مقدمة في الفيزيولوجيا العصبية

1 د. عبد الناصر صليعي

فيزيولوجيا 2|2 Physiology

فريق الكريات الحمراء التطوعي
12
S.P 140
28
2018
مدققة
RBC Medicine

السلام عليكم ورحمة اللّه تعالى وبركاته

سنبدأ بإذن الله في بضع من محاضراتنا القادمة الحديث عن الفيزيولوجيا العصبية، والتي سيشرف علينا بها د. عبد الناصر.

لنتعرف على هذه الفيزيولوجية المذهلة التي تدل على إبداع الخالق في خلقه❤

الفهرس

عنوان الفقرة	رقم الصفحة
Start up	2
البناء العام للجهاز العصبي	4
المبادئ الفيزيولوجية العامة للجهاز العصبي	7
المستويات الرئيسيّة لوظيفة الجهاز العصبي المركزي	8
المشابك	11
الحوادث الكهربائية أثناء الإستثارات العصبية	21
بعض الميّزات الخاصّة للنقل المشبكي	24
Summary	27

Start up

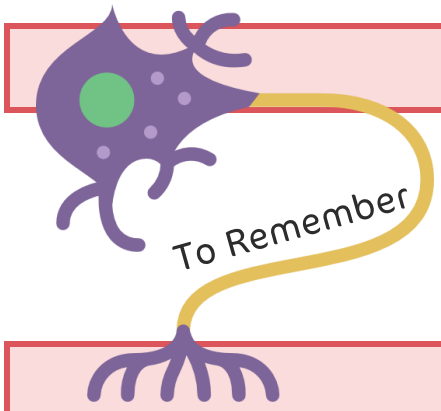
يُعدّ الجهاز العصبي المسؤول عن معظم وظائف التحكّم والتنظيم في الجسم، وهو يتحكّم بالنشاطات السريعة للجسم، كالتقلّص العضلي، والوظائف الحشوية سريعة التغيّر، وحتى مُعدل إفراز بعض الغدد الصم، وبالمقابل ينظم الجهاز الصماوي بصورة رئيسيّة وظائف الجسم الاستقلابية.

لمحة تشريحيّة عن الجهاز العصبي

يتألف الجهاز العصبي بشكل عام من قسمين: **مركزي ومحيطي**.

1- الجهاز العصبي المركزي:

يتكون من: **الدماغ والنخاع الشوكي**.



- يتوضع **الدماغ** داخل القحف (المخ -المخيخ – جذع الدماغ).
- يتوضع **النخاع الشوكي** في القناة الفقارية.

2- الجهاز العصبي المحيطي:

يتكون بشكل عام من:

- **الأعصاب** *Nerves*: وهي حلقة الاتصال بين جميع أنسجة الجسم وبين الجهاز العصبي المركزي، ويوجد منها 12 زوجاً من الأعصاب القحفية، و31 زوجاً من الأعصاب الشوكية (8 رقبيّة – 12 صدريّة – 5 قطنيّة – 5 عجزيّة – عصعصي وحيد).
- **العقد** *Ganglia*: وهي تجمعات عصبونية خارج الجهاز العصبي المركزي، ولها ارتباط مع الأعصاب.

أقسام الجهاز العصبي المحيطي

- **الأعصاب الواردة Afferent:** وهي الأعصاب التي تحمل **الدفعات الحسية** من الأنسجة المحيطيّة إلى الجهاز العصبي المركزي، وتتضمن **جميع أعصاب الحس الجسدية**، والتي تحمل الدفعات الحسيّة عن طريق المستقبلات الخاصة المنتشرة بالجلد وحول المفصل واللفافات، وتتضمن أيضاً **أعصاب الحس الحشوية visceral** والتي تحمل الدفعات الحسيّة من الأحشاء إلى الجهاز العصبي المركزي.
- **الأعصاب الصادرة Efferent:** وهي الأعصاب المسؤولة عن **نقل الأوامر** من الجهاز العصبي المركزي إلى أنحاء مختلفة من الجسم.

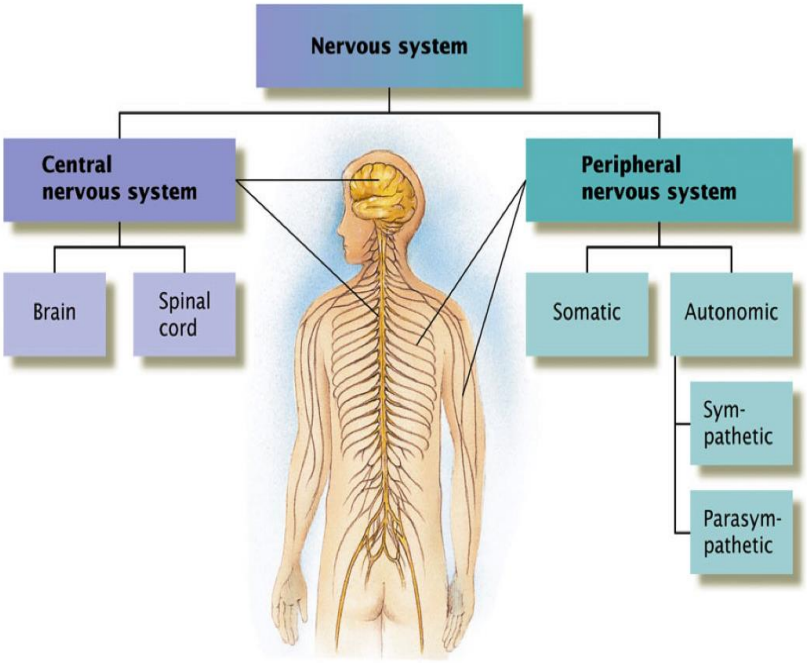
وتتكون هذه الأعصاب بدورها من:

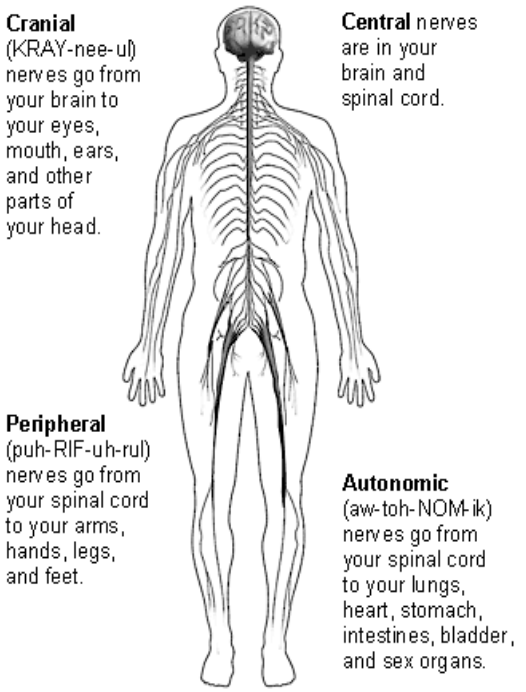
- **الأعصاب الإرادية:** وتسمى أيضاً **الأعصاب الجسدية Somatic neurons**، سُميت بالإرادية لأن الأوامر التي تصدر عن الجهاز العصبي المركزي يمكن التحكم فيها بشكل إرادي، ومن أمثلتها: الأعصاب المحركة المغذية للعضلات الهيكلية.

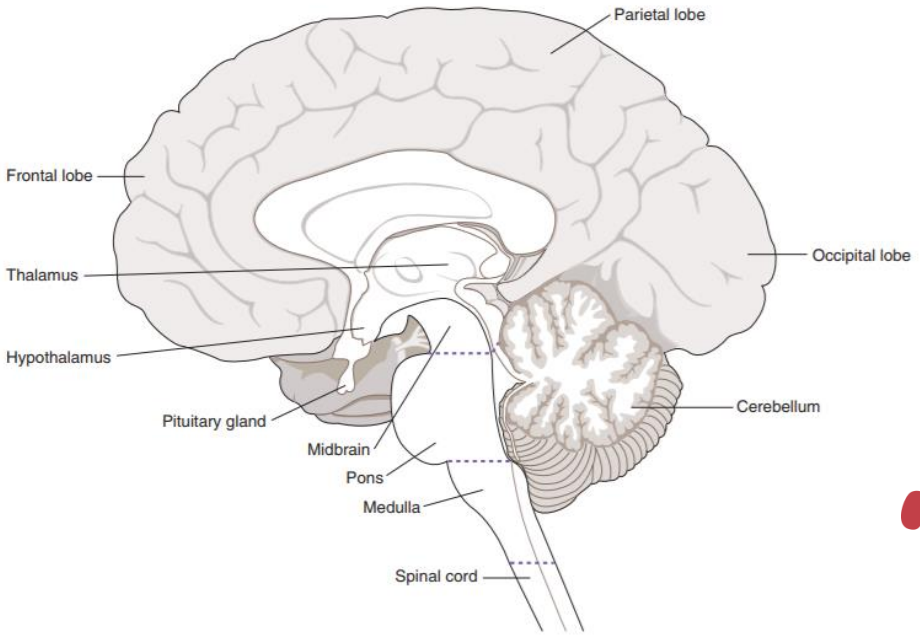
Note يمكن أن تكون أحياناً الأعصاب الجسدية لا إرادية، مثل بعض الاستجابات المنعكسية.

- **الأعصاب الذاتية Autonomic:** ليس للإنسان أي إرادة في عملها، أي لا يمكن التحكّم فيها بشكل إرادي.

تقسم بدورها إلى: **أعصاب ودية Sympathetic وأعصاب لا ودية Para sympathetic**، مثل: الأعصاب المغذية للعضلات الملساء للأحشاء والغدد وعضلة القلب.

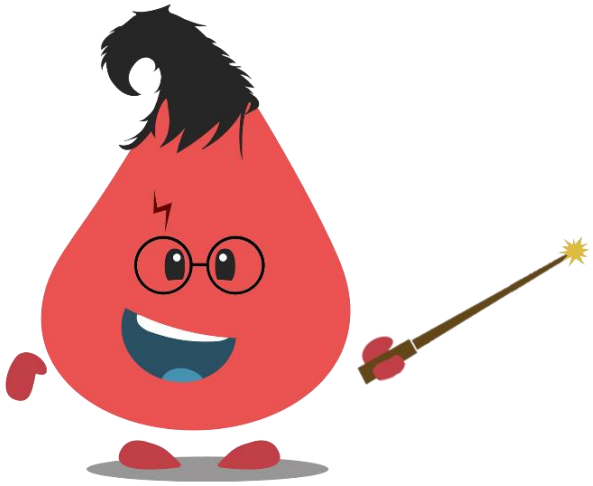






فيزيولوجيا الجهاز العصبي

سنتناول فيها ثلاثة محاور أساسية وهي:



- بناء الجهاز العصبي
- الوظائف الأساسيّة للمشابك
- المواد الناقلة (النواقل العصبية)

البناء العام للجهاز العصبي

عصبون الجهاز العصبي المركزي هو الوحدة الوظيفية الأساسية.

القسم الحسي للجهاز العصبي هو المستقبلات الحسية.

