

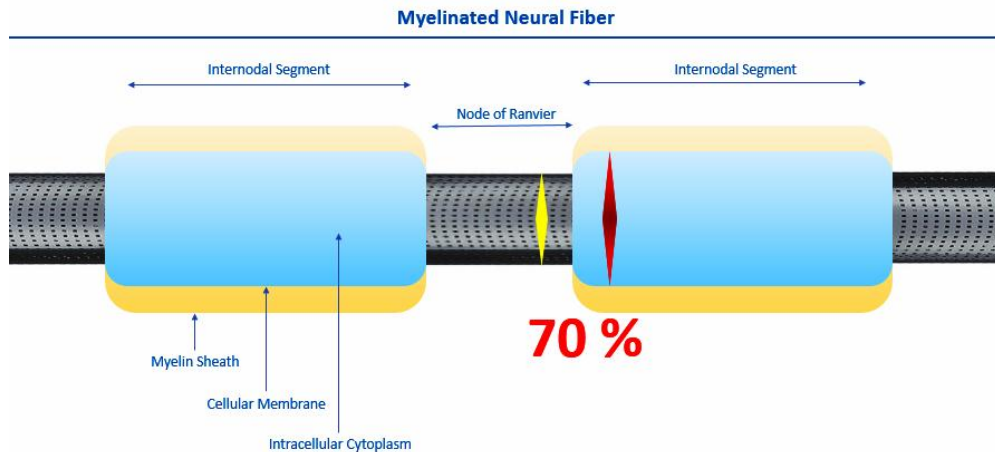
عقدة رانفييه، بحث في الوظيفة والتشريح الوظيفي Node of Ranvier, The Functions & Functional Anatomy

لا شك في أنّ النّقل العصبيّ في الألياف النّخاعينيّة الـ Myelinated Neural Fibers قد اكتسب السرعة والكفاءة بفضل غمد النّخاعين الـ Myelin Sheath أولاً، وبفضل هذا التّشكيل البديع المُسمّى بعقدة رانفييه الـ Node of Ranvier ثانياً. فأما غمد النّخاعين فقد جاء تفصيل أهمّيّته في مقالٍ سابقٍ*. وأما عقدة رانفييه فأليكم تشريحٍ دورها من منظورٍ محضٍ شخصيٍّ.

في التّشريح الوصفيّ، هي مسائلٌ جوهريةٌ تخصّ البناء التّشريحيّ لعقدة رانفييه ما منحها تلكم الوظيفة وذلك الاستثناء. يغيبُ في عقدة رانفييه غمد النّخاعين^(١). ينكمشُ قطرُ الليف العصبيّ بصورةٍ كبيرةٍ تصلُ حتى ٣٠ - ٤٠% من قيمته خارجها^(٢). تكثرُ في عشائها الخلويّ الأفتنيّة الخاصّة بشاردة الصوديوم Na^+ ^(٣). أخيراً، نجدُ داخلها كمّاً كبيراً من الأنابيب المجهرية الـ Microtubules واللييفات المجهرية الـ Microfilaments^(٤).

في التّشريح الوظيفيّ الـ Functional Anatomy، اعتقدُ بوجود ثلاثٍ وظائفٍ لعقدة رانفييه. فهي ضابطةُ الإيقاع التي تسهرُ على حسن أداء موجات الضّغط العاملة. تراقبُ مسارها^(١)، مناسبتها^(٢)، كما وتعملُ على دعم سرعة انتشارها من خلال تنظيم جزيئات المادّة داخل وسط انتشارها^(٣).

الرّبط ما بين الصّورة والوظيفة هو ما يُسمّى اصطلاحاً بالتّشريح الوظيفيّ، وفيه سأخوض. هي محاولةٌ منّي لتوظيف معطيات الكشف فائق الدّقة للبناء التّشريحيّ للليف العصبيّ عامّة، ولعقدة رانفييه خاصّة، على ضوء فرضية النّقل العصبيّ الجديدة خاصّتي؛ انظر الشّكل (١).



الشّكل (١)

عقدة رانفييه Node of Ranvier

هي مناطقٌ عاريةٌ من غمد النّخاعين.

تتوزّع على مسافات متساوية على طول الليف العصبيّ النّخاعينيّ الـ Myelinated Neural Fiber.

القطعة بين كل عقدة وبين الـ Internodal Segment مغطاةٌ بالكامل بغمد النّخاعين الـ Myelin Sheath.

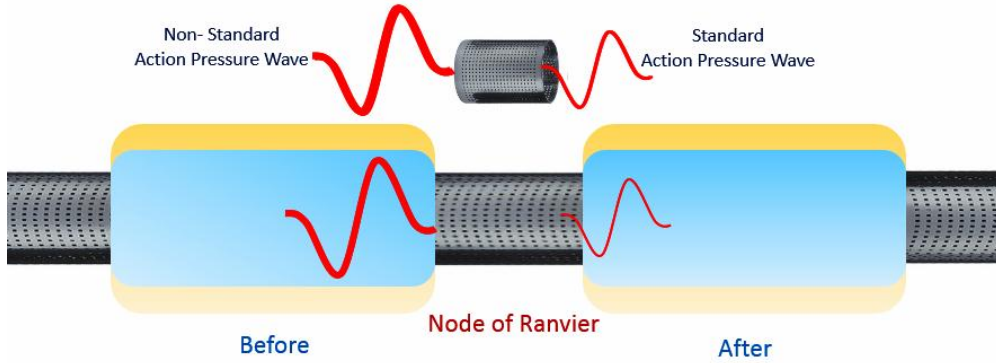
في عقدة رانفييه، تكثرُ أفتنيّة شاردة الصوديوم Na^+ (التقوّب السّوداء)، وتكثرُ الأنابيب المجهرية الـ Microtubules واللييفات المجهرية الـ Microfilaments (غير ظاهرة في الرّسم). بالمقابل، يتناقصُ فيها قطرُ المحور العصبيّ تناقصاً ملحوظاً بما نسبته ٣٠-٤٠% من قطره خارجها. سأحاول في هذا البحث تبرير علّة وجود كلّ من هذه العناصر الثلاثة والحالة التي هي عليها في منطقة العقد الرانفيّة.

