تشريح الأعصاب المحيطية والفيزيولوجيا الكهربائية للنقل العصبي

Anatomy of Peripheral Nerves and Electrophysiology of Nerve

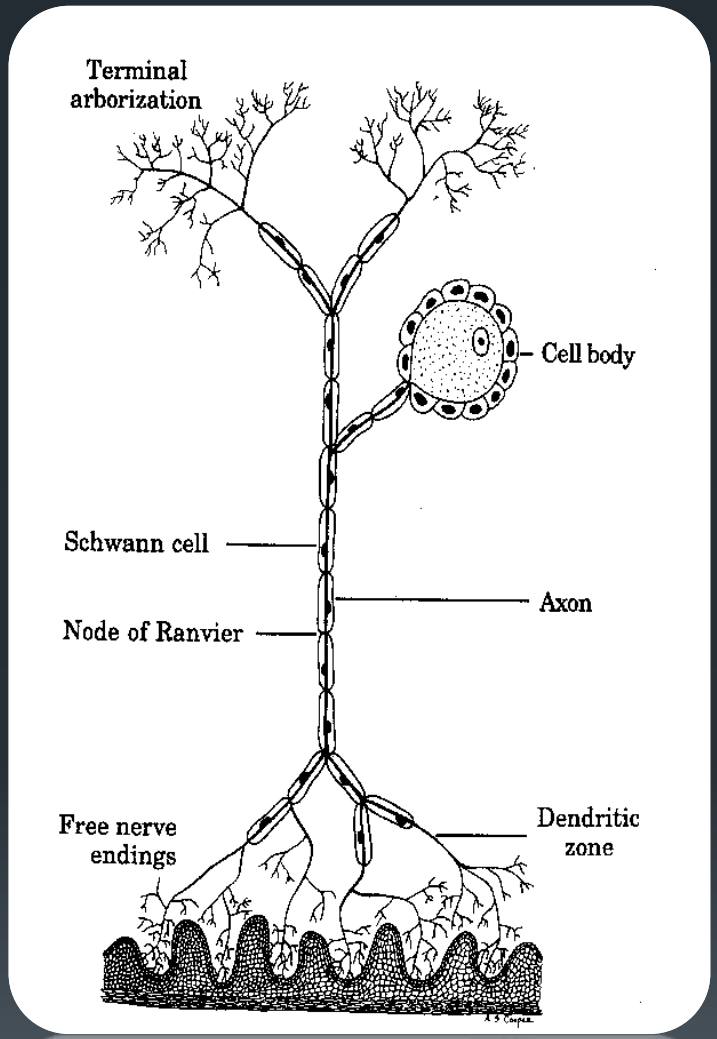
الأستاذ الدكتور

محمد سبع العرب

تشريح الأعصاب المحيطية

ANATOMY OF PERIPHERAL NERVES

العصبون Neuron



- يشكل العصبون الوحدة الرئيسية للجملة العصبية و هو نوعان:

١-العصبونات الحسية الصادرة.

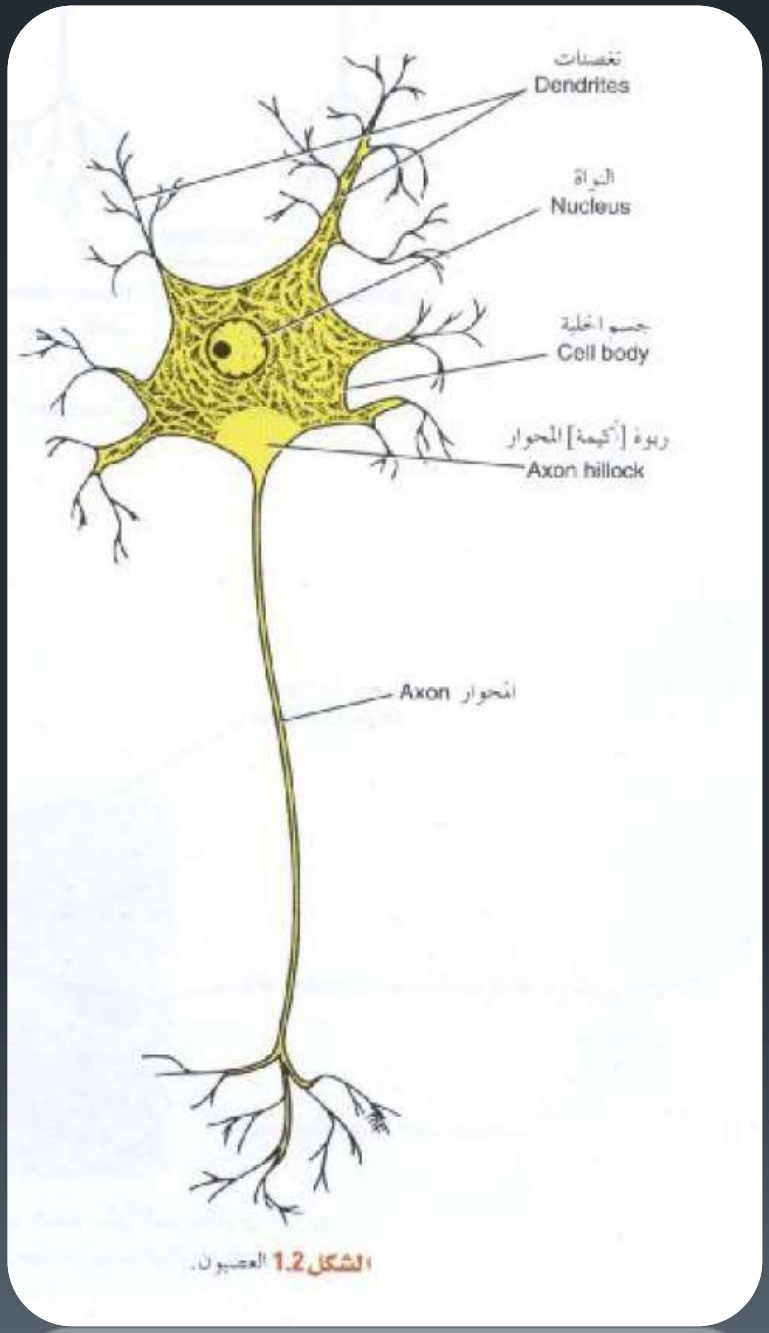
٢-العصبونات الحركية الواردة.

- تتألف العصبونات الحسية القادرة على نقل الألم ثلاثة أجزاء أساسية:

١-منطقة التفرعات الشجرية Dentrites

٢-المحور Axon

٣-جسم الخلية Cell body (soma)



الشكل 1.2 العصبون.