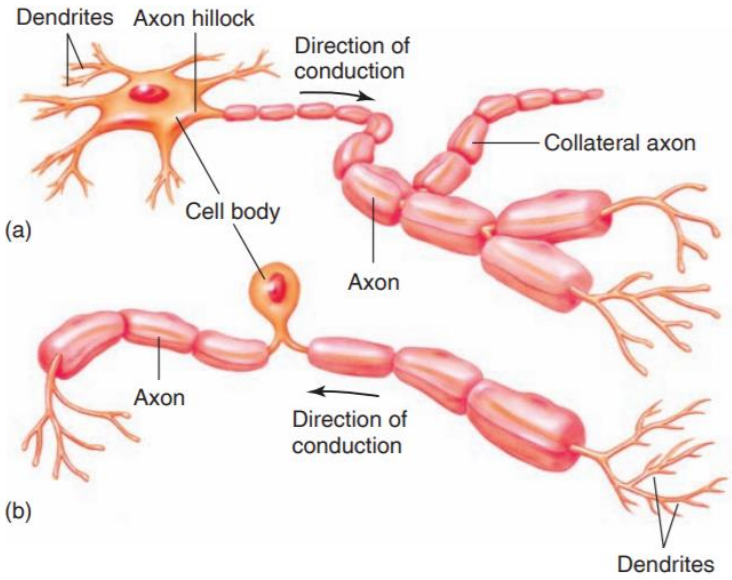
القسم الحركي هو المستفعلات[1].

1- عصبون الجهاز العصبي المركزي – الوحدة الوظيفية الأساسية:

- يتألف الجهاز العصبي المركزي من أكثر من 100 بليون عصبون Neuron، حيث تدخل المعلومات العصبية الواردة إلى الخلية بشكل كامل عن طريق المشابك الموجودة على التغصّنات العصبية أو على جسم الخلية.
- يتراوح عدد الاتصالات العصبية التي تأتي عبرها الإشارات بين عدة مئات إلى 200 ألف اتصال مشبكي من الألياف الواردة.
- بينما الإشارات الصادرة من الخلية العصبية تُنقل عبر محوار وحيد للعصبون، لكنه يعطي الكثير من الفروع المُنفصلة إلى الأجزاء الأخرى من الدماغ والنخاع الشوكي وإلى أجزاء الجسم المُحيطة.

[1] المستفعلات هي العضلات والغدد.

تمتلك معظم المشابك خاصة مميزة هي أنَّ الإشارات المُرسلة عبرها تمر باتجاه وحيد في الحالة السوية، أي نحو الأمام (الخلية التالية)، ويسمح ذلك بتوصيل الإشارات بالاتجاهات الضرورية للقيام بالوظائف العصبية المطلوبة.



2- القسم الحسي للجهاز العصبي – المستقبلات الحسية:

- تبدأ معظم فعاليّات الجهاز العصبي بعمل حسي ينّبعثُ من المستقبلات الحسيّة سواء كانت مستقبلات الرؤية أم السمع أم الحس أم الأنواع الأخرى المُنتشرة على سطح الجسم.
- يمكن لهذا النشاط الحسي أن يسبب ارتكاساً مباشراً للجسم أو أن يُحفظ في الذاكرة في الدماغ مدة دقائق أو أسابيع أو سنين ليستخدم فيما بعد في تقرير نوعيّة الارتكاس الذي يقوم به الجسم في المستقبَل.

المحور الحسي الجسدي للجهاز العصبي

- مثال على قسم من الجهاز الحسي.
- تنتقل المعلومات الحسية من أي قسم جسدي من مستقبلات على سطح الجسم كلّه وبعض بنياته العميقة، وتدخل هذه المعلومات بعد ذلك إلى الجهاز العصبي المركزي خلال الأعصاب المحيطيّة، وتحوّل إلى العديد من المناطق الحسية في:

  - كل مستويات النخاع الشوكي، مثلاً في المنعكسات التي تحتاج رد فعل سريع دون تدخل قشرة المخ.
  - المادة الشبكية للبصلة والجسر والدماغ المتوسط.
  - المخيخ، مثلاً في الحركات التي تحتاج تنسيق وتوازن.
  - المهاد.
  - الباحات الحسية الجسدية في قشرة الدماغ عند الحاجة للتفكير.
- ولكن الإشارات تحوّل بالإضافة للمناطق الحسية الأولية أساساً إلى كلّ أقسام الجهاز العصبي الأخرى أيضاً.

3- القسم الحركي – المستفعلات:

إن أهم دور أساسي للجهاز العصبي هو التحكّم في فعاليات الجسم المختلفة، ويتحقق ذلك من خلال التحكّم في:

تقلص العضلات الهيكلية في كل مكان من الجسم ← تقلص العضلات الملساء في الأعضاء الداخلية ← إفراز الغدد الصماء والغدد خارجية الإفراز في العديد من أقسام الجسم

وتُسمى هذه الفعاليات بمجموعها **الوظائف الحركية Motor Functions للجهاز العصبي**، وتُسمى العضلات والغدد **بالمستفعلات effectors** لأنها تقوم بالوظائف التي تفرضُها عليها الإشارات العصبيّة.

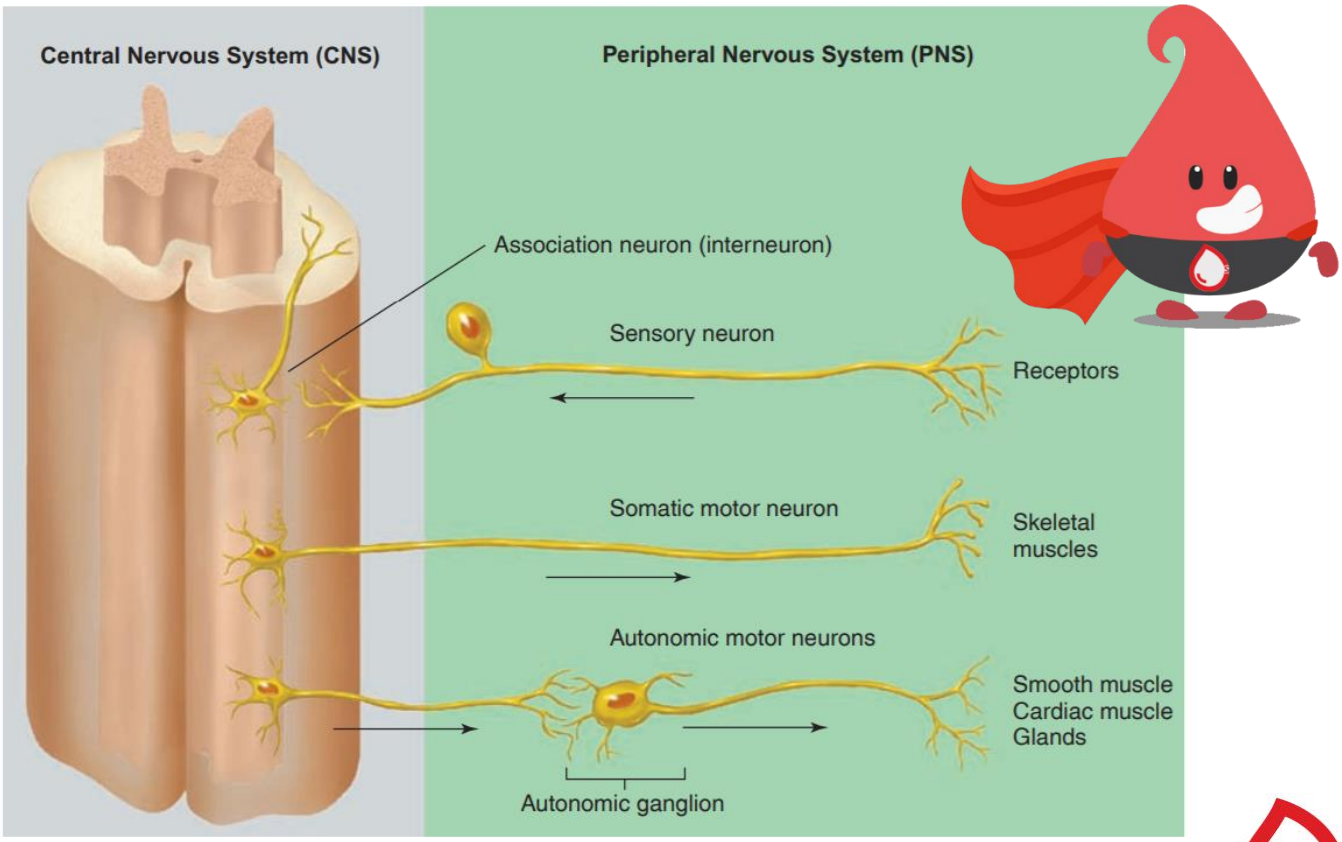
إن المحور الحركي للجهاز العصبي الذي يتحكم في تقلّص العضلات الهيكليّة يعمل بالتوازي معه جهاز مشابه للتحكم بالعضلات الملساء والغدد والأجهزة الحسيّة الداخلية الأخرى وهو ما يسمى **الجهاز العصبي المستقل ANS.**

يُمْكن التحكّم في العضلات الهيكلية من عدد من مستويات الجهاز العصبي المركزي والتي تشمل:

النخاع الشوكي	المادة الشبكية في البصلة والجسر والدماغ المتوسط	العقد القاعدية	المخيخ	القشرة الحركية

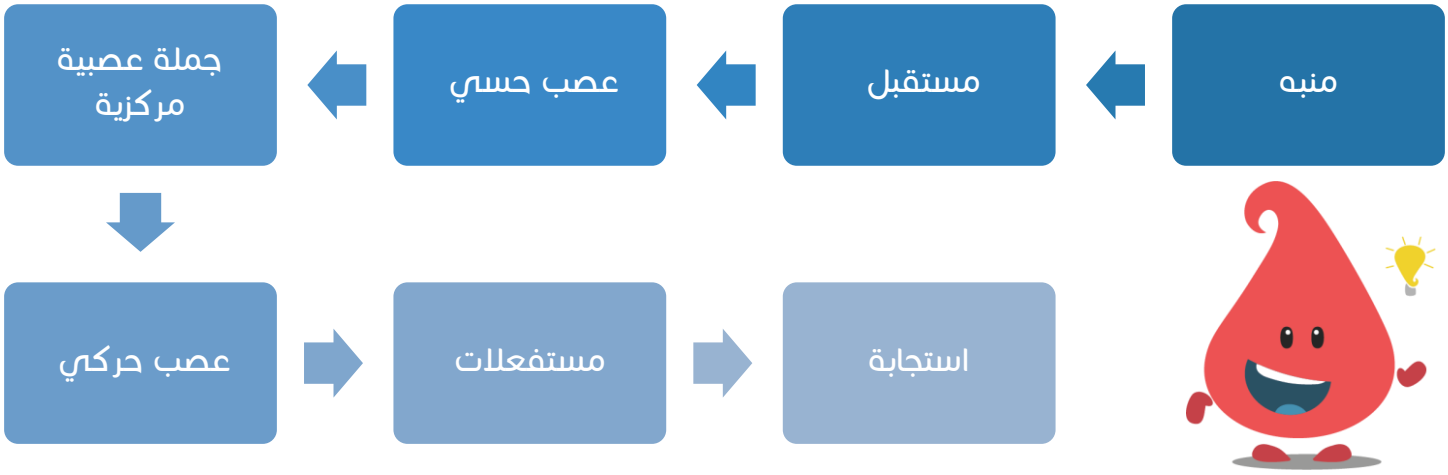
وتقوم كل منطقة من هذه المناطق بالدور الخاص بها حيث:

- تهتم المناطق السفلية بصورة مبدئية بردود فعل الجسم الأوتوماتيكية والآنية للمنبهات الحسية.
- وتُعنى المناطق العلوية بالحركات المتأنية التي تتحكم فيها العمليات الفكريّة للمخ.