الوظيفة الأولى: ضبط مناسيب موجة الضَّغَطِ العاملةِ Function (1): Control Wave's Parameters

حدَّدتِ العضويَّةُ مواصفاتِ موجاتِ الضَّغَطِ العاملةِ داخلَ أليافها العصبيَّةِ. فلكلِّ ليفٍ عصبيٍّ ما يُناسِبُه من الموجاتِ العاملةِ. مواصفاتُ موجةِ الضَّغَطِ العاملةِ هي مناسيبُها من طولِ موجةٍ، ارتفاعِ موجةٍ، وسرعةِ موجةٍ. العلاقةُ بين هذه المناسيبِ الـ Wave's Parameters هي تفاعليَّةٌ بامتياز. السَّيطرةُ على إحداها يعني بالضرَّورةِ سيطرةً على ما تبقَّى منها، وهذا تحديداً منطوقُ ما اعتمدتهُ العضويَّةُ حين سعيها لضبطِ مناسيبِ الموجاتِ العاملةِ الـ Action Pressure Wave.

اهتمَّتِ العضويَّةُ الحيَّةُ بالدليليَّةِ القائمةِ بين مناسيبِ موجةِ الضَّغَطِ العاملةِ. فاخترت لنفسها أن تُمسكَ بمفتاحِ ارتفاعِ الموجةِ الـ Wave's Amplitude لمقاربةِ بقيَّةِ المناسيبِ. ارتفاعُ موجةِ الضَّغَطِ هو الأسهلُ مقاربةً، كما أنَّ فعله أكيذٌ على المناسيبِ الأخرى للموجةِ.

تُشكِّلُ عقْدُ رانفيه ممراتٍ إجباريَّةً لموجةِ الضَّغَطِ العاملةِ. سطحُ المقطعِ لهذه العقْدِ سيحدِّدُ ارتفاعَ وعرضَ وتالياً طولَ موجةِ ضغَطِ العملِ. هبْ موجةً ضغَطِ العملِ بالغتِ في مناسيبها وطغتِ وتجبرتِ في قطعةٍ من مسارها الطويلِ. مرورُها الإجماليُّ في عقْدِ رانفيه النَّاليَّةِ سيعيدُ للموجةِ مناسيبها الصَّحيحة. تكررُ الخطأُ ثانيةً وثالثةً.. إلخ، التَّصحيحُ قادمٌ سريعاً لا محالة. فعقدُ رانفيه منتشرةٌ على طولِ المسارِ ساهرةً أبداً على ضبطِ مناسيبِ الموجةِ العاملةِ، وعلى حفظها دائماً ضمن المعاييرِ القياسيَّةِ الـ The Standards؛ انظر الشَّكل (٢).



الشَّكل (٢)

عقدُ رانفيه، الوظيفةُ الأولى
ضبطُ مناسيبِ الموجةِ العاملةِ

Node of Ranvier, Function (1)

Controlling of Action Pressure Wave's Parameters

أفترضُ أنَّ موجةَ الضَّغَطِ العاملةِ أرادت لنفسها أكثرَ ممَّا قد أُجيزَ لها. مدتْ من طولِ موجتها. تغولتْ ورفعتْ حمولها من الطاقة. عندها سيكون الخطرُ وشيكاً يُهدِّدُ عناصرَ العضويَّةِ ابتداءً، كما وظيفةَ العضو المعنيِّ انتهاءً. استشعرتِ العضويَّةُ مسبقاً فرضيَّةَ الخللِ هذه، وأعدتْ لها الحلولَ النَّاجعةَ حتَّى قبل أن تبدأ. هي عقْدُ رانفيه ثانية. تنتشرُ العقْدُ على طولِ المحورِ العصبيِّ كضابطِ إيقاعِ يسهرُ على التزامِ الموجاتِ العاملةِ بمعاييرِ العملِ من سرعةٍ وحمولة. يعيدُ الأمورَ إلى نصابها الصَّحيحِ عند كلِّ سانحةٍ. مرورُ الموجةِ المتمرِّدةِ في عقْدِ رانفيه الأقربِ إليها، سيعيدُ للموجةِ رشدها. فتتنظَّمُ مناسيبها ثانية. امتحانُ الجودةِ هذا سيتكرَّرُ على طولِ المحورِ العصبيِّ وصولاً إلى منتهى عمليَّةِ النَّقلِ العصبيِّ في المشبك العصبيِّ.

قارن شكل الموجة الشَّاذة جيبية الشكل في قطعة من المحور العصبي، مع شكلها بعد مرورها في عقْدِ رانفيه. الآن، وبعد مرورها في عقْدِ رانفيه، أصبحت موجة الضَّغَطِ العاملةِ ذات مناسيب أكثر انسجاماً مع حاجة النَّقلِ العصبيِّ من جهة، وأكثر التزاماً بضرورات السَّلامةِ النَّسجيَّةِ لمكونات الليف العصبيِّ من جهةٍ أخرى.

لمشاهدة فيديو قصير يشرح تفصيلاً وظيفة عقْدِ رانفيه في ضبط مناسيب الموجة العاملة،

انقر على هذا الرَّابط.

الوظيفة الثانية: ضبط مسار موجة الضغط العاملة

١- تعليق مسار الموجة في مركز الليف العصبي

٢- تصحيح انحرافات مسار موجة الضغط العاملة

Function (2): Control Wave's Trajectory

1- Suspension of Wave's Trajectory at Center of Neural Fiber

2- Correction of any Deviation of Wave's Trajectory

كما كلّ الموجات الطولانية، تستعمل موجة ضغط العمل حين انتشارها قطاعاً أنبوبياً من وسط الانتشار، لا كامل وسط الانتشار كما قد يظنُّ أحدنا. أنبوب الانتشار هذا، أو مسار الموجة الـ Wave's Trajectory، هو أنبوب وظيفي، لا وجود له خارج زمن انتشار موجة الضغط العاملة الـ Action Pressure Wave. رغم ذلك، هو أنبوب حقيقي قابل للقياس.