- تُحاط بعض الألياف العصبية بطبقة عازلة مغمدة من الدسم تُدعى **النخاعين** myelin، ويطلق على الألياف العصبية التي تُغلف بهذه الطبقة بالألياف العصبية أو المحاور النخاعينية، بينما يطلق على الألياف العصبية التي لا تُغلف بهذه المادة بالألياف العصبية **غير النخاعينية**، ومثال عليها النهايات العصبية الحرة.
- ولترتيب النخاعين على الليف العصبي التوزع الذي يأخذ شكل لفات حلزونية متعددة مكونة بذلك غمداً ثخيناً من النخاعين .
- وتُشكل أقصى طبقة خارجية من هذا الغمد ما يسمى بخلية **شوان** العصبية schwann cell، وكل المحاور أو الألياف العصبية على الإطلاق هي محاطة بخلايا شوان، وما الفرق بين الألياف العصبية النخاعينية وغير النخاعينية إلا في كمِّ الإحاطة .

- تتقطع استمرارية الغمد النخاعيني في فواصل متساوية (0.5-3 mm) على طول المحور العصبي، ويطلق على نقطة الانقطاع اسم الاختناق (التضيق) أو عقدة رانفيير node of Ranvier، حيث يتعرى غشاء الليف العصبي ويصبح مكشوفاً بصورة مباشرة للوسط خارج الخلوي، وفي هذه المناطق (عقد رانفيير) يسهل جداً على محلول المادة المخدرة النفوذ والانتشار في غشاء الليف العصبي وبالتالي تحقيق الإحصار السريع في عملية النقل العصبي، كون النخاعيين يشكل حيث وجوده عائق/ انتشار تجاه المخدرات الموضعية .

- لغمد النخاعين ولخلايا شوان العصبية وظائف الحماية protection، والصيانة maintenance لليف العصبي.
- كما وتؤمن خاصية الإحاطة بغمد النخاعين الثخين للألياف العصبية النخاعينية المقدرة على نقل السيالة العصبية بسرعة أكبر مما هو عليه في الألياف غير النخاعينية .
- مما ذكر نرى أن الدسم والبروتين هما أساس بنية غشاء الليف العصبي وغمد الليف العصبي، وهذا يبين **وجوب توافر بعض الخواص الفيزيائية والكيماوية، في المواد المخدرة، مثل قابلية الانحلال بالدسم، وقابلية الارتباط بالبروتين**، وهي شروط ضرورية كي تتمكن المخدرات الموضعية من النفوذ (الانتشار)، والارتباط بالغشاء العصبي.

- فكلما **زادت قابلية الانحلال** بالدسم للعامل المخدر الموضعي كصفة وخاصية فيزيائية – كيميائية كلما سهل على محلول المادة المخدرة النفوذ والانتشار عبر غمد العصب وغشاء الليف العصبي الغنية بالدسم، و بالتالي **كلما زادت الفعالية لهذه المادة المخدرة** ،و انخفض تركيز استخدامها، و ظهر الفعل المخدر Onset بسرعة أكبر (مالم يكن للمادة المخدرة بحد ذاتها خاصية موسعة للأوعية).
- وكلما **زادت قابلية الارتباط بالبروتين** للعامل المخدر الموضعي – كصفة و خاصية فيزيائية – كيميائية – كلما **زادت فترة دوام التأثير** Duration لهذه المادة .

الليفة العصبية:

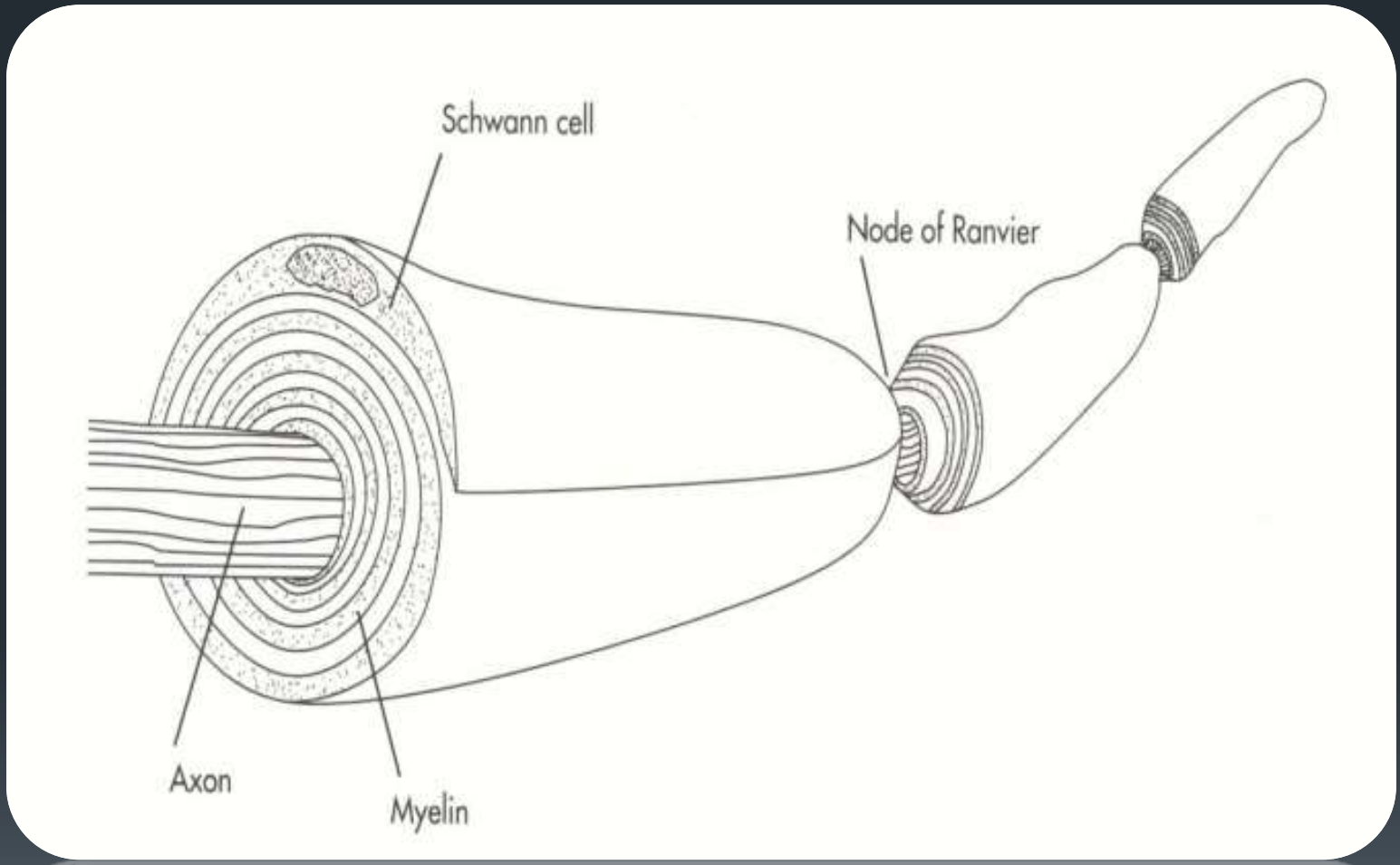
يطلق على المحور العصبي و ما يحيط به اسم الليفة العصبية و هي إما :

١. **ليف عصبي نخاعيني Myelinated nerve fiber:** يغلف فيها المحور بطبقة عازلة مغمدة من الدسم تدعى (النخاعين) ، ولترتيب النخاعين على اليف العصبي التوزع الذي يأخذ شكل لفات حلزونية متعددة.