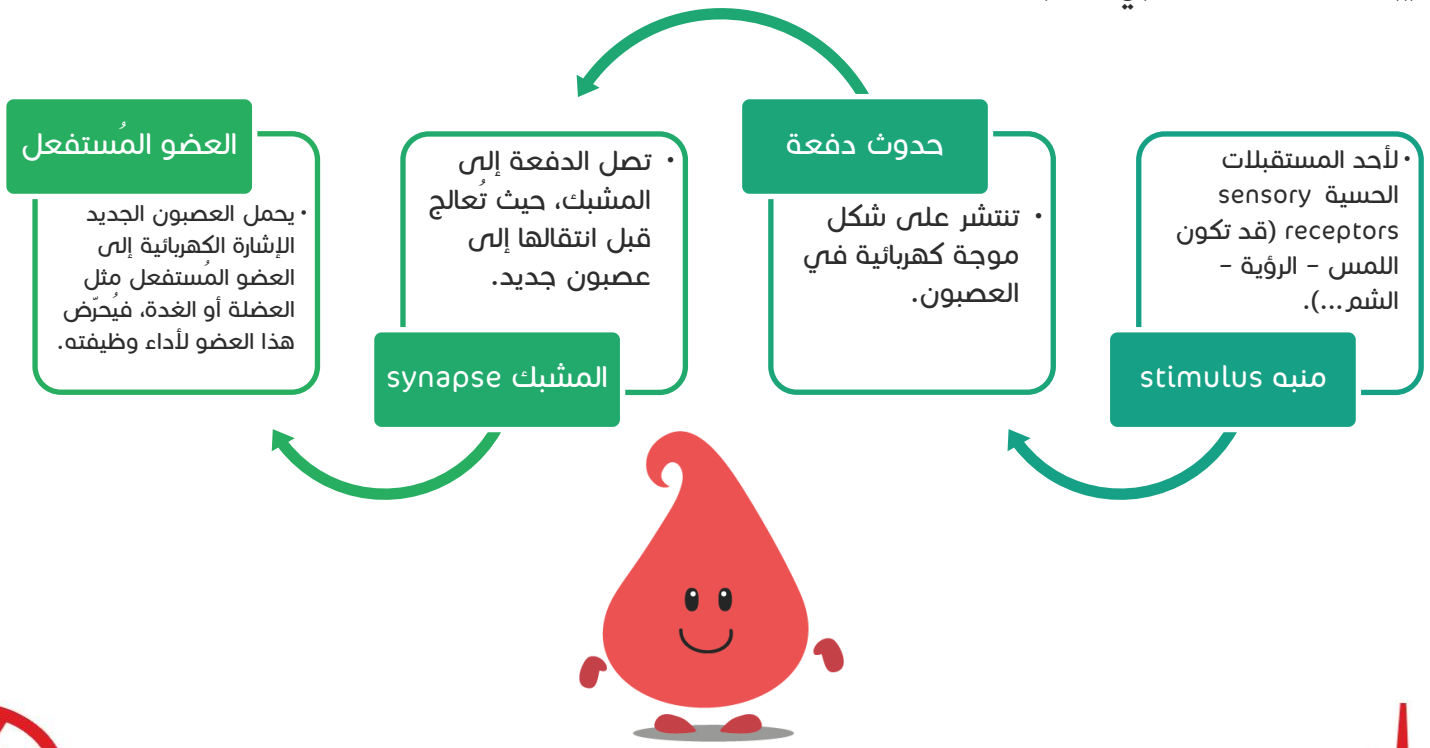
معاملة المعلومات - وظيفة الدمج في الجهاز العصبي:

- إن الوظيفة الأساسية للجهاز العصبي هي معاملة المعلومات الواردة إليه بطريقة تسمح بحدوث الاستجابة الحركيّة المناسبة، ولذلك فإن نحو 99٪ من المعلومات الحسية ينبذها ويهملها الدماغ لأنها غير هامة.
- فالدماغ يختار المعلومات الحسية المهمة، وبعد أن يختارها تنتقل هذه المعلومات إلى المناطق الحركيّة المناسبة للدماغ لتعطي الارتكاسات المطلوبة، وتدعى عملية إدخال المعلومات هذه في مسارها **وظيفة الدمج Integrative Function.**



المبادئ الفيزيولوجية العامة للجهاز العصبي

إنّ عمل الجهاز العصبي يبدأ من قوانين فيزيائية وفيزيولوجية بسيطة تحدد له كل العمليات المعقّدة وشديدة التعقيد، ويبدأ عمل الجهاز العصبي من أبسط أشكاله من:



تخزين المعلومات – الذاكرة Memory:

- إن القليل من المعلومات الحسيّة الهامة هي التي تنتخب وتُحدِث استجابة فورية حركية آنية، أما القسم الباقي الأكبر فمعظمه يخزن ليستخدم في المستقبل في تنظيم الفعالية الحركية وفي عملية التفكير.
- يتم معظم خزن المعلومات في قشرة المخ.
- يمكن خزن كميات محدودة من المعلومات في المناطق القاعدية للدماغ وربما في النخاع الشوكي.
- نستنتج أنّ الذاكرة Memory هي عمليّة خزن المعلومات، وهذه العمليّة هي **إحدى وظائف المشابك.**

التيسير Facilitation:

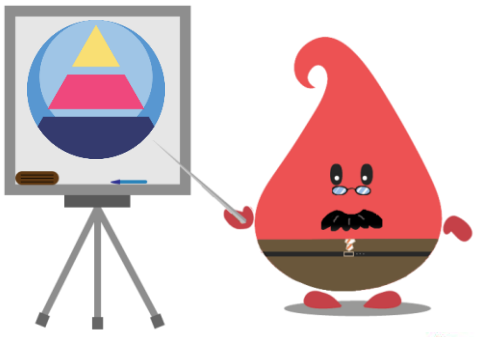
- إحدى وظائف المشابك، فكلّما مرَّ أحد أنواع الإشارات الحسيّة خلال سلسلة من المشابك تصبح هذه المشابك أكثر قدرة على إمرار مثيلاتها من الإشارات خلالها **في المرات اللاحقة** وتسمى هذه العملية: التيسير Facilitation.
- وبعد مرور نفس هذه الإشارات خلال هذه المشابك لمرات عديدة كثيرة فإنها تصبح **ميسّرة لدرجة عالية** بحيث تتمكن بعض الإشارات التي تتولد في الدماغ نفسه من أن تؤدي إلى نقل إشارات في نفس سلسلة المشابك بالرغم من **عدم استثارة** مداخلها الحسيّة، فيولّد ذلك لدى الشخص إدراكاً حسياً بالحسّ الأصلي بالرغم من أن ذلك لم يكن إلاّ مجرد ذكريات له فقط.
- ولسوء الحظ لا تُعرف إلى الآن الآلية الدقيقة لحدوث التيسير في المشابك في عملية الذاكرة.

هام

- متى ما اختزنت الذاكرة في الجهاز العصبي فإنها تُصبح جزءاً من آلية العمليّة الفكريّة.
- تُقارن عمليات الدماغ الفكريّة بين الخبرات الحسيّة الجديدة مع الذكريات المخزونة، وتساعد هذه في انتقاء المعلومات الحسيّة الجديدة وتُرسلها الى مراكز الخزن المُناسبة لاستعمالها في المستقبل وإلى المراكز الحركيّة لتوليد استجابات جسميّة.

المستويات الرئيسيّة لوظيفة الجهاز العصبي المركزي

لقد ورث الجهاز العصبي الإنساني خواصّ معيّنة من كل مرحلة من مراحل التطور، ويوجد من هذا الإرث ثلاثة مستويات رئيسيّة للجهاز العصبي المركزي لها مميزات وظيفيّة خاصة هي:



- المستوى القشري للدماغ أو المستوى العلوي
- مستوى الدماغ السفلي
- مستوى النخاع الشوكي

مستوى النخاع الشوكي

- غالباً ما نفكر بالنخاع الشوكي على أنه مجرد ممرّ للإشارات من محيط الجسم إلى الدماغ أو بالاتجاه المعاكس من الدماغ رجوعاً إلى الجسم، ولكن ذلك بعيد عن الحقيقة.
- إذ يستمر حدوث الكثير من وظائف النخاع الشوكي العالية التنظيم حتى بعد قطعه في منطقة الرقبة العليا، فمثلاً تتمكن الدارات العصبونيّة في النخاع الشوكي من توليد:

حركات المشي	المنعكسات التي تسحب أجزاء من الجسم بعيداً عن بعض الأشياء المؤلمة (كالوخز أو الحرق...)	منعكسات تقوّي الساقين لدعم الجسم ضد الجاذبيّة	المنعكسات التي تتحكم في الأوعية الدموية الموضعية والحركات المَعديّة والمعويّة وما شابه، بالإضافة للعديد من الوظائف الأخرى

Guytonic Note

إن المستويات العليا من الجهاز العصبي تعمل غالباً بواسطة الإشارات المُرسلة إلى مراكز التحكم في النخاع الشوكي وليس بواسطة الإشارات المرسلة مباشرة إلى محيط الجسم، آمرةً ببساطة مراكز التحكّم بالنخاع بإنجاز وظائفها.

مثال سريري

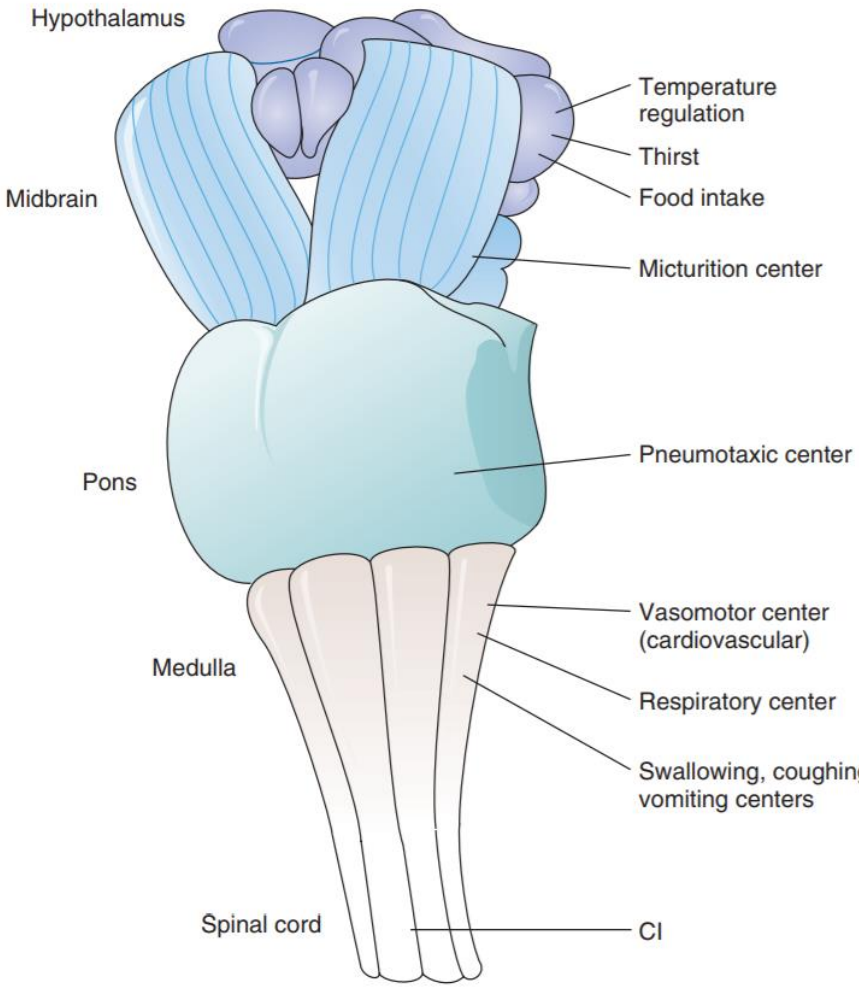
نلاحظ عند الأشخاص المصابين بشلل الطرفين السفليين (عند كسور الفقرات أو التهاب النخاع المعترض...) وجود تورّم وازرقاق إضافة لشلل.
يحدث ذلك بسبب إصابة الأعصاب المغذية للشرايين والاوردة في الطرفين السفليين، حيث المسؤول عنها هو القسم المتضرر من النخاع الشوكي.