بدقة متناهية رسمت العضوية مسار موجات الضغط العاملة داخل الألياف العصبية. ففي العصبونات الحركية الـ Motor Neurons، يبدأ مسار الموجة عند محيط منطقة الـ Axon Hillock وينتهي في التوسّع ما قبل المشبك الـ Presynaptic Knob. يكون المسار معلقاً في مركز المحور العصبي ومثبتاً في المكان بروافع. هذه الروافع ما هي إلا عقد رانفيه؛ انظر الشكل (٤).

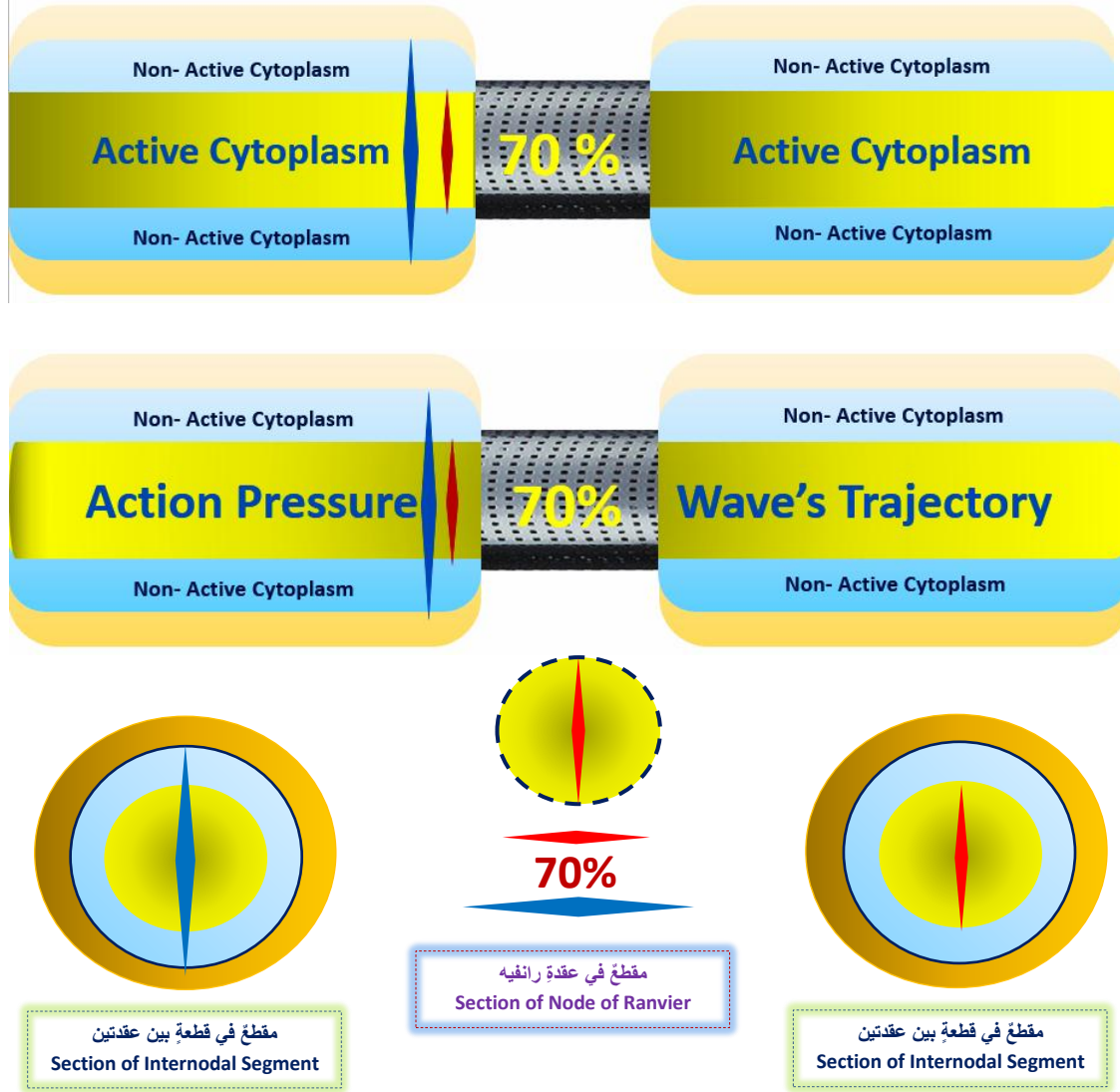
شبيهاً له يكون المسار في العصبونات الحسية الـ Sensory Neurons، مع فارقٍ وحيدٍ هو في المبتدأ والمنتهى. فمسار الموجة العاملة يبدأ في المحيط من مستقبلٍ حسّي الـ Sensory Receptor وينتهي مركزياً في مشبكٍ عصبي.

حماية لعناصرها الجدارية، تتجنب العضوية تماس مكوّنات الليف العصبي مع موجة الضغط العاملة. فلا يقترب الغشاء الخلوي الـ Cell Membrane للليف العصبي من مسار موجة الضغط خارج لوازِم الضرورة، أي خارج عقد رانفيه حيث تحلُّ الضرورة كما سنرى لاحقاً. بل تحرص على ترك مسافة أمانٍ بينهما من البلازما الخاملة وظيفياً الـ Non- Active Cytoplasm؛ انظر الشكل (٣).

لا تُشارك البلازما الخاملة فعلياً في بناء مسار الموجة العاملة. لكنها تعمل على تلبية نداء الضغط السالب لذيّل موجة الضغط الـ Trough حماية للغشاء الخلوي من قوّة الذيل الماصة الخامصة الـ Collapsing Forces. كما وتعمل أيضاً على امتصاص جزءٍ من الفعل الضاغظ لجبهة الموجة الـ Crest، تاركةً إجهاضاً ما فاض عن قدرتها إلى خلايا شوان الـ Schwann Cells ولمنتوجها الثمين من غمد النخاعين الـ Myelin Sheath.