وتتشكل في أقصى طبقة خارجية من هذا الغمد ما يسمى بخلية شوان schwann cell

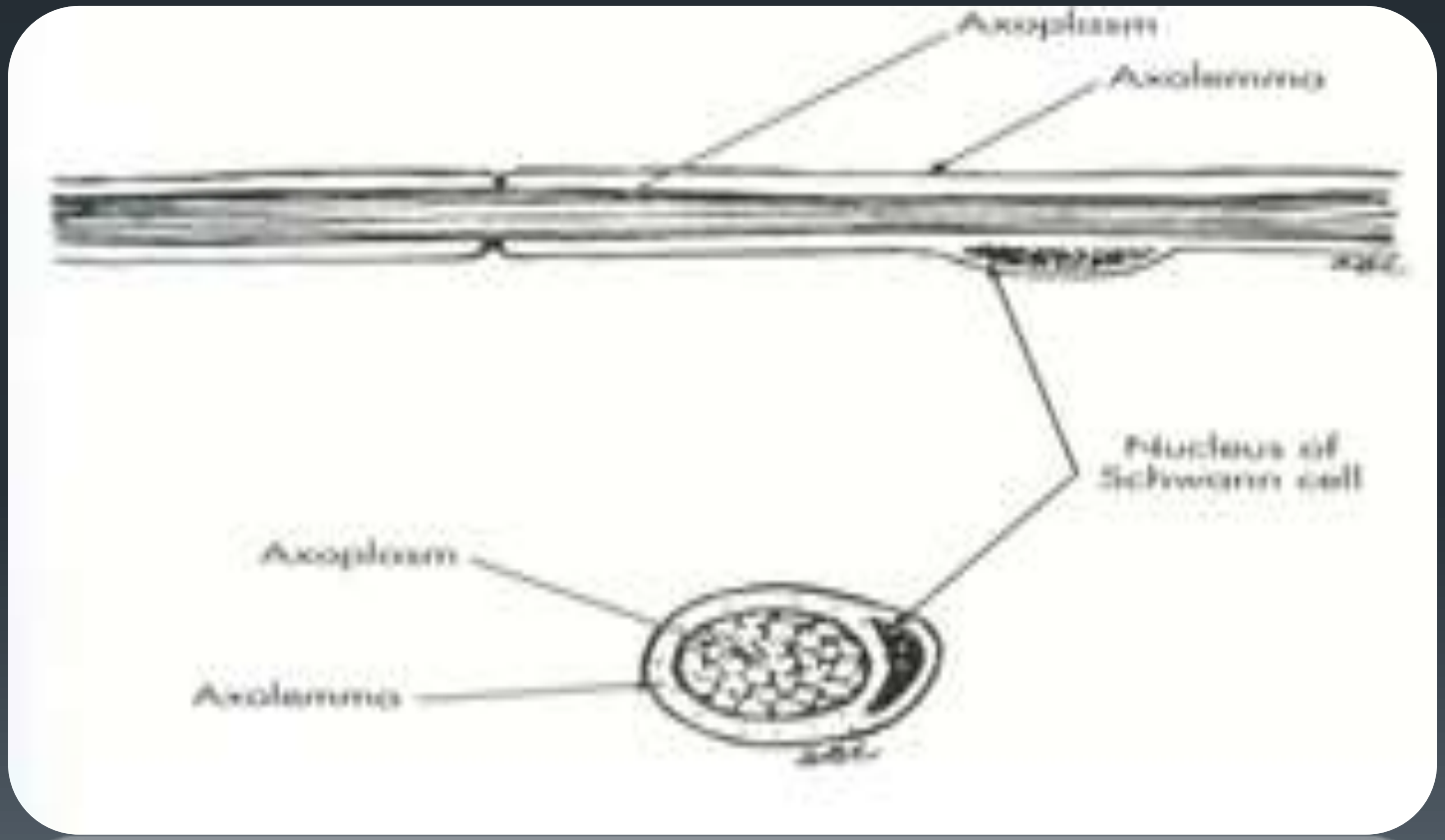
تتقطع استمرارية الغمد النخاعي على أبعاد متتابعة بعدد من الاختناقات تعرف باسم عقد رانفيير node of ranvier .

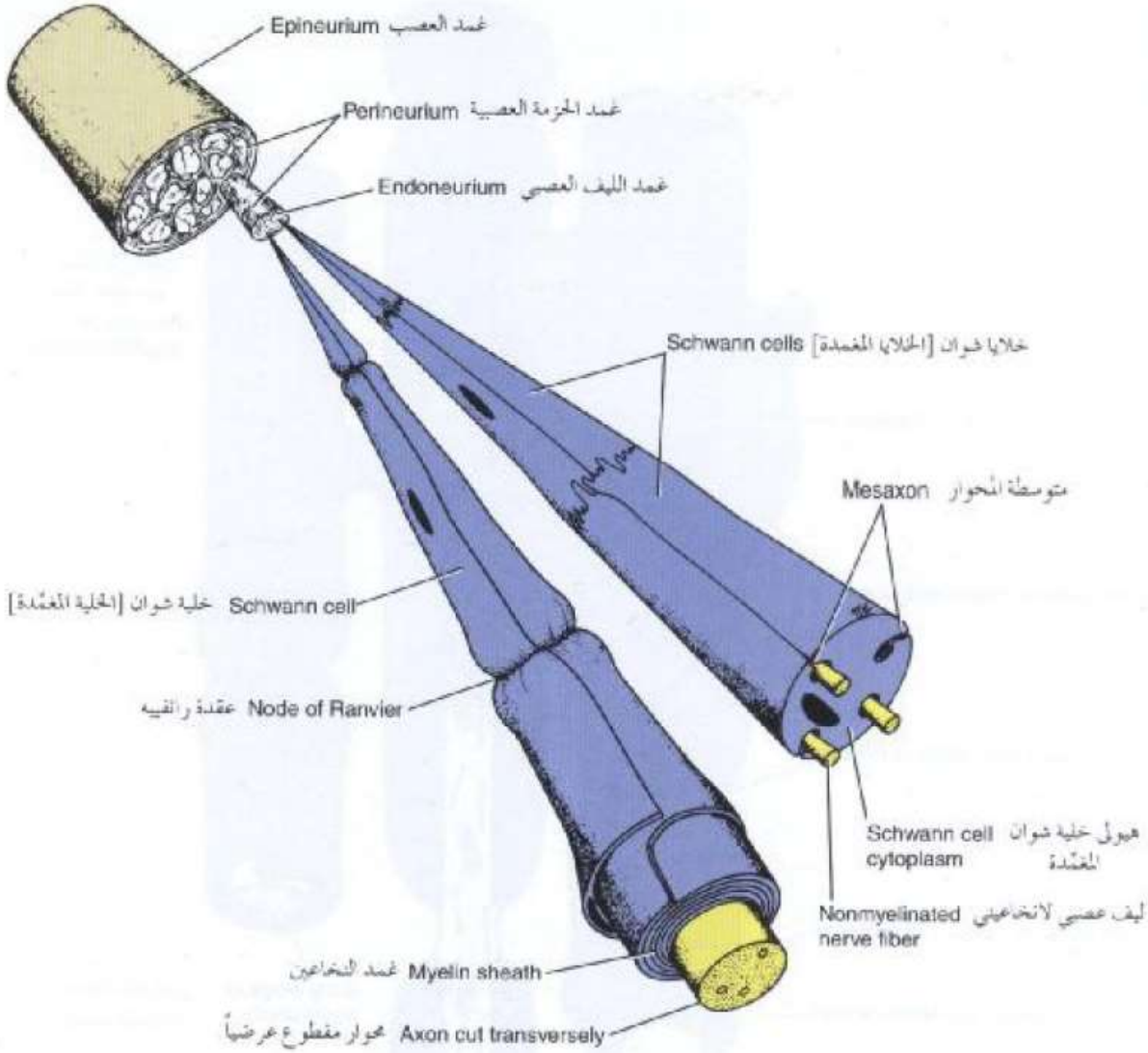
وإن وظيفة النخاعين الاساسية هي : زيادة سرعة نقل السيالات العصبية و المحافظة على المحور وحمايته .


