النَّموذجُ الميكانيكيُّ الموحَّدُ للنَّقلِ العصبيِّ: إطارٌ نظريٌّ ومخطَّطٌ تجريبيٌّ للتَّحقُّقِ

المؤلف :د. عمّار ياسين منصور

١. المقدِّمةُ والفرضيَّةُ الأساسيَّةُ

يعرضُ هذا المُستندُ مخطَّطاً تجريبيّاً مفصَّلاً للتَّحقُّقِ منَ **النَّموذجِ الميكانيكيِّ الموحَّدِ للنَّقلِ العصبيِّ.** ينحرفُ النَّموذجُ بشكلٍ جوهريٍّ عنِ النَّموذجِ الكهروكيميائيِّ التَّقليديِّ، حيثُ يقترحُ أنَّ الإشارةَ العصبيَّةَ تُنقلُ أساساً بوساطةِ **موجةِ ضغطٍ ميكانيكيَّةٍ واحدةٍ** تتولَّدُ في منطقةِ التَّحفيزِ الـ Axon Hillock. جهودُ الفعلِ الكهربائيَّةُ، رغمَ كونِها أساسيَّةً، هيَ **نتيجةٌ** لهذهِ الموجةِ، وتلعبُ دوراً ثانوياً مُسرِّعاً بالغَ الأهميَّةِ.

٢. تصنيفُ الأدلَّةِ: تنبُّؤاتٌ أساسيَّةٌ وتنبُّؤاتٌ داعمةٌ

يصنِّفُ هذا المخطَّطُ التَّنبُّؤاتِ التَّجريبيَّةَ إلى مستويينِ منَ الأهميَّةِ، بناءً على مدى حتميَّتِها للنَّموذجِ:

أوَّلاً: التَّنبُّؤاتُ الأساسيَّةُ (مؤكِّداتُ الفرضيَّةِ):
هذهِ هيَ التَّنبُّؤاتُ التي تشكِّلُ جوهرَ النَّموذجِ. فشلُ أيٍّ منها في التَّحقُّقِ التَّجريبيِّ يُبطلُ الفرضيَّةَ في صيغتِها الحاليَّةِ. تركِّزُ هذهِ التَّنبُّؤاتُ حصراً على:

- **منطقةُ التَّحفيزِ الـ Axon Hillock:** التَّتابعُ الزَّمنيُّ المُحدِّدُ لتبدُّلاتِ الضَّغطِ والشِّحنةِ كما هوَ موصوفٌ في (المشاهدِ ١-٣) (قيمةٌ سالبةٌ للضَّغطِ متزامنةٌ مع بدءِ إيجابيَّةِ الشِّحنةِ، ثمَّ قفزةٌ موجبةٌ للضَّغطِ).
- **عقدُ رانفييه الـ Nodes of Ranvier:** التَّتابعُ الزَّمنيُّ الحاسمُ الذي تسبقُ فيهِ قمَّةُ الضَّغطِ الموجبِ بناءَ الشِّحنةِ الموجبةِ (المشهدان ٤ و٥). هذا هوَ "الاختبارُ الذَّهبيُّ الـ The Golden Test."
- **الانتفاخُ الانتهائيُّ الـ Terminal Bouton:** بناءُ كمونِ العملِ الانتهائيِّ (شحنةٌ موجبةٌ) بصورةٍ متزامنةٍ مع ذيلِ موجةِ الضَّغطِ السَّالبِ (المشهد ٧).

ثانياً: التَّنبُّؤاتُ الدَّاعمةُ (نقاطٌ إضافيَّةٌ):
هذهِ تنبُّؤاتٌ ثانويَّةٌ، حدوثُها يمنحُ النَّموذجَ قوَّةً إضافيَّةً ونقاطاً موجبةً للبحثِ، لكنَّ **غيابَها لا يُبطلُ الفرضيَّةَ ولا يخسرُنا مصداقيَّتَها** .في حالِ غيابِ أيٍّ منها، يجبُ البحثُ عنْ آليَّاتٍ بديلةٍ ضمنَ الإطارِ العامِّ للنَّموذجِ، لكنَّ جوهرَ الفرضيَّةِ يبقى قائماً. تشملُ هذهِ التَّنبُّؤاتِ:

- تعاقبُ الضَّغطِ (+/-/+) داخلَ جسمِ الخليَّةِ العصبيَّةِ- السُّوما الـ Soma- (المشهد ٢): في حالِ غيابِهِ، يجبُ البحثُ عنْ آليَّةٍ أخرى لولادةِ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ الأوليَّةِ الـ Primary Action Pressure Wave في منطقةِ التَّحفيزِ الـ Axon Hillock، دونَ أنْ يُبطلَ ذلكَ أصلَ الفرضيَّةِ.

- تفكُّكُ اللِّييفاتِ العصبيَّةِ الـ Neurofilaments بفعلِ تيَّارِ العملِ (التَّنبُّؤ ٢): إنْ حدثَ وتزامنَ مع مرورِ التَّيَّارِ الكهربائيِّ، كانَ نقطةً إضافيَّةً. وإنْ لمْ يُرصدْ، تبقى آليَّةُ تمهيدِ الطَّريقِ للموجةِ مفتوحةً للاحتمالاتِ الأخرى.
- تضيُّقُ الشَّقِّ المشبكيِّ الـ Synaptic Cleft المتزامنُ مع جبهةِ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ الـ Action Pressure Wave (التَّنبُّؤ ٥، المشهدُ ٧): قدْ يبقى الشَّقُّ على حالهِ أثناءَ النَّقلِ العصبيِّ، دونَ أنْ يؤثِّرَ ذلكَ على صحَّةِ الآليَّةِ الأساسيَّةِ في المشبكِ العصبيِّ الـ Synapsis (الفتحُ الميكانيكيُّ لقنواتِ الكالسيوم وبناءُ كمُّونِ العملِ الانتهائيِّ الـ Terminal Action Potential).

الخلاصةُ المنهجيَّةُ: المعركةُ الأساسيَّةُ تُخاضُ وتُحسمُ في منطقةِ التَّحفيزِ الـ Axon Hillock وَالعقدِ الرَّانفيَّةِ الـ Nodes of Ranvier وَالانتفاخِ الانتهائيِّ الـ Terminal Bouton. هذهِ هيَ المواقعُ التي تحملُ المؤكِّداتِ. أمَّا بقيَّةُ الأمورِ فحدوثُها إضافةٌ علميَّةٌ، وغيابُها لا يمسُّ جوهرَ النَّموذجِ.

٣. دورةُ النَّقلِ العصبيِّ الكاملةُ: نموذجٌ ذو ثلاثةِ أطوار الـ A Three-Phase Model

النَّقلُ العصبيُّ الـ Neural Transmission هوَ دورةٌ واحدةٌ تتألَّفُ منْ ثلاثةِ أطوارٍ:

- **في البدايةِ الـ Input Phase:** نبضةٌ كهربائيَّةٌ واردةٌ الـ Afferent Electrical Impulse تصلُ إلى التَّغصُّناتِ الـ Dendrites.
- **في الوسطِ الـ Transmission Phase:** موجةُ ضغطٍ الـ Pressure Impulse حركيَّةٌ ميكانيكيَّةٌ تقطعُ المسافةَ عبرَ المحورِ الـ Axon حاملةً الإشارةَ العصبيَّةَ.
- **في النِّهايةِ الـ Output Phase:** نبضةٌ كهربائيَّةٌ صادرةٌ الـ Efferent Electrical Impulse تتولَّدُ في المشبكِ الانتهائيِّ الـ Terminal Synapsis.

في الأطرافِ (المشابكِ)، الكهرباءُ هيَ التي تنجزُ النَّقلَ العصبيَّ. أما في الأنبوبِ مُحكمِ الإغلاقِ للمحورِ العصبيِّ، فموجةُ الضَّغطِ هيَ الحاملُ المثاليُّ للإشارةِ العصبيَّةِ.

🎥 **فيديو: الأطوارُ الثَّلاثةُ للنَّقلِ العصبيِّ** — *https://youtube.com/shorts/m0BsfOa_l7w*

٤. منشأُ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ: المكبسُ النَّانويُّ في منطقةِ التَّحفيزِ الـ The Hillock Nano-Piston

الموقعُ: منطقةُ التَّحفيزِ الـ Axon Hillock في عصبونٍ حركيٍّ الـ Motor Neuron.
الآليَّةُ: التَّشكيلاتُ الأنبوبيَّةُ الدَّقيقةُ الـ Microtubular Formations داخلَ منطقةِ التَّحفيزِ تعملُ عملَ مكبسٍ نانويٍّ خطِّيٍّ الـ Linea Nano-Piston.

- **شوطُ الاندفاعِ المركزيِّ الـ Central Thrust Stroke:** يندفعُ المكبسُ مركزيًّا نحوَ السُّوما، مولِّداً **موجةَ ضغطٍ مركزيَّةً** الـ Central Pressure Wave تجتاحُ السُّوما، ومُحدثاً، وهذا هوَ المهمُّ، **ضغطاً سالباً** الـ Negative Pressure داخلَ منطقةِ التَّحفيزِ الـ Axon Hillock نفسِها.

