

## عقدة رانفويه ضابطة الإيقاع بحث في الوظيفة والتشريح الوظيفي

N.B.

To read the English version of this article,  
click on the following link:

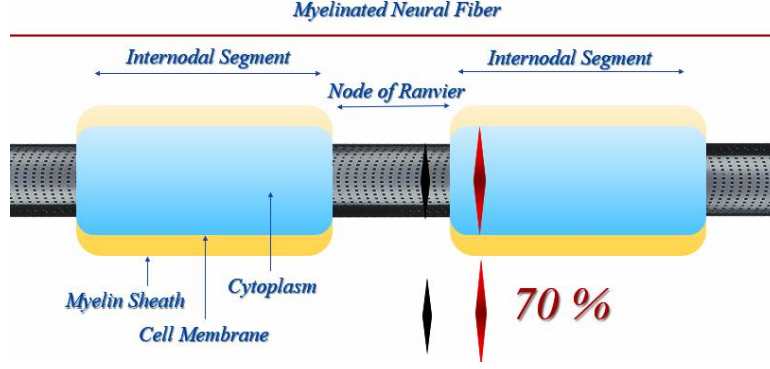
### [The Nodes of Ranvier, The Equalizers](#) (Personal View)

لا شك في أن النقل العصبي في الألياف النخاعية الـ *Myelinated Neural Fibers* قد اكتسب السرعة والكفاءة بفضل غمد النخاعين الـ *Myelin Sheath* أولاً، وبفضل هذا التشكيل البديع المسمى بعقدة رانفويه الـ *Node of Ranvier* ثانياً. فأما غمد النخاعين فقد جاء تفصيلاً أهميته في مقال سابق. وأما عقدة رانفويه فأليكم تشريح دورها من منظور محض شخصي.

في التشريح الوصفي، هي مسائل جوهريّة تخص البناء التشريحي لعقدة رانفويه ما منحها تلكم الوظيفة وذلك الاستثناء. إذ يغيب في عقدة رانفويه غمد النخاعين (1). ينكمش قطر الليف العصبي بصورة كبيرة تصل حتى (30 - 40) % من قيمته خارجها (2). تكثر في غشائها الخلوي الأقبية الخاصة بشاردة الصوديوم  $Na^+$  (3). أخيراً، نجد في داخلها كمّاً كبيراً من الأنابيب المجهرية الـ *Microtubules* والليفات المجهرية الـ *Microfilaments* (4).

في التشريح الوظيفي الـ *Functional Anatomy*، أعتقد بوجود ثلاث وظائف لعقدة رانفويه. فهي ضابطة الإيقاع التي تسهر على حسن أداء موجات الضغط العاملة. تراقب مسارها (1)، مناسيتها (2)، كما وتعمل على دعم سرعة انتشارها من خلال تنظيم جزيئات المادة داخل وسط انتشارها (3).

الربط ما بين الشكل والوظيفة هو ما يُسمى اصطلاحاً بالتشريح الوظيفي، وفيه سأخوض. هي محاولة مني لتوظيف معطيات الكشف فائق الدقة للبناء التشريحي للألياف العصبية عامّة، ولعقد رانفويه خاصّة، على ضوء فرضية النقل العصبي الجديدة خاصتي؛ انظر الشكل (1).



الشكل (1)

عقدة رانفييه The Node of Ranvier

[لمزيد تفصيل في التشرح الوظيفي لعقدة رانفييه، شاهد الفيديو على الرابط التالي:](#)

هي مناطق من الليف العصبي عارية من غمد النخاعين. تتوزع على مسافات متساوية على طول الليف العصبي النخاعي الـ *Myelinated Neural Fiber*. القطعة بين كل عقدتين الـ *Internodal Segment* مغطاة بالكامل بغمد النخاعين الـ *Myelin Sheath*. في عقدة رانفييه، تكثر أفضية شاردة الصوديوم  $Na^+$  (الثقوب السوداء)، وتكثر الأنابيب المجهرية الـ *Microtubules* والليفات المجهرية الـ *Microfilaments* (غير ظاهرة في الرسم). بالمقابل، يتناقص فيها قطر الليف العصبي تناقصاً ملحوظاً بما نسبته 30-40٪ من قطره خارجها. سأحاول في هذا البحث تبرير علة وجود كل من هذه العناصر الثلاثة والحالة التي هي عليها في منطقة العقد الرانفية.

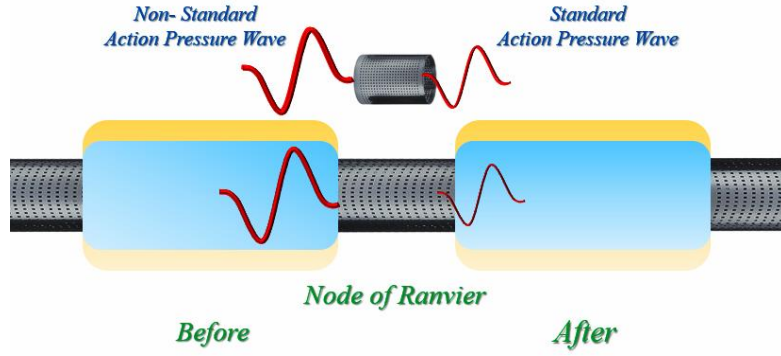
## الوظيفة الأولى: ضبط مناسيب موجة الضغط العاملة

### The Function (1): To Control the Wave's Parameters

حددت العضوية مواصفات موجات الضغط العاملة داخل أليافها العصبية. فلكل ليف عصبي ما يناسبه من الموجات العاملة. مواصفات موجة الضغط العاملة هي مناسيبها من طول موجة، ارتفاع موجة، وسرعة موجة. العلاقة بين هذه المناسيب الـ *Wave's Parameters* هي تفاعلية بامتياز. السيطرة على إحداها يعني بالضرورة سيطرة على ما تبقى منها، وهذا تحدياً منطقي ما اعتمدته العضوية حين سعيها لضبط مناسيب الموجات العاملة الـ *Action Pressure*. *Waves*.

اهتمت العضوية الحية بالجدلية القائمة بين مناسيب موجة الضغط العاملة. فاخترت لنفسها أن تُمسك بمفتاح ارتفاع الموجة الـ *Wave's Amplitude* لمقاربة بقتية المناسيب. فارتفاع موجة الضغط هو الأسهل مقارنة بالنسبة لها، كما أن فعله أكيد على المناسيب الأخرى للموجة.

