بالمنبهات الضعيفة.
2. قابلية النقل أو التوصيل Conductivity: أي قدرة الألياف على نقل التنبيه المتشكل من مكان حدوثه إلى أنحاء الخلية العصبية كلها. تنقل السيالة العصبية على طول المحور وتنتقل بسرعة ثابتة وتتطلب طاقة.

8. المنبهات وأنواعها:

المنبه: هو كل تبدل في الوسط الخارجي أو الداخلي يؤثر على استقرار المادة الحية. تقسم حسب طبيعتها إلى:

منبهات كيميائية: هي التغيرات الكيميائية التي تحصل في محيط الأنسجة الحية منها: O2، pH، +H، تراكيز المواد المنحلة في اللعاب وتراكيز مختلف المواد ذات الرائحة المنحلة في مخاط في الغشاء الشمي.

منبهات فيزيائية: كل تغير فيزيائي يحصل في محيط العضوية.

- ميكانيكية: وخز، ضغط، شد، سحق.
- حرارية: ارتفاع درجة الحرارة أو انخفاضها.
- كهرطيسية: وتتحسس لها مستقبلات الرؤية في العين.
- شعاعية: الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء والأشعة المهبطية.

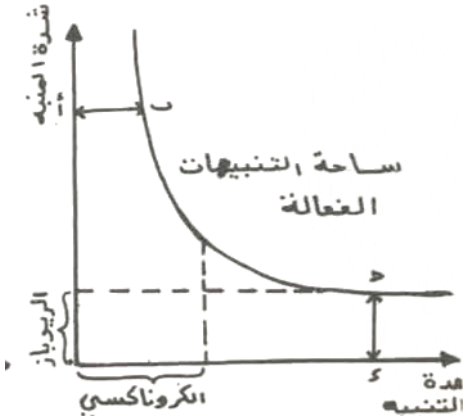
عناصر المنبهات:

لكي يستطيع المنبه توليد استجابة في نسيج ما يجب أن يملك عناصر ضرورية:

1. **أن يملك شدة معينة:** والمنبه الأصغري هو أضعف منبه يحدث أثراً، وهو يختلف من عصب لآخر, ومن هنا مفهوم حساسية العصب، كلما صغرت العتبة الحدية اللازمة لتنبيه العصب ازدادت حساسيته. اصطلح على تسمية أضعف شدة منبه يولد استجابة في العصبون عندما يطبق لفترة غير محدودة **الريوباز** rheobase وهو وحدة قياس شدة التنبيه.

2. **أن يطبق لمدة معينة:** لتتولد استجابة إثر تطبيق منبه يجب أن يستمر تطبيقه مدة معينة. وأقصر زمن لازم لمنبه كي ينبه نسيجاً معيناً هو **زمن الاستهلاك المفيد.** كلما طالت المدة قلت الشدة اللازمة لإحداث التنبيه.

لمقارنة سرعة قابلية التنبه بين النسج أُوجد مفهوم **الكروناكسي**, وهو الزمن اللازم لحدوث تنبيه في نسيج ما عندما يمر تيار شدته ضعف الريوباز (الشكل 5).



الشكل5. منحنى الشدة- المدة

3. **أن يملك تسارعاً:** يتميز الليف العصبي بالتكيف، فكلما استمر المنبه في التأثير ازداد تدريجياً الحد العتبوي اللازم للتنبيه.

فإذا كانت سرعة التكيف أكبر من تسارع المنبه فلن يحدث التنبيه مهما ازدادت الشدة. تختلف الأعصاب بسرعة تكيفها.

9. الظواهر الكهربائية في الألياف العصبية:

تصدر العصبونات سيالات عصبية, وتنقلها بشكل يشبه الدارات الكهربائية بحيث تتلقى التغصنات الهيولية السيالات العصبية الواردة إليها، وتصدر عن العصبونات سيالات بوساطة المحور الأسطواني لتصل إلى مشبك عصبي، والذي بدوره يملك اتجاهاً وحيداً، من الغشاء قبل المشبك إلى الغشاء ما بعد المشبك.

قدرة العصبون على إصدار ونقل السيالات العصبية مرتبطة بظاهرة استقطاب الغشاء في حالة الراحة (كمون الراحة) وفي حالة العمل (كمون العمل).