🎥فيديو: ولادةُ موجةِ الضَّغطِ المركزيَّةِ – https://youtu.be/UwHbIn9I8e8

- **الارتدادُ الـ Reflection:** تردُّ الجدرانُ المحدَّبةُ داخليّاً للسُّوما مع شبكةِ اللُّييفاتِ العصبيَّةِ الدَّاعمةِ لها الـ Neurofibril Network هذهِ الموجةَ.
- **شوطُ العودةِ الـ Return Stroke:** الموجةُ المُرتدَّةُ تصطدمُ بالمكبسِ فتدفعهُ عائداً إلى موقعهِ البدئيِّ. حركةُ العودةِ هذهِ **تولِّدُ موجةَ الضَّغطِ العاملةَ الأوليَّةَ الـ Primary Action Pressure Wave.** هيَ موجةٌ غيرُ منتظمةٍ، مرتفعةُ الـ High-Amplitude، وغيرُ قياسيَّةٍ الـ Non-Standard.

الحدثُ الأساسيُّ الأوَّلُ (قبلَ ولادةِ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ الأوليَّةِ): الضَّغطُ السَّالبُ في منطقةِ التَّحفيزِ الـ Axon Hillock (الناتجُ عنْ شوطِ الاندفاعِ المركزيِّ) يعملُ عملَ **مفتاحٍ محضٍ ميكانيكيٍّ،** فيفتحُ بوَّاباتِ **قنواتِ شواردِ الصُّوديوم العاملةِ بفرقِ الضَّغطِ الـ Pressure-Differential Operated Sodium Ion Channels** ويسحبُ شواردَ الصُّوديوم Na^+ إلى الدَّاخلِ. هذا يولِّدُ **كمونَ العملِ الأوَّليَّ الـ Primary Action Potential**، وَهوَ حدثٌ وحيدٌ فريدٌ.

🎥فيديو: ولادةُ كمونِ العملِ الأوَّلي – https://youtu.be/g42S2LKj4lM

الحدثُ الأساسيُّ الثَّاني (ولادةُ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ الأوليَّةِ): بعدَ تعاقبِ الضُّغوطِ في السُّوما (+/-/+)، ترتطمُ الموجةُ المُرتدَّةُ بتشكيلاتِ الأنابيبِ الدَّقيقةِ في منطقةِ التَّحفيزِ الـ Hillock. هنا، يسجِّلُ مسبارَ الضَّغطِ في منطقةِ التَّحفيزِ **قفزةً حادَّةً نحوَ القيمةِ الموجبةِ.** هذا هوَ الإعلانُ عنْ **ولادةِ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ الأوليَّةِ الـ Primary Action Pressure Wave.**

التَّنبُّؤُ الأساسيُّ الأوَّلُ (في منطقةِ التَّحفيزِ الـ Axon Hillock وَالسُّوما الـ Soma):
عندَ تجاوزِ عتبةِ التَّنبيهِ عبرَ التَّغصُّناتِ:

- **الضَّغطُ في منطقةِ التَّحفيزِ:** هبوطٌ حادٌّ إلى قيمةٍ **سالبةٍ** ثابتةٍ (**الحدثُ الأساسيُّ الأوَّلُ**). ثمَّ، بعدَ تعاقبِ ضغوطِ السُّوما، **قفزةٌ حادَّةٌ نحوَ الموجبِ** (**الحدثُ الأساسيُّ الثَّاني**: ولادةُ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ الأوليَّةِ).
- **الشِّحنةُ في منطقةِ التَّحفيزِ:** بدءُ التَّحوِّلِ نحوَ **الإيجابيَّةِ** بالتَّزامنِ معَ الضَّغطِ السَّالبِ (كمونُ العملِ الأوليُّ).
- **الضَّغطُ في السُّوما (التَّنبُّؤُ الدَّاعمُ الأوَّلُ):** تعاقبٌ سريعٌ (+/-/+) لحظةَ اجتياحِ الموجةِ المركزيَّةِ وانعكاسِها. حدوثُه نقطةٌ إضافيَّةٌ. غيابُه لا يُبطلُ الفرضيَّةَ.

٥. **دورُ الكهرباءِ في دعمِ انتشارِ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ**

التَّيَّارُ الكهربائيُّ لكمونِ العملِ الأوليِّ هوَ وليدُ الموجةِ، لكنَّ سرعتَهُ تفوقُ سرعةَ الموجةِ بكثيرٍ. هذهِ المفارقةُ هيَ أساسُ عبقريَّةِ النَّموذجِ. دورُ التَّيَّارِ الكهربائيِّ ليسَ نقلَ الإشارةِ العصبيَّةِ، بلْ **تمهيدَ الطَّريقِ** للموجةِ الميكانيكيَّةِ. يقومُ بذلكَ بطريقتينِ:

١. **تفكيكُ العوائقِ الـ Dismantling Obstacles:** يقومُ التَّيَّارُ بتفكيكِ اللُّيفاتِ العصبيَّةِ في الأكسوبلازم الـ Axoplasm بشكلٍ عابرٍ، مُحطِّماً العوائقَ الكبيرةَ إلى وحداتٍ بروتينيَّةٍ صغيرةٍ.

٢. **هندسةُ وسطِ الانتشارِ الـ Engineering The Medium:** يقومُ التَّيَّارُ بمحاذاةِ الجزيئاتِ القطبيَّةِ (الماء، البروتينات) ويدمجُ الوحداتِ البروتينيَّةَ المُتفكِّكةَ حديثاً في وسطٍ كثيفٍ، منخفضِ المقاومةِ، وعالي التَّنظيمِ. هذا "الطَّريقُ السَّريعُ السَّائلُ الـ Liquid Highway" يُقلِّلُ بشكلٍ كبيرٍ مِنْ تشتُّتِ طاقةِ موجةِ الضَّغطِ وشيكةِ القدومِ ويُحافظُ على سرعةِ انتشارِها.

🎥**فيديو: دورُ الكهرباءِ في تنظيمِ مسارِ موجةِ الضَّغطِ — *https://youtu.be/UGUIHn6ymxs***

التَّنبُّؤُ الدَّاعمُ الثَّاني (في المحورِ العصبيِّ): التَّصويرُ فائقُ السِّرعةِ للُّيفاتِ العصبيَّةِ الموسومةِ فلوريًّاً سيُظهرُ تفكُّكاً سريعاً وعابراً لها، يتزامنُ زمنيًّاً مع مرورِ التَّيَّارِ الكهربائيِّ لكنَّهُ يحدثُ فيزيائيًّاً **قبلَ** وصولِ جبهةِ موجةِ الضَّغطِ. إنْ حدثَ هذا، كانَ نقطةً إضافيَّةً. وإنْ لم يُرصدْ، تبقى آليَّةُ التَّمهيدِ مفتوحةٌ للاحتمالاتِ الأخرى.

٦. **عقدةُ رانفييه الأولى: قالبُ التَّشكيلِ الـ Shaping Die (التَّنبُّؤُ الأساسيُّ الثَّالثُ)**

تصلُ **موجةُ الضَّغطِ العاملةُ الأوليَّةُ** إلى عقدةِ رانفييه الأولى الـ 1st Node of Ranvier.

<u>الحدثُ الأساسيُّ الثَّالثُ</u>: عبورُ الموجةِ للعقدةِ الأولى هوَ حدثٌ تحويليٌّ الـ Transformative Event. تعملُ العقدةُ عملَ قالبِ تشكيلٍ دقيقٍ، فتصقلُ الموجةَ الأوليَّةَ غيرَ المنتظمةِ وتحوِّلها إلى **موجةِ الضَّغطِ العاملةِ القياسيَّةِ الـ Standard Action Pressure Wave**، بمعاييرَ مُحدَّدةٍ ومتناظرةٍ (طولُ الموجة، الارتفاعُ). ما يدخلُ هوَ الموجةُ الأوليَّةُ، وما يغادرُ هوَ الموجةُ القياسيَّةُ.

🎥**فيديو: ولادةُ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ — *https://youtu.be/QyEE308aqLk***

<u>الحدثُ الأساسيُّ الرَّابعُ</u>: عندما يصلُ ذيلُ الموجةِ الأوليَّةِ (الضَّغطُ السَّالبُ) إلى العقدةِ، يقومُ بفتحِ **قنواتِ شواردِ الصُّوديوم العاملةِ بفرقِ الضَّغطِ** ميكانيكيًّاً، بانياً بذلكَ **كمونَ عملٍ قياسيًّاً** الـ Standard Action Potential جديداً. هذا هوَ الأوَّلُ في سلسلةِ الكموناتِ المتطابقةِ.

🎥**فيديو: ولادةُ كمونِ العملِ القياسيِّ — *https://youtu.be/AdynGJEqos0***

التَّنبُّؤُ الزَّمنيُّ الحاسمُ (الاختبارُ الذَّهبيُّ): تغيُّرُ الضَّغطِ الميكانيكيِّ في العقدةِ سوفَ **يسبقُ** تغيُّرَ الشِّحنةِ الكهربائيَّةِ بشكلٍ قابلٍ للقياسِ. هذا هوَ "الاختبارُ الذَّهبيُّ" للنَّموذجِ.