المستوى السفلي للدماغ

- تتحكّم المناطق السفلية من الدماغ والجسر والدماغ المتوسط والبصلة والوطاء والمهاد والمخيخ والعقد القاعدية بالعديد (إن لم نقل معظم) ما نسميّه فعاليات الجسم اللاشعوريّة.
- يتمُّ التحكّم اللاشعوري في الضغط الشرياني وفي التنفس بصورة رئيسيّة في البصلة والجسر.
- أما التحكّم في التوازن هو وظيفة مشتركة بين أقسام المخيخ القديمة والمادة الشبكيّة للبصلة والجسر والدماغ المتوسط.
- تتحكّم بعض مناطق البصلة والجسر والدماغ المتوسط واللوزة والوطاء بمنعكسات الطعام مثل الإلعاب استجابة لتذوّق الطعام وتلمّظ الشفتين.

ملاحظة

من الممكن أن يتولّد العديد من الأشكال الانفعالية مثل الغضب والتهيّج والاستجابة الجنسيّة ورد الفعل للألم والفرح لدى الحيوانات التي لا تملك قشرة المخ، حيث يتم التحكّم بذلك في مستوى الدماغ السفلي.



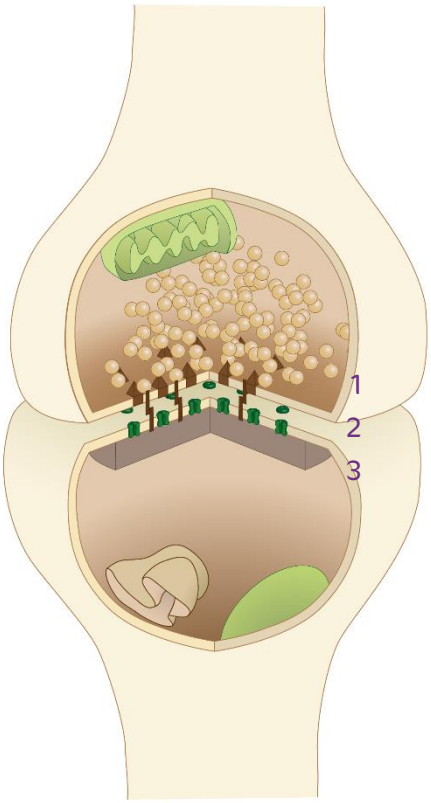
المستوى العلوي أو المستوى القشري

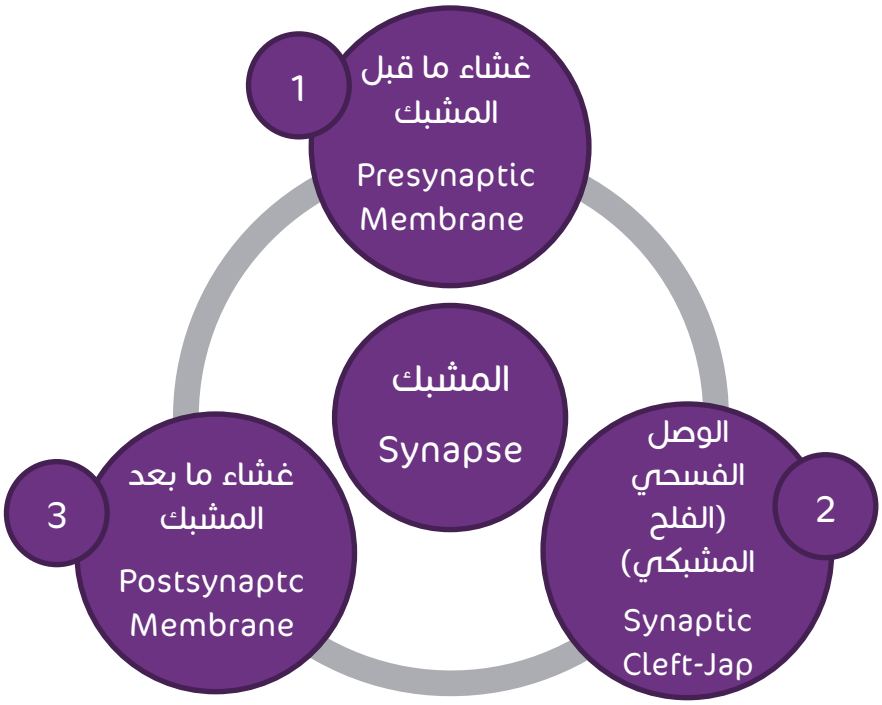
- إن القشر الدماغي هو مخزن هائل للذاكرة، **لا يؤدي وظائفه بمفرده** وإنما بالإشتراك مع المراكز السفليّة للجهاز العصبي، حيث أن وظائف المراكز الدماغية السفليّة تبقى غامضة وغير دقيقة عند غياب القشر.
- **المخزون الواسع للمعلومات في القشر هو الذي يقلب هذه الوظائف إلى أفعال محددة ودقيقة.**
- إن القشرة المخيّة ضروريّة لمعظم العمليّات الفكريّة، بالرغم من أنها لا تتمكن من القيام بذلك لوحدها، والحقيقة أن المراكز السفلية[٢] هي التي تسبب اليقظة في القشرة المخية، فتفتح بذلك مصرف ذكرياتها لآلية التفكير في الدماغ.
- ولهذا فإن كل قسم من أقسام الجهاز العصبي يقوم بوظائف معيّنة، ولكن القشرة هي التي تفتح العالم كلّه للعقل.

[٢] تذكّر التشكيل الشبكي.

المشابك Synapses

المشابك هي منطقة الوصل بين عصبون وآخر، أو منطقة التقابل بين سطحي خلية عصبية وخلية أخرى، حيث تنقل الإشارة من الخلية الأولى إلى الثانية، وتتكون تشريحياً من:





كيفيّة نقل الإشارات عبر المشابك

- النقل الكهربائي:

- وهو أقل شيوعاً، حيث تُنقل الدفعة impulse على شكل إشارة كهربائية تنتقل مباشرة من الغشاء قبل المشبك عبر الفسحة إلى ما بعد المشبك، وهذا النوع يُشاهد في الحيوانات البدئية، وعند الإنسان في القلب.

- النقل الكيميائي:

- وهو الأكثر شيوعاً، ويُشاهد في العضلات الهيكلية عند الإنسان، وفيها تنتقل الإشارة عن طريق مادة كيميائيّة (نواقل كيميائيّة عصبيّة neurochemical transmitters).

تُفرز هذه النواقل من الغشاء قبل المشبك إلى الفلح المشبكي ليؤثر على **مستقبلات خاصة** موجودة على الغشاء ما بعد المشبك.

تؤثر النواقل الكيميائية العصبية على الغشاء ما بعد المشبك بتغييرها لنفوذية هذا الغشاء نحو الأيونات المختلفة، والذي يكون:

مشابك الجهاز العصبي المركزي

إن المعلومات العصبيّة هي دفعات عصبية تنتقل خلال عصبونات متتالية عبر المشابك Synapses التي هي الموصل بين هذه العصبونات.

يملك الكائن البشري نمطين من المشابك، مشابك كيميائيّة وأخرى كهربائيّة.

المشابك الكيميائية Chemical synapses

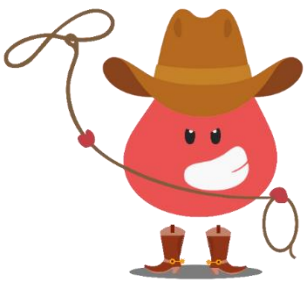
- إن معظم المشابك المستخدمة لنقل الدفعات العصبية في الجهاز العصبي المركزي عند الكائن البشري هي **مشابك كيميائية**.
- في هذه المشابك يفرز العصبون الأول مادة كيميائيّة تدعى **الناقل العصبي** في المشبك، وهذا الناقل بدوره يؤثر على مستقبل بروتيني في غشاء العصبون التالي مؤدياً إلى تنبيه أو تثبيط أو تعديل في حساسية العصبون التالي.
- تم كشف أكثر من 100 مادة ناقلة حتى الآن أهمها: الأستيل كولين - النور ابينفرين - الهستامين - حمض غابا أمينوبوتيريك GABA - الغلوتامات.

المشابك الكهربائية Electrical synapses

- قليلة التواجد جداً في الجهاز العصبي المركزي.
- تتميّز بانتقال السيالة من خلية لأخرى مباشرة بواسطة قنوات تتألف معظمها من أنابيب بروتينية تدعى **المواصل القسمية Gap Junction**، وهي تسمح للشوارد بحركة حرّة من داخل خلية إلى التي تليها.

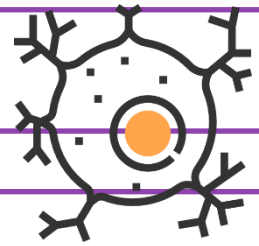
الانتقال وحيد الجانب عبر المشابك الكيميائية

- تُنقل الدفعات باتجاه واحد، أي من العصبون المفرز للناقل الذي يدعى **عصبون ما قبل المشبك Presynaptic neuron**، إلى العصبون الذي يؤثر عليه الناقل ويدعى **عصبون ما بعد المشبك Postsynaptic neuron** (على عكس المشابك الكهربائية التي يمكن أن تنقل الدفعات العصبيّة بالاتجاهين).
- ولهذا الانتقال أهميّة كبيرة في توجيه الإشارات نحو أهداف معينة، وبالتالي يزيد من الكفاءة.



التشريح الفيزيولوجي للمشبك

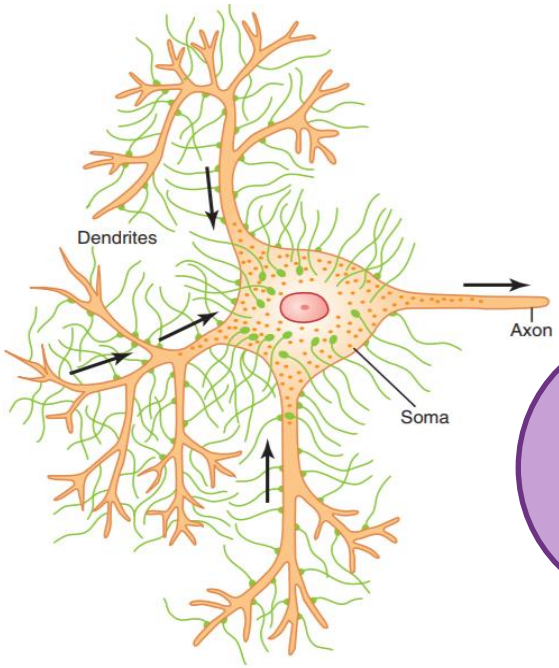
يتكون العصبون الحركي في القرن الأمامي من النخاع من ثلاثة أقسام رئيسيّة:



الجسد Soma
وهو الجسم الرئيسي للعصبون.