Schwann cell
Node of Ranvier
Axon
Myelin

٢. ليفة عصبية غير (غير نخاعية):

تطلق على الياف العصبية التي لا تغلف بهذه المادة .





الشكل 2.3 منظر مكبّر لعصب محيطي، يُظهر أغماد النسيج الضام وبنية الألياف العصبية النخاعينة واللانخاعينية.

كيفية ترتيب الاعصاب المحيطية:

- يتركب العصب المحيطي من مئات إلى آلاف من المحاور axons المتراصة، والمتحزمة بشكل وثيق، وهذه المحاور هي محمية، ومُدعمة، ومغذاة من خلال طبقات متعددة من النسج الليفية والضامة العازلة، وعبر هذه الطبقات تمر الأوعية الدموية واللمفاوية الخاصة بالعصب المحيطي.
- يُغطى الليف العصبي المنفرد (المحور) ويفصل بينه وبين ليف عصبي آخر غمد يدعى غمد الليف العصبي.
- تربط ما يسمى بظهارة الحزمة العصبية perineurium ما بين عدد من الألياف وتجمعها في حزمة عصبية، وقد يحوي العصب المحيطي ما بين /٥- ١٠/ من الحزم العصبية، وكل حزمة قد يحوي ما بين /٥٠٠-١٠٠٠/ ليف عصبي، وتجمعٌ لـ خمسة آلاف ليف عصبي يشغل مسافة لحوالي (1 mm2).

- تختلف ثخانة ظهارة الحزمة العصبية تبعا لقطر الحزمة العصبية التي تحيط بها (الظهارة تحيط بالحزمة)، و كلما زادت ثخانة هذه الظهارة كلما قلت نسبة ارتشاح محلول المادة المخدرة ونفوزيتها عبر اغلفة العصب وصولا الى غشاء الليف العصبي _ مكان عمل المخدرات الموضعية.
- **تعتبر ظهارة الحزمة العصبية حاجز تشريحي اساسي لنفوذية المادة المخدرة**، و الطبقة الاكثر داخلية من هذه الظهارة، والتي تدعى Perilemma هي الحاجز التشريحي الاكثر مقاومة لنفوذية المادة المخدرة الوضعية.
- تحاط الحزم العصبية الموجودة في العصب المحيطي بشبكة متخلخلة من النسيج الضام الرخو تدعى بغمد العصب Epineurium، وهو لا يشكل حاجز تشريحي ذي مغذى لنفوذية المادة المخدرة .

✓ تعبر الأوعية الدموية واللمفاوية غمد العصب، وقد تقوم الأوعية الدموية الموجودة في غمد العصب المحيطي بامتصاص absorption المادة المخدرة إلى الدوران الدموي مقللة بذلك من نفوذية هذه المادة وفعاليتها اللاحقة في مكان تطبيقها.

✓ وفي نفوذية diffusion ،وسرعة ارتشاح المخدرات الموضعية باتجاه النقطة الهدف- غشاء الليف العصبي، فإن هناك جملة عوامل تحدد **نسبة هذا الارتشاح وسرعته وبالتالي مقدار و عمق التخدير اللاحق**، وهذه العوامل هي:

١) طبيعة الخواص الفيزيائية والكيمائية للمادة المخدرة الموضعية .
٢) التشريح العصبي والحالة الفيزيولوجية للأعصاب المحيطية .
٣) تفاعل الوسط المتواجدة فيه الأعصاب المحيطية .
٤) تركيز المادة المخدرة الموضعية، فكلما زاد ممال التركيز للمادة المخدرة الموضعية كلما زادت نسبة وسرعة الارتشاح أو النفوذية باتجاه النقطة الهدف- غشاء الليف العصبي .
٥) كمية المادة المخدرة الموضعية المطبقة: فكلما زادت كمية المادة المخدرة الموضعية كلما زادت نسبة وسرعة الارتشاح .

تصنيف الألياف العصبية المحيطية:

- غالباً ما تكون حزم المحاور العصبية في العصب المحيطي الواحد مختلفة الأقطار، وذلك عائد إلى ثخانة أغمادها النخاعينية، والتي تضفي عليها خصائص وظائفها اللاحقة .

- وفي تصنيف الألياف العصبية المحيطية نراها تنقسم **إلى ثلاث مجموعات من الألياف** تختلف في سرعة نقل الدفعات (السيالة العصبية) على طول محاورها، وهذه المجموعات هي:

١) **مجموعة الألياف A**، وهذه تمثل الألياف الأكثر ثخانة والأسرع ناقلية، وضمن هذه المجموعة يوجد تحت تقسيم يعكس كمونات العمل المنفردة لألياقها المتفاوتة الثخانة، تضم المجموعة A تحت التقسيم A-alpha ، A-beta ، A-gamma ، A-delta .

٢) **مجموعة الألياف B** ،وتمثل أليافاً (محاور) أقل ثخانة.