التَّنبُّؤُ الأساسيُّ الثَّالثُ (في عقدةِ رانفييه الأولى الـ 1st Node of Ranvier):

- **الضَّغطُ:** قفزةٌ موجبةٌ حادَّةٌ (جبهةُ الموجةِ الـ Wave's Front) تليها قفزةٌ سالبةٌ مساويةٌ بالقيمةِ المطلقةِ (ذيلُ الموجةِ الـ Wave's Tail).
- **الشِّحنةُ:** تبقى على قيمتها السَّالبةِ الفطريَّةِ أثناءَ قفزةِ الضَّغطِ الموجبةِ. **تبدأ بالارتفاعِ نحوَ الإيجابيَّةِ فقط بالتَّزامنِ مع ذيلِ الموجةِ ذاتِ الضَّغطِ السَّالبِ.** هذا يثبتُ الفتحَ الميكانيكيَّ لقنواتِ الصُّوديوم.
- **النَّتيجةُ:** الموجةُ التي تغادرُ عقدةَ رانفييهِ الأولى هيَ **موجةُ الضَّغطِ العاملةُ القياسيَّةُ الـ Standard Action Pressure Wave.** يتولَّدُ **كمونُ عملٍ قياسيٌّ الـ Standard Action Potential** جديدٌ.

٧. عقدُ رانفييه المُتعاقبةُ: التَّتابعُ، الصِّيانةُ، وَالتَّصحيحُ (التَّنبُّؤ الأساسيُّ الرَّابعُ)

تنتقلُ موجةُ الضَّغطِ العاملةُ القياسيَّةُ الآنَ إلى عقدةِ رانفييه الثَّانيةِ فما بعدَها. لهذهِ العقدِ وظيفةٌ مزدوجةٌ:

١. **إعادةُ التَّوليدِ:** في كلِّ عقدةٍ، يقومُ ذيلُ الموجةِ السَّالبُ بتوليدِ **كمونِ عملٍ قياسيٍّ جديدٍ وَمُطابقٍ** لكموناتِ العملِ القياسيَّةِ الأخرى بالقيمةِ وَآليَّةِ الحدوثِ (معتمداً على شاردةِ الصُّوديوم دائماً). الشِّحنةُ الموجبةُ المُتبقيَّةُ في العقدةِ السَّابقةِ توجِّهُ هذا التَّيارَ الجديدَ نحوَ العقدةِ التَّاليةِ ذاتِ الشِّحنةِ السَّالبةِ الغريزيَّةِ.

🎥 **فيديو: دورُ عقدةِ رانفييه في توليدِ كمونِ العملِ القياسيِّ الـ Standard Action Potential** — *https://www.youtube.com/shorts/UQarMcu5WBc*

٢. **التَّصحيحُ وَالصِّيانةُ:** إذا ما طرأ أيُّ انحرافٍ على معاييرِ الموجةِ القياسيَّةِ أو مسارِها، تعملُ كلُّ عقدةٍ عملَ محطَّةِ تصحيحٍ، مُعيدةً الموجةَ إلى شكلِها القياسيِّ ومسارِها المركزيِّ.

🎥 **فيديو:**

- **دورُ عقدةِ رانفييه في ضبطِ مناسيبِ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ** — *https://youtu.be/X_W95h6HVe8*
- **دورُ عقدةِ رانفييه في ضبطِ مسارِ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ** — *https://youtu.be/G3mATP3Madc*

مجالُ تأثيرِ كلِّ كمونِ عملٍ: ينتهي أثرُ كمونِ العملِ الأوليِّ في القطعةِ قبلَ عقدةِ رانفييه الأولى. كما وَينحصرُ أثرُ كلِّ كمونِ عملٍ قياسيٍّ في القطعةِ بينَ العقدتينِ التَّاليةِ للعقدةِ التي ولَّدتهُ، مُمهِّداً الطريقَ لوصولِ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ.

التَّنبُّؤ الأساسيُّ الرَّابعُ: (في عقدِ رانفييه الثَّانيةِ، الثَّالثةِ، ...):

- كلُّ عقدةٍ ستعيدُ إنتاجَ تتابعِ الضَّغطِ وَالشِّحنةِ نفسِهِ المُسجَّلِ في العقدةِ الأولى.
- قيمةُ الذَّروةِ الموجبةِ لكمونِ العملِ القياسيِّ ستكونُ **متطابقةً** في جميعِ العقدِ.
- مستشعرُ الضَّغطِ في أيِّ عقدةٍ سيسجِّلُ التَّوقيعَ المتناظرَ (+/-) لموجةِ الضَّغطِ العاملةِ القياسيَّةِ.

٨. الانتفاخُ الانتهائيُّ والشَّقُّ المشبكيُّ: الفصلُ الأخيرُ (التَّنبُّؤ الأساسيُّ الخامسُ)

تصلُ موجةُ الضَّغطِ العاملةُ القياسيَّةُ الـ Standard Action Pressure Wave إلى الانتفاخِ الانتهائيِّ قبلَ المشبكيِّ الـ Pre-Synaptic Terminal Bouton.

الحدثُ الأساسيُّ الخامسُ: يقومُ ذيلُ الموجةِ (الضَّغطُ السَّالبُ) بفتحِ **قنواتِ شواردِ الكالسيوم العاملةِ بفرقِ الضَّغطِ** ميكانيكيَّاً. تدفُّقُ شواردِ الكالسيوم ثنائيَّةِ الشِّحنةِ يولِّدُ **كمونَ العملِ الانتهائيَّ الـ Terminal Action Potential؛** وَهوَ الأكبرُ في الدَّورةِ كلِّها بفضلِ الشِّحنةِ الأكبرِ للكالسيوم والحجمِ الأكبرِ للانتفاخِ الانتهائيِّ. هذا الكمونُ هوُ الوحيدُ الذي تعبرُ تأثيراتُهُ الشَّقَّ المشبكيَّ الـ Synaptic Cleft.

🎥 **فيديو: ولادةُ كمونِ العملِ الانتهائيِّ** — *https://youtu.be/POFShW2tXtg*

الحدثُ الأساسيُّ السَّادسُ: في الوقتِ نفسِه، تقومُ جبهةُ الموجةِ ذاتُ الضَّغطِ الموجبِ بدفعِ الغشاءِ قبلَ المشبكيِّ الـ Pre-Synaptic Membrane فيزيائيَّاً، مُحدثةً **تضيُّقاً مؤقَّتاً وقابلاً للقياسِ في عرضِ الشَّقِّ المشبكيِّ.** كما وَتضغطُ جبهةُ الموجةِ على الحويصلاتِ المُلتحمةِ بالغشاءِ، ممَّا يُسهِّلُ إطلاقَ النَّواقلِ العصبيَّةِ الـ Neurotransmitters بسرعةٍ.

🎥 ***فيديو:***

- **دورُ جبهةِ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ في تضييقِ الشَّقِّ المشبكيِّ** — *https://youtu.be/JDO0M1vua9A*
- **دورُ جبهةِ الموجةِ في عصرِ الحويصلاتِ المُلتصقةِ** — *https://youtube.com/shorts/g8cc53Cv6Q8*

التَّنبُّؤُ الأساسيُّ الخامسُ (في الانتفاخِ الانتهائيِّ وَالشَّقِّ المشبكيِّ):

- **ضغطُ الانتفاخِ:** يسجِّلُ شكلَ الموجةِ المتناظرَ المعياريَّ (+/-).
- **شحنةُ الانتفاخِ:** قفزةٌ موجبةٌ كبيرةٌ (كمونُ العملِ الانتهائيُّ)، بالتَّزامنِ مع ذيلِ الموجةِ ذي الضَّغطِ السَّالبِ.
- **عرضُ الشَّقِّ المشبكيِّ (تنبُّؤٌ داعمٌ) :**تناقصٌ مؤقَّتٌ قابلٌ للقياسِ، **متزامنٌ مع قمَّةِ الضَّغطِ الموجبِ** في الانتفاخِ. حدوثُه نقطةٌ إضافيَّةٌ. غيابُهُ لا يُبطلُ الآليَّةَ الأساسيَّةَ في المشبكِ.

٩. خلاصةُ جهودِ العملِ (ثلاثةُ أنواعٍ، منشأٌ واحدٌ، جهةٌ واحدةٌ)

🎥 ***فيديو:*** **الأنواعُ الثَّلاثةُ لجهودِ العملِ** — *https://youtu.be/_ayskJT4v5c*

المنشأ	القيمة	الشَّوارد	الموقع	العدد	نوع الكمون
ذيلُ موجةِ الضَّغطِ المركزيَّةِ	—	Na^+	Hillock	وحيدٌ	**كمونُ العملِ الأوليُّ**

المنشأ	القيمة	الشَّوارد	الموقع	العدد	نوع الكمون
ذيلُ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ القياسيَّةِ	متساويةٌ في جميعِ العقدِ	Na^{+}	كلُّ عقدةِ رانفييه	متعدِّدٌ (= عددَ العقدِ)	**كمونُ العملِ القياسيُّ**
ذيلُ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ القياسيَّةِ	الأكبرُ	Ca^{++}	الانتفاخُ الانتهائيُّ	وحيدٌ	**كمونُ العملِ الانتهائيُّ**

تشتركُ جميعُها في منشأٍ واحدٍ (الفتحُ الميكانيكيُّ للقنواتِ بذيلِ الموجةِ) وفي جهةٍ واحدةٍ (منْ منطقةِ التَّحفيزِ الـ Axon Hillock نحوَ المشبكِ). يفنى أثرُ كمونِ العملِ الأوليِّ في القطعةِ قبلَ عقدةِ رانفييه الأولى. ويفنى أثرُ كلِّ كمونِ عملٍ قياسيٍّ في القطعةِ بينَ العقدتينِ التَّاليةِ للعقدةِ التي ولدتهُ.