الظواهر الكهربائية لليف العصبي في حالة الراحة- كمون الراحة Membrane potential

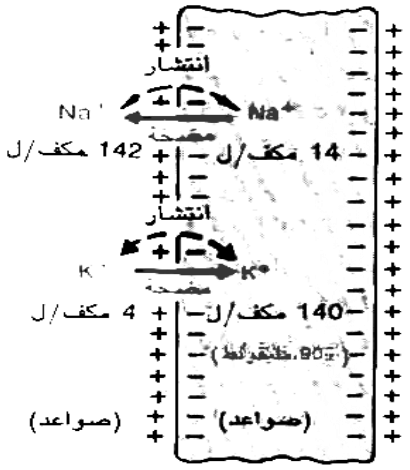
إذا وضعنا قطبين كهربائيين على سطح ليف عصبي في حالة الراحة موصولين بمقياس غلفاني حساس نجد أن جميع النقاط على سطح الليف متساوية في الجهد, وكذلك إذا وضعنا كلا القطبين داخل الليف.

لكن إذا تركنا أحد القطبين في الداخل والآخر في الخارج تسجل إبرة المقياس انحرافاً دالة على مرور تيار كهربائي من السطح إلى الداخل يدعى تيار الراحة أو كمون الراحة, ويعادل –90 ميلي فولت أي أن سطح الليف العصبي يحمل شحنة موجبة, في حين أن داخل الليف يحمل شحنة سالبة. وهذا يعود إلى توزع الشوارد بتراكيز مختلفة على جانبي الغشاء.

شوارد الصوديوم خارج الليف توجد بتركيز 142 ميلي مكافئ / لتر, وداخل الليف 14 ميلي مكافئ/ لتر، الكلور خارج الليف 103 ميلي مكافئ /لتر, داخل الليف 3-4 ميلي مكافئ/ لتر, بينما شوارد البوتاسيوم داخل الليف 140 ميلي مكافئ/لتر, ولا يتجاوز تركيزها خارج الليف 4 ميلي مكافئ/لتر.

إن نفوذية الغشاء مختلفة لكل من الشوارد, فإذا افترضنا أن نفوذية الصوديوم1، تكون نفوذية البوتاسيوم100 والكلور 50.

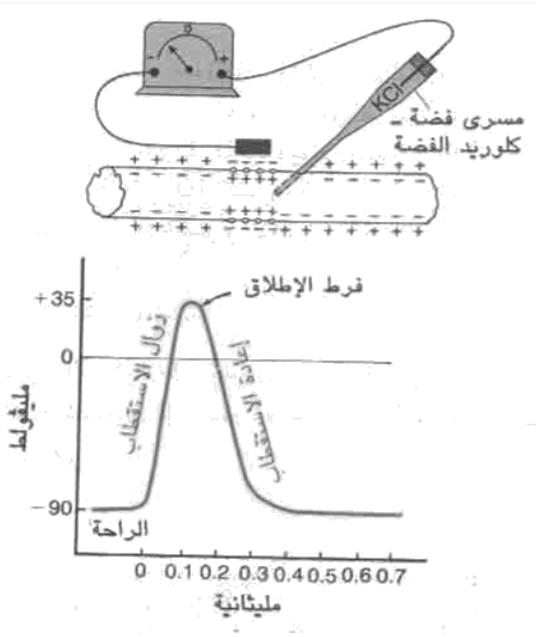
يؤدي هذا التركيز للشوارد على طرفي الغشاء إلى كمون يعادل -86 بحيث السالب داخل الخلية.



الشكل 6. كمون الراحة في الليف العصبي, ودور K^+,Na^+ وNa^+- K^+ ATPase.

دور مضخة الصوديوم- البوتاسيوم في كمون الراحة : Na^+- K^+ ATPase

تعمل هذه المضخة باستمرار على إخراج 3 شوارد صوديوم لخارج الليف العصبي, وإدخال شاردتي بوتاسيوم، تعزز الكمون السابق ليصبح-90ميلي فولت وهو كمون الراحة على جانبي الغشاء (الشكل 6).



الشكل 7. مخطط كمون العمل.