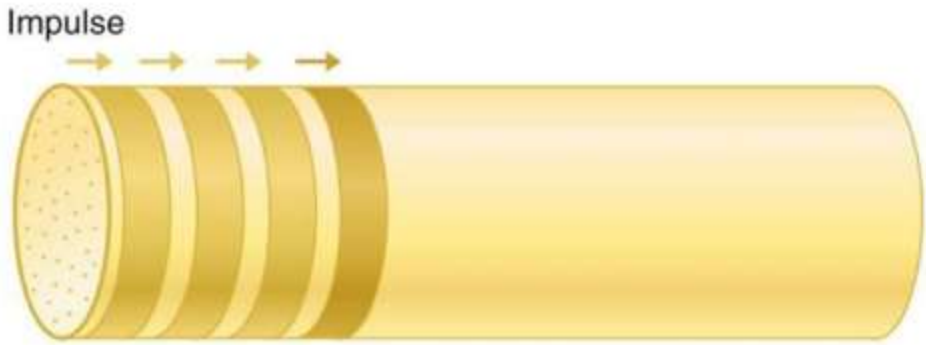
٣) **مجموعة الألياف C** ،وتمثل الألياف (المحاور) الأقل ثخانة.

- تنتمي الألياف B و C إلى الجملة العصبية المستقلة، و تمثل حس الألم pain sensationRepresent.

السيالة العصبية تنتقل بطريقتين :

أ- اما بطريقة الخطف من عقدة الى اخرى وذلك في الالياف المغمدة بالنخاعين(A delta)

ب- او بطريقة الزحف وذلك في الالياف غير مغمدة بالنخاعين و يكون لذلك نقل السيالة ابطأ.(C)



الليف عديم النخاعين

طريقة الزحف creeping impulse

الليف ذو النخاعين

طريقة الخطف أو القفز

Saltatory impulse

الفيزيولوجيا الكهربائية للنقل العصبي

ELECTROPHYSIOLOGY OF NERVE CONDUCTION

✓ إن الوظيفة الأساسية للأعصاب المحيطية هي في نقل الرسائل بين الجملة العصبية المركزية C.N.S وبقية أجزاء الجسم، وتدعى هذه الرسائل في حالة كمون الفعل الكهربائي بالدفعات أو السيالات العصبية.

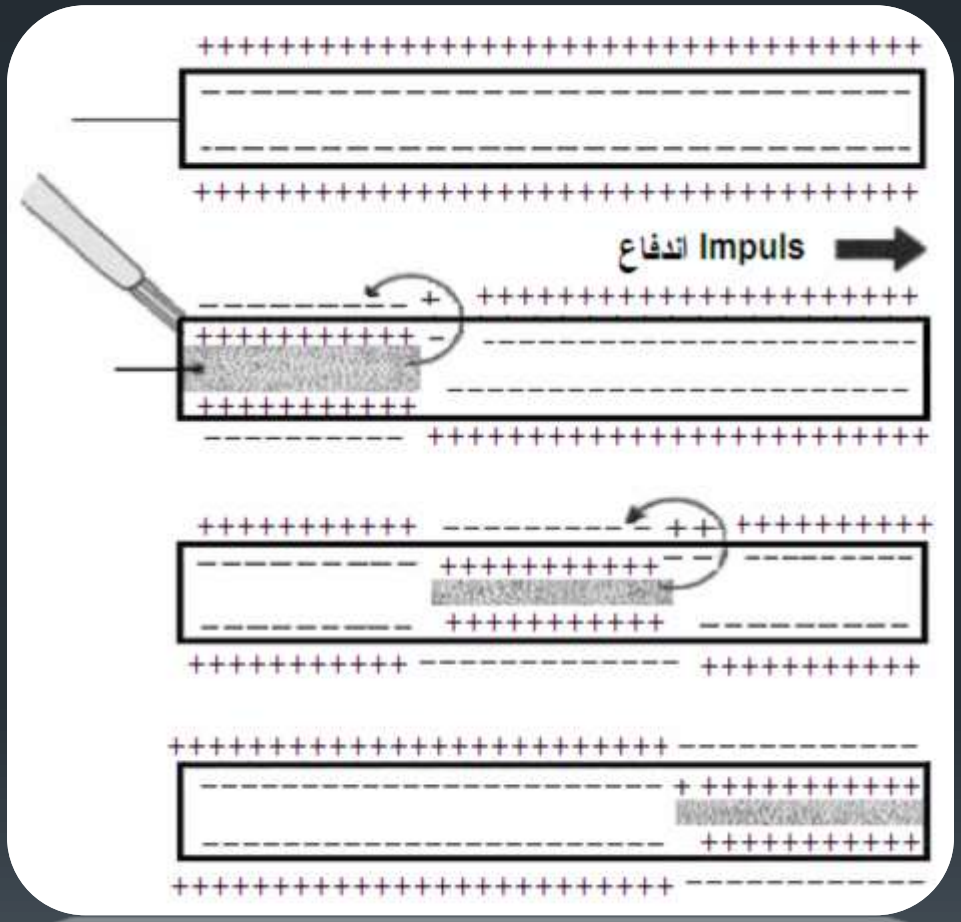
✓ كمون الفعل هو حالة نزع استقطاب عابرة لِليف الغشاء العصبي تنتج عن زيادة قصيرة الأمد في نفوذية الغشاء تجاه أيونات الصوديوم، وفي العادة أيضاً عن زيادة متأخرة في نفوذية هذا الغشاء لأيونات البوتاسيوم .

✓ تنشأ الدفعات العصبية لمثيرات (منبهات) كيمائية، حرورية، ميكانيكية أو كهربائية، ولكي يثير هذا المنبه حس الألم أو غيره من الاحساسات الأخرى لا بد له أن يكون بدرجة من الشدة كافية لإحداث التنبه في النهايات العصبية الحرة المتخصصة، أو في أي جزء من الليف العصبي، وتسمى الشدة المطلوبة لإثارة التنبه بعتبة التنبه، وفور وصول المنبه للدرجة المذكورة تتنبه النهايات العصبية الحرة أو الليف العصبي، وينشأ عن هذا التنبيه دفعات (سيالات) عصبية تنتشر على طول الليف العصبي .

✓تكون السيالة العصبية الأولى المتكونة بفعل المنبه ذاتية التنشؤ، أي لا حاجة لاستمرارية المنبه لاستمراريتها، وستسير الدفعة المتشكلة باتجاه المراكز العصبية ودون نقصان في السرعة، أو الشدة، أو السعة ما لم تُغلق بطريقة ما، وهذا الانتقال الذاتي التنشؤ (التولد) هو ما يدعى بالنقل العصبي conductionNerve.

✓تأتي طاقة انتشار الدفعة على طول المحور من الخلية العصبية نفسها بحيث نستطيع الحديث عن عملية مولدة، وإذا ما قامت موجة الدفعة في نقطة ما من العصبون فلن تعتمد إلا على حالة الليف العصبي، وليس على حالة المنبه الذي سبب قيام الدفعة، ولعلنا نستطيع أن نشبه الأمر كما يقول de Jong باشتعال فتيل البارود وتقدم اللهب على طوله.