١٠. معطياتٌ تشريحيَّةٌ داعمةٌ للنَّموذجِ الـ Supporting Anatomical Evidence

توجدُ مجموعةٌ منَ المعطياتِ التَّشريحيَّةِ المعروفةِ تتَّسقُ اتِّساقاً تامَّاً معَ النَّموذجِ الميكانيكيِّ وتدعمُه:

١. **الوسطُ مُحكمُ الإغلاقِ في السُّوما والمحورِ مقابلَ الوسطِ المفتوحِ في المشابكِ:** جوهرُ النَّموذجِ هوَ أنَّ موجةَ الضَّغطِ تحتاجُ إلى وسطٍ مُحكمِ الإغلاقِ لتنتشرَ بكفاءةٍ. هذا بالضَّبطِ ما هوَ موجودٌ: السُّوما والمحورُ يشكِّلانِ أنبوباً مُحكمَ الإغلاقِ مثاليَّاً لانتشارِ موجةِ الضَّغطِ. في المقابلِ، الشَّقُّ المشبكيُّ هوَ فضاءٌ مفتوحٌ، ممَّا يجعلهُ غيرَ مناسبٍ لموجةِ الضَّغطِ، لكنَّهُ مثاليٌّ للنَّقلِ الكهربائيِّ. هذا التَّمايزُ البنيويُّ يدعمُ منطقَ النَّموذجِ: الميكانيكا في الوسطِ المُحكمِ، والكهرباءُ في الأطرافِ المفتوحةِ.

٢. **غمدُ النُّخاعين الـ Myelin Sheath:** يعملُ غمدُ النُّخاعين عملَ طبقةِ تقويةٍ مقاومةٍ للضَّغطِ العالي، ممَّا يعزِّزُ مقاومةَ جدرانِ المحورِ ويضمنُ احتواءَ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ عاليةِ الطَّاقةِ داخلَهُ دونَ تبديدٍ أو تسرُّبٍ. وجودُهُ المُتقطِّعُ يسمحُ بحدوثِ الوظائفِ التَّصحيحيَّةِ والتَّوليديَّةِ في العقدِ المكشوفةِ.

٣. **علاقةُ السُّرعةِ بالقطرِ وسمكِ النُّخاعين:** منَ الحقائقِ الرَّاسخةِ في علمِ الأعصابِ أنَّ المحاورَ ذاتَ النَّقلِ السَّريعِ هيَ بالضَّرورةِ كبيرةُ القطرِ وَسميكةُ غمدِ النُّخاعين. العلاقةُ بينَ السُّرعةِ والقطرِ والسُّمكِ هيَ علاقةٌ موجبةٌ وضروريَّةٌ. هذا يُفسَّرُ فيزيائيَّاً بشكلٍ طبيعيٍّ في النَّموذجِ الميكانيكيِّ: القطرُ الأكبرُ يقلِّلُ المقاومةَ الدَّاخليَّةَ لموجةِ الضَّغطِ، وَالنُّخاعينُ الأسمكُ يُحسِّنُ احتواءَ الموجةِ ويمنعُ تبدُّدَ طاقتِها.

٤. **تشريحُ عقدةِ رانفييه:** التَّركيبُ التَّشريحيُّ الفريدُ لعقدةِ رانفييه يدعمُ وظائفَها الثَّلاثَ في النَّموذجِ: (١) تنظيمُ مسارِ الموجةِ وإبقائُها في مركزِ المحورِ، (٢) تعديلُ معاييرِ الموجةِ وتصحيحُ انحرافاتِها، (٣) توليدُ جهودِ العملِ والتَّياراتِ الكهربائيَّةِ المرافقةِ لها. التَّفاصيلُ مشروحةٌ في المقالِ وَالفيديو التَّاليين:

عقدةُ رانفييه ضابطةُ الإيقاعِ: بحثٌ في الوظيفةِ والتَّشريحِ الوظيفيِّ
https://youtu.be/TmfanTSBnQA

١١. النَّموذجُ الحيوانيُّ الـ Animal Model

يبقى المرجعُ التَّشريحيُّ والفيزيولوجيُّ الذَّهبيُّ لدراستِنا هوَ **العصبونُ الحركيُّ البشريُّ**، لأنَّ تشريحَهُ هوَ الأساسُ الذي بُنيَ عليهِ هذا النَّموذجِ.

ونظراً لاستحالةِ إجراءِ هذهِ التَّجاربِ على عصبونٍ بشريٍّ حيٍّ، فإنَّ اختيارَ النَّموذجِ الحيوانيِّ البديلِ الأنسبِ نتركهُ بالكاملِ لخبرةِ وتقديرِ الشَّريكِ البحثيِّ. فأنتمُ الأقدرُ على الحكمِ على أيِّ نموذجٍ حيوانيٍّ يكونُ تشريحُهُ المحوريُّ الأقربَ إلى تشريحِ العصبونِ البشريِّ، والأكثرَ توافقاً معَ الإمكانياتِ التَّقنيَّةِ المُتطوِّرةِ المُتاحةِ في مختبركمْ.

لا نقترحُ نموذجاً مُحدَّداً، ولا نُلزمُ أنفسَنا بأيِّ خيارٍ مُسبَّقٍ. الأولويَّةُ المُطلقةُ هيَ لنموذجٍ يحقِّقُ أفضلَ تمثيلٍ ممكنٍ للعصبونِ الحركيِّ البشريِّ ضمنَ القيودِ العمليَّةِ للتَّجربةِ. نبقى منفتحينَ بالكاملِ على اقتراحِكم.

١٢. البروتوكولُ التَّجريبيُّ المُقترحُ

العيِّنةُ: عصبونٌ حركيٌّ حيٌّ، يُختارُ نموذجُهُ الحيوانيُّ بناءً على توجيهِ الشَّريكِ البحثيِّ. يُقترحُ وضعُ مجسَّاتِ ضغطٍ (داخليَّةٍ أو خارجيَّةٍ، حسبَ تفضيلاتِ المختبرِ وإمكانيَّاتِهِ، مع بقائِنا مُنفتحينَ على أيِّ اقتراحٍ يراهُ الشَّريكُ الأنسبَ للتَّحقُّقِ) وأقطابِ تسجيلِ الشِّحنةِ الكهربائيَّةِ في المواقعِ التَّاليةِ:

- **S1**: داخلَ السُّوما.
- **S2**: داخلَ منطقةِ التَّحفيزِ الـ Axon Hillock.
- **S3**: داخلَ عقدةِ رانفييه الأولى.
- **S4**: داخلَ عقدةِ رانفييه لاحقةٍ (مثلاً العقدةُ ٢).
- **S5**: داخلَ الانتفاخِ الانتهائيِّ.
- جهازُ تصويرٍ إضافيٍّ فائقِ السُّرعةِ أو(AFM) لمراقبةِ عرضِ الشَّقِّ المشبكيِّ، وأيضاً اللِّيفاتِ العصبيَّةِ الموسومةِ فلوريَّاً الـ Fluorescently labeled Neurofibrilsداخلَ الأكسوبلازم الـ Axoplasm.

التَّنبيهُ الـ Stimulus: نبضةٌ كهربائيَّةٌ تتجاوزُ عتبةَ الاستجابةِ الخاصَّةَ بالمحورِ العصبيِّ، تُعطى عبرَ مجموعةٍ منَ التَّغصُّناتِ.

التَّسجيلُ الـ Recording: تسجيلٌ آنيٌّ متزامنٌ وعالي التَّردُّدِ للضَّغطِ والشِّحنةِ الكهربائيَّةِ الموضعيَّةِ في جميعِ مواقعِ المجسَّاتِ.

١٣. التَّسلسلُ الزَّمنيُّ المتوقَّعُ للنَّتائجِ التَّجريبيَّةِ الـ Predicted Timeline of Experimental Results

نعرضُ التَّسلسلَ المتوقَّعَ للأحداثِ على شكلِ "مشاهدَ" زمنيَّةٍ:

المشهدُ الأوَّلُ (العتبةُ الـ Threshold):

- يتجاوزُ **التَّنبيهُ** الـ Stimulus عتبةَ العملِ الـ Action Threshold للخليَّةِ العصبيَّةِ.
- S2 (**ضغطُ منطقةِ التَّحفيزِ الـ Hillock Pressure**): يقفزُ إلى **قيمةٍ سالبةٍ ثابتةٍ** (شوطُ الاندفاعِ المركزيِّ للمكبسِ). [أساسيٌّ]
- S1 (**ضغطُ السُّوما الـ Soma Pressure**): يقفزُ إلى **قيمةٍ موجبةٍ** (جبهةُ الموجةِ المركزيَّةِ تجتاحُ السُّوما). [تنبُّؤٌ داعمٌ]
- S3 (**ضغطُ وشحنةُ عقدةِ رانفييه الأولى الـ 1st Node Pressure & Charge**): لا تغييرٌ (ضغطٌ موجبٌ غريزيٌّ، شحنةٌ سالبةٌ غريزيَّةٌ).