المحوار Axon
يمتد من الجسد إلى العصب المحيطي الذي يترك النخاع الشوكي.

التغصنات Dendrites
هي امتدادات رفيعة تمتد من الجسد لحوالي مليمتر واحد إلى الباحات المحيطة بالنخاع.



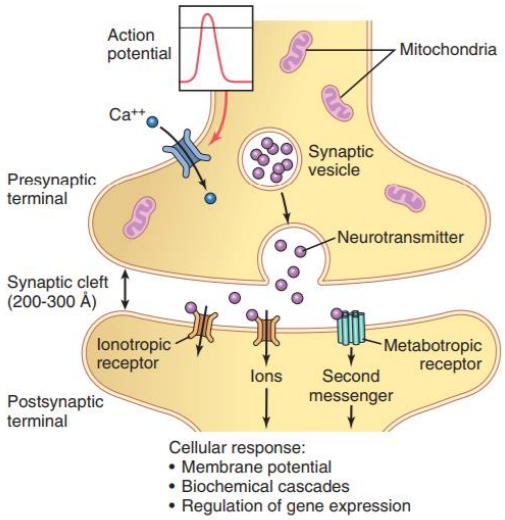
وتختلف العصبونات التي توجد في أقسام أخرى من النخاع والدماغ بصورة ملحوظة عن العصبون الحركي الأمامي في:

- **حجم جسد الخلية**: طول وحجم وعدد التغصّنات التي تتراوح أطوالها من اللاشيء تقريباً إلى العديد من السنتمترات
- **طول وحجم المحوار**: عدد النهايات قبل المشبكية التي يتراوح عددها من بضع نهايات إلى 200 ألف نهاية

إذاً: تستجيب العصبونات في مختلف أقسام الجهاز العصبي بطرق مختلفة للإشارات الواردة، ولذلك فإنّها تعمل بطرق مختلفة بسبب هذه الفروقات.

النهايات قبل المشبك

- معظم النهايات قبل المشبكيّة تشبه عقداً بيضويّة أو مدوّرة صغيرة، والنهاية قبل المشبك مفصولة عن جسم العصبون بعد المشبكي بشق مشبكي Synaptic cleft عرضه 200 – 300 أنغستروم.
- الحويصلات المشبكيّة Transmitter Vesicles والمتقدّرات Mitochondria هما عنصران داخليان هامّان في النهاية قبل المشبك لوظيفة المشبك المنبّهة أو المثبّطة.



- تحوي الحويصلات المشبكيّة المواد الناقلة التي تثبّط أو تنبّه عند تحريرها إلى الشق المشبكي العصبون بعد المشبك حسب خواصّ مستقبلاته إما استثاريّة أو تثبيطيّة.
- تعمل المتقدّرات على توفير الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP الضروري لصنع مواد ناقلة جديدة[3].

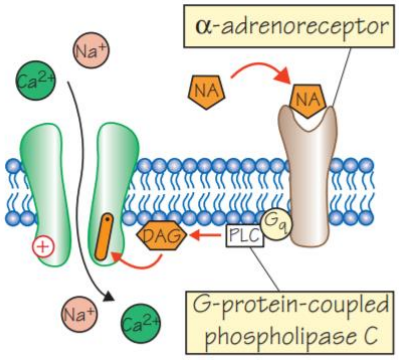
تأثير المادة الناقلة على العصبون بعد المشبك – وظيفة المستقبلات

يمتلك الغشاء بعد المشبك كميات كبيرة من المستقبلات البروتينية في منطقة المشبك، وتتألف هذه المستقبلات من جزئين:

١. الجزء الرابط الذي يبرز من الغشاء نحو الخارج باتجاه الشق المشبكي، وهو يرتبط مع المادة الناقلة المتحررة من النهاية قبل المشبكيّة.

٢. الجزء الحامل للأيون *ionophore* الذي يجتاز الغشاء إلى داخل العصبون بعد المشبك، وقد وجد أن لهذا الجزء الحامل شكلين:

- قناة لنقل الشوارد وتفعّل كيمائياً.
- أنظيم يُنشِّط بفعل ما تغيراً استقلابياً داخلياً داخل الخلية، أي ينشّط مادة واحدة أو أكثر داخل العصبون بعد المشبكي[4].



قنوات الشوارد:

تضم قنوات الشوارد المُفعّلة كيمائياً[5] عدة أنماط:

- قنوات الصوديوم
- قنوات البوتاسيوم
- قنوات الكلور
- قد يوجد قنوات كالسيوم مديدة

[3] لمعرفة الآلية التي تسبب فيها تحرير الناقل من النهايات، يرجى الرجوع إلى غايتون فصل 46.
[4] أي نظام مرسال ثاني.
[5] أي تحت تأثير النواقل العصبية.

- فتح قنوات الصوديوم يثير العصبون بعد المشبك ← النواقل التي تفتحها نواقل استثاريّة Excitatory transmitters.
- فتح قنوات البوتاسيوم والكلور يثبّط العصبون ← النواقل التي تفتحهما نواقل تثبيطيّة Inhibitory transmitters.

مهمة

فتح وغلق القنوات الايونيّة يوفّر وسيلة للتنشيط السريع أو التثبيط السريع للعصبونات بعد مشبكية، أما تنشيط نظام المرسال الثاني ينجز الفعل العصبوني المطوّل أي التأثير المديد (الأطول).

المستقبلات المثيّرة والمثبّطة

إن الآليات الجزيئيّة والغشائيّة المختلفة الخاضعة لمستقبلات مختلفة والتي تسبب الإثارة أو التثبيط تتضمن ما يلي:

- الاستثارة Excitation:

- **فتح قنوات الصوديوم**، مما يسمح لعدد كبير من الشحنات الإيجابية بالتدفق نحو داخل الخلية.
- **تثبيط النقل عبر قنوات البوتاسيوم أو الكلور** أو كليهما، مما ينقص من انتشار شوارد البوتاسيوم الإيجابية إلى خارج العصبون بعد المشبكي، كذلك يقلل من انتشار أيونات الكلوريد سالبة الشحنة لداخل العصبون بعد مشبكي.
- **تغييرات مختلفة في الاستقلاب الداخلي للخلية** مما يثير فعاليتها، أو في بعض الحالات **زيادة عدد مستقبلات الاستثارة** في الغشاء، أو **إنقاص عدد مستقبلات التثبيط** في الغشاء.

- التثبيط Inhibition:

- **فتح قنوات البوتاسيوم**، مما يسمح بالانتشار السريع لشوارد البوتاسيوم الإيجابية من داخل إلى خارج العصبون بعد المشبك.
- **زيادة ناقلية شوارد الكلور** عبر المستقبلة، مما يسمح لشوارد الكلور السلبية بالانتشار نحو الداخل.
- **تفعيل أنظيمات المستقبلة** التي تثبّط الوظائف الاستقلابية الخلوية، أو **تزيد عدد المستقبلات التثبيطيّة** أو **إنقاص عدد المستقبلات الاستثارية**.

الخلاصة

الاستثارة	• فتح الصوديوم، وإغلاق البوتاسيوم، وتثبيط الناقليّة بالنسبة لشوارد الكلور.
التثبيط	• فتح البوتاسيوم، وإغلاق الصوديوم، وزيادة الناقليّة بالنسبة لشوارد الكلور.

المواد الكيمائيّة التي تعمل كنواقل مشبكيّة

لقد أثبتت التجارب وجود أكثر من 100 مادة كيميائيّة مختلفة تعمل كنواقل مشبكيّة، وقد قسمت إلى زمرتين:

1- النواقل سريعة التأثير صغيرة الجزيء.

2- عدد كبير من البتيدات العصبية بطيئة التأثير وذات حجم جزيئي كبير.

النواقل سريعة التأثير صغيرة الجزيء

الأستيل كولين	النورإبينفرين	ابينفرين	الدوبامين
السيرتونين	الهستامين	الغليسين	الغلوتامات
الأسبارتات	أكسيد النتريك NO	غاما أمينوبوتيريك أسيد GABA (مهم بالنسبة للجملة العصبية)	

البتيدات العصبية - النواقل بطيئة التأثير

الهرمونات المحررة من تحت المهاد (الوطاء)

- الهرمون محرر الموجهة الدرقية.
- الهرمون محرر الهرمون الملوتن
- سوماتوستاتين (العامل المثبط لهرمون النمو).

البتيدات النخامية

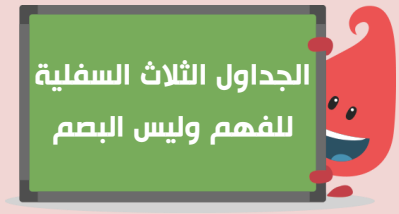
- ACTH
- بيتا-اندورفين
- LH
- بروﻻكتين
- هرمون النمو
- فازوبروسين
- أوكسيتوسين

البتيدات التي تعمل على الأمعاء والدماغ

- لوسين انكيفالين.
- ميثيونين انكيفالين.
- المادة P.
- الغاسترين.
- كولي سيستوكينين.
- انسولين.
- غلوكاغون.
- عديد البتيدات الفعّال في الأوعية المعوية VIP

من الأنسجة الأخرى

- أنجيوتسين II.
- براديكينين.
- كالسيتونين.
- ببتيدات النوم.



النواقل سريعة التأثير صغيرة الجزيء:

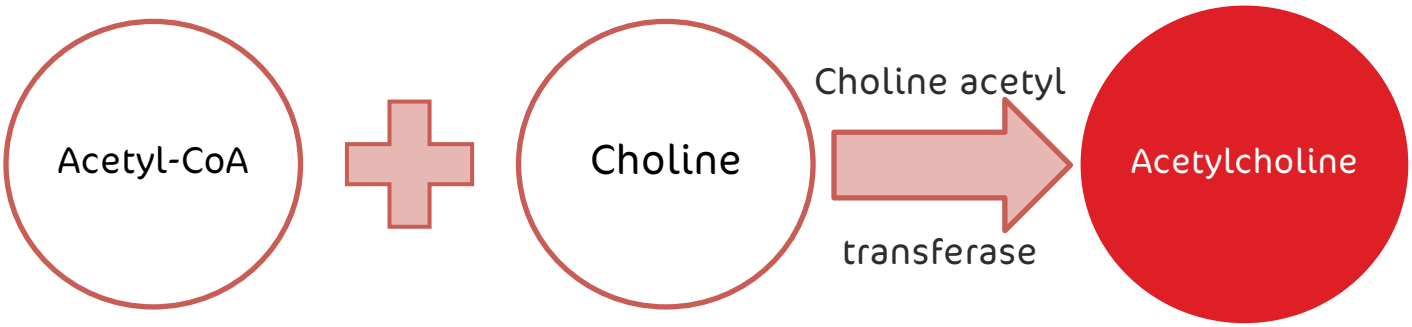
إن معظم تأثير هذه النواقل يتركّز في زيادة أو إنقاص النقل عبر القنوات الشارديّة.

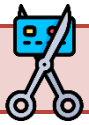
مثال للتوضيح: تؤدي زيادة النقل الصودي إلى حدوث التنبيه وبالتالي الاستثارة، أما زيادة النقل البوتاسي فتسبب التثبيط.