أفترض أنه حدث وتجبرت الموجة العاملة وخرجت عن المسار المرصود لها أبداً. واستعملت كامل الوسط الداخلي لقطعة بين عقدتين. فوصلت حتى حدود الغشاء الخلوي للليف العصبي. حينها يصبح الخطر على العضوية داهماً، كما يصبح ضياع الطاقة عند الموجة الصائلة كبيراً.

لا تقبل العضوية بشذوذ كهذا. فعقدة رانفيه هي بالمرصاد دائماً. إذ لا يمكن للموجة الشاذة أن تمرّ منها دون أن تعدّل من سلوكها وتلبس من جديد ثوب الطاعة، وتلزم المسار المحدد لها. فتخرج الموجة من العقدة، كما جميع أخواتها، معلومة المسار وقيمة المناسيب. لا سيما وقد علمت أنّ مشابهاً لهذه العقدة تنتظرها على طول درب انتشارها؛ انظر الشكل (٤).

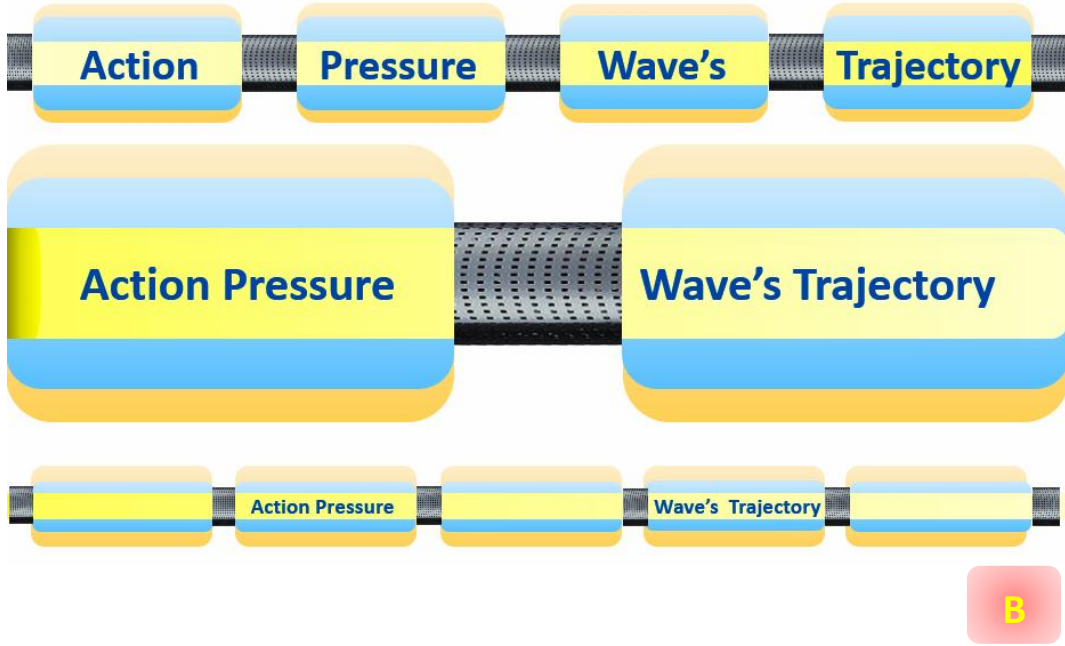
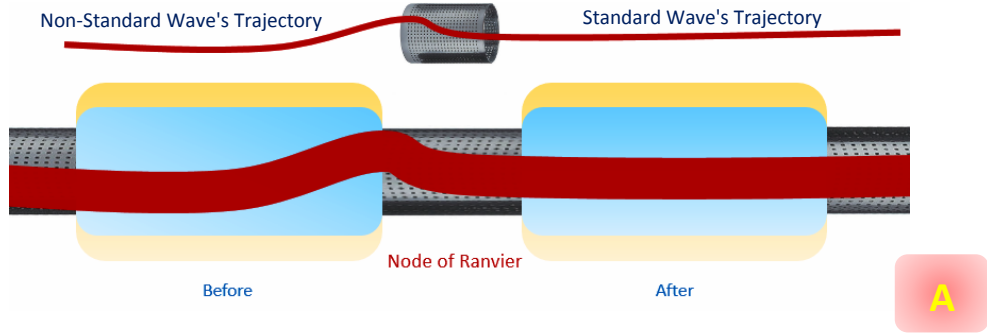


الشكل (٣)
عقدة رانفييه، الوظيفة الثانية
ضبط مسار الموجة العاملة

Node of Ranvier, Function (2)

Control of Action Pressure Wave's Trajectory

تستعمل الموجة العاملة قطاعاً أنبوبياً مركزياً من بلازما الليف العصبي (البلازما الفعالة الـ Active Cytoplasm). أنبوب الانتشار هذا الـ Tubular Tract يكافئ عملياً وواقعاً مسار الموجة. في القطعة ما بين عقدتين الـ Internodal Segment، يُحاط أنبوب الانتشار بطبقة من البلازما الخاملة الـ Non-Active Cytoplasm. البلازما الخاملة لا تشارك في بناء مسار موجة الضغط العاملة. تلبي البلازما الخاملة نداء الضغط السالب الـ Negative Pressure لذيل الموجة العاملة الـ Trough، فتحمي بذلك الغشاء الخلوي للليف العصبي الـ Cell Membrane من قوة ذيل الموجة الجاذبة الخامصة الـ Collapsing Forces. كما تعمل على حمايته ولو نسبياً من تأثيرات الطاقة الحركية لجبهة الموجة العاملة الـ Crest. بالمقابل، يهتّم غمد النخاعين الـ Myelin Sheath بمقاومة الجزء الأكبر من طاقة جبهة الموجة. في عقدة رانفييه، تحتاج العضوية من أجل بناء كمونات العمل القياسية، والتيارات الكهربائية القياسية، إلى خلق تماس مباشر بين الموجة العاملة والغشاء الخلوي. من أجل ذلك، تختفي البلازما الخاملة، ويتقاصر قطر الليف العصبي ما نسبته ٣٠ إلى ٤٠%، ويقترب الغشاء الخلوي مع أقبية شوارب الصوديوم ذات البوابات العاملة على الضغط الـ Pressure-Gated Na⁺ Channels حتى حدود التماس المباشر مع موجة الضغط.