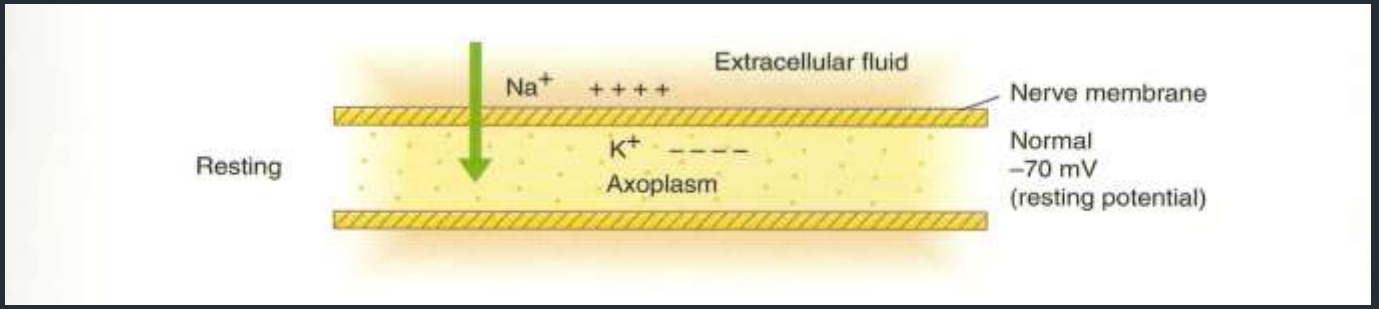
- تستجيب الأعصاب برد فعل ما على كل تبدل يطرأ على الشروط الفيزيائية أو الكيميائية للوسط المحيط بها و هذا يدعي بقابلية التنبيه و الرد الذي يقوم به العصب تجاه المنبهات يدعي استجابة .
- مهما اختلفت طبيعة المنبه (آلية – إشعاعية – كيميائية – كهربائية). شريطة أن تصل شدته إلى قيمة تدعى عتبة التنبيه و هي الشدة اللازمة لتوليد الدفعة و السيالة العصبية إن كل زيادة في شدة التنبيه ستؤدي على ازدياد شدة الاستجابة الملاحظة هذا بالنسبة للعصب المركب من ألياف عصبية عديدة، أما بالنسبة لليف العصبي الواحد فإن المنبه في عتبته الدنيا يسبب أقصى استجابة يستطيعها الليف أي أن زيادة شدة المنبه بعد العتبة الدنيا لا يسبب زيادة في الاستجابة ، فالخلية القابلة للتنبيه إذ إما استجابت لمنبه ما تكون استجابتها في أقصى حدودها الممكنة سواء قلت الشدة أم زادت بعد العتبة الدنيا و ذلك لأن الاستجابة تعتمد على الطاقة المختزنة في الجملة المنبهة و ليس على طاقة التنبيه .



ان الجهاز العصبي الطرفي يعتبر حلقة الوصل لنقل المعلومات بين السن و الدماغ وهذه المعلومات تكون على شكل سيالات عصبية، وإن توليد هذه السيالات العصبية يكون نتيجة توزيع الايونات على جانبي غشاء الخلية العصبية .

المرحلة الاولى – الليف العصبي في حالة كمون الراحة rest potential

يبدي الليف العصبي في حالة الراحة استقطابا polarization يدعى كمون الراحة يبلغ حوالي -70 ميلي فولت، و هو بمعنى كون داخل الليف العصبي سالبا بالنسبة لخارجه الايجابي و هو عائد للاختلاف في التركيز الشاردي على جانبي هذا الغشاء

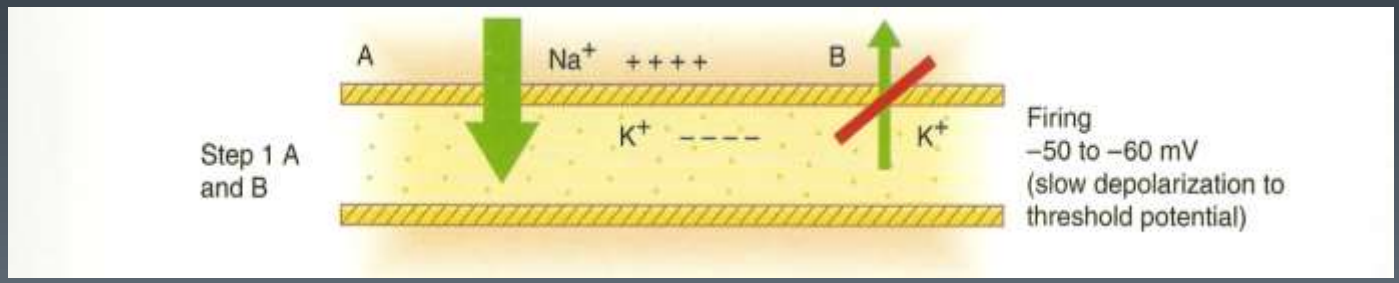


المرحلة الثانية – الليف العصبي في حالة كمون الفعل action potential

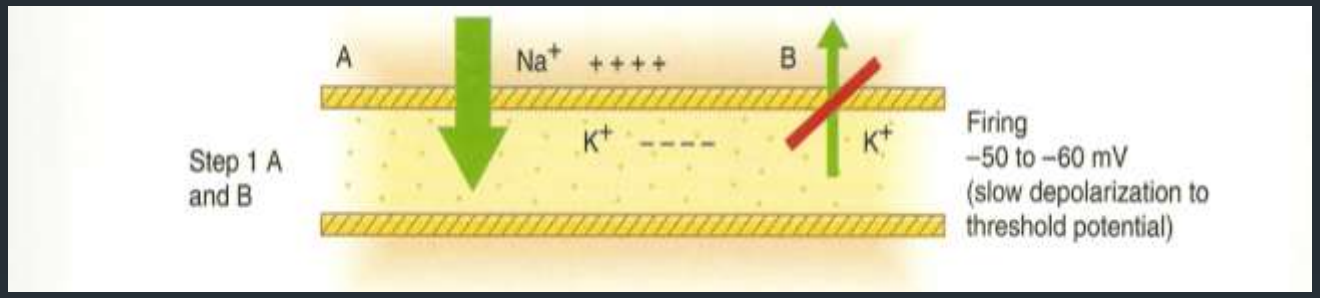
حالة الاثارة في الليف العصبي تحدث عند تنبيه العصب باي مخرش خارجي يبلغ الشدة المطلوبة ، تسلسل الحوادث التالية :