الظواهر الكهربائية أثناء كمون العمل Action potential**, وأسسه الشاردية:**

عندما ينبه ليف عصبي بمنبه كهربائي, يحدث تغير سريع ومفاجئ في كمون الراحة للغشاء إذ ينعكس هذا الكمون من كمون الراحة السلبي إلى كمون إيجابي, ويعود بنفس السرعة إلى وضعية كمون الراحة.

ينتشر كمون العمل هذا على طول الليف. ويمكن بمقياس حساس تسجيل كمون العمل ويظهر لدينا بالتخطيط الشكل التالي (الشكل 7): يرتفع الكمون من – 90 إلى – 60 وعند هذه النقطة يحصل زوال استقطاب بشكل انفجاري فيصل الكمون إلى الصفر أو ينقلب إلى إيجابي ليعود بعدها وبسرعة إلى – 60, ويستمر بشكل أبطأ أيضاً حتى – 90 mv, ويبدي فرط استقطاب متأخر حتى – 100 ميلي فولط, ليعود إلى مستوى الراحة – 90 ميلي فولط.

الأسس الشاردية لكمون العمل: يقسم كمون العمل إلى 3 مراحل:

أ- زوال الاستقطاب: depolarization

تزداد نفوذية الغشاء للصوديوم بشكل فجائي فتتدفق كميات كبيرة من شوارد الصوديوم إلى داخل الليف, وتحول كمون الراحة السلبي إلى إيجابي, فيرتفع الكمون بالاتجاه الموجب ويسمى زوال الاستقطاب, في الألياف الكبيرة يتجاوز الصفر ليصبح إيجابياً حتى + 35, وفي الألياف الأصغر يبقى في مستوى الصفر. تبلغ فترة زوال الاستقطاب حوالي (0.3-0.4) ميلي ثانية. تنجم الزيادة في نفوذية الصوديوم عن انفتاح أقنية الصوديوم السريعة.

ب- مرحلة عودة الاستقطاب: repolarization

بعد النفوذية الشديدة للصوديوم بسبب انفتاح أقنية الصوديوم لأجزاء من الميلي ثانية تنغلق هذه الأقنية فيتوقف تدفق الصوديوم, وتنفتح أقنية البوتاسيوم فتنتشر شوارد البوتاسيوم باتجاه خارج الليف ويعود الكمون داخل الخلية إلى السالب, ويحدث ما يسمى بعودة الاستقطاب ومدته 0.5 ميلي ثانية.

ج- مرحلة فرط الاستقطاب: hyperpolarization

يصبح الكمون أكثر سلبية في هذه المرحلة ويصل حتى – 100 ميلي فولت ويستمر لفترة 40 – 60 ميلي ثانية, ويعود ذلك إلى بقاء عدد من أقنية البوتاسيوم مفتوحة بعد مرحلة عودة الاستقطاب مما يؤدي إلى خروج مفرط لشوارد البوتاسيوم لخارج الليف العصبي ويزداد بالتالي الكمون السلبي داخل الليف مما يرفع عتبة التنبيه وتسمى بفرط الاستقطاب المتأخر. إن أهمية فرط الاستقطاب المتأخر تكمن في جعل انتشار كمون العمل باتجاه واحد يبتعد عن جسم الخلية باتجاه نهاية الليف العصبي.

عتبة التنبيه:

وهي السوية التي يصل إليها الكمون لينطلق كمون الفعل وهو في الألياف الكبيرة - 65 ميلي فولت, وفي الصغيرة أعلى من ذلك – 55 ميلي فولت أو أعلى, مما يفسر سهولة التنبيه في الألياف الكبيرة.

بعبارة أخرى عندما يكون التنبيه كافي الشدة يحدث زوال استقطاب جزئي يرفع الكمون من – 90 ميلي فولت حتى – 65 ميلي فولت, وعند هذا المستوى الحرج حوالي – 65 تنفتح جميع الأقنية مطلقة كمون العمل.