الشكل (٤)
 عقدة رانفيه، الوظيفة الثانية
 ضبط مسار الموجة العاملة

Node of Ranvier, Function (2)

Control of Action Pressure Wave's Trajectory

الشكل A: تعمل عقدة رانفيه على تصحيح انحرافات المسار في حال وقعت. فتعود إلى حيث يجب ان تكون في مركز الليف العصبي.
الشكل B: تماماً كأعمدة الجسور الـ Pillars، تعمل عقدة رانفيه مجتمعة على تعليق مسار الموجة العاملة في مركز الليف العصبي.
 عقدة رانفيه هي الدعائم والروافع لمسار الموجة، بحيث يبدو هذا الأخير وكأنه أنبوب يسبح في مركز أنبوب آخر.

لمشاهدة فيلم قصير يشرح تفصيلاً فعل عقدة رانفيه في ضبط مسار الموجات العاملة،
 انقر على هذا الرابط

الوظيفة الثالثة: رفع كفاءة مسار موجة الضَّغَطِ العاملة

١- بناءً كمون العمل القياسي

٢- بناءً التيار الكهربائي القياسي

Function (3): Optimize Wave's Trajectory

1-Build up Standard Action Potential

2- Build up Standard Electrical Current

تنتقل الإشارة العصبية داخل المحور العصبي على شكل موجة من ضغط العمل الـ Action Pressure Wave. موجة ضغط العمل هي موجة طولانية الـ Longitudinal Wave. تتألف، كما جميع الموجات الطولية، من جبهة الـ Compression (Crest) وذيل الـ Rarefaction (Trough). يكون الضَّغَطُ موجياً في جبهة الموجة، وسالِباً عند ذيلها. يتبدل الضَّغَطُ المنخفض جبهة الموجة، ويتلازمان على هذا النحو على طول الليف العصبي. طول الليف العصبي يُكافئ فعلياً طول مسار الموجة العاملة الـ Wave's Trajectory.

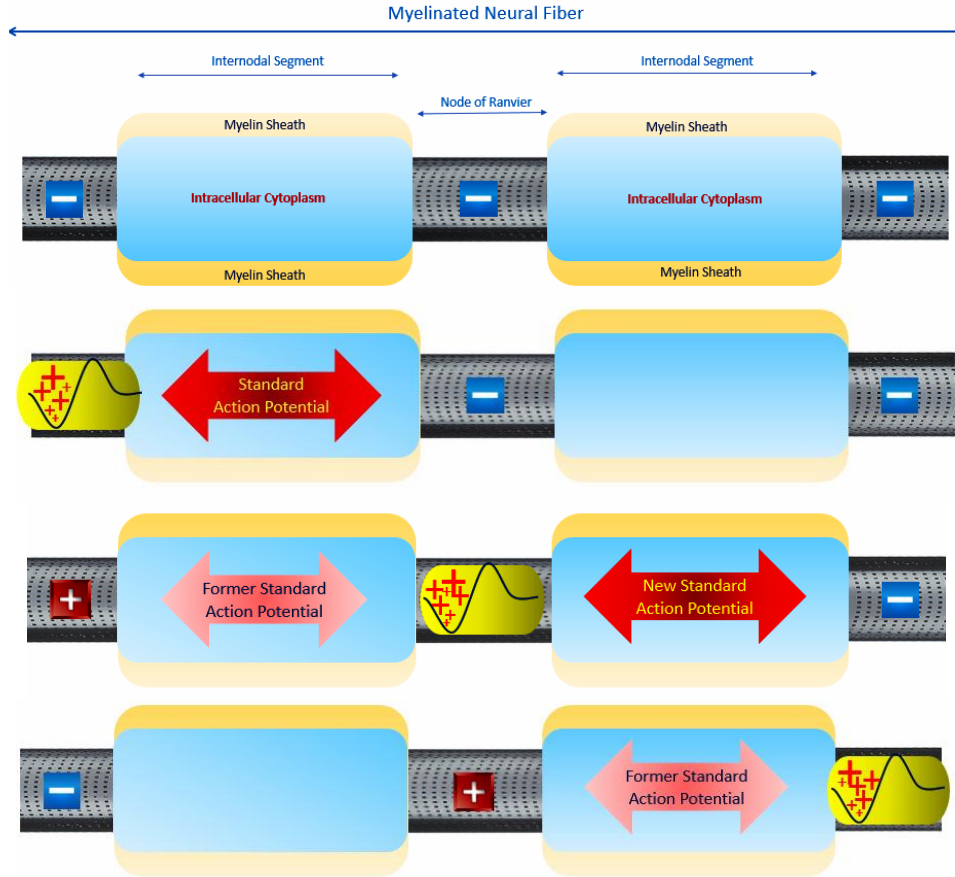
قد يبلغ طول المسار مبلغاً كبيراً أحياناً. تحتاج موجة الضَّغَطِ العاملة أن تقطع هكذا مسارات لبلوغ أهدافها. أمام حتمية كهذه، وتسهيلاً لانتشارها، عملت العضوية على تحسين (تعبيد الـ Paving) مسار انتشار موجاتها العاملة. واستخدمت لهذه الغاية الكمونات الكهربائية Action Potentials لما عُرف عن هذه الأخيرة من قدرة على تنظيم ورسّ جزيئات المادة رفعاً لكثافة الوسط موضوع العناية.

في عقدة رانفيه، يعمل الضَّغَطُ السَّالِبُ المتدبِّلُ لموجة الضَّغَطِ العاملة على فتح بوابات أقنية شاردة الصوديوم الـ Pressure- Gated Na⁺ Channels، وتالياً على استدعاء شاردة الصوديوم (+) إلى الدَّاخل الخلوي. تشحن شوارد الصوديوم الموجبة Na⁺ ذيل الموجة بشحنتها. الوسط الدَّاخل للليف العصبي سالب القطبية أساساً بسبب البروتينات البلازمية والشوارد الأخرى سالبة القطبية. يتأسس بذلك فرق في الكمون بين ذيل الموجة موجبة القطبية الـ Positive Polarity اكتساباً والدَّاخل الخلوي سلبي القطبية الـ Negative Polarity أساساً. ما بين مصعد موجي ومهبط سالب، يتخلق كمون العمل القياسي الـ Standard Action Potential، وينفرغ تالياً تيار العمل الكهربائي القياسي الـ Standard Electrical Current.