١) فترة من نزع الاستقطاب البطيء slow depolarization

وفيها يحدث نقصان في كمون الراحة الكهربائي داخل الليف العصبي ليصبح أقل سلبية

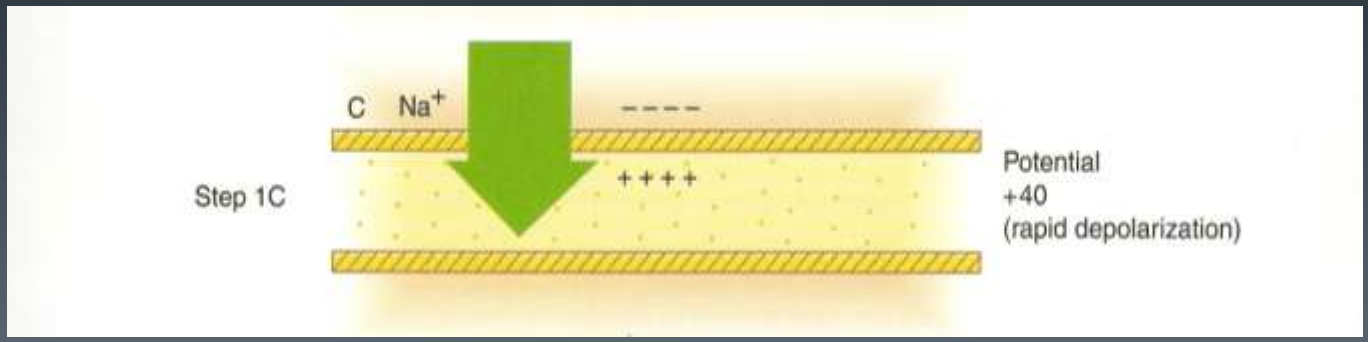


٢) **عندما يصل نقصان الاستقطاب الى مقدار – ٥٥ ميلي فولت** ، يصبح الفرق في الشحنة الكهربائية بين داخل غشاء الليف العصبي و خارجه شاسعا و تسمى هذه النقطي بعتبة القدح (الاطلاق) firing level عندها تفتح بوابات الصوديوم، و تبدأ ايونات الصوديوم بالنفوذ الى داخل الليف العصبي



٣) **فترة من نزع الاستقطاب السريع rapid depolarization**

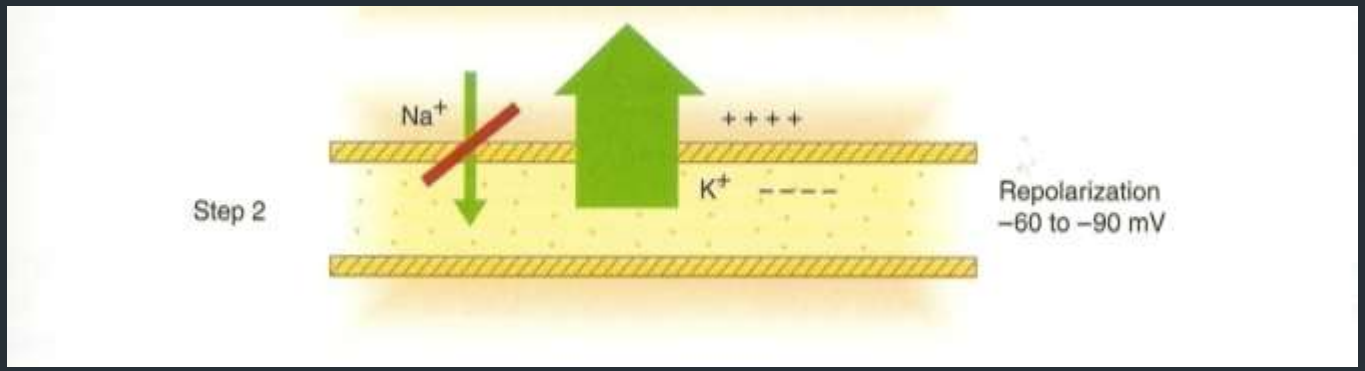
تكون نتيجتها تغيير في الكمونية الكهربائية لليف العصبي بحيث يصبح داخل الغشاء مشحونا بشحنة ايجابية بالمقارنة مع ما هو عليه خارج الغشاء ، و تصل محصلة فرق الكمون الايجابية لحوالي + ٤٠ ميلي فولت، تسمى هذه النقطة بعتبة القدح.



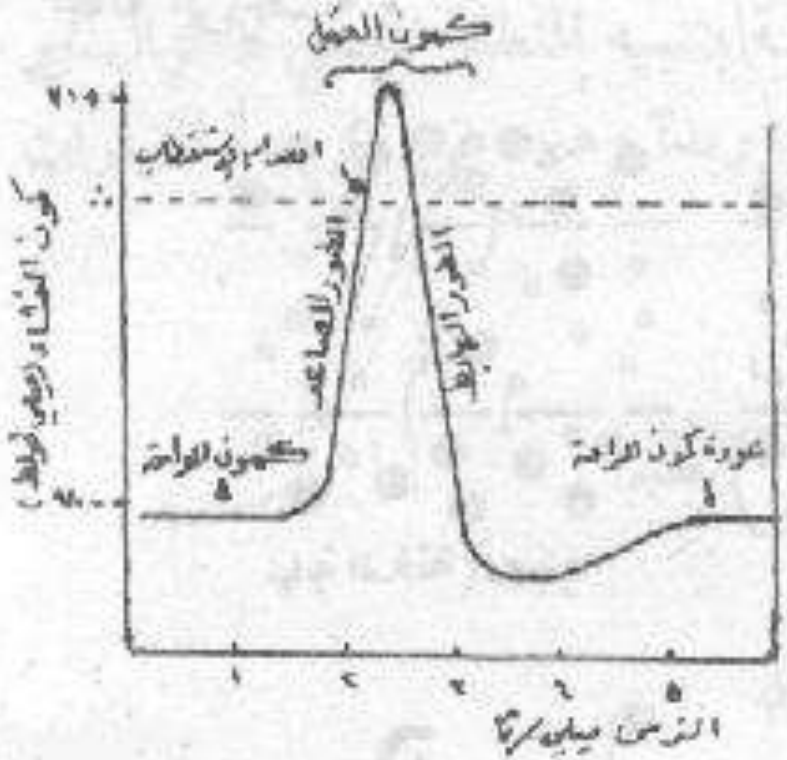
المرحلة الثالثة – مرحلة عودة الاستقطاب repolarization

تتحول خلال هذه المرحلة المحصلة الكهربائية داخل غشاء الليف العصبي بالتدرج الى وضع اكثر سلبية و ذلك بالمقارنة مع خارج غشاء الليف العصبي

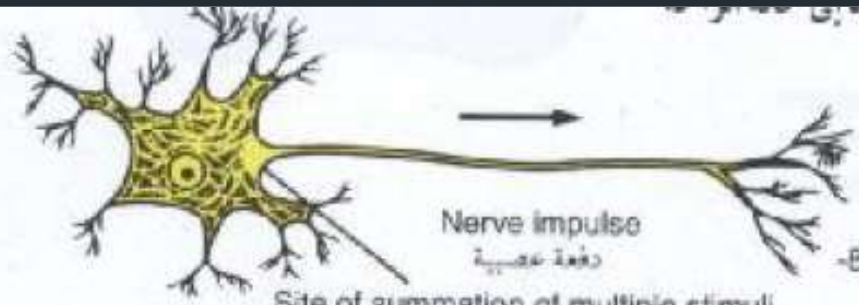
وهكذا حتى يصل الى وضع الراحة مرة ثانية، و عندها تعود المحصلة الكهربائية الى السلبية المقدرة بحوالي – ٧٠ ميلي فولت



