

النقل العصبيّ في اللّيف العصبيّ

The Neural Conduction in Neural Fiber

د. عمّار ياسين منصور
AMMAR YASEEN MANSOUR

النقل العصبيّ

رؤية جديدة

ضمن مفهوم النقل العصبيّ، مايزت بين مصطلحين:

➤ موجة الضغط العاملة الـ **Action Pressure Wave**:

➤ تيار النقل الكهربائيّ الـ **Electrical Neural Current**.



فيها، نتحدّث تباعاً عن عناصر ثلاثة:

- بدايةً، ولادة موجة الضغط المركزيّة الـ **Central Pressure Wave**.
- تالياً، ولادة موجة الضغط العاملة الأولىّة الـ **Preliminary Action Pressure Wave**.
- أخيراً، ولادة موجة ضغط العمل القياسيّة الـ **Standard Action Pressure Wave**.

النقل العصبيّ

رؤية جديدة

ضمن مفهوم النقل العصبيّ، أميّز بين مصطلحين:

➤ موجة الضغط العاملة الـ Action Pressure Wave.

➤ تيار النقل الكهربائيّ الـ Electrical Neural Current:

فيه، نتحدّث تباعاً عن التالي:

- بدايةً، الولادة الأولى.
- تالياً، الولادات الجديدة.
- وأخيراً، وظيفة التيار الكهربائي في النقل العصبيّ.



في حالة الرَّاحة

تشير الكرات الزرقاء إلى العناصر داخل الخلية سالبة الشحنة

The blue balls represent the negatively- charged intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى شاردة الصوديوم الموجبة

The red balls represent the positive sodium ions

في حالة الرَّاحة كما في حالة العمل، يملأ وسيط النقل الكيماوي الشق المشبكي

Neurotransmitters in the Synaptic Cleft

يشير الخط المنقط إلى غزارة أفقية شاردة الصوديوم في منطقة عقد رانغييه

Axon Hillock

في حالة الرَّاحة، تسكن كتلة الأنايب المجهرية منطقة Axon Hillock

Axon Hillock

الخط المتقطع، يشير إلى غنى الغشاء الخلوي للمنطقة بالأقنية، ذات الأبواب العاملة بفرق الضغط، الخاصة بشاردة الصوديوم

Pressure Gated Na Channels

ضغط الرَّاحة
Resting Pressure

مخطط لقيم الضغط داخل الليف العصبي
Intraluminal Pressure Schema

جسم الخلية العصبية
Soma

المحور العصبي النخاعيني
Myelinated Motor Axon

المشبك العصبي
Synapses

ولادة موجة الضغط المركزية عند بلوغ عتبة التحريض

تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة

The red balls represent the
positive sodium ions

تقلص كتلة الأنايب المجهرية
وتراجع داخل جسم الخلية العصبية