خلال عملية النقل العصبي الواحدة، لا نجد كمون عمل قياسي واحداً، ولا تياراً قياسيً واحداً. بل نجد مجموعة متجانسة منها. يبدأ اللاحق منها حيث ينتهي السابق لها مباشرة. وكان السابق يُشرف على ولادة اللاحق ومن ثم يختفي.

كمونات العمل القياسية، كما تياراتها، هي كينونات عاملة محلياً. يعمل واحداً داخل قطعة بين عقدتين وحيدة لا يتعداها، ففيها يكون منبته وفيها يكون المنتهى وظيفياً ومادياً. هي وحدات تنظيمية داعمة لموجة الضَّغَطِ العاملة. هي تهتم بتصنيع مسار الموجة بالقطعة. كلُّ كمون منها يبني مسار الموجة في قطعه رفعاً لكفاءة النقل فيه. اجتماع المسارات القطعية الـ Segmental Trajectories يصنع مسار الموجة الكلي.

عملياً، وإذا ما أردنا المماثلة في التصوير، تعبّد كمونات العمل القياسية، مع تياراتها الكهربائية، الطريق أمام موجة الضَّغَطِ العاملة وشبكة القدم. هي ترص العناصر البلازمية وتجمع المتنافرين منها شحنة تحقيقاً لتجانس المسار ورفعاً لكثافته. ولا يخفى على عارف ما لذلك من أهمية في زيادة سرعة موجات الضَّغَطِ وتقليل ضياعات الطاقة فيها؛ انظر الشكل (٥).



الشكل (٥)
 عقدة رانفييه، الوظيفة الثالثة
 بناء كمون العمل القياسي & تياره الكهربائي القياسي
 Node of Ranvier, Function (3)

Regenerating of Standard Action Potential & Standard Electrical Current

متى وصلت موجة الضغط العاملة عقدة رانفييه،
 مباشر الضغط السالب لذيل الموجة فعله في فتح بوابات أقتية شاردة الصوديوم،
 وتالياً في استدعاء شاردة الصوديوم (+) إلى الدّاخل الخلوي.
 يشحن تراكم شوارد الصوديوم الدّاخل الحلوي لعقدة رانفييه بقطبيّة موجبة. القطبيّة الموجبة الوليدة حديثاً ستقابل قطبيّة سالبة مقيمة أبداً.
 فالدّاخل الخلوي هو سالب القطبيّة عريزياً بسبب قطبيّة البروتينات البلازمية أساساً.
 مهما يكن من أمر، قطبيّة موجبة تقابل قطبيّة سالبة هو كل ما يلزم لولادة كمون العمل القياسي،
 وتالياً لانفراج التّيار الكهربائي القياسي خاصّته.

لمشاهدة فلم قصير يشرح تفصيلاً وظيفة عقدة رانفييه في توليد كمون العمل القياسي،

[انقر على هذا الرّابط](#)

التّشريح الوظيفي Functional Anatomy

عقد رانفييه هي محطات لبناء كمونات وتيارات العمل القياسية. مادة البناء الأساسية هي شوارد الصوديوم Na^+ . خزّان هذه الأخيرة هو الوسط خارج اللّيف العصبي. محركات عمليّة البناء هو الضغط السالب لذيل موجة الضغط العاملة الـ Wave's Trough. لذلك كلّها، كان لزاماً على العضويّة تعزيز شروط الاتّصال بين داخل اللّيف العصبي وخارجه؛ انظر "مقطع في عقدة رانفييه" الشّكل (٣).

لحسن الأداء، خلع المحور العصبي درعه النّخاعينيّ الـ Myelin Sheath في عقدة رانفييه^(١). كُنّف فيها أعداد مرّات العبور^(٢)، أي أقتية شاردة الصوديوم Na^+ . اقترب غشاؤه الخلوي من موجة الضغط العاملة حدود

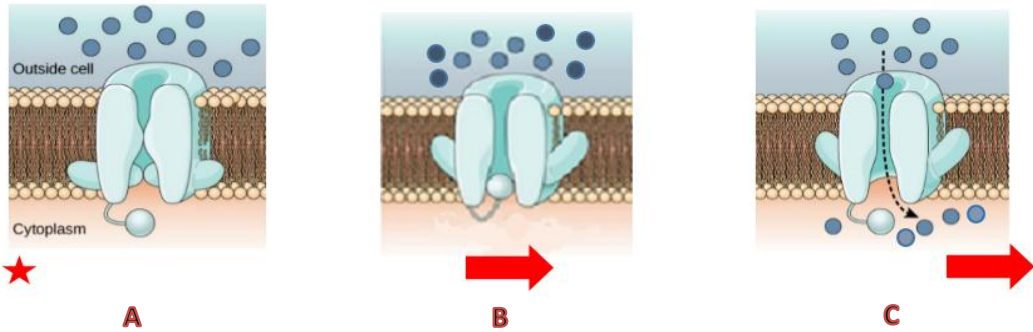
النَّاسِ المباشرِ معها فتقاصرَ قطرُ الليفِ العصبيِّ في مستوى عقدة رانفيه ما نسبته ٣٠-٤٠% (٣). بذلك يمكن لطيفِ الضَّغَطِ السَّالِبِ لذيلِ الموجة أن يطالَ مباشرةً الوسطَ الخارجيَّ فيغرفَ منه ما شاء من موادِ البناءِ، أي شوارِدِ الصُّوديوم Na^+ .