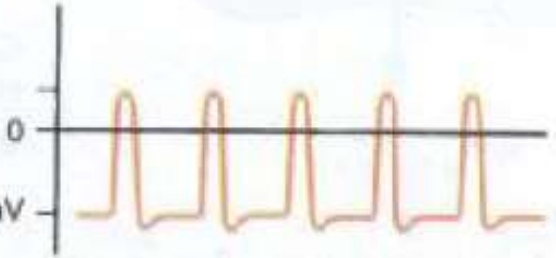
تستغرق كل من هذه العملية (المرحلة الثانية و المرحلة الثالثة) ا ميلي ثانية تأخذ منها حالة نزع الاستقطاب ٠.٣ ميلي ثانية، بينما تتطلب عودة الاستقطاب ٠,٧ ميلي ثانية بعد مرور الدفعة تدخل تلك النقطة من غشاء الليف العصبي في فترة قصيرة من الزمن تكون خلالها غير قابلة للتنبيه – يطلق عليها فترة الامتناع Absolute refractory period



تغيرات كمون الانفشاء
خلال كمون العمل



Site of summation of multiple stimuli
موقع تجمع تنبيهات متعددة

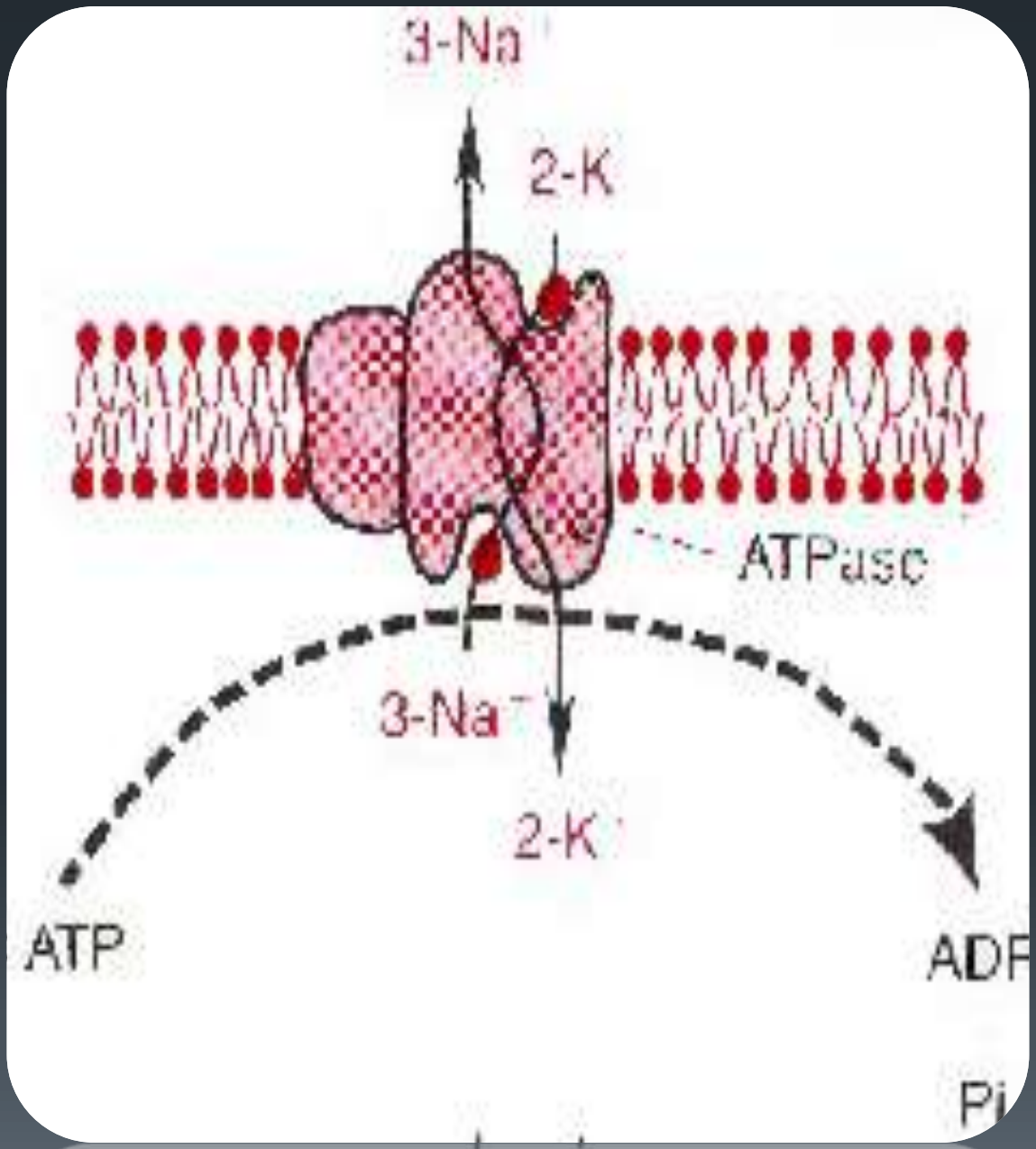


All-or-none action potentials with transient reversal of polarity
كوامن الفعل حسب مبدأ الكل أو العدم مع انقلاب مؤقت للقطبية

مضخة الصوديوم – بوتاسيوم : sodium pump

- إن تحرك شوارد الصوديوم باتجاه داخل العصب أثناء مرحلة عدم استقطاب و تحرك شوارد البوتاسيوم باتجاه خارج الخلية في أثناء مرحلة عودة الاستقطاب هو تحرك إيجابي منفعل (passive phenomenon) على أساس أن هاتين الشارتين تحاولان إعادة كثافتهما على جانبي الغلاف العصبي إلى الحد المعتاد .

- تكون قنوات الصوديوم منتشرة على طول الليف العصبي في الألياف الغير نخاعية ، بينما تتركز عند عقد رانفيير في حالة الألياف النخاعية و بكميات قليلة في المناطق بين تلك العقد.
- إن حركة الشوارد السابقة (Na و k) تتم بشكل منفعل أي دون صرف طاقة وذلك حسب درجة تركيزها، وبعد عودة الكمون الغشائي لوضعه الراحي ستبقى كمية قليلة زائدة من Na في الداخل وكمية قليلة زائدة من k في الخارج وهنا يحتاج الأمر لصرف طاقة لتحريك Na للخارج و k للداخل على الرغم من درجة تركيزها وهذه الطاقة تأتي من الاستقلاب الأوكسيدي لـ ATP وهذا ما يعرف بمضخة الصوديوم والبوتاسيوم .


3-Na
2-K
ATPase
3-Na
2-K
ATP
ADP
Pi

شكراً لحسن استماعكم