المشهدُ الثَّاني (دورةُ السُّوما الـ Soma Cycle):

- S1 (**السُّوما الـ Soma**): يسجِّلُ تعاقباً سريعاً (+/-/+) لحظةَ عبورِ الموجةِ المركزيَّةِ وانعكاسِها. [تنبُّؤٌ داعمٌ]
- S2 (**ضغطُ منطقةِ التَّحفيزِ الـ Hillock Pressure**): ما زالَ عندَ **قيمةٍ سالبةٍ.**
- S2 (**شحنةُ منطقةِ التَّحفيزِ الـ Hillock Charge**): **تبدأُ بالارتفاعِ نحوَ الإيجابيَّةِ** (ولادةُ كمونِ العملِ الأوليِّ بوساطةِ ذيلِ الموجةِ المركزيَّةِ). [أساسيٌّ]
- S3 (**عقدةُ رانفييه الأولى الـ 1st Node of Ranvier**): لا تغييرٌ.

المشهدُ الثَّالثُ (ولادةُ موجةِ الضَّغطِ الأوَّليَّةِ الـ Birth of the Primary Pressure Wave):

- S1 (**السُّوما الـ Soma**): يعودُ الضَّغطُ إلى الحالةِ الغريزيَّةِ.
- S2 (**ضغطُ منطقةِ التَّحفيزِ الـ Hillock Pressure**): **قفزةٌ حادَّةٌ نحوَ القيمةِ الموجبةِ.** هذهِ هيَ **جبهةُ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ الأوليَّةِ.** [أساسيٌّ]
- S2 (**شحنةُ منطقةِ التَّحفيزِ الـ Hillock Charge**): تصلُ إلى **القيمةِ الموجبةِ العظمى** (ذروةُ كمونِ العملِ الأوليِّ الـ Primary Action Potential). قمَّةُ الشِّحنةِ تسبقُ قمَّةَ الضَّغطِ بفارقٍ لا يُقاسُ عمليَّاً. [أساسيٌّ]

المشهدُ الرَّابعُ (الوصولُ إلى عقدةِ رانفييه الأولى الـ Arrival at the 1st Node of Ranvier):

- S2 (**منطقةُ التَّحفيزِ الـ Axon Hillock**): يعودُ الضَّغطُ إلى الحالةِ الغريزيَّةِ. تتراجعُ الشِّحنةُ الموجبةُ.

- S3 (**ضغطُ عقدةِ رانفييه الأولى الـ 1st Node Pressure**): يسجِّلُ **قفزةً موجبةً حادَّةً**. هذا إعلانُ وصولِ **جبهةِ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ الأوليَّةِ**. [أساسيٌّ]
- S3 (**شحنةُ عقدةِ رانفييه الأولى الـ 1st Node Charge**): تبقى عندَ قيمةِ شحنةِ **الرَّاحةِ السَّالبةِ** غريزيّاً. [أساسيٌّ — هذا هوَ الاختبارُ الذَّهبيُّ]

المشهدُ الخامسُ (التَّحوُّلُ في عقدةِ رانفييه الأولى الـ 1st Node of Ranvier Transformation at):

- S3 (**ضغطُ عقدةِ رانفييه الأولى الـ 1st Node Pressure**): يهبطُ إلى **قيمةٍ سالبةٍ** بقمَّةٍ مساويةٍ بالمقدارِ لقمَّةِ الضَّغطِ الموجبِ لجبهةِ الموجةِ (وصولُ ذيلِ الموجةِ الأوليَّةِ). [أساسيٌّ]
- S3 (**شحنةُ عقدةِ رانفييه الأولى الـ 1st Node Charge**): **تبدأُ بالارتفاعِ نحوَ الإيجابيَّةِ**، متزامنةً تماماً معَ الضَّغطِ السَّالبِ. **يُبنى كمونُ العملِ القياسيِّ الـ Standard Action Potential**. الموجةُ المغادرةُ هيَ **موجةُ الضَّغطِ العاملةِ القياسيَّةِ الـ Standard Action Pressure Wave**. [أساسيٌّ]
- S2 (**شحنةُ منطقةِ التَّحفيزِ الـ Hillock Charge**): تحتفظُ بشحنةٍ موجبةٍ مُتبقيَّةٍ لتوجيهِ الإشارةِ للأمامِ.

المشهدُ السَّادسُ (الانتشارُ إلى عقدةِ رانفييه الثَّانيةِ الـ 2nd Node of Ranvier Propagation to the):

- S4 (**عقدةُ رانفييه الثَّانيةُ الـ 2nd Node of Ranvier The**): تعيدُ إنتاجَ التَّتابعِ نفسِهِ المُسجَّلِ في العقدةِ الأولى. يتولَّدُ كمونُ عملٍ قياسيٍّ جديدٍ مُطابقٍ لسابقهِ. [أساسيٌّ]
- S3 (**ضغطُ وَشحنةُ عقدةِ رانفييه الأولى الـ 1st Node Pressure & Charge**): يعودُ الضَّغطُ إلى قيمتهِ الموجبةِ الغريزيَّةِ. أمَّا شحنتُها فتبقى موجبةً قليلاً للتَّوجيهِ.
- S2 (**شحنةُ منطقةِ التَّحفيزِ الـ Hillock Charge**): تعودُ إلى قيمتها السَّالبةِ الغريزيَّةِ. انتهى دورُها في هذهِ الدَّورةِ منَ النَّقلِ العصبيِّ.

المشهدُ السَّابعُ (الانتفاخُ الانتهائيُّ الـ Terminal Bouton):

- S5 (**ضغطُ الانتفاخِ الانتهائيِّ الـ Terminal Bouton Pressure**): يسجِّلُ شكلَ الموجةِ المُتناظرَ المعياريَّ (+/-). [أساسيٌّ]
- S5 (**شحنةُ الانتفاخِ الانتهائيِّ الـ Terminal Bouton Charge**): تقفزُ إلى **القيمةِ الموجبةِ العظمى (كمونُ العملِ الانتهائيِّ الـ Terminal Action Potential)** بالتَّزامنِ مع ذيلِ الضَّغطِ السَّالبِ. [أساسيٌّ]
- **الشَّقُّ المشبكيُّ الـ Synaptic Cleft**: يُرصدُ **تضيُّقٌ مؤقَّتٌ متزامنٌ مع قمَّةِ الضَّغطِ الموجبِ**. [تنبُّؤٌ داعمٌ]

- **شحنةُ عقدةِ رانفييه الأخيرةِ الـ Last Node Charge**: تحتفظُ ببعضِ الإيجابيَّةِ لتوجيهِ التَّيَّارِ الانتهائيِّ نحوَ الخارجِ.

المشهدُ الثَّامنُ (اكتمالُ النَّقلِ العصبيِّ الـ Transmission Complete):

- **كمونُ العملِ الانتهائيُّ الـ Terminal Action Potential** يعبرُ الشَّقَّ المشبكيَّ.
- الإشارةُ العصبيَّةُ الـ Neural Signal انتقلتْ بنجاحٍ.
- الدَّورةُ اكتملتْ: همسةٌ كهربائيَّةٌ واردةٌ ← رحلةُ موجةٍ ميكانيكيَّةٍ ← صرخةٌ كهربائيَّةٌ صادرةٌ.

١٤. الخاتمةُ والدَّعوةُ للتَّعاونِ

يقدِّمُ هذا المخطَّطُ سلسلةً مِنَ التَّنبُّؤاتِ الواضحةِ وَالقابلةِ للتَّفنيدِ والمبنيةِ على أسسٍ ميكانيكيَّةٍ. التَّصميمُ التَّجريبيُّ طموحٌ لكنَّهُ مباشرٌ منَ النَّاحيةِ المفاهيميَّةِ، ويعتمدُ على القياسِ المباشرِ لمُتغيِّرينِ فيزيائيَّين — الضَّغطُ وَالشِّحنةُ — في مواقعَ تشريحيَّةٍ محدَّدةٍ. وقدْ ميَّزنا بعنايةٍ بينَ التَّنبُّؤاتِ التي تُبطلُ الفرضيَّةَ إنْ هيَ فشلتْ، وتلكَ التي تدعمُها إنْ هيَ نجحتْ.

سيقدِّمُ النَّموذجُ الحيوانيُّ الذي يختارُهُ الشَّريكُ منصَّةً مثاليَّةً لدراسةِ إثباتِ المفهومِ. سيكونُ دوري تقديمَ الإطارِ النَّظريِّ الكاملِ وَالمساعدةِ في تفسيرِ البياناتِ. أمَّا الخبرةُ المطلوبةُ في القياسِ الفيزيائيِّ الحيويِّ عالي الدِّقةِ، فهيَ حيثُ أعتقدُ أنَّ مختبرَكم يستطيعُ تقديمَ مساهمةٍ حاسمةٍ.

سنبقى مرنينَ تماماً ومنفتحينَ على توجيهاتِكم حولَ الاختيارِ الأمثلِ لتقنيَّاتِ القياسِ — سواءٌ أكانتْ مجسَّاتِ ضغطٍ داخليَّةً، أو AFM خارجيَّاً، أو تصويراً فائقَ السُّرعةِ — بناءً على إمكانيَّاتِ مختبرِكم وتفضيلاتِكم.

أنتظرُ بفارغِ الصَّبرِ ملاحظاتِكم حولَ هذا الإطارِ المُقترحِ.

.....