والمقابلُ بسيطٌ وعيقريٌّ، شبكةٌ كثيفةٌ من أليافِ مجهريةٍ الـ Microtubules & Microfilaments رَفَدَ بها غشاءه من الدَّاخلِ (٤). تحمي كثافةُ الشبَّكةِ الغشاءَ الخلويَّ للليفِ العصبيِّ من تبعاتِ الاحتكاكِ المباشرِ والمؤلِّمِ مع موجة الضَّغَطِ، هذا من جهة. وتسمحُ عيونها وافرهُ العددِ بالتَّبادلِ الحُرِّ مع الوسطِ الخارجيِّ، من جهةٍ أخرى. إذًا، هي تقومُ مقامَ البلازما الخاملةِ في القطعةِ بين عقدتين في حمايةِ غشاءِ الليفِ العصبيِّ من قوَّةِ الذَّيلِ الخاصَّةِ، ومن طاقةِ الجبهةِ الدَّافعةِ.

قد يقول قائلٌ، لماذا لم تستدعِ العضويةُ خلايا شوان الـ Schwann Cells ومنتوجها الثَّمينَ غمدَ النُّخاعينِ الـ Myelin Sheath لحمايةِ الغشاءِ الخلويِّ في مستوى عقدة رانفيه؟

أقولُ، غمدُ النُّخاعينِ جدارٌ متينٌ مقاومٌ، لكنَّه أصمٌّ لا ثقبَ فيه. والثقبُ منافذٌ لشاردةِ الصُّوديوم Na^+ المادةِ الأساسِ في بناءِ كموناتِ العملِ القياسيةِ. إضافةً لذلك، إن كان دعمُ الغشاءِ الخلويِّ من الخارجِ بغمدِ النُّخاعينِ فعلاً في امتصاصِ فعلِ جبهةِ الموجةِ، فهو لا شكٌ قاصرٌ في الوقايةِ من تأثيراتِ القوَّةِ الماصَّةِ لذيلها. لاسيَّما إذا ما علمنا أنَّ النَّماسَ بين جدارِ عقدة رانفيه وموجة الضَّغَطِ شرطٌ أساسيٌّ لإتمامِ مهامِّ العقدةِ في ضبطِ المناسيبِ والمسارِ وابتناءِ كموناتِ العملِ القياسيةِ.

تلعبُ أقبيةُ شاردةِ الصُّوديوم Na^+ ذاتُ البواباتِ العاملةِ بفرقِ الضَّغَطِ الـ Pressure-Gated Na^+ Channels دوراً هاماً في حركيةِ الشَّوارِدِ نحو الدَّاخلِ الخلويِّ. بواباتها الدَّاخِليَّةُ مركزيَّةُ التَّوضُّعِ، تتنبَّتُ على عارضةِ القناةِ القريبةِ من جهةِ هبوبِ موجةِ ضغَطِ العملِ. تنحني بواباتها عند مرورِ جبهةِ الموجةِ عاليةِ قيمةِ الضَّغَطِ فتتغلَّقُ أقبيةُ العبورِ. بينما يعملُ الضَّغَطُ السَّالِبُ المتدبِّلُ للموجةِ عند مروره على فتحِ المغاليقِ وشفطِ شوارِدِ الصُّوديوم نحو الدَّاخلِ، وتالياً على ابتناءِ كمونٍ عمليِّ قياسيٍّ جديدٍ؛ انظر الشَّكلَ (٦).



الشَّكلُ (٦)
الأقبيةُ ذاتُ الأبوابِ العاملةِ بفرقِ الضَّغَطِ
الـ Pressure Gated Na^+ Channels

الشَّكلُ (A) التَّشريحُ الوصفي: البوابةُ معقَّدةٌ بروتينيَّةٌ الـ Polypeptide، يتنا داخلُ لمعةِ الليفِ العصبيِّ في الـ Cytoplasm، ويتمفصلُ مع الجدارِ الأقربِ لجهةِ النَّقلِ العصبيِّ، أي مع الجدارِ الأقربِ إلى جسمِ العصبونِ (النَّجمةِ الحمراء) في العصبوناتِ الحركيةِ الـ Motor Neurons. تتواجد شوارِدُ الصُّوديوم Na^+ بكثافةٍ في الحيزِ الخارجِ خلويِّ الـ Outside Cell (الكراتِ الزَّرْقَاءِ).

الشَّكلُ (B) في حالةِ الرَّاحةِ، كما عند وصولِ جبهةِ موجةِ ضغَطِ العملِ (السَّهْمُ الأحمرُ)، تنحني البوابةُ باتجاهِ الجدارِ تحت تأثيرِ قيمةِ الضَّغَطِ المرتفعةِ لجبهةِ موجةِ العملِ الـ Crest، مغلقةً بذلك قناةَ العبورِ.

الشَّكلُ (C) بعد تجاوزِ جبهةِ الموجةِ للقناةِ، يعملُ الضَّغَطُ سالبُ القيمةِ المتدبِّلُ لموجةِ الضَّغَطِ الـ Trough على شفطِ البوابةِ نحو الدَّاخلِ الخلويِّ، ومن ثمَّ على فتحِ قناةِ العبورِ. كما يعملُ الضَّغَطُ السَّالِبُ ذاته على تدفُّقِ شاردةِ الصُّوديوم Na^+ إلى الدَّاخلِ (السَّهْمُ الأسودُ النَّقْطِيُّ) معلنةً ولادةَ القطبيَّةِ الموجبةِ الـ Positive Polarity لكمونِ العملِ القياسيِّ الـ Standard Action Potential الخاصِّ بهذه العقدةِ.

عقدة رانفييه، ضابطة الإيقاع، Node of Ranvier, the Equalizer

تسري موجة ضغط العمل داخل المحور العصبي بسرعة كبيرة. تتكرر العمليات الحيوية من نقل عصبي عدداً مهولاً من المرات. يمكن لهذه الموجة، مناسباً ومساراً، أن يعترها خلل ما في مكان ما وبتجاه ما. وهذا ما لا تتحمّله العضوية الحيّة. انحرافات طفيفة بمقياس البشر يتلوها خراب كبير بمقياس العضوية وبمساعيها نحو الكمال. أخطاء النقل العصبي تحمل خطراً ليس على الحاصل الوظيفي النهائي وحسب، بل يتعداه إلى سلامة بنية وبناء العناصر التشريحية الحاضرة له.