إعادة تدوير الأنواع الصغيرة الجزيء للحويصلات

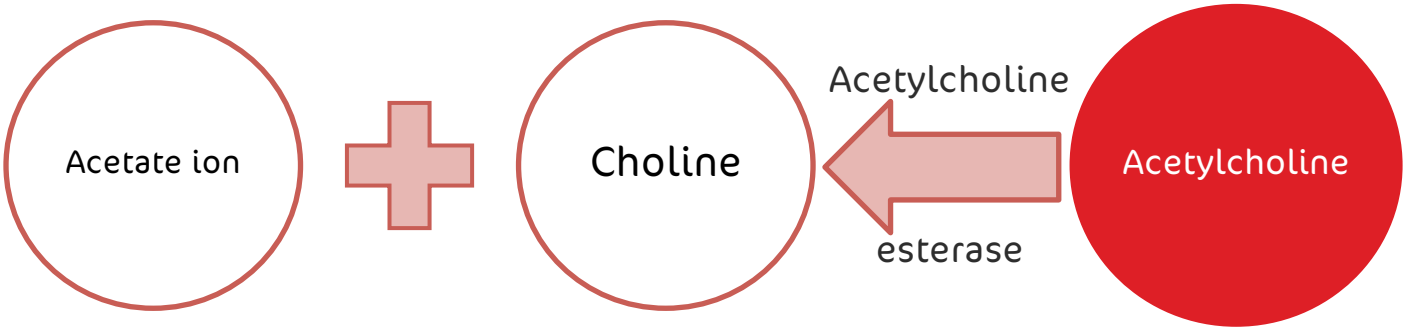
- تعاد دورات الحويصلات التي تخزن وتحرر النواقل الصغيرة الجزيء باستمرار، أي يُعاد استعمالها مرة أخرى.
- **الأستيل كولين** هو ناقل صغير الجزيء نموذجي تنطبق عليه قواعد التشكّل والتحرّر، فهو يركب في النهاية قبل المشبك من أستيل تميم الأنظيم A (Acetyl-coA) إضافة إلى الكولين، وذلك بوجود الأنظيم **ناقلة الاستيل كولين** Acetyl choline transferase.
- ثم ينقل بعدها إلى الحويصلات الخاصة به، وعندما تحرر هذه الحويصلات الأستيل كولين إلى الشق المشبكي فإنه ينشطر بسرعة إلى الأستيات والكولين بوساطة **أنزيم استيل كولين إستراز** AChE المرتبط بالشبكة المخاطية البروتينية التي تملأ الحيّز في الشق المشبكي.
- بعد ذلك تتشكل الحويصلات من جديد ويُعاد نقل الكولين بشكل فعّال نحو داخل النهاية ليستعمل ثانية في صنع أستيل كولين جديد.

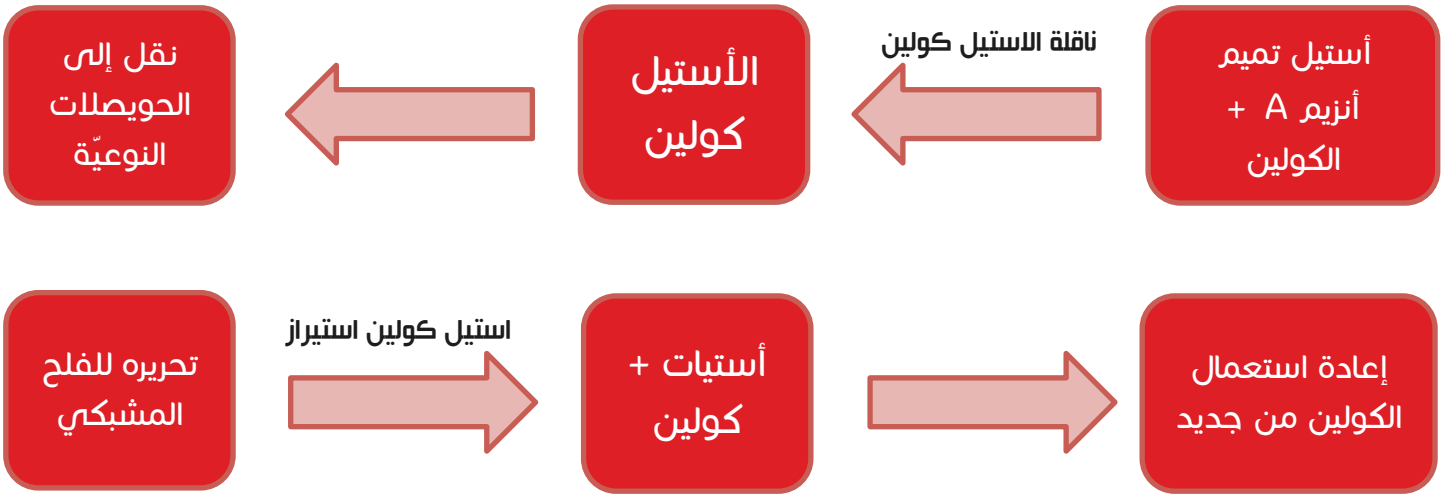
Synthesis





Destruction





خصائص بعض النواقل صغيرة الجزيء الهامة

الأكثر أهمية هي:

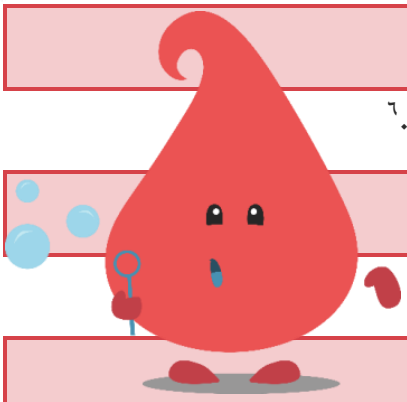
1- الأستيل كولين Acetylcholine:

- تفرزه العصبونات في العديد من مناطق الدماغ ولكن بصورة خاصة:
  - من الخلايا الهرميّة الكبيرة في القشرة الحركية.
  - من العديد من العصبونات المختلفة في العقد القاعدية.
  - من العصبونات الحركية التي تغذي العضلات الهيكليّة.
  - من العصبونات قبل العقديّة للجهاز العصبي المستقل.
  - من العصبونات بعد العقدية للجهاز اللاودي.
  - من بعض العصبونات بعد العقدية للجهاز الودي.

- وللأستيل كولين **في معظم الحالات تأثير استثاري**، كما يعرف أيضاً أن له **تأثيرات تثبيطيّة** عند بعض النهايات العصبية اللاودية المحيطية مثل: تثبيط القلب بالعصب المبهم.

2- النور ابينفرين:

- الذي يفرزه العديد من العصبونات التي توجد أجساد خلاياها في **جذع الدماغ وفي الوطاء**.
- وترسل العصبونات المفرزة للنورابينفرين والمتوضّعة في **الموضع الأزرق Locus Ceruleus في الجسر** بصورة خاصة أليافاً عصبيّة إلى مناطق واسعة الانتشار في الدماغ.
- وهي تساعد في **التحكّم في الفعاليات العامة للمزاج والعقل**، كما يحتمل أن ينشط النورابينفرين في معظم هذه المناطق المستقبلات الاستثاريّة، إلا أنه ينشّط المستقبلات المثبطة في مناطق قليلة.
- ويفرز النورابينفرين أيضاً من معظم العصبونات بعد العقدية للجهاز العصبي الودي التي تنبّه بعض الأعضاء وتثبّط البعض الآخر منها.



3- الدوبامين Dopamine:

- يفرز من عصبونات المادة السوداء من العقد القاعدية، والدوبامين مثبط عادةً.[6]

4- الغليسين Glycine:

- يفرز من مشابك النخاع الشوكي، وهو مثبط دائماً.

5- غاما أمينوبوتريك أسيد GABA:

- يفرز من النهايات العصبيّة في النخاع والمخيخ والعقد القاعدية ومناطق كثيرة من القشر، ويعتقد أنه مثبط دائماً.

6- الغلوتامات Glutamate:

- يفرز من النهايات قبل المشبك في كثير من السُبل الحسيّة بالإضافة إلى مناطق متعددة من القشر وهو مثير دائماً.

7- السيرتونين Serotonin:

- يفرز من النوى المتوضعة في الرِفاء Raphe[7] الناصف لجذع الدماغ والتي تنتأ إلى العديد من مناطق الدماغ والنخاع خاصة إلى القرون الخلفية للنخاع وإلى الوطاء.
- يعمل السيرتونين كمثبط لسبل الألم في النخاع، لكن يعتقد أنه له دور في التحكّم بمزاج الشخص ويحتمل أنه قد يسبب النوم.

8- أوكسيد النتريك Nitric Oxide:

- هو مادة ناقلة صغيرة الجزيء اكتشفت حديثاً، وهو يوجد خصوصاً في مناطق الدماغ المسؤولة عن السلوك طويل الأمد وعن الذاكرة، ولذلك فقد تساعد طريقة عمل هذه المادة الجديدة على تفسير وظائف السلوك والذاكرة التي تحدّت لغاية الآن فهمنا لها.
- يختلف أكسيد النتريك NO عن غيّره من الناقلات صغيرة الجزيء في آليات تكوينه في النهاية قبل المشبكية وفي عمله على العصبون بعد المشبكي، وهو لا يكوَّن ولا يخزّن في حويصلات النهاية قبل المشبكية كالناقلات الأخرى، وبدلاً من ذلك يركب آنياً تقريباً عند الحاجة إليه.
- ينتشر بعد ذلك إلى خارج النهايات قبل المشبكية خلال فترة ثوان بدل تحريره في الرزم الحويصلية، وبعد ذلك ينتشر إلى العصبون بعد المشبكي المتاخم مباشرة، وكذلك إلى العصبونات بعد المشبكية المجاورة الأخرى.
- في العصبون بعد المشبكي، لا يغيّر أكسيد النتريك عادة الجهد الغشائي كثيراً، ولكنه يغيّر عوضاً عن ذلك الوظائف الاستقلابية داخل الخلايا التي تعدل الاستثارة العصبونية لثوانٍ أو دقائق أو حتى لمدة أطول.

---

[6] يثبّط إفراز البرولاكتين (PIF).

[7] الرفاء هو المنطقة المتوسطة من جذع الدماغ، وتفرز هرمون السيرتونين.

RBO Clinical

Clinical Notes

- إن نقص الأستيل كولين في الدماغ هو المسؤول عن مرض الألزهايمر.
- الدوبامين مسؤول عن مرض باركنسون ومرض الفصام، حيث:
  - مرض باركنسون: نقص الدوبامين.
  - مرض الفصام: زيادة الدوبامين.
- GABA مهم عند أطباء الأعصاب، له دور بالصرع وعلاج الصرع.
- إن نقص السيرتونين يؤدي إلى الاكتئاب، حيث أن معظم أدوية الاكتئاب تؤثر على هرمون السيرتونين وتمنع طرحه خارج الجسم.
- GABA مثبط دائماً \ الفلوتامات مثير دائماً.

البتيدات العصبية:

- هي ذات تأثير أبطأ (مديد) عادةً وتُصنّع بشكل مختلف، وتمارس عملها بشكل بطيء وبطرق مختلفة أيضاً.
- تركب كجزء متمم لجزئيات البروتين الكبيرة بوساطة الريباسات Ribosomes في جسم الخلية العصبية.
- تنقل هذه الجزئيات البروتينية مباشرة إلى الشبكة البطانية الداخلية في جسم الخلية وتقوم هذه الشبكة بالتعاون مع جهاز غولجي بأمرين:

١. شطر البروتين الأصلي أنزيمياً إلى أجزاء صغيرة وبذلك يتحرر البتيد العصبي.