تُشكل عقد رانفييه مرات إجبارية لموجة الضغط العاملة. سطح المقطع لهذه العقد سيحدد ارتفاع وعرض وتالياً طول موجة ضغط العمل. هب موجة ضغط العمل بالعث في مناسيبها وطغث وتجبرت في قطعة من مسارها الطويل. مرورها الإجباري في عقدة رانفييه التالية سيعيد للموجة مناسيبها الصحيحة. تكرر الخطأ ثانية وثالثة.. إلخ، التصحيح قادم سريعاً لا محالة. فعقد رانفييه منتشرة على طول المسار ساهرة أبداً على ضبط مناسيب الموجة العاملة، وعلى حفظها دائماً ضمن المعايير القياسية الـ *The Standards*؛ انظر الشكل (2).



## الشكل (٢)

### الوظيفة الأولى: ضبط مناسب الموجة العاملة

The Function (1): Controlling the Parameters of Action Pressure Wave

[لمشاهدة فيديو قصير يشرح تفصيلاً وظيفة عقدة رانفيليه في ضبط مناسب الموجة العاملة، انقر على هذا الرابط:](#)

أفترض أن موجة الضغط العاملة أردت لنفسها أكثر مما قد أُجيز لها. مدّت من طول موجتها. تعولت ورفعت محمولها من الطاقة. عندها سيكون الخطر وشيكاً يهدد عناصر العضوية ابتداءً، كما ووظيفة العضو المعني انتهاءً.

استشعرت العضوية مسبقاً فرضية الخلل هذه، وأعدت لها الحلول الناجعة حتى قبل أن تبدأ. هي عقدة رانفيليه ثانية، حيث تنتشر العقدة على طول المحور العصبي كضابط إيقاع يسهر على التزام الموجات العاملة بمعايير العمل من سرعة وحمولة. يعيد الأمور إلى نصابها الصحيح عند كل سانحة. مرور الموجة المتمددة في عقدة رانفيليه الأقرب إليها، سيعيد للموجة رشدها. فتتنظم مناسبها ثانية. امتحان الجودة هذا سيتكرر على طول المحور العصبي وصولاً إلى منتهى عملية النقل العصبي في المشبك العصبي.

قارن شكل الموجة الشاذة جيبي الشكل في قطعة من المحور العصبي، مع شكلها بعد مرورها في عقدة رانفيليه. الآن، وبعد مرورها في عقدة رانفيليه، أصبحت موجة الضغط العاملة ذات مناسب أكثر انسجاماً مع حاجة النقل العصبي من جهة، وأكثر التزاماً بضرورات السلامة التسيجية لمكونات الليف العصبي من جهة أخرى.

## الوظيفة الثانية: ضبط مسار موجة الضغط العاملة

The Function (2): To Control the Wave's Trajectory

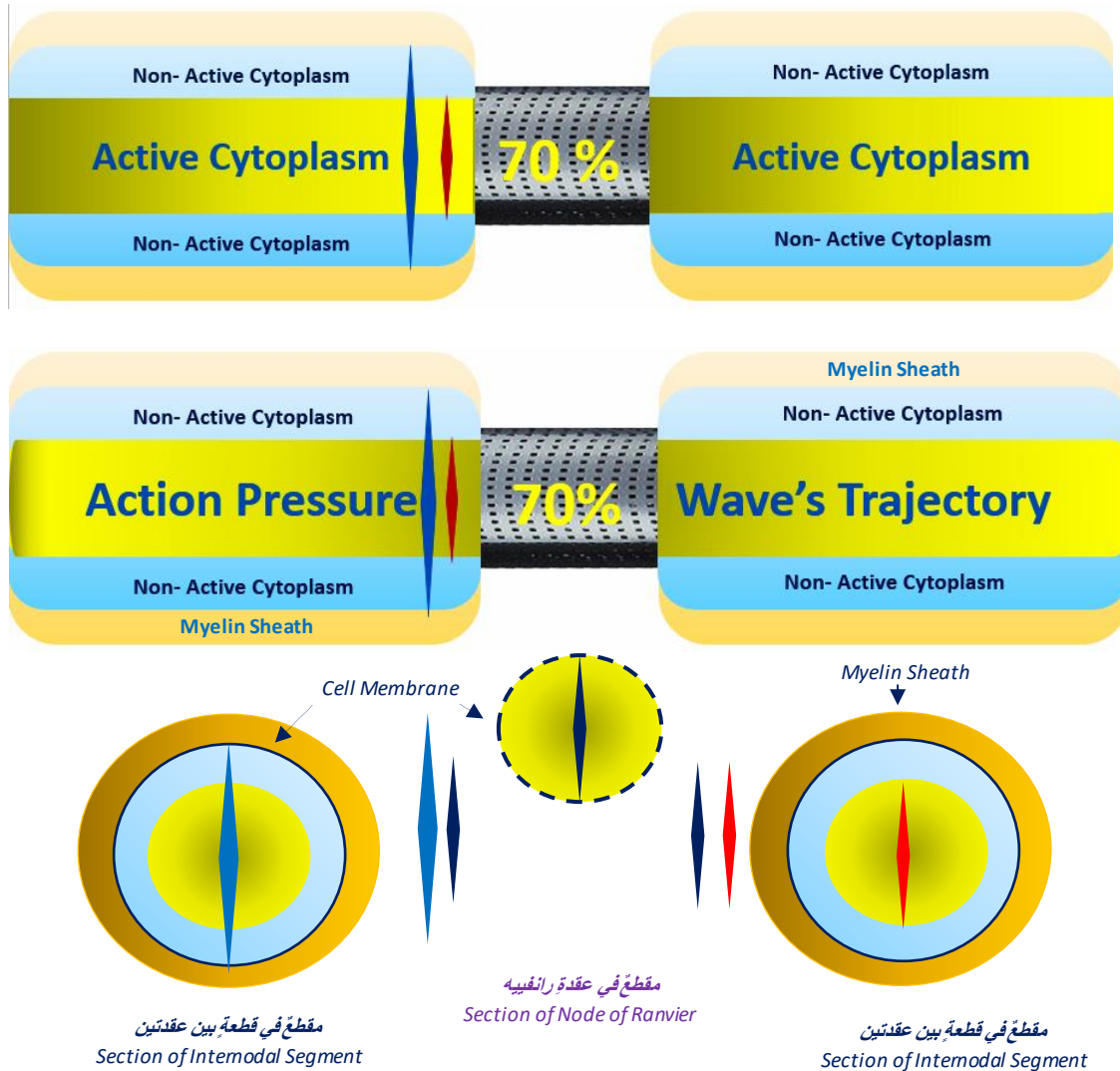
كما كل الموجات الطولانية، تستعمل موجة ضغط العمل حين انتشارها قطاعاً أنبوبياً من وسط الانتشار، لا كامل وسط الانتشار كما قد يظن أحياناً. أنبوب الانتشار هذا، أو مسار الموجة الـ Wave's Trajectory، هو أنبوب وظيفي، لا وجود له خارج زمن انتشار موجة الضغط العاملة الـ Action Pressure Wave. رغم ذلك، هو أنبوب حقيقي 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 التذخير الـ Axon Hillock وينتهي في التوسع ما قبل المشبك العصبي الـ Presynaptic Knob. يكون المسار معلقاً في مركز المحور العصبي ومثبتاً في المكان بروافع. هذه الروافع ما هي إلا عقدة رانفيليه.