قامت العضوية بجهود عظيمة تأميناً لسير العمل وضبطاً لعناصر الجودة. فالحامل موجة ضغط، ولكل موجة مناسبة الـ Parameters. فعملت العضوية على ضبط هذه المناسيب، وألقت مسؤولية الفعل على عقد رانفييه.

وضعت تصوراتها حول مسار الحركة الأمثل لوظيفة النقل وشروط السلامة، فبدا لها أنبوباً معلقاً داخل بلازما الليف العصبي. فجعلت له روافع تعلّقه حيث يجب في مركز الليف العصبي، وحرصت على تأمين ذلك على الدوام. وكما دائماً، استنفرت عقد رانفييه للقيام بفعل التثبيت وتعليق المسار للموجات العاملة.

عقد رانفييه هي مسرعات لموجات الضغط العاملة داخل الليف العصبي أيضاً. كل واحدة منها تهتم ببناء مسار الموجة العاملة في قطعها الخاصة. ترص عناصر المادة داخل أنبوب الانتشار. تمهد الطريق Paving the Road لعبور موجة الضغط العاملة. فيكون مرور هذه الأخيرة سريعاً كما يجب مع منسوب فقد غير ذي قيمة في طاقتها الحركية. ووسيلتها في ذلك كمونات العمل القياسية وتياراتها الكهربائية.

في سياقات أخرى، أنصح بقراءة المقالات التالية:

- [هل يفيد التداخل الجراحي الفوري في أدبيات النخاع الشوكي ونيل الفرس الرضوية؟](#)
- [النقل العصبي، بين مفهوم قاصر وجديد حاضر](#)
- [The Neural Conduction.. Personal View vs. International View](#)
- [في النقل العصبي، موجات الضغط العاملة Action Pressure Waves](#)
- [في النقل العصبي، كمونات العمل Action Potentials](#)
- [وظيفة كمونات العمل والتيارات الكهربائية العاملة](#)
- [في النقل العصبي، التيارات الكهربائية العاملة Action Electrical Currents](#)
- [الأطوار الثلاثة للنقل العصبي](#)
- [المستقبلات الحسية، عبقرية الخلق وجمال المخلوق](#)
- [النقل في المشابك العصبية The Neural Conduction in the Synapses](#)
- [عقدة رانفييه، ضابطة الإيقاع The Node of Ranvier, The Equalizer](#)
- [وظائف عقدة رانفييه The Functions of Node of Ranvier](#)
- [وظائف عقدة رانفييه، الوظيفة الأولى في ضبط معايير الموجة العاملة](#)
- [وظائف عقدة رانفييه، الوظيفة الثانية في ضبط مسار الموجة العاملة](#)
- [وظائف عقدة رانفييه، الوظيفة الثالثة في توليد كمونات العمل](#)
- [في فقه الأعصاب، الألم أولاً The Pain is First](#)
- [في فقه الأعصاب، الشكل.. الضرورة The Philosophy of Form](#)
- [تخطيط الأعصاب الكهربائي، بين الحقيقي والموهوم](#)
- [الصدمة النخاعية \(مفهوم جديد\) The Spinal Shock \(Innovated Conception\)](#)
- [أدبيات النخاع الشوكي، الأعراض والعلامات السريرية، بحث في آليات الحدوث The Spinal Injury, The Symptomatology](#)

الرَّمع Clonus

اشتداد المنعكس الشوكي *Hyperactive Hyperreflexia*

اتساع باحة المنعكس الشوكي الاشتدادي *Extended Reflex Sector*

الاستجابة ثنائية الجانب للمنعكس الشوكي الاشتدادي *Bilateral Responses*

الاستجابة الحركية العديدة للمنعكس الشوكي *Multiple Responses*

التنكس الفاليري، يهاجم المحاور العصبية الحركية للعصب المحيطي... ويعف عن محاوره الحسية
Wallerian Degeneration, Attacks the Motor Axons of Injured Nerve and Conserves its Sensory Axons

التنكس الفاليري، رؤية جديدة *Wallerian Degeneration (Innovated View)*

التجدد العصبي، رؤية جديدة *Neural Regeneration (Innovated View)*

المنعكسات الشوكية، المفاهيم القديمة *Spinal Reflexes, Ancient Conceptions*

المنعكسات الشوكية، تحديث المفاهيم *Spinal Reflexes, Innovated Conception*

خلفت المرأة من ضلع الرجل، راعة الإيحاء الفلسفي والمجاز العلمي

المرأة تقرر جنس ولدها، والرجل يدعي!

الروح والنفس.. عطية خالق وصنعة مخلوق
خلق السماوات والأرض أكبر من خلق الناس.. في المرامي والذلالات
تفاحة آدم وضلع آدم، وجهان لصورة الإنسان.

حواء.. هذه

سفينه نوح، طوق نجاه لا معراج خلاص

المصباح الكهربائي، بين التجريد والتنفيذ رحلة ألف عام

هكذا تكلم ابراهيم الخليل

فقه الحضارات، بين قوة الفكر وفكر القوة

العدو وعله الاختلاف بين مطلقة وأرملة ذات عفاف

تعهد الزوجات وملك اليمين.. المنسوخ الأجل

الثقب الأسود، وفرضية النجم الساقط

جسيم بار، مفتاح أحجية الخلق

صبي أم بنت، الأم تقرر!

القدم الهابطة، حالة سريرية

خلق حواء من ضلع آدم، حقيقة أم أسطورة؟

شلل الصفيرة العصبية الولادي *Obstetrical Brachial Plexus Palsy*

الأذيات الرضية للأعصاب المحيطية (١) التشريح الوصفي والوظيفي

الأذيات الرضية للأعصاب المحيطية (٢) تقييم الأذية العصبية

الأذيات الرضية للأعصاب المحيطية (٣) التدبير والإصلاح الجراحي

الأذيات الرضية للأعصاب المحيطية (٤) تصنيف الأذية العصبية