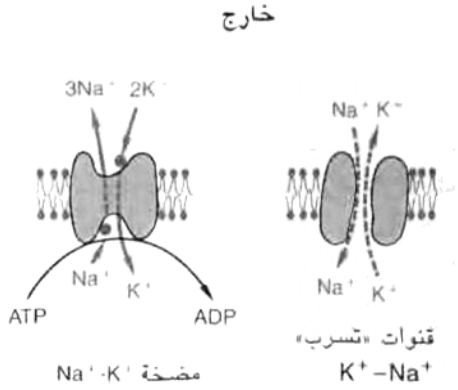
مبدأ "كل شيء أولا شيء":

عندما يصل كمون الغشاء إلى مستوى العتبة ينطلق كمون العمل في الليف ويكون بسعة عظمى وهذه السعة ثابتة في نفس الليف ولا يمكن أن تزداد مهما ازدادت شدة المنبه. إذا كانت شدة المنبه غير كافية لا يصل كمون الغشاء إلى المستوى الحرج ولا ينطلق كمون العمل.

يطبق هذا القانون على الليف العصبي والليف العضلي وعلى مجمل عضل القلب.

إعادة توزيع الشوارد الطبيعي بعد كمون العمل:

يتم إعادة توزيع الشوارد بحيث تخرج شوارد الصوديوم بينما يعود البوتاسيوم للداخل عن طريق عمل مضخة الصوديوم- بوتاسيوم التي تحتاج للطاقة في عملها. تزداد فعالية هذه المضخة عند تراكم الصوديوم داخل الخلية ويتناس بعملها طرداً مع مكعب تركيز Na^+ أي أنه عندما يتضاعف تركيز الصوديوم داخل الليف فإن فعالية الضخ تتضاعف 8 مرات.

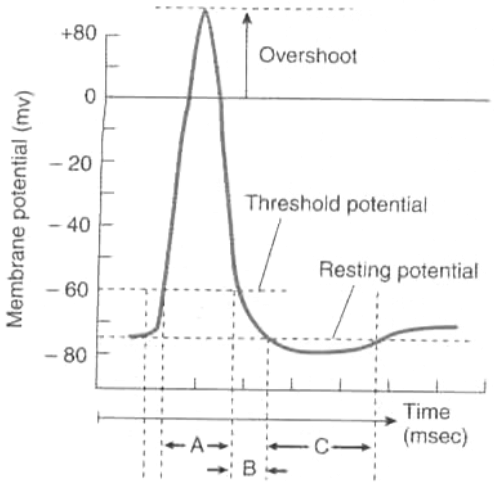


الشكل 8. عمل Na^+- K^+ ATPase

فترة العصيان:

بعد بدء كمون العمل تعطل أقنية الصوديوم ولا يمكن فتح بوابات التعطيل إلا بعد عودة كمون الغشاء إلى مستوى كمون الراحة أو مستوى قريب وبعد جزء صغير من الميلي ثانية. بعدها فقط يمكن أن ينطلق كمون عمل جديد. لذلك وخلال هذه الفترة فإن تطبيق منبه لن يؤدي إلى كمون عمل مهما كانت شدته وهذا ما يسمى العصيان المطلق. وتعادل هذه الفترة في الألياف الكبيرة 2500/1 ثانية أي يمكن لهذه الألياف أن تنقل تردد أقصى يعادل 2500/1 ثانية.

بعد فترة العصيان المطلق يمر الليف بفترة عصيان نسبي ويمكن خلالها لمنبهات أقوى من السوية أن تطلق كمون عمل والسبب هو طول انفتاح قنوات البوتاسيوم وحدوث حالة فرط الاستقطاب المتأخر مما يجعل تنبيه الليف أكثر صعوبة وتستمر هذه المرحلة 40 – 60ميلي ثانية.



الشكل 9. كمون العمل والعصيان. A- العصيان المطلق. B- العصيان النسبي. C- العصيان النسبي لفرط الاستقطاب المتأخر.

إذاً يعود العصيان المطلق لانغلاق بوابات تعطيل أقنية الصوديوم, ويستمر أغلب زمن كمون العمل، أما العصيان النسبي فيعود لاستمرار انفتاح أقنية البوتاسيوم ويستمر خلال فرط الاستقطاب المتأخر (الشكل 9).

انتقال كمون العمل:

إن إطلاق كمون العمل في منطقة ما من الليف العصبي يزيد نفوذية شوارد الصوديوم في هذه المنطقة مما يؤدي لحدوث دارة موضعية لتيار ينتشر موضعياً ويفعل قنوات صوديوم مجاورة مما يؤدي إلى إزالة استقطاب مترق أكثر فأكثر. وتستمر عملية إزالة الاستقطاب على طول الليف وينطلق التنبيه على طول الليف محدثاً السيالة العصبية.