شبيهاً له يكون المسار في العصبونات الحسية الـ *Sensory Neurons*، مع فارقٍ وحيدٍ هو في المبدأ والمُنتهى. فمسارُ الموجةِ العاملةِ يبدأ في المحيطِ مِنْ مُستقبلِ حسيٍّ الـ *Sensory Receptor* وينتهي مركزياً في مشبكٍ عصبِيٍّ الـ *Synapse*.

وحمائيةً لعناصرها الجدارية، تتجنَّبُ العضويةُ تماسَ مكوناتِ الليفِ العصبِيِّ مع موجةِ الضَّغَطِ العاملةِ. فلا يقتربُ الغشاءُ الخلويُّ الـ *Cell Membrane* مِنْ مسارِ موجةِ الضَّغَطِ خارجِ لوازمِ الضَّرورةِ، أي خارجِ عَقْدِ رانفييه حيثُ تحلُّ الضَّرورةُ كما سنرى لاحقاً. بلْ تحرصُ على تركِ مسافةٍ أمانٍ بينهما مِنْ البلازما الخاملةِ وظيفياً الـ *Non-Active Cytoplasm*؛

لا تُشاركُ البلازما الخاملةُ فعلياً في بناءِ مسارِ الموجةِ العاملةِ. لكنَّها تعملُ على تلبيةِ نداءِ الضَّغَطِ السَّالبِ لذيلِ موجةِ الضَّغَطِ الـ *Trough* حمايةً للغشاءِ الخلويِّ مِنْ قوَّةِ الدَّيْلِ الماصَّةِ الخامصةِ الـ *Collapsing Forces*. كما وتعملُ أيضاً على امتصاصِ جزءٍ مِنْ الفعلِ الضَّاعِطِ لجهةِ الموجةِ الـ *Crest*، تاركةً إجهاضَ ما فاضَ عَنْ قدرتها إلى خلايا شوان الـ *Schwann Cells* ولمنتوجها التَّمينِ مِنْ غمدِ النُّخاعينِ الـ *Myelin Sheath*؛ انظر الشَّكْلَ (٣).



### الشكل (٣)

#### التشريح الوظيفي لعقدة رانفييه

The Node of Ranvier, The Functional Anatomy

لمزيد تمكين، شاهد العرض التالي في تشريح عقدة رانفييه الوظيفي:

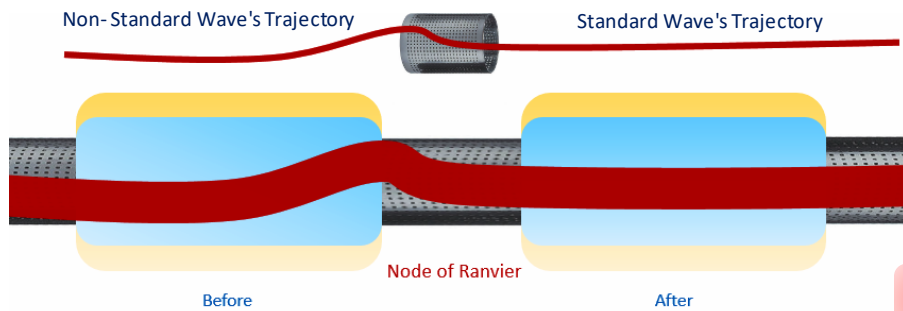
وأخر في تشريح عقدة رانفييه الوصفي:

تستعمل الموجة العاملة قطاعاً أنيويياً 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 العاملة الـ Non-Active Cytoplasm. البلازما العاملة لا تشارك في بناء مسار موجة الضغط العاملة. تلي البلازما العاملة نداء الضغط السالب الـ Negative Pressure لنيل الموجة العاملة الـ Trough، فتحمي بذلك الغشاء الخلوي لليف العصبي الـ Cell Membrane من قوة ذيل الموجة الجاذبة الخامصة الـ Collapsing Forces. كما تعمل على حمايته ولو نسبياً من تأثيرات الطاقة الحركية لجهة الموجة العاملة الـ Crest. بالمقابل، يهتّم غمد الأعصاب الـ Myelin Sheath بمقاومة الجزء الأكبر من طاقة جبهة الموجة.