في سياقاتٍ أخرى، يمكنكم قراءةُ المقالاتِ التَّاليةِ:

- DOI تصنيعُ إبهامِ اليدِ باستخدامِ الإصبعِ الثَّانيةِ للقدمِ Thumb Reconstruction Using Microvascular Second Toe to Thumb Transfer
- DOI نقلُ قِطعةٍ منَ العضلةِ الرَّشيقةِ لاستعادةِ الابتسامةِ بعدَ شللِ الوجهِ Segmental Gracilis Muscle Transfer for Smile
- DOI تصنيعُ الفكِّ السُّفليِّ باستخدامِ الشَّريحةِ الشَّظويَّةِ الحُرَّةِ Mandible Reconstruction Using Free Fibula Flap
- DOI الشَّريحةُ الشَّظويَّةُ المُوعَّاةُ في تعويضِ الضَّياعاتِ العظميَّةِ المُختلطةِ بذاتِ العظمِ والنَّقيِّ Free Fibula Flap for Bone Lost Complicated with Recalcitrant Osteomyelitis
- DOI الشَّريحةُ الحُرَّةُ جانبُ الكتفِ في تعويضِ ضَياعٍ جلديٍّ هامٍّ في السَّاعدِ

- DOI رسالةٌ مفتوحةٌ إلى المُهتمِّينَ في علمِ الأعصابِ

- المنعكساتُ الشوكيَّةُ، المفاهيمُ القديمة Spinal Reflexes, Ancient Conceptions
DOI المنعكساتُ الشَّوكيَّةُ، تحديثُ المفاهيم Spinal Reflexes, Innovated Conception
- DOI الصَّدمةُ النُّخاعيَّةُ: الفيزيولوجيا المرضيَّةُ Spinal Shock: The Pathophysiology
DOI المُنعكسُ الشَّوكيُّ الاشتداديُّ: الفيزيولوجيا المرضيَّةُ لفرطِ قوَّةِ المُنعكس
DOI المُنعكسُ الشَّوكيُّ الاشتداديُّ: الفيزيولوجيا المرضيَّةُ للمنعكسِ الشَّوكيّ واسعِ ساحةِ العمل
DOI المُنعكسُ الشَّوكيُّ الاشتداديُّ: الفيزيولوجيا المرضيَّةُ للمنعكسِ الشَّوكيّ ثُنائي جهةِ الاستجابة
DOI المُنعكسُ الشَّوكيُّ الاشتداديُّ: الفيزيولوجيا المرضيَّةُ للمنعكسِ الشَّوكيّ الاشتداديّ عديدِ الاستجابةِ الحركيَّةِ
DOI الرّمع Clonus: فرضيَّتان في الفيزيولوجيا المرضيَّة
DOI الرّمع Clonus: الفرضيَّةُ الأولى في الفيزيولوجيا المرضيَّةِ للرَّمع
DOI الرّمع Clonus: الفرضيَّةُ الثّانيةُ في الفيزيولوجيا المرضيَّةِ للرَّمع
- DOI الفيزيولوجيا المرضيَّةُ لمُنعكسِ الثَّني الثُّلاثي

DOI أذيّات النخاع الشوكيّ، الأعراض والعلامات السريريّة، بحثٌ في آليات الحدوث The Spinal Injury, The Symptomatology
DOI أذيَّاتُ العصبونِ المُحرّكِ العلويّ، الفيزيولوجيا المرضيَّةُ للأعراضِ والعلاماتِ السَّريريَّةِ Upper Motor Neuron Injuries, Pathophysiology of Symptomatology
- في الأذيَّاتِ الرَّضيَّةِ للنُّخاعِ الشَّوكيّ، خبايا الكيسِ السُّحائيّ.. كثيرُها طبّعٌ وقليلُها عصيٌّ على الإصلاحِ الجراحيّ Surgical Treatments of Traumatic Injuries of the Spine
DOI أذيَّاتُ ذيلِ الفرسِ الرَّضيَّةُ: مقاربةٌ جراحيَّةٌ جديدةٌ Traumatic Injuries of Cauda Equina: New Surgical Approach
- الشَّلَلُ الرُّباعيُّ.. موجباتُ وأهدافُ العلاجِ الجراحيّ.. التَّطوُّراتُ التَّاليةُ للجراحة- مقارنةٌ سريريَّةٌ وشعاعيَّةٌ

DOI التَّصلّبُ اللّويحيُّ المُتعدِّدُ: العلاقةُ السَّببيَّةُ، بين التَّيَّارِ الغلفانيّ والتَّصلّبِ اللّويحيّ المُتعدِّد؟

DOI التَّنكُّسُ الفاليريُّ والتَّجدُّدُ العصبيُّ: رؤيةٌ جديدةٌ في آليَّةِ الحدوث
- التَّنكُّسُ الفاليري، رؤيةٌ جديدةٌ Wallerian Degeneration (Innovated View)
- التَّجدُّدُ العصبيُّ، رؤيةٌ جديدةٌ Neural Regeneration (Innovated View)
DOI التنكّس الفاليري، يهاجم المحاور العصبيّة الحركيّة للعصب المحيطي.. ويعفّ عن محاوره الحسّيّة
- التَّنكُّسُ الفاليري التَّالي للأذيَّةِ العصبيَّةِ، وعمليَّةُ التَّجدُّدِ العصبيّ

- المُنعكسِ الشَّوكيُّ، فيزيولوجيا جديدةٌ Spinal Reflex, Innovated Physiology
- المُنعكسِ الشَّوكيُّ الاشتداديُّ، في الفيزيولوجيا المرضيَّة Hyperreflex, Innovated Pathophysiology
- المُنعكسِ الشَّوكيُّ الاشتداديُّ (١)، الفيزيولوجيا المرضيَّة لقوَّةِ المنعكس Hyperreflexia, Pathophysiology of Hyperactive Hyperreflex

- المُنعكسِ الشَّوكيُّ الاشتداديُّ (٢)، الفيزيولوجيا المرضيَّة للاستجابةِ ثنائيَّةِ الجانبِ للمنعكس Hyperreflexia, Pathophysiology of Bilateral- Response Hyperreflex
- المُنعكسُ الشَّوكيُّ الاشتداديُّ (٣)، الفيزيولوجيا المرضيَّةُ لاتِّساعِ ساحةِ العمل Extended Hyperreflex, Pathophysiology
- المُنعكسُ الشَّوكيُّ الاشتداديُّ (٤)، الفيزيولوجيا المرضيَّةُ للمنعكسِ عديدِ الإستجابةِ الحركيَّةِ Hyperreflexia, Pathophysiology of Multi-Response hyperreflex
- الرَّمع (١)، الفرضيَّةُ الأولى في الفيزيولوجيا المرضيَّة
- الرَّمع (٢)، الفرضيَّةُ الثّانية في الفيزيولوجيا المرضيَّة

DOI النقل العصبيّ، بين مفهوم قاصر وجديد حاضر The Neural Conduction.. Personal View vs. International View

- في النقل العصبي، موجاتُ الضَّغطِ العاملة Action Pressure Waves
- في النقل العصبي، كموناتُ العمل Action Potentials
- وظيفةُ كموناتِ العمل والتيَّاراتِ الكهربائيَّةِ العاملة
- في النقل العصبي، التيَّاراتُ الكهربائية العاملة Action Electrical Currents
- الأطوارُ الثّلاثةُ للنَّقلِ العصبيّ.. رؤيةٌ جديدةٌ
- الأطوارُ الثّلاثةُ للنقل العصبيّ

DOI النقل في المشابك العصبيّة The Neural Conduction in the Synapses

DOI عقدة رانفييه، ضابطة الإيقاع The Node of Ranvier, The Equalizer

- وظائفُ عقدةِ رانفيه The Functions of Node of Ranvier

DOI عقدةُ رانفييه ضابطةُ الإيقاع: بحثٌ في التَّشريحِ الوظيفيّ

DOI عقدةُ رانفيه ضابطةُ الإيقاع: الوظيفةُ الأولى في ضبطِ معاييرِ الموجةِ العاملةِ

DOI عقدةُ رانفيه ضابطةُ الإيقاع: الوظيفةُ الثّانية في ضبطِ مسارِ الموجةِ العاملةِ

DOI عقدةُ رانفيه ضابطةُ الإيقاع: الوظيفةُ الثّالثةُ في رفعُ كفاءةِ مسارِ موجةِ الضَّغطِ العاملةِ

DOI تخطيطُ الأعصابِ الكهربائيُّ، بينَ الحقيقيّ والمَوهوم

DOI المستقبلات الحسيّة، عبقريّة الخلق وجمال المخلوق

- أذيَّةُ الأعصابِ المحيطيَّةِ: معلوماتٌ لا غنى عنها لكلِّ العاملينَ عليها peripheral nerves injurie
- الأذيَّاتُ الرَّضَّيَّةُ للأعصابِ المحيطيَّةِ (١) التَّشريحُ الوصفيُّ والوظيفيُّ
- الأذيَّاتُ الرَّضَّيَّةُ للأعصابِ المحيطيَّةِ (٢) تقييمُ الأذيَّةِ العصبيَّةِ
- الأذيَّاتُ الرَّضَّيَّةُ للأعصابِ المحيطيَّةِ (٣) التَّدبيرُ والإصلاحُ الجراحيُّ