يتلقى العصبون في الحالة الطبيعية التنبيه من الاستطالات الخلوية وجسم الخلية باتجاه المحور. السيالة الوظيفية وحيدة الاتجاه بسبب ظاهرة فرط الاستقطاب أي عندما تنبه منطقة يمكن أن تنبه المنطقة التالية لها بينما المنطقة السابقة تكون في حالة فرط استقطاب فلا يعود التنبيه إليها.

في بعض الحالات التجريبية وإذا كان التنبيه في منتصف الليف يمكن أن ينتشر بالاتجاهين لكن لا يمكن أن ينتقل إلى عصبون آخر إلا عبر الأزرار الانتهائية.

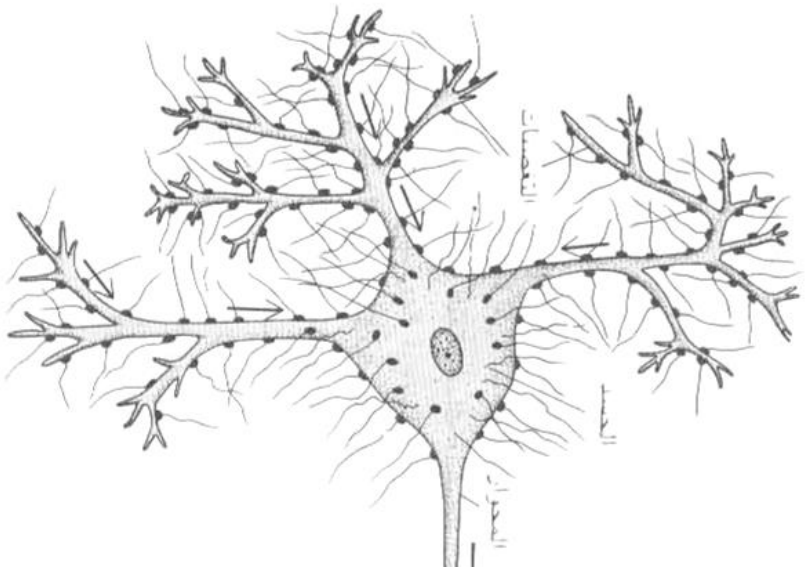
تتعلق سرعة النقل بقطر الليف وتتناسب معه، ونذكر هنا بأهمية النقل عبر الألياف النخاعينية إذ يشكل الغمد طبقة عازلة ويحدث النقل هنا بشكل قفزي بين عقد رانفييه مما يؤمن سرعة عالية في النقل ويوفر الطاقة اللازمة لإعادة توزيع الشوارد التي لا تخرج إلا من العقد.

10. فيزيولوجيا المشابك:Synapses

تلتقي العصبونات بعضها مع بعض في مناطق اتصال تدعى المشابك وهي ليست فقط مناطق لانتقال السيالة وإنما تستطيع أن تحدد جهة انتشار السيالة وتراقب مرور السيالات العصبية, فتوقف الضعيفة منها وتسمح للقوية بالمرور وأحياناً تنتقي بعض السيالات الضعيفة وتضخمها, وقد تعمل على إمرار السيالة بأكثر من اتجاه أو

تحويلها من دفعة واحدة إلى دفعات متكررة. تخضع لتأثيرات مثبطة ومنبهة من مراكز أخرى في الجهاز العصبي.

المشبك: بالتعريف هومنطقة اتصال بين التفرعات الانتهائية لمحور أسطواني (تسمى بنهايات ما قبل المشبك) مع الغشاء الخلوي للاستطالات العصبية أو بجسم عصبون آخر (النهاية ما بعد المشبك) يفصل بينها مسافة (200-300) أنغستروم تسمى بالشق المشبكي.

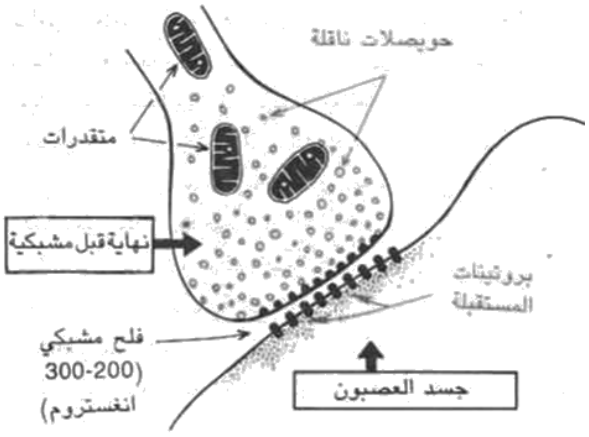


الشكل 11. التغصنات النهائية على جسم عصبون حركي وحيد المحور.

11. التشريح الفيزيولوجي للمشبك:

يتألف المشبك من: (الشكل12)

1- التفرعات الانتهائية لمحور الخلية ما قبل المشبك أو الأزرار الانتهائية والتي تحوي حويصلات صغيرة أو حبيبات مليئة بالوسيط أو الناقل الكيميائي، ويحوي كذلك المتقدرات الضرورية لتوليد الطاقة. الوسيط إما منبه أو مثبط, يعود ذلك بشكل أساسي إلى طبيعة المستقبلة التي يؤثر عليها. عند وصول زوال الاستقطاب إلى النهاية ما قبل المشبك يتحرر الوسيط العصبي إلى المسافة المشبكية, ويقوم بتأثيره على ما بعد المشبك.



الشكل 12. التشريح الفيزيولوجي للمشبك.

2- المسافة المشبكية: تفصل بين القسمين بعرض 200 – 300 أنغستروم.

3- النهاية ما بعد المشبك: الجزء من الخلية ما بعد المشبك المقابل للزر الانتهائي, ويحوي غشاء ما بعد المشبك مستقبلات بروتينية التي يرتبط معها الناقل العصبي المتحرر، مما يؤدي لفتح قناة شاردية أو تفعيل جملة أنزيمية.

الأقنية الشاردية التي قد تتفعل بالارتباط بالناقل العصبي هي أقنية صوديوم أو بوتاسيوم أو كلور. إن تفعيل أقنية الصوديوم يؤدي إلى إطلاق كمون العمل لذلك يسمى الناقل المفعل وكذلك تفعيل أقنية الكالسيوم، أما تفعيل أقنية البوتاسيوم أو الكلور فيؤدي إلى تثبيط ما بعد المشبك فيسمى الناقل المثبط.

يختلف عدد المشابك المنتشرة على الخلية الواحدة، فعلى خلايا الدماغ المتوسط مثلاً نجد مشبكاً واحداً، وعلى خلية حركية نخاعية نجد 5500 مشبكاً، قد تبلغ المساحة التي تغطيها المشابك من سطح الخلية العصبية نسبة 60 %.

يقدر وسطياً عدد المشابك في دماغ الإنسان حوالي 10^{14} مشبك.

12. أنواع المشابك:

تقسم من الناحية الوظيفية إلى:

مشابك كيميائية النقل, ومشابك كهربائية النقل.

1- مشابك كيميائية النقل:

تعمل المشابك بواسطة وسيط كيميائي يتحرر من الحويصلات المشبكية ويتحد مع مستقبل نوعي خاص على غشاء الخلية ما بعد المشبك ويطلق كمون العمل وهذا النمط هو الغالب.

2- مشابك كهربائية النقل:

النقل في هذه المشابك ذو طبيعة كهربائية، نجد هنا اندماجات بين غشاء الخلية ما قبل المشبك وغشاء الخلية ما بعد المشبك تعمل كجسور عبور للشوارد خاصة وأن مقاومتها للنقل الكهربائي ضعيفة نسبياً. هذه الاندماجات تشبه اندماجات موجودة في خلايا أخرى كخلايا العضلة القلبية تسهل النقل, وهذه المشابك غير قليلة.

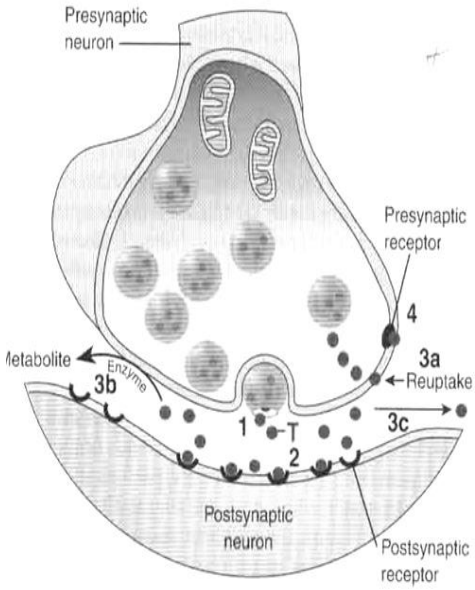
النواقل العصبية Neurotransmitters:

آلية تحرر الناقل: يحوي الغشاء للنهايات ما قبل المشبك أعداداً كبيرة من أقنية الكالسيوم المبوبة بالفولتاج. يؤدي زوال الاستقطاب الناجم عن كمون العمل إلى فتح هذه الأقنية ودخول الكالسيوم إلى داخل النهاية بالإضافة لتدفق شوارد الصوديوم.

يحرر كل عصبون نوعاً واحداً من النواقل, وحالياً كشف عدد من العصبونات القادرة على إفراز أكثر من ناقل مفعل ومثبط، كما أن كمية الناقل المتحرر تتعلق بكمية الكالسيوم الداخلة إلى الخلية ومن هنا تأتي أهمية تركيز شوارد الكالسيوم.

آلية تأثير الناقل ومصيره: يرتبط الناقل العصبي بالأقنية الشاردية مما يؤدي إلى انفتاحها وبقائها مفتوحة لمدة 1-2 ميلي ثانية, ثم تنغلق بسرعة بسبب زوال الناقل الكيميائي وذلك (14) :

1. لانتشاره خارج الشق المشبكي.
2. استقلابه ضمن المشبك إلى مركبات غير فعالة.
3. إعادته بالنقل الفعال إلى النهاية ما قبل المشبك حيث يستخدم مجدداً.



الشكل 14. دور الناقل ومصيره.

1- إفراز الناقل.
2- ارتباط الناقل بالمستقبلة.
3a- إعادة التقاط الناقل.
3b-استقلاب الناقل.
3c-انتشاره خارج الشق.

أنماط النواقل العصبية: يوجد أكثر من 30 نمطاً من النواقل المشبكية, وقد قسمت إلى مجموعتين مختلفتين:
الأولى: نواقل سريعة التأثير وصغيرة الجزيء.
الثانية: ببتيدات عصبية بطيئة التأثير وذات قد جزيئي كبير.
تقوم أفراد الزمرة الأولى بالمهام التي تتطلب استجابات سريعة من الجهاز العصبي مثل نقل الإحساسات والأوامر الحركية.
أما الببتيدات العصبية فتقوم بالمهام التي تحتاج إلى فترة طويلة مثل التغير الطويل الأمد لعدد المستقبلات أو تعطيل قنوات شاردية معينة لفترة طويلة أو حتى تغير طويل الأمد لعدد المشابك.

I- النواقل **سريعة التأثير**:

1. الأستيل كولين: يتركب في النهاية قبل المشبك من أستيل تميم الأنزيم AACETYL-COA, والكولين وذلك بوجود الأنزيم أستيل كولين ترانسفراز, ويخزن في حويصلات الإفراز. وعندما يحرر إلى المسافة المشبكية ينشطر بعد قيامه بوظيفته تحت تأثير أنزيم كولين إستيراز إلى أسيتات وكولين.
يعاد نقل الكولين مجدداً بشكل فعال لتشكيل أستيل كولين جديد. يمكن أن نجد الكولين إستيراز في أماكن أخرى مثل الكريات الحمر والبلاسما.

2. النورأدرينالين أو النورإبينيفرين:
ينتشر في معظم نهايات الأعصاب الودية, وهو يتخرب بأنزيم MONO AMINO OXIDASE MAO الموجود في الكبد والدماغ والكلية والنهايات الودية, أو بأنزيم C.O.M.T كاتيكول أوميتيل ترانسفيراز الموجود في الكلية والكبد, ولا يوجد في النهايات العصبية الودية.
ويعود قسم لا بأس به إلى داخل الخلية ما قبل المشبك ليستعمل مرة ثانية. المستقبلات هنا تدعى المستقبلات الأدرينالينية, وهي قسمان α,β. مستقبلات α محرضة عدا الموجودة في جدر الأمعاء، β مثبطة عدا الموجودة في العضلة القلبية فهي منبهة. يؤثر الأدرينالين على مستقبلات α,β, بينما يؤثر النورأدرينالين كثيراً على α وقليلاً على β.

3.الدوبامين: DOPAMINE
مثبط غالباً ويفرز في الموضع الأسود التي لها مشابك مع الجسم المخطط في النوى القاعدية.

4. **الغليسين:** يفرز في مشابك النخاع الشوكي وهو مثبط دائماً.
5. **الغلوتامات:** تفرز من السبل الحسية وباحات في القشر ويعتقد أنها مثيرة دائماً.
6. **السيروتونين:** يفرز في نوى الرفاء في جذع الدماغ وينتشر لمواقع أخرى خصوصاً القرون الخلفية للنخاع الشوكي والمهاد. يثبط السيروتونين سبل الألم وله دور في الحالة النفسية للشخص.

II -**الببتيدات العصبية:**
هي مجموعة نواقل ذات تأثير أبطأ عادةً مثل: الإنكيفالين، الأندروفين والمادة P. يثبط الإنكفالين نقل الاحساسات المؤلمة. تتحرر المادة P من عصبونات عديدة ولها تأثير مفعل.
لا تصنع هذه الببتيدات في النهاية الخلوية وإنما في جسم الخلية بالتعاون مع جهاز كولجي، وتنقل عبر الشبكة الهيولية وتمر بالجريان المحوري إلى نهاية الليف، تفرز بنفس الآلية السابقة.

إن تركيب هذه النواقل صعب لذلك تفرز بكميات قليلة, لكن فعاليتها قوية ومديدة حيث تستمر هذه الفعالية لأيام وحتى لسنوات مثل إغلاق طويل الأمد لأقنية الكالسيوم أو تغيير طويل الأمد في عدد المستقبلات المثيرة أو المثبطة.

إن النهايات العصبية تطلق نمطاً واحداً من النواقل صغيرة الجزيء ويمكنها أن تحرر نوعاً واحداً أو أكثر من الببتيدات بنفس الوقت.

خصائص المشبك: تتمتع المشابك بالخصائص التالية:

1-عمل الآلة المحولة للطاقة: إذ تحول الطاقة الكهربائية إلى كيميائية في الخلية ما قبل المشبك, وتحول الطاقة الكيميائية إلى كهربائية في الخلية ما بعد المشبك.

2-النقل باتجاه واحد: يتم النقل دائماً من الخلية قبل المشبك إلى الخلية بعد المشبك وذلك لوجود مستقبلات خاصة بالخلية بعد المشبك وغير موجودة في الخلية قبل المشبك، فهي لا تملك البنية المساعدة لمرور السيالة في الاتجاه المعاكس.

3-التأخير المشبكي أو الإعاقة المشبكية: إن مرور كمون من ما قبل المشبك إلى ما بعده يستغرق زمناً يتم خلاله:

1. تحرير الناقل العصبي.
2. انتشار الناقل.
3. تأثيره على ما بعد المشبك.
4. تبدل نفوذية الغشاء.
5. انتشار شوارد الصوديوم.

يقدر هذا الزمن بـ 0.5 ميللي ثانية, وهو طويل نسبياً بالنسبة لمرور السيالة عبر العصبون. لذلك كلما ازداد عدد المشابك في سلسلة عصبونات طالت مدة النقل.

تفيد ظاهرة التأخير المشبكي في معرفة عدد المشابك الموجودة في قوس انعكاسية ما.

التعب المشبكي:

عند التنبيه المتكرر يطلق العصبون في البداية تنبيهات متكررة بسرعة, وبعد ذلك يصبح العدد أقل وهذا ما يسمى التعب المشبكي أي يحدث التعب بعد فرط الاستثارة وهذه آلية وقائية مهمة جداً وتعود إلى إنهاك المادة الناقلة في النهايات العصبية.

زوال بعض المستقبلات له دور أيضاً وكذلك تراكم الكالسيوم داخل الخلايا ما بعد المشبك وما يؤدي إليه من فتح لقنوات البوتاسيوم يحدث تثبيطاً أيضاً.

إضافات مدرس المقرر