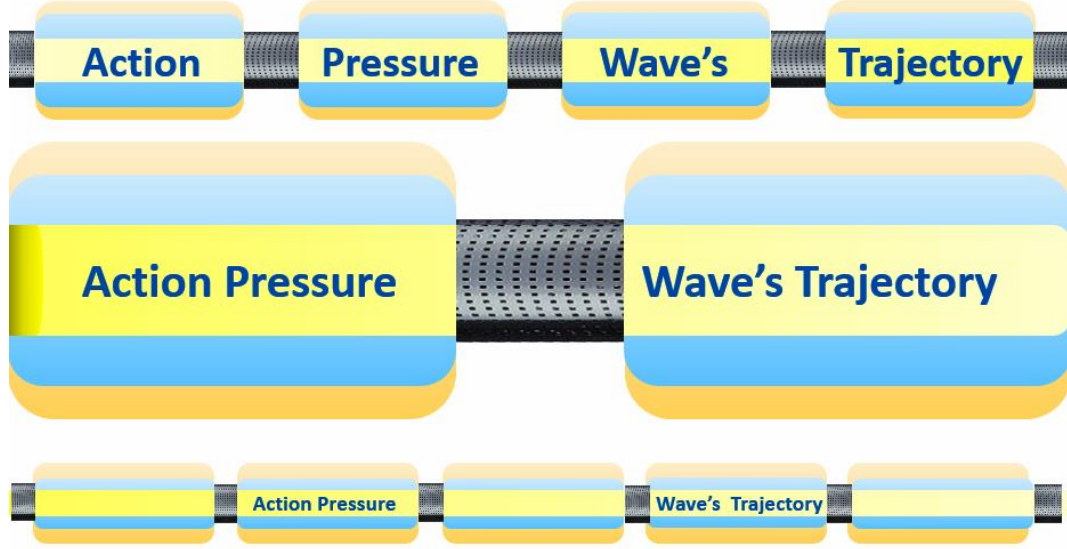
في عقدة رانفييه، ومن أجل بناء كمونات العمل القياسية والتيارات الكهربية القياسية، تحتاج العضوية إلى خلق تماس مباشر ما بين الموجة العاملة والغشاء الخلوي. من أجل ذلك، تختفي البلازما العاملة، ويتقاصر قطر الليف العصبي ما نسبته (٣٠ إلى ٤٠) %، ويقترّب الغشاء الخلوي مع أفنية شوارذ الصوديوم ذوات البوابات العاملة على الضغط الـ Pressure-Gated Na<sup>+</sup> Channels حتى حدود التماس المباشر مع موجة الضغط.

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

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



A



#### الشكل (٤)

#### الوظيفة الثانية: ضبط مسار الموجة العاملة

The Function (2): To Control the Action Pressure Wave's Trajectory

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

الشكل A: تعمل عقدة رانفيه على تصحيح انحرافات المسار في حال وقعت. فيعود مسار موجة ضغط العمل مُجبراً إلى حيث يجب أن يكون في مركز الليف العصبي.

الشكل B: تماماً كأعمدة الجسور الـ Pillars، تعمل عقدة رانفيه مجتمعاً على تعليق مسار الموجة العاملة في مركز الليف العصبي. عقدة رانفيه هي الدعائم والرافع لمسار الموجة، بحيث يبدو هذا الأخير وكأنه أنبوب يسبح في مركز أنبوب آخر.

#### الوظيفة الثالثة: رفع كفاءة مسار موجة الضغط العاملة

The Function (3): To Optimize the Wave's Trajectory

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 الضغط موجياً في جبهة الموجة، وسالباً عند ذيلها. يتذبذب الضغط المنخفض جبهة الموجة، ويتلازمان على هذا النحو على طول الليف العصبي. طول الليف العصبي يكافئ فعلياً طول مسار الموجة العاملة الـ Wave's Trajectory.

قد يبلغ طول المسار مبلغاً كبيراً أحياناً. فكثيراً ما تحتاج موجة الضغط العاملة أن تقطع هكذا مسارات طويلة قبل أن تصل هدفها. أمام حتمية كهذه، وتسهيلاً لانتشارها، عملت العضوية على تحسين (تعبيد الـ Paving) مسار انتشار موجاتها العاملة. واستخدمت لهذه الغاية الكمونات الكهربائية الـ Action Potentials لما عُرف عن هذه الأخيرة من قدرة على تنظيم ورسّ جزئيات المادة رفعا لكثافة الوسط مسار الموجة.

في عقدة رانفييه، يعمل الضَّغَطُ السَّالِبُ المتذبذبُ لموجة الضَّغَطِ العاملة على فتح بوابات أفنية شاردة الصُّوديوم الـ *Pressure- Gated Na<sup>+</sup> Channels*، وتالياً على استدعاء شاردة الصُّوديوم إلى الدَّاخلِ الخلويِّ. تشحن شوارذ الصُّوديوم الموجبة  $Na^+$  ذيلَ الموجة بشحنها. الوسطُ الدَّاخِلِيُّ للمحور العصبيِّ سالبُ القطبيَّةِ أساساً بسبب البروتينات البلازمية والشَّوارد الأخرى سالبة القطبيَّة.

يتأسَّسُ بذلك فرقٌ في الكمون بين ذيلِ الموجة موجبة القطبيَّة الـ *Positive Polarity* اكتساباً والدَّاخلِ الخلويِّ سلبيِّ القطبيَّة الـ *Negative Polarity* أساساً. ما بين مصعدٍ موجبٍ ومهبطٍ سالبٍ، يتخلَّقُ كمونٌ وينفرغُ تيارٌ. الأوَّلُ هو كمونُ العملِ القياسيِّ الـ *Standard Action Potential*، والثَّاني هو تيارُ العملِ الكهربائيِّ القياسيِّ الـ *Standard Electrical Current*.

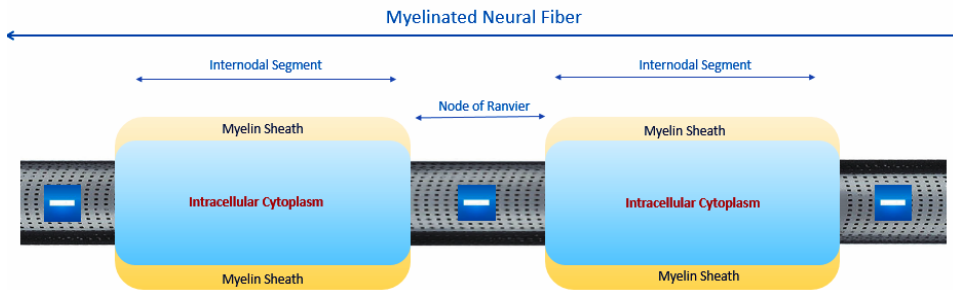
خلالَ عمليَّةِ النَّقلِ العصبيِّ الواحدة، لا نجدُ كمونَ عملٍ قياسيًّا واحداً، ولا تياراً قياسيًّا واحداً. بل نجدُ مجموعةً متجانسةً منها. يبدأ اللّاحقُ منها حيثُ ينتهي السَّابِقُ لها مباشرةً. وكانَّ السَّابِقُ يُشرفُ على ولادة اللّاحقِ ومن ثمَّ يختفي.