- الأذيَّاتُ الرَّضَّيَّةُ للأعصابِ المحيطيَّةِ (٤) تصنيفُ الأذيَّةِ العصبيَّةِ

- الأذيَّاتُ الرَّضيَّةُ للضَّفيرةِ العضديَّةِ Injuries of Brachial Plexus
- شللُ الضَّفيرةِ العضديَّةِ الولاديُّ Obstetrical Brachial Plexus Palsy

- مقاربةُ العصبِ الوركيّ جراحيّاً في النَّاحيةِ الإليويَّة.. المدخلُ عبرَ ألياف العضلةِ الإليويَّةِ العظمى مقابلَ المدخلِ التَّقليديّ Trans- Gluteal Approach of Sciatic Nerve vs. The Traditional Approaches

DOI مُعالجةُ تناذر العضلةِ الكمثريَّةِ بحقن الكورتيزون (مقاربةٌ شخصيَّةٌ) Piriformis Muscle Injection (Personal Approach)
DOI مُعالجةُ تناذر العضلةِ الكمثريَّةِ بحقن الكورتيزون (مقاربةٌ شخصيَّةٌ) (عرضٌ موسَّعٌ) Piriformis Muscle Injection (Personal Approach)

DOI مُتلازمةُ الرَّأسِ الطَّويلِ للعضلةِ ذاتِ الرَّأسين الفخذيَّةِ The Syndrome of the Long Head of Biceps Femoris

- مُتلازمةُ العضلةِ الكابَّةِ المدوَّرة Pronator Teres Muscle Syndrome
- التَّشريحُ الجراحيُّ للعصبِ المُتوسِّطِ في السَّاعدِ Median Nerve Surgical Anatomy
- قوسُ العضلةِ الكابَّةِ المُدوَّرةِ Pronator Teres Muscle Arcade
- قوسُ العضلةِ قابضة الأصابع السّطحيّة (FDS Arc)

DOI شبيهُ رباطِ Struthers ...Struthers- like Ligament

- متلازمة العصب بين العظام الخلفي Posterior Interosseous Nerve Syndrome

DOI في فقهِ الأعصابِ، الألم أولاً In Philosophy of Nerves: Pain First
DOI فِيْ فِقْهِ الأعصَابِ.. الشَّكلُ الضَّرورةُ! In Neurodoctrines: Form is Necessity!

- **DOI رسالةٌ مفتوحةٌ إلى المُهتمّينَ في علوم الخليَّةِ والجنين**

DOI جسيمُ بارَ: ليسَ نفايةً جينيَّةً، بلْ كنزٌ مكنونٌ- عيوبٌ برمجيَّةٌ أخفتْ حقيقةَ جسيمِ بارَ وتمايزَ الصِّبغيِّين X عندَ المرأةِ
- DOI قِصَّةُ خلقِ الإنسانِ: مِنْ مَخلوقٍ سَلَفٍ إلى الإنسانِ الخَلَفِ رَبطاً بينَ المَجازِ اللّاهوتيِ وَالبَيانِ العلميّ
DOI خُلقتْ حوَّاءُ منْ ضلعِ آدمَ: رائعةُ الإيحاءِ الفلسفيّ والمجازِ العلميّ
DOI ثُقَّاحةُ آدمَ وضِلعُ آدمَ.. وَجهانِ لخطيئةٍ واحدةٍ
- DOI ثُقَّاحةُ آدمَ وضِلعُ آدمَ.. وَجهانِ لصورةِ الإنسانِ
- جُسيمُ بار، مفتاحُ أحجيَّةِ الخلقِ

DOI خلقُ آدمَ وخلقُ حوَّاءَ، ومن ضلعِه كانت حوَّاءُ Adam & Eve, Adam's Rib

- جسيمُ بار، الشَّاهدُ والبصيرةُ Barr Body, The Witness

- خلقُ حوَّاءَ من ضلعِ آدمَ، حقيقةٌ أم أسطورةٌ؟

DOI لآدمَ فعلُ التَّمكين، ولحوَّاءَ حفظُ التَّكوين!

DOI فيروسُ كورُونَا المُستَجِدُّ (كوفيد -١٩): منْ بَعدِ السُّلوكِ، عَينُهُ عَلى الصِّفاتِ

- تُفَّاحة آدم وضِلعُ آدمَ، وجهان لصورةِ الإنسان.

DOI المرأةُ تُحدِّدُ جنسَ وليدِها، والرَّجل يدَّعي!

- صبيٌّ أم بنتٌ، الأمُّ تُقرِّرُ!

- إنتاجُ البُويضاتِ غيرِ المُلقَّحات الـ Oocytogenesis

- إنتاجُ النِّطافِ الـ Spermatogenesis

- أمُّ البنات، حقيقةٌ هيَ أمْ هيَ محضُ تُرَّهات؟!

- أمُّ البنين! حقيقةٌ لطالما ظَننتُها من هفواتِ الأوَّلين

- غَلَّبةُ البنات، حوَّاءُ هذهِ تلِدُ كثيرَ بناتٍ وقليلَ بنين

- غَلَبَةُ البنين، حوَّاءُ هذهِ تلِدُ كثيرَ بنينَ وقليلَ بنات

- ولا أنفي عنها العدلَ أحياناً! حوَّاءُ هذه يكافئُ عديدُ بنيها عديدَ بُنيَّاتِها

DOI المِبيضان في ركنٍ مَكينٍ.. والخِصيتان في كِيسٍ مَهينٍ: بحثٌ في الأسبابِ.. بحثٌ في وظيفةِ الشَّكل

DOI طفلُ الأنبوبِ، ليسَ أفضلَ المُمكن

DOI الرُّوحُ والنَّفسُ.. الأولى عَطيَّةُ خالقٍ والثَّانيةُ صَنيعةُ مخلوقٍ

DOI خلقُ السَّماواتِ والأرضِ أكبرُ من خلقِ النَّاس.. في المرامي والدَّلالات

DOI سفينةُ نوح، طوق نجاة لا معراجَ خلاص

DOI الطُّوفَانُ الأخيرُ: طوفَانٌ عَظِيمٌ.. وَلا سَفِينَة

DOI المصباح الكهربائي، بين التَّجريدِ والتَّنفيذ رحلة ألفِ عام

DOI هَكذَا تَكلَّمَ إبرَاهِيْمُ الخَلِيْلُ: الثَّابتُ.. وَالمُتَحَوّلُ

DOI العِدَّةُ وعِلَّةُ الاختلاف بين مُطلَّقةٍ وأرملةٍ ذواتَي عفاف

DOI تعدُّدُ الزَّوجاتِ وملكُ اليمين.. المنسوخُ الآجلُ

DOI الثَّقبُ الأسودُ، وفرضيَّةُ النَّجمِ السَّاقطِ

DOI الثَّقبُ الأسودُ والنَّجمُ الَّذي هوى

DOI خلقُ السَّماواتِ والأرضِ: فرضيَّةُ الكونِ السَّديميّ المُتَّصلِ

DOI الجواري الكُنَّسُ الـ Circulating Sweepers

DOI مجمعُ البحرين.. برزخٌ ما بينَ حَياتين

DOI ما بعدَ الموتِ وما قبلَ المَساق.. فإمَّا مَسخٌ وإمَّا انعتاقٌ!

- DOI الضَّوءُ مَوجةٌ والمَسارُ مادّيٌّ: رؤيةٌ جديدةٌ لطبيعةِ الضَّوءِ وانتشارِه

- DOI في فِقْهِ الذَّرَّةِ: مَنْ أعطى الإلكترونَ شِحنتَهُ السَّالبةَ؟

DOI حـــــــوَّاءُ.. هذه

DOI فقهُ الحضاراتِ، بين قوَّةِ الفكرِ وفكرِ القوَّةِ

DOI ثالوثُ الذَّكاءِ.. زادُ مسافرٍ! الذَّكاءُ الفطريُّ، الإنسانيُّ، والاصطناعيُّ.. بحثٌ في الصِّفاتِ والمآلاتِ

DOI المعادلاتُ الصِّفريَّةُ.. الحداثةُ، مالها وما عليها

DOI جدليَّةُ المعنى واللَّامعنى

DOI وَالمِهنَةُ.. شَهِيْدٌ! الشَّهَادَةُ فَلسَفَةُ حَيَاةٍ

DOI عندما ينفصِمُ المجتمعُ.. لمن تتجمَّلين هيفاءُ؟

DOI كَشْفُ المَستُور.. مَعَ الاسمِ تَكونُ البِدَايةُ، فتَكونُ الهَويَّةُ خَاتِمةَ الحِكايةِ

DOI مُجتمعُ الإنسان! اجتماعُ فطرة، أمِ اجتماعُ ضرورة، أم اِجتماعُ مصلحةٍ؟

DOI حقيقتان لا تقبلُ بهُنَّ حوَّاءُ

DOI هَذَيانُ المفاهيم (١): هَذَيانُ الاقتصاد

DOI هَذَيانُ المفاهيم (٢): هَذَيانُ اللَّيلِ والنَّهار

DOI وحشُ فرانكنشتاين الجديدُ.. القديمُ نكبَ الأرضَ وما يزالُ، وأمَّا الجديدُ فمنكوبُهُ أنتَ أساساً أيُّها الإنسان!

DOI فيروسُ كورونا المُستجدُّ.. من بعدِ السُّلوكِ، عينُهُ على الصِّفاتِ

DOI كادَتِ المَرأةُ أنْ تَلِدَ أخاهَا، قولٌ صَحيحٌ لكنْ بنكهَةٍ عَربيَّة

DOI الحُرُوبُ العَبثيَّةُ.. مُغْضَبٌ لا مَحْظِيٌّ، أيُّهَا الإنسَانُ! ثُنائيَّاتُ القلقِ الوجوديَّةُ، عذَابٌ دائمٌ أم امتحانٌ مُستدامٌ؟

DOI العَقلُ القيَّاسُ وَالعَقلُ المُجرّدُ.. في القِياسِ قصُورٌ، وَفي التَّجريدِ وصُولٌ

DOI الذِّئبُ المُنفردُ، حينَ يُصبحُ التَّوحُّدُ مَفازةً لا محضَ قَرارٍ!

DOI الأُسْطورَةُ الحَقِيقَةُ الهَرمَةُ.. شمشونُ الحكايةِ، وسيزيفُ الإنسانُ

DOI فيروسُ كورُونَا المُستَجِدُّ (كوفيد -١٩): منْ بَعدِ السُّلوكِ، عَينُهُ عَلى الصِّفاتِ

DOI سعاةُ بريدٍ حقيقيُّون.. لا هواةُ ترحالٍ وهجرة

DOI ما قولُ العلمِ في اختلافِ العدَّةِ ما بينَ المُطلّقةِ والأرملة؟

- بفضلكِ آدمُ! استمرَّ هذا الإنسانُ.. تمكَّنَ.. تكيَّفَ.. وكانَ عروقاً متباينةً

DOI أرجوزةُ الأزَل

DOI قالَ الإمامُ.. كمْ هوَ جميلٌ فيكمُ الصَّمتُ يا بشرُ

DOI صِناعةُ اللَّاوَعي

DOI أَزمةُ مُثقَّفٍ.. أَضاعَ الهويَّةَ تحتَ مَركومٍ من مَقروءٍ ومَسموعٍ

- القدمُ الهابطة، حالةٌ سريريَّةٌ
- عمليَّاتُ النَّقلِ الوتريّ في تدبير شللِ العصبِ الكعبريّ Tendon Transfers for Radial Palsy
- عمليَّةُ النَّقلِ الوتريّ لاستعادةِ حركةِ الكتفِ Tendon Transfer to Restore Shoulder Movement
- التَّدبيرُ الجراحيُّ لليدِ المخلبيَّة Surgical Treatment of Claw Hand (Brand Operation)
- DOI اليدُ المخلبيَّة، الإصلاحُ الجراحيُّ (عمليَّةُ براند)Claw Hand (Brand Operation)
- التَّصنيعُ الذّاتي لمفصلِ المرفق Elbow Auto- Arthroplasty
- DOI الورمُ الوعائيُّ في الكبد: الاستئصالُ الجراحيُّ الإسعافيُّ لورمٍ وعائيٍّ كبديٍّ عرطلٍ بسببِ نزفٍ داخلَ كتلةِ الورم
- DOI مُتلازمةُ نفقِ الرّسغِ تنهي التزامَها بقطعٍ تامٍّ للعصبِ المتوسّط
- ورمُ شوان في العصبِ الظّنبوبيّ الـ Tibial Nerve Schwannoma
- DOI ورمُ شوان أمامَ العجُز Presacral Schwannoma
- ميلانوما جلديَّةٌ خبيثةٌ Malignant Melanoma
- DOI انسدادُ الشَّريانِ الكعبريّ الحادّ غيرِ الرَّضّيّ (داءُ بيرغر)
- استئصالُ الكيسةِ المعصميَّةِ، السَّهلُ المُمتَنِعِ Ganglion Cyst Removal (Ganglionectomy)
- الورمُ العظميُّ العظمانيُّ (العظمومُ العظمانيُّ)Osteoid Osteoma
- كيسةُ القناةِ الجامعةِ Choledochal Cyst
- DOI إصابةٌ سِلِّيَّةٌ معزولةٌ في العقدِ اللّمفيَّةِ الإبطيَّةِ Isolated Axillary Tuberculous Lymphadenitis
- DOI التهابُ المهادِ المناعيُّ ثنائيُّ الجانبِ Bilateral Autoimmune Thalamitis

- الانقسامُ الخلويُّ المُتساوي الـ Mitosis
- الانقسام الخلويُّ المُنصّف الـ Meiosis
- المادَّةُ الصِّبغيَّة، الصِّبغيُّ، الجسمُ الصِّبغيُّ الـ Chromatin, Chromatid, Chromosome

- المُتمِّماتُ الغذائيَّةُ الـ Nutritional Supplements، هل هي حقًّا مفيدةٌ لأجسامنا؟
- DOI فيتامين د Vitamin D، ضمانةُ الشَّبابِ الدَّائم
- فيتامين ب٦ Vitamin B6، قليلُهُ مفيدٌ.. وكثيرُهُ ضارٌّ جدًّا
- المغنيزيوم بانٍ للعظام! يدعمُ وظيفةَ الكالسيوم، ولا يطيقُ مشاركتَه
- المغنيزيوم (٢)، معلوماتٌ لا غنى عنها
- فيتامين ب ١٢.. مُختصرٌ مُفيدٌ Vitamin B12

- عظمُ الصَّخرةِ الهوائيُّ Pneumatic Petrous

DOI تضاعفُ اليدِ والزّندِ Ulnar Dimelia or Mirror Hand

DOI خلعٌ ولاديٌّ ثُنائيُّ الجانبِ للعصبِ الزَّنديّ Congenital Bilateral Ulnar Nerve Dislocation

DOI ضمورُ إليةِ اليدِ بالجهتين، غيابٌ خلقيٌّ معزولٌ ثنائيُّ الجانب Congenital Thenar Hypoplasia

DOI (١) قصرُ أمشاطِ اليدِ Brachymetacarpia: قصرٌ ثنائيُّ الجانبِ ومتناظرٌ للأصابعِ الثلاثةِ الزّنديَّةِ

DOI (٢) قصرُ أمشاطِ اليدِ Brachymetacarpia: قصرٌ ثنائيُّ الجانبِ ومتناظرٌ للأصابعِ الثلاثةِ الزّنديَّةِ

DOI متلازمةُ التَّعبِ المزمن Fibromyalgia

DOI آفاتُ الثّديِ ما حولَ سنّ اليأسِ.. نحوَ مُقاربةٍ أكثرَ حزماً Peri- Menopause Breast Problems: Towards a More Decisive Approach

DOI آفاتُ الثّديِ ما حولَ سنّ اليأسِ.. نحوَ مُقاربةٍ أكثرَ حسماً Peri- Menopause Breast Problems: Towards a More Decisive Approach

- تقييمُ آفاتِ الثّديِ الشّائعةِ Evaluation of Breast Problems

DOI التهابُ وترِ العضلةِ السَّواسِ الحرقفيَّةِ Iliopsoas Tendonitis- The Snapping Hip

- تدرُّنُ الفقراتِ.. خراجُ بوتSpine TB.. Pott's Disease

- مرضيَّاتُ الوترِ البعيدِ للعضلةِ ثنائيَّةِ الرُّؤوسِ العضديَّةِ Pathologies of Distal Tendon of Biceps Brachii Muscle

DOI حثلٌ وذّيٌّ انعكاسيٌّ Algodystrophy Syndrome تميَّزَ بظهورِ حلقةٍ جلديَّةٍ خانقةٍ عندَ الحدودِ القريبةِ للوذمةِ الجلديَّةِ

- أذيَّةُ أوتارِ الكفَّةِ المُدوّرةِ Rotator Cuff Injury

- تدبيرُ آلامِ الرَّقبةِ (١) استعادةُ الانحناءِ الرَّقبيّ الطّبيعيّ (القعسُ الرَّقبيُّ) Neck Pain: Treatment Restoring Cervical Lordosis

- مُعالجةُ تناذرِ العضلةِ الكمثريَّةِ بحقنِ الكورتيزون (مقاربةٌ شخصيَّةٌ) Piriformis Muscle Injection (Personal Approach)

- تدبيرُ آلامِ الكتفِ: الحقنُ تحتَ الأخرمِ Subacromial Injection

- تدبيرُ التهابِ اللِّفافةِ الأخمصيَّةِ المُزمنِ بحقنُ الكورتيزون Plantar Fasciitis, Cortisone Injection

- حقنِ الكيسةِ المصليَّةِ الصَّدريَّةِ- لوحِ الكتفِ بالكورتيزون Scapulo-Thoracic Bursitis, Cortisone Injection

- الكتفُ المُتجمِّدة، حقنُ الكورتيزون داخلَ مفصلِ الكتف Frozen Shoulder, Intraarticular Cortisone Injection

- مرفقِ التنس، حقنِ الكورتيزون Tennis Elbow, Cortisone injection

- علاجُ الإصبعِ القافزةِ الـ Trigger Finger بحقنِ الكورتيزون موضعيًّاً

- ألمُ المفصلِ العجزيّ الحرقفيّ: حقنُ الكورتيزون Sacro-Iliac Joint Pain, Cortisone Injection
- حقن كورتيزون في نفق الرسغ Cortisone Injection in Carpal Tunnel

- علامةُ فرومِنت Froment's Sign
- علامةُ هوفمان Hoffman's Sign
- علامةُ بابنسكي Babinski's Sign
- علامة هوفمان Hoffman's Sign

٢٠٢٦/٠٨/٠٢