٢. يقوم جهاز غولجي بتجميع البتيد العصبي في حويصلات نقل صغيرة منتشرة في الهيولى، ثم تنقل هذه الحويصلات إلى نهاية الليف العصبي[٨]، وفي النهاية تحرر هذه الحويصلات محتواها من البتيدات العصبية استجابة لكمون الفعل، وتنحل الحويصلات ذاتياً فلا تُستعمل ثانيةً.

- طريق تصنيع البتيدات العصبية طويل وشاق وبالتالي إفرازها يكون بكميات أصغر مما يحرر من النواقل صغيرة الجزيء ولكن فعالية البتيد العصبي أقوى بألف مرة أو أكثر من النواقل صغيرة الجزيء.
- البتيد يمتاز بتأثيراته طويلة الأمد، ومن هذه التأثيرات:

الإغلاق طويل الأمد لمسام الكالسيوم - التغيير طويل الأمد في استقلاب الخلايا - تفعيل أو إزالة تفعيل جينات نوعيّة في نواة الخلية.

Notes

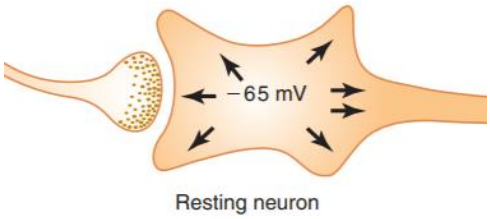
- تستمر هذه التأثيرات أياماً وربما أشهر أو حتى سنين.

[8] بواسطة الجريان المحواري التقدمي

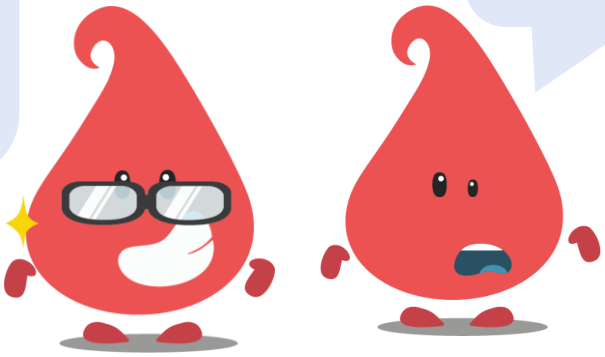
الحوادث الكهربائية أثناء الإستثارات العصبية

كمون الغشاء الراحي Resting Membrane Potential (RMP)

- يعرف بأنه فرق الجهد الكهربائي على غشاء الخلية أثناء الراحة، ويساوي بين (-50 إلى -70 ميلي فولت)، ويطلق على الغشاء أنه في حالة استقطاب Polarization.
- وسبب ذلك مضخة الصوديوم البوتاسيوم التي تبقي على تركيز الصوديوم مرتفعاً خارج الخلية وتركيز البوتاسيوم عالياً داخل الخلية.
- قنوات الصوديوم لكي تفتح ← تحتاج إلى طاقة.
- قنوات البوتاسيوم مفتوحة دائماً ← لا تحتاج إلى طاقة.



Resting neuron



إذا تعرّضت الخلية إلى تنبيه تثبيطي أو استثاري أدى ذلك إلى تغير في نفوذية الغشاء اتجاه هذه الشوارد، مما يؤدي إلى إحدى حالتين:

١. **إزالة الاستقطاب Depolarization:** حيث يزداد دخول شاردة الصوديوم إلى داخل الخلية، فيصبح كمون الغشاء أقل سلبية أو حتى يصبح إيجابياً، وتؤدي إلى الاستثارة Stimulation.

٢. **فرط الاستقطاب Hyper polarization:** في هذه الحالة يزداد خروج البوتاسيوم من داخل الخلية، وبالتالي يصبح كمون الغشاء أكثر سلبية (مثلاً -90 ميلي فولت أو أكثر[٩])، وهذه الحالة تقلل من درجة استثارة الخلية أو تكبت أو تثبّط الخلية العصبيّة.

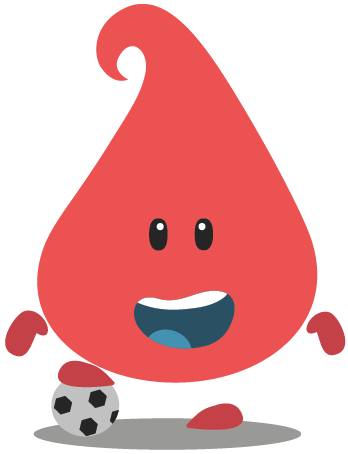
[٩] عم نحكي عن الخلية العصبية.

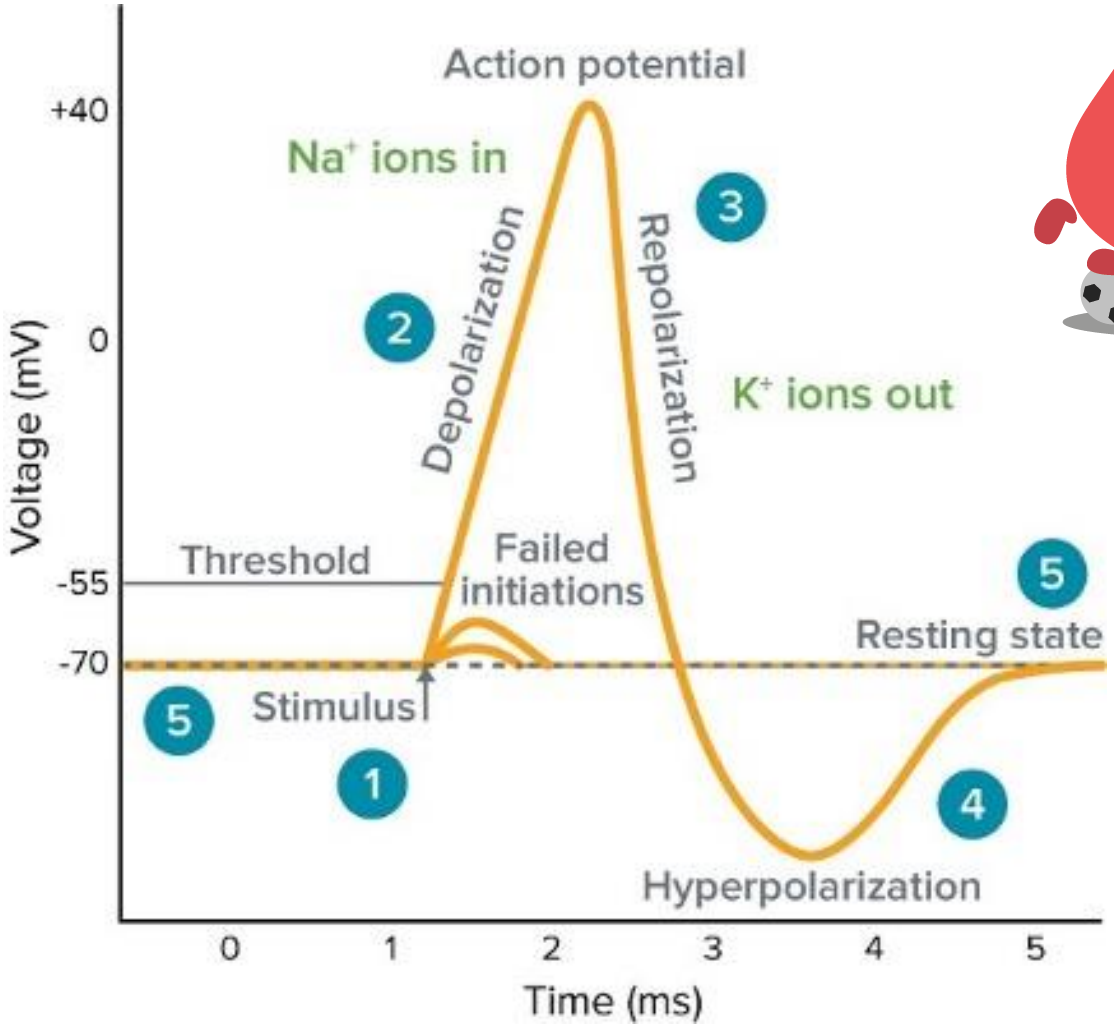
كمون الفعل Action Potential

- لقد ذكر أنه حينما تنبّه الخلية العصبية يحدث إزالة الاستقطاب من على غشائها حتى يصل إلى الصفر، ثم ينقلب من السلبية إلى الإيجابية.
- يطلق على هذا التغير السريع في الكمون اسم كمون الفعل، وحينما يصل إلى حد معين يطلق عليه عتبة الاطلاق أو التنبيه threshold ← تبدأ الدفعة الكهربائية impulse.

الدفعة العصبية

- حينما تنبه الخلية العصبية وتحدث إزالة الاستقطاب حتى تصل إلى عتبة الإطلاق، تحدث الاستثارة وتنتقل على غشاء المحور عملية إزالة الاستقطاب على شكل موجة كهربائية إلى أن تصل الى نهاية تفرعاته، هذا الانتشار لكمون الفعل على طول المحور هو ما يدعى بالدفعة العصبية.





تتميز الدفعة العصبية بعدة **صفات أو قوانين عامة** يجب التعرف عليها بشكل جيد:

1- زمن الحران (العصيان) المطلق Absolute Refractory Period:

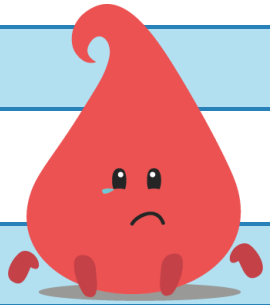
هي فترة زمنية قصيرة تتبع كمون الفعل مباشرة، ولا يمكن لأي منبه مهما كانت شدته أن يؤدي الى حدوث كمون فعل جديد أثناءه.

2- زمن الحران النسبي Relative Refractory Period:

هي فترة تتبع زمن الحران المطلق، وفي هذه الفترة تحتاج الخلية إلى تنبيه أشد مما هو في العادة لكي يحدث كمون فعل جديد.

3- قانون الاستجابة الكاملة أو اللااستجابة all or none response:

تحت ظروف فيزيولوجية ثابتة، إذا طُبِّق تنبيه على خلية عصبية فإما أن تحدث الدفعة العصبية كاملة أو لا تحدث.



4- الاتجاه الأحادي للدفعة unidirectional conduction:

يكون اتجاه الدفعة الكهربائية دائماً في اتجاه واحد في الخلية العصبية.

5- سرعة التوصيل velocity of conduction:

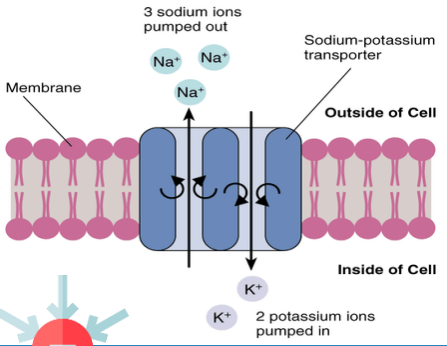
تختلف سرعة توصيل الدفعة في الليف العصبي حسب قطره، وحسب تغليفه بالنخاعين، فتزداد سرعة التوصيل كلما ازداد القطر، وإذا كان الليف العصبي مغلفاً بالنخاعين myelin.