كموناتُ العملِ القياسيَّة، كما تياراتها، هي كينوناتُ عاملةٌ محليًّا. يعملُ واحدُها داخلَ قطعةٍ بين عقدين وحيدةٍ لا يتعدَّها، ففيها يكونُ منبئه وفيها يكونُ المنتهى وظيفيًّا وماديًّا. هي وحداتُ تنظيميَّةٌ داعمةٌ لموجة الضَّغَطِ العاملة. هي تهتمُّ بتصنيعِ مسارِ الموجةِ بالقطعة. كلُّ كمونٍ منها يبني مسارَ الموجةِ في قطعه رفعاً لكفاءة النَّقلِ فيها. اجتماعُ المساراتِ القطعيَّة الـ *Segmental Trajectories* يصنعُ مسارَ الموجةِ الكليِّ.

لمشاهدة فيلمٍ قصيرٍ يشرحُ تفصيلاً وظيفة كمونات العمل القياسية وتياراتها في رفع كفاءة مسار الموجات العاملة، انقر على هذا الرابط:



عمليًّا، وإذا ما أردنا المُماتلة في التَّصوير، تُعبَّدُ كموناتُ العملِ القياسيَّة، مع تياراتها الكهربائيَّة، الطَّريقَ أمامَ موجة الضَّغَطِ العاملة وشبكة القُوم. هي ترصُّ العناصر البلازمية وتجمع المتنافرين منها شحنًا تحقياً لتجانس المسار ورفعاً لكثافته. ولا يخفي على عارفٍ ما لذلك من أهميَّة في زيادة سرعة موجات الضَّغَطِ وتقليل ضياعات الطَّاقة فيها؛ انظر الشَّكل (٥).





الشكل (٥)

الوظيفة الثالثة: بناء كمون العمل القياسي & تياره الكهربائي القياسي  
The Function (3): The Regeneration of the Standard Action Potential  
& the Standard Electrical Current

لمشاهدة فلم قصير يشرح تفصيلاً وظيفة عقدة رانفييه في توليد كمون العمل القياسي، انقر على هذا الرابط: [▶](#)

متى وصلت موجة الضغط العاملة عقدة رانفييه،  
ياشر الضغط السالب لذيل الموجة فعله في فتح بوابات أفنية شاردة الصوديوم،  
وتالياً في استدعاء شاردة الصوديوم إلى الداخل الخلوي.  
يشحن تراكم شوارد الصوديوم الداخل الخلوي لعقدة رانفييه بقبطية موجبة. القبطية الموجبة الوليدة حديثاً ستقابل قبطية  
سالبة مقبمة أبدأً.  
فالدخل الخلوي هو سالب القبطية غريزياً بسبب قبطية البروتينات البلازمية أساساً.  
مهما يكن من أمر، قبطية موجبة تقابل قبطية سالبة هو كل ما يلزم لولادة كمون العمل القياسي،  
وتالياً لانفراغ التيار الكهربائي القياسي خاصته.

## التشريح الوظيفي The Functional Anatomy

من أجل مزيد تمكين، شاهد الفيديو التالي في التشريح الوصفي لعقدة رانفييه: [▶](#)

عقد رانفييه هي محطات لبناء كمونات وتيارات العمل القياسية. مادة البناء الأساسية هي شوارد  
الصوديوم  $Na^+$ . خزان هذه الأخيرة هو الوسط خارج الليف العصبي. محرالك عملية البناء هو  
الضغط السالب لذيل موجة الضغط العاملة الـ Wave's Trough. لذلك كله، كان لزاماً على  
العضوية تعزيز شروط الاتصال بين داخل الليف العصبي وخارجه؛ انظر الشكل (٣).

لحسن الأداء، خلع المحور العصبي درعه النخاعيني الـ Myelin Sheath في عقدة رانفييه (١).  
كثف فيها أعداداً ممرات العبور (٢)، أي أفنية شاردة الصوديوم  $Na^+$ . اقترب غشاؤه الخلوي من  
موجة الضغط العاملة حدود التماس المباشر معها فتقاصر قطر الليف العصبي في مستوى عقدة



رانفبيه ما نسبته (٣٠-٤٠) % (٣). بذلك يمكن لطيف الضغط السالب لذيل الموجة أن يطال مباشرة الوسط الخارجي فيعرف منه ما شاء من مواد البناء، أي شوارد الصوديوم  $Na^+$ .

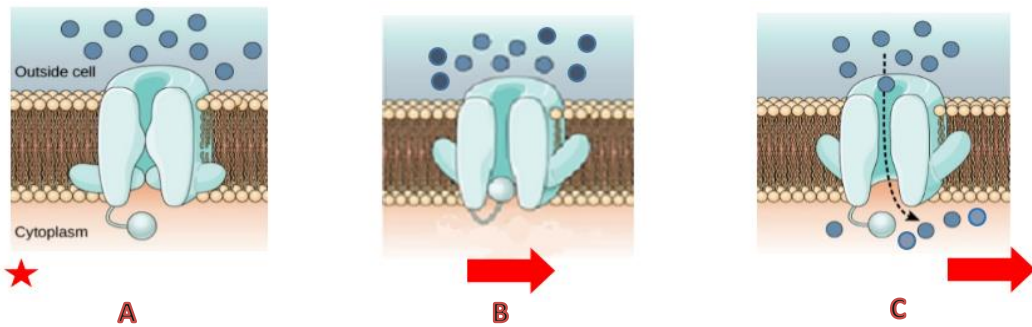
من أجل مزيد تمكين، شاهد الفيديو التالي في التّشريح الوظيفي لعقدة رانفبيه: [\[YouTube Icon\]](#)

والمقابل بسيط وعبقري، شبكة كثيفة من ألياف مجهرية الـ *Microtubules & Microfilaments* رقد بها غشاءه من الداخل (٤). تحمي كثافة الشبكة الغشاء الخلوي من تبعات الاحتكاك المباشر والمؤلم مع موجة الضغط، هذا من جهة. وتسمح عيونها وافرّة العدد بالتبادل الحرّ مع الوسط الخارجي، من جهة أخرى. إناء، هي تقوم مقام البلازما الخاملة في القطعة بين عقدتين في حماية غشاء الليف العصبي من قوّة الذيل الخامصة، ومن طاقة الجبهة الدافعة.

قد يقول قائل، لماذا لم تستدع العضوية خلايا شوان الـ *Schwann Cells* ومنتوجها الدّمين غمد النّخاعين الـ *Myelin Sheath* لحماية الغشاء الخلوي في مستوى عقدة رانفبيه؟

أقول، غمد النّخاعين جدار متين مقاوم، لكنّه أصمّ لا ثقوب فيه. والثقوب منافذ لشاردة الصوديوم  $Na^+$  المادّة الأساس في بناء كمونات العمل القياسية. إضافة لذلك، إن كان دعم الغشاء الخلوي من الخارج بغمد النّخاعين فعلاً في امتصاص فعل جبهة الموجة، فهو لا شك قاصر في الوقاية من تأثيرات القوّة الماصّة لذيلها. لاسيّما إذا ما علمنا أنّ التماس بين جدار عقدة رانفبيه وموجة الضغط شرط أساسي لإتمام مهام العقدة في ضبط المناسيب والمسار وابتناء كمونات العمل القياسية.

تلعب أفضية شاردة الصوديوم  $Na^+$  نوات البوابات العاملة بفرق الضغط الـ *Pressure-Gated Na<sup>+</sup> Channels* دوراً هاماً في حركية الشوارد نحو الداخل الخلوي. بواباتها الداخليّة مركزيّة التّوضع، تتنبّث على عارضة القناة القريبة من جهة هبوب موجة ضغط العمل. تنحني بواباتها عند مرور جبهة الموجة عالية قيمة الضغط فتتعلق أفضية العبور. بينما يعمل الضغط السالب المُتدبّل للموجة عند مروره على فتح المغاليق وشفط شوارد الصوديوم نحو الداخل، وتالياً على ابتناء كمون عمل قياسي جديد؛ انظر الشّكل (٦).



## الشكل (٦) الأقنية نوات الأوباب العاملة بفرق الضغط The Pressure Gated Na<sup>+</sup> Channels

**الشكل (A) التفسير الوصفي:** البوابه معقد بروتيني الـ Polypeptide، بنتاً داخل لمعة الليف العصبي في البلازما الـ Cytoplasm، ويتم فصل مع الجدار الأقرب لجهة النقل العصبي، أي مع الجدار الأقرب إلى جسم العصبون (النجمه الحمراء) في العصبونات الحركية الـ Motor Neurons. تتواجد شوارذ الصوديوم Na<sup>+</sup> بكثافة في الحيز خارج الخلية الـ Outside Cell (الكراث الزرقاء). في حالة الراحة الوظيفية، أفترض قيام ضغط الراحة بإغلاق البوابات منعاً لتسرب عناصر البلازما عبر قنوات العيون.

**الشكل (B):** أثناء عملية النقل العصبي، وحين وصول جبهة موجة ضغط العمل (السهم الأحمر) إلى مستوى القناة، تنحني البوابه باتجاه الجدار تحت تأثير قيمة الضغط المرتفعة لجبهة موجة العمل مغلقة بذلك قناة العيون.

**الشكل (C):** وبعد تجاوز جبهة الموجة للبوابية، يعمل الضغط سالب القيمة المتدليل لموجة الضغط على شفيط البوابية نحو الداخل الخلوي، ومن ثم على فتح قناة العيون. كما يعمل الضغط السلبي ذاته على تدفق شاردة الصوديوم Na<sup>+</sup> إلى الداخل (السهم الأسود النقطي) معلنة ولادة القطبية الموجبة لكمون العمل في المنطقة.

## عقدة رانفييه، ضابطة الإيقاع

### The Node of Ranvier, the Equalizer

من أجل مزيد تمكين، شاهد الفيديو التالي حول الوظائف الثلاث لعقد رانفييه: 

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 وباتجاه ما. وهذا ما لا تتحملة العضوية الحية. 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 مناسبها الـ Parameters. فعملت العضوية على ضبط هذه المناسب، وألقت مسؤوليته 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 تُعطفه 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 المادّة داخل أنبوب الانتشار. تمهّد 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.

## ملاحظة هامة

لمعرفة المزيد عن فرضيتي في النقل العصبي، اقرأ مقالاً لي بعنوان:



[النقل العصبي، بين مفهوم قاصر وجديد حاضر](#)

في سياقات أخرى، أنصح بقراءة المقالات التالية:

- [تصنيع إبهام اليد باستخدام الإصبع الثانية للقدم](#)  
[Thumb Reconstruction Using Microvascular Second Toe to Thumb Transfer](#)
- [أذيات العصبون المحرك العلوي، الفيزيولوجيا المرضية لأعراض والعلامات السريرية](#)  
[Upper Motor Neuron Injuries, Pathophysiology of Symptomatology](#)
- [في الأذيات الرضية للنخاع الشوكي، خبايا الكيس السحائي.. كثيرها طيع وقليلها عصي على الإصلاح](#)  
[Surgical Treatments of Traumatic Injuries of the Spine](#)
- [الجراحي](#)  
[مقاربة العصب الوركي جراحياً في الناحية الأليوية.. المدخل عبر ألياف العضلة الأليوية العظمى مقابل](#)  
[المدخل التقليدي](#)  
[Trans- Gluteal Approach of Sciatic Nerve vs. The Traditional Approaches](#)
- [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](#)  
[Action Electrical Currents](#)
- [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 والمفهوم](#)  
[الصدمة النخاعية \(مفهوم جديد\)](#)  
[The Spinal Shock \(Innovated Conception\)](#)
- [أذيات النخاع الشوكي، الأعراض والعلامات السريرية، بحث في آليات الحدوث](#)  
[The Spinal Injury, The Symptomatology](#)
- [الرَّمع](#)  
[Clonus](#)
- [اشتداد المنعكس الشوكي](#)  
[Hyperactive Hyperreflexia](#)
- [تيساع باحة المنعكس الشوكي الاشتدادي](#)  
[Extended Reflex Sector](#)
- [الاستجابة ثنائية الجانب للمنعكس الشوكي الاشتدادي](#)  
[Bilateral Responses](#)

Multiple Motor Responses الاستجابة الحركية العديدة للمنعكس الشوكي  
التنكس الفاليري، يهاجم المحاور العصبية الحركية للعصب المحيطي.. ويعتد 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  
خلقت المرأة من ضلع الرجل، رائعة الإيحاء الفلسفي والمجاز العلمي  
المرأة تقر جنس ولدها، والزجل يدعى!  
الروح والنفس.. عطية خالق وصنيعه مخلوق  
خلق السماوات والأرض أكبر من خلق الناس.. في المرامي والدلالات  
تفاحة آدم وضلع آدم، وجهان لصورة الإنسان.  
حواء.. هذه  
سفينة نوح، طوق نجاة لا معراج خلاص  
المصباح الكهربائي، بين التجريد والتنفيذ رحلة ألف عام  
هكذا تكلم ابراهيم الخليل  
فقه الحضارات، بين قوة الفكر وفكر القوة  
العنة وعلة الاختلاف بين مطلقه وأرملته ذواتي عفاف  
تعددت الزوجات وملك اليمين.. المنسوخ الأجل  
الثقب الأسود، وفضية النجم الساقط  
جسيم بار، مفتاح أحجية الخلق  
صبي أم بنت، الأم تقر!  
القدم الهابطة، حالة سريرية  
خلق حواء من ضلع آدم، حقيقة أم أسطورة؟  
شلل الضفيرة العضدية الولادي Obstetrical Brachial Plexus Palsy  
الأذيات الرضية للأعصاب المحيطية (1) التثريب الوصفي والوظيفي  
الأذيات الرضية للأعصاب المحيطية (2) تقييم الأذية العصبية  
الأذيات الرضية للأعصاب المحيطية (3) التدبير والإصلاح الجراحي  
الأذيات الرضية للأعصاب المحيطية (4) تصنيف الأذية العصبية  
قوس العضلة الكائبة المدورة Pronator Teres Muscle Arcade  
شبيه رباط Struthers-like Ligament ...Struthers  
عمليات النقل الوترية في تدبير شلل العصب الكعبري Tendon Transfers for Radial Palsy  
من يقر جنس الوليد (مختصر)  
ثالوث الذكاء.. زاد مسافر! الذكاء الفطري، الإنساني، والاصطناعي.. بحث في الصفات والمالات  
المعادلات الصغرية.. الحداثه، مالها وما عليها

متلازمة العصب بين العظام الخلفي Posterior Interosseous Nerve Syndrome

المنعكس الشوكي، فيزيولوجيا جديدة Spinal Reflex, Innovated Physiology

المنعكس الشوكي الاشتدادي، في الفيزيولوجيا المرضية Hyperreflex, Innovated Pathophysiology

المنعكس الشوكي الاشتدادي (1)، الفيزيولوجيا المرضية لقوة المنعكس Hyperreflexia,

Pathophysiology of Hyperactive Hyperreflex

المنعكس الشوكي الاشتدادي (2)، الفيزيولوجيا المرضية للاستجابة ثنائية الجانب للمنعكس

Hyperreflexia, Pathophysiology of Bilateral- Response Hyperreflex

المنعكس الشوكي الاشتدادي (3)، الفيزيولوجيا المرضية لانتساع ساحة العمل Extended Hyperreflex,

Pathophysiology

المنعكس الشوكي الاشتدادي (4)، الفيزيولوجيا المرضية للمنعكس عديد الاستجابة الحركية

Hyperreflexia, Pathophysiology of Multi-Response hyperreflex

الرمع (1)، الفرضية الأولى في الفيزيولوجيا المرضية

الرمع (2)، الفرضية الثانية في الفيزيولوجيا المرضية

خلق آدم وخلق حواء، ومن ضلعه كانت حواء Adam & Eve, Adam's Rib

جسيم بار، الشاهد والبصير Barr Body, The Witness

جدلية المعنى واللامعنى

التدبير الجراحي لليد المخليبية Surgical Treatment of Claw Hand (Brand Operation)

الانقسام الخلوي المتساوي الـ Mitosis

المادة الصبغية، الصبغي، الجسم الصبغي الـ Chromatin, Chromatid, Chromosome

المتكيمات الغذائية الـ Nutritional Supplements، هل هي حقاً مفيدة لأجسامنا؟

الانقسام الخلوي المنصف الـ Meiosis

فيتامين د Vitamin D، ضمانته الشباب الدائم

فيتامين ب6 Vitamin B6، قليله مفيد.. وكثيره ضار جداً

والمهنة.. شهيد، من قصص البطولة والفداء

الثقب الأسود والنجم الذي هوى

خلق السماوات والأرض، فرضية الكون السديمي المتصل

الجواري الكس الـ Circulating Sweepers

عندما ينقسم المجتمع.. لمن تتجملين هيفاء؟

التصنيع الذاتي لمفصل المرفق Elbow Auto- Arthroplasty

الطوفان الأخير، طوفان بلا سفينة

كشفت المسئور.. مع الاسم تكون البدايه، فتكون الهوية خاتمة الحكاية

مجتمع الإنسان! اجتماع فطرة، أم اجتماع ضرورة، أم اجتماع مصلحة؟

عظم الصخرة الهوائي Pneumatic Petrous

خلع ولادتي ثنائي الجانب للعصب الرندي Congenital Bilateral Ulnar Nerve Dislocation

حقيقتان لا تقبل بهن حواء

إنتاج البويضات غير الملقحات الـ Oocytogenesis

إنتاج النطاف الـ Spermatogenesis

أم البنات، حقيقة هي أم هي محض نر هات؟!!

أم البنين! حقيقة لطالما ظننتها من هفوات الأولين

غلبة البنات، حواء هذه تلد كثير بنات وقليل بنين

غلبة البنين، حواء هذه تلد كثير بنين وقليل بنات

ولا أنفي عنها العدل أحياناً! حواء هذه يكافئ عديداً بنينها عديداً بناتياتها

المغنيز يوم بان للعظام! بدعم وظيفة الكالسيوم، ولا يطبق مشاركته

لأدم فعل التمكين، ولحواء حفظ التكوين!

هديان المفاهيم (١): هديان الاقتصاد

المغنيز يوم (٢)، معلومات لا غنى عنها

معالجة تناذر العضلة الكمثرية بحقن الكورتيزون (مقاربة شخصية)

Piriformis Muscle Injection (Personal Approach)

معالجة تناذر العضلة الكمثرية بحقن الكورتيزون (مقاربة شخصية) (عرض موسع)

Piriformis Muscle Injection (Personal Approach)

فيروس كورونا المستجد.. من بعد السلوك، عينه على الصفات

هديان المفاهيم (٢): هديان الليل والنهار

كادت المرأة أن تلد أخاها، قول صحيح لكن بنكهة عربية

متلازمة التعب المزمن Fibromyalgia

طفل الأنبوب، ليس أفضل الممكن

الحروب العنيفة.. عذاب دائم أم امتحان مستدام؟

العقل القياس والعقل المجرد.. في القياس قصور، وفي التجريد وصول

الذئب المنفرد، حين يصبح التوحّد مفازة لا محض قرار!

علاج الإصبع القافرة الـ Trigger Finger بحقن الكورتيزون موضعياً

وحش فرانكشتاين الجديد.. القديم نكب الأرض وما يزال، وأما الجديد فمنكوبه أنت أساساً أيها الإنسان!

اليد المخليبة، الإصلاح الجراحي (عملية براند) (Claw Hand (Brand Operation)

سعاء بريد حقيقيون.. لا هواة ترحال وهجرة

فيروس كورونا المستجد (كوفيد-١٩): من بعد السلوك، عينه على الصفات

علامة هوفمان Hoffman Sign

الأسطورة الحقيقية الهرمة.. شمشون الحكاية، وسيزيف الإنسان

التنكس الفاليري التالي للأذية العصبية، وعملية التجديد العصبي

التصلب اللويحي المتعدد: العلاقة السببية، بين التيار الغلفاني والتصلب اللويحي المتعدد؟

الورم الوعائي في الكبد: الاستئصال الجراحي الإسعافي لورم وعائي كبدي عرطل بسبب نزف داخل

كتلة الورم

متلازمة العضلة الكاتبة المدوّرة Pronator Teres Muscle Syndrome

أذيات ذيل الفرس الرضائية، مقاربة جراحية جديدة

Traumatic Injuries of Cauda Equina, New Surgical Approach

الشلل الرباعي.. موجبات وأهداف العلاج الجراحي.. التطورات التالية للجراحة - مقارنة سريرية وشعاعية

تضاعف اليد والزند Ulnar Dimelia or Mirror Hand

متلازمة نفق الرسغ تنهي التزامها بقطع تام للعصب المتوسط

ورم شوان في العصب الظنبوبي الـ Tibial Nerve Schwannoma

ورم شوان أمام العجز Presacral Schwannoma

ميلانوما جلدية خبيثة Malignant Melanoma

ضمور إلية اليد بالجهتين، غياب خلقى معزول ثنائي الجانب Congenital Thenar Hypoplasia

متلازمة الرأس الطويل للعضلة ذات الرأسين الفخذية The Syndrome of the Long Head of Biceps Femoris

مرضيات الوتر البعيد للعضلة ثنائية الرؤوس العضدية Pathologies of Distal Tendon of Biceps Brachii Muscle

حنث ودي انعكاسي Algodystrophy Syndrome تتميز بظهور حلقة جلدية خانقة عند الحدود القريبة للونمة الجلدية

تصنيع الفك السفلي باستخدام الشريحة الشظوية الحرة Mandible Reconstruction Using Free Fibula Flap

انسداد الشريان الكعبري الحاد غير الرضوي (داء بيرغر)

إصابة سليئة معزولة في العقد اللمفية الإبطية Isolated Axillary Tuberculous Lymphadenitis

الشريحة الشظوية الموعاه في تعويض الضياعات العظمية المختلطة بذات العظم والنقي Free Fibula Flap for Bone Lost Complicated with Recalcitrant Osteomyelitis

الشريحة الحرة جانب الكتف في تعويض ضياع جدي هام في الساعد

الأذيات الرضية للصفيرة العضدية Injuries of Brachial Plexus

أذية أوتار الكفة المدورة Rotator Cuff Injury

كيسة القناة الجامعة Cholechal Cyst

أفات الثدي ما حول سن اليأس.. نحو مقارنة أكثر حزمًا Peri-Menopause Breast Problems

تقييم آفات الثدي الشائعة Evaluation of Breast Problems

أفات الثدي ما حول سن اليأس.. نحو مقارنة أكثر حزمًا Peri-Menopause Breast Problems

تدبير آلام الكتف: الحقن تحت الأخرم Subacromial Injection

مجمع البحرين.. برزخ ما بين حياتين

ما بعد الموت وما قبل المساق.. فإمًا مسح.. وإمًا انعناق!

تدبير التهاب الآفافة الأخصية المزمن بحقن الكورتيزون Plantar Fasciitis, Cortisone Injection

حقن الكيسة المصلية الصدرية- لوح الكتف بالكورتيزون

Scapulo-Thoracic Bursitis, Cortisone Injection

فيتامين ب ١٢.. مختصر مفيد Vitamin B12

الورم العظمي العظماني (العظموم العظماني) Osteoid Osteoma

(١) قصر أمشاط اليد Brachymetacarpia: قصر ثنائي الجانب ومتناظر للأصابع الثلاثة الزندية

(٢) قصر أمشاط اليد Brachymetacarpia: قصر ثنائي الجانب ومتناظر للأصابع الثلاثة الزندية

الكتف المتجمدة، حقن الكورتيزون داخل مفصل الكتف Frozen Shoulder, Intraarticular Cortisone Injection

مرفق التنس، حقن الكورتيزون Tennis Elbow, Cortisone injection

ألم المفصل العجزي الحرقفي: حقن الكورتيزون Sacro-Iliac Joint Pain, Cortisone Injection

استئصال الكيسة المعصمية، السهل الممتنع Ganglion Cyst Removal (Ganglionectomy)

التشريح الجراحي للعصب المتوسط في الساعد Median Nerve Surgical Anatomy

ما قول العلم في اختلاف العدة ما بين المطلقة والأرملة؟

عملية النقل الوترية لاستعادة حركة الكتف Tendon Transfer to Restore Shoulder Movement

بفضلك آدم! استمر هذا الإنسان.. تمكّن.. تكيف.. وكان عروفاً متباينةً

المبيضان في ركن مكين.. والخصيتان في كيس مهبين

بحث في الأسباب.. بحث في وظيفة الشكل

تدبير آلام الرقبة (١) استعادة الانحناء الرقبى الطبيعي (القعس الرقبى) Neck Pain Treatment

Restoring Cervical Lordosis

نقل قطعة من العضلة الرشيقة لاستعادة الابتسامة بعد شلل الوجه Segmental Gracilis Muscle

Transfer for Smile

أذية الأعصاب المحيطة: معلومات لا غنى عنها لكل العاملين عليها peripheral nerves injurie

تدرن الفقرات.. خراج بوت Spine TB.. Pott's Disease

الأطوار الثلاثة للنقل العصبى.. رؤية جديدة

أرجوزة الأزل

قال الإمام.. كم هو جميل فيكم الصنت يا بشر

صناعة اللاوعى

أزمه متقف.. أضع الهوية تحت مركز من مقروء ومسروع

نقأحه آدم وضيع آدم.. وجهان لصورة الإنسان