فوارق تركيز الشوارد عبر غشاء جسد العصبون

- هناك فارق لتركيز ثلاث شوارد هامة لعمل العصبون عبر غشاء جسد العصبون، وهي شوارد **الصوديوم والبوتاسيوم والكلور**.
- إن تركيز **شوارد الصوديوم** مرتفع جداً في السائل خارج الخلوي بينما هو منخفض داخل العصبون.
- أما بالنسبة **للبوتاسيوم** فإن تركيزه داخل جسد العصبون أكبر بكثير منه في السائل خارج الخلوي.
- تتسرب شوارد البوتاسيوم عبر الغشاء من قنوات الشوارد بمعدل كافٍ لإلغاء معظم فعاليّة **مضخة البوتاسيوم**، فهي تتسرب عبر الغشاء بسهولة أكثر من شوارد الصوديوم[10].
- إن تركيز **الكلور** مرتفع في السائل خارج الخلايا وينخفض داخل العصبون، مع أن الغشاء نفوذ تماماً لشوارد الكلور ولكن هناك احتمال ضعيف لوجود مضخة للكلور.

[10] مضخة بوتاسيوم هي النصف الثاني من مضخة صوديوم-بوتاسيوم.

- **السبب الأهم لانخفاض تركيز الكلور في الداخل** فيعود إلى أن الكمون داخل العصبون بـ -65 ميلي فولت، إذ أن هذه السلبية بالكمون تعمل على طرد شوارد الكلور المشحونة سلبياً بالقوة إلى الخارج عبر المسام.



منشأ كمون الراحة لغشاء جسد العصبون

إن السبب الأساسي لكون كمون الراحة لغشاء جسد العصبون -65 ميلي فولت هو مضخة الصوديوم – بوتاسيوم، فهذه المضخة تعمل على إخراج شوارد Na^+ وادخال شوارد K^+، حيث تخرج 3 شوارد صوديوم وتدخل شاردتي بوتاسيوم.

السلبية داخل العصبون بالنسبة لخارجه

- يوجد في الداخل عدد كبير من الشوارد السلبية التي لا تستطيع عبور الغشاء (مثل شوارد البروتين والفوسفات) والتي تبقى من دون موازنة بأيونات موجبة، وهذا سبب ليصبح داخل العصبون ذا شحنة سلبية.
- **الضخ المفرط لأيونات الصوديوم** للخارج خلال الغشاء بواسطة مضخة صوديوم-البوتاسيوم هو سبب آخر للسلبية داخل الخلية.
- كذلك يصبح داخل العصبون سلبي الشحنة نتيجة **لانتشار البوتاسيوم**.

بعض الميّزات الخاصّة للنقل المشبكي

- تعب النقل المشبكي Fatigue of synaptic transmission:

- عند تنبيه المشابك الاستثارية تكرارياً وبسرعة كبيرة، يكون عدد تفريغات العصبون بعد المشبكي في البدء عالياً، ولكنه يقل تدريجياً خلال الميلي ثواني أو الثواني التالية، ويسمى ذلك تعب الانتقال المشبكي.
- والتعب خاصية مهمة جداً لوظيفة المشبك، لأنه عندما تستثار إحدى مناطق الجهاز العصبي استثارة مفرطة، فإن التعب يسبب فقدانها لهذه الاستثارة المفرطة بعد فترة، فمثلاً من المحتمل أن يكون التعب هو الوسيلة المهمة جداً التي **تخفف أخيراً الاستثارية المفرطة للدماغ خلال نوبة الصرع وتوقفها**، وبهذا فإن التعب هو آلية وقائية ضد الفعالية العصبونية المفرطة.

آلية التعب

- هي بصورة رئيسيّة استنزاف مخزون المادة الناقلة في النهايات قبل المشبكية، خصوصاً أن النهايات الاستثارية التي توجد على العديد من العصبونات إن لم يكن معظمها، تحتوي على كمية من الناقلة الاستثارية كافية لحوالي 10000 نقل مشبكي سوي فقط، ولذلك تستنزف الناقلة خلال بضع ثوان إلى بضع دقائق من التنبيه السريع.
- ويتولد جزء من عملية التعب عن عاملين آخرين أيضاً وهما:
  ١. التعطيل التدريجي للعديد من مستقبلات الغشاء بعد المشبكي.
  ٢. التراكم البطيء لتراكيز شاذة لأيونات داخل الخلية العصبون بعد المشبكي والذي يولد تأثيراً تثبيطياً على العصبون بعد المشبكي.

- التيسير بعد التكزز Post-tetanic Facilitation:

- عندما تنبّه سلسلة من الدفعات المتتابعة بسرعة مشبكاً مثيراً مدة من الزمن ثم يلي ذلك فترة راحة، يصبح المشبك غالباً لمدة ثواني إلى دقائق أكثر قدرة على الاستجابة للتنبيهات التالية منه في الحالة السوية، وهذا ما يدعى التيسير بعد التكزز.

الآلية

- يحدث التيسير بشكل أساسي عن فرط تراكم لشوارد الكالسيوم في النهايات قبل المشبكية بفعل التنبيه المتكرر، لأن مضخة الكالسيوم تضخ ببطء شديد عند إزالة كل هذه الكمية مباشرة بعد كل جهد فعل.
- تسبب شوارد الكالسيوم المتراكمة هذه تحريراً أكبر للمادة الناقلة من الحويصلات، وأحياناً يزداد تحرير هذه الناقلات إلى سرعة تبلغ ضعف سرعة تحريرها ال سوية.

فكرة

لايزال هناك شك حول الدلالة الفيزيولوجية للتيسير بعد التكززي، ويمكن ألا تكون له أية دلالة أبداً، ولكن يمكن للعصبونات أن تختزن بعض المعلومات بواسطة هذه الآلية، ولذلك يمكن أن يكون التيسير بعد التكززي آلية للذاكرة (القصيرة الأمد) في الجهاز العصبي المركزي.

- تأثير الحماض والقلاء على النقل المشبكي:

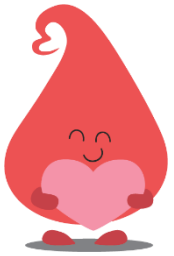
- العصبونات حساسة جداً لتغيرات PH السوائل الخلالية المحيطة.

RBO Clinical

Clinicals ♥

- يُحدث زيادة PH الدم الشرياني (القُلاء Alkalosis) من 7.4 إلى 7.8 وحتى 8 غالباً اختلاطات دماغيّة بسبب ازدياد استثارة العصبون، وهذا ما نراه بوضوح عند شخص تظهر لديه اختلاجات صرعية بسبب فرط التنفس، لأن فرط التنفس يرفع PH الدم بشكل لحظي فقط، ومع ذلك فإن هذه المدة القصيرة كافية لإحداث هجمة صرعية.
- انخفاض PH الدم (الحُماض Acidosis) من 7.4 إلى أقل من 7 يسبب حالة سبات عادة Comatose state، ويظهر دائماً في السبات اليوريميائي الشديد والحمّاض السكري في الداء السكري الوخيم.

القلاء Alkalosis ← يزيد استثاريّة العصبونات بشدة ← Epilepsy



الحماض Acidosis ← يثبّط فعاليّة العصبونات بشكل كبير ← Comatose state

- تأثير عوز الأكسجين على النقل المشبكي:

- إن قطع الأكسجين بضعة ثواني فقط يؤدي إلى انعدام الاستثارية تماماً، وهذا ما نراه عندما تنقطع التروية الدماغية مدة 3 – 5 ثواني، إذ يفقد الشخص وعيه، وهذا يختلف بين شخص وآخر حسب عمره وبنيته وفترة الإرواء.

- تأثير الأدوية على النقل المشبكي:

- هناك العديد من العقاقير المعروفة التي تزيد استثارية العصبونات، كما أن بعض العقاقير تقلل هذه الاستثارية.

مثلاً:

- **الكافئين والتيوفيلين والتيوبرومين** التي توجد في القهوة والشاي والكاكاو على التوالي، تزيد جميعها استثارية العصبونات، ويفترض أن ذلك يتم **بإنقاص العتبة** الاستثارية للعصبونات.
- **الستركنين strychnine** هو من أحسن العوامل المعروفة التي ترفع استثارية العصبونات، ومع ذلك فهو لا يقلل من عتبة الاستثارية للعصبونات، بل **يثبّط عمل بعض الناقلات التثبيطية** على العصبونات وخصوصاً التأثير التثبيطي للغليسين في النخاع، ونتيجة لذلك تطفى تأثيرات الناقلات الاستثارية وتستثار العصبونات بحيث تبدأ بتفريغ ترددي سريع يولد تشنّجات عضليّة توتريّة وخيمة.
- **تزيد معظم المبنّجات عتبة الغشاء للاستثارة** فتقلل بذلك الانتقال المشبكي في عدة نقاط في الجهاز العصبي.

- التأخير المشبكي synaptic dealy:

- يستهلك انتقال جهد الفعل من العصبون قبل المشبكي إلى العصبون بعد المشبكي بعض الوقت، ويستهلك ذلك في:

تفريغ المادة الناقلة بواسطة النهاية قبل المشبكية ← انتشار المادة الناقلة إلى الغشاء العصبوني بعد المشبكي ← عمل المادة الناقلة على مستقبلة الغشاء ← عمل المستقبلة على زيادة نفوذية الغشاء ← انتشار الصوديوم إلى الداخل ليرفع جهد الاستثارة بعد المشبكي إلى درجة عالية كافية لتوليد جهد فعل

- إن أقصر وقت يقتضيه حدوث كل هذه العمليات حتى عند تنبيه أعداد كبيرة من المشابك الاستثارية في وقت متزامن هو حوالي 0.5 ميلي ثانية، ويسمى هذا التأخير المشبكي.
- **وهو مهم للسبب التالي:** يتمكن فيزيولوجيو الأعصاب من قياس الوقت الأقصر للتأخير بين مدخول وابل من الدفعات ونتاج وابل منها، ومن ذلك يمكن تقدير عدد العصبونات المتسلسلة في الدارة.

Summary

- الاستيل كولين + النورابنفرين في معظم الحالات نواقل استثارية.
- الدوبامين+ غلايسين + GABA مثبطة دائماً.
- الغلوتامات مثير دائماً.
- التيسير بعد التكزز ناتج عن فرط تراكم لشوارد الكالسيوم في النهايات قبل مشبكية للعصبون.
- نقص السيروتونين يسبب اكتئاب حيث له دوراً في الحالة النفسية للشخص فضلاً عن مساهمته في إغلاق بوابة الألم.
- القلاء يسبب زيادة استثارية العصبونات.
- الحماض يسبب انخفاض استثارية العصبونات.
- التعب المشبكي آلية وقائية ضد الفعالية العصبونية المفرطة (نوبة الصرع).
- تزداد سرعة التوصيل للدفعة في الليف العصبي كلما ازداد قطر الليف وإذا كان مغمداً بالنخاعين.
- في فترة الحرّان المطلق لا يحدث كمون فعل أبداً.
- السركنين لا ينقص العتبة الاستثارية للعصبونات بل يثبط عمل بعض الناقلات التثبيطية على العصبونات.
- الكافئين + التيوفيلين +التيوبرومين تنقص العتبة الاستثارية.
- معظم المنبجات تزيد العتبة الاستثارية.

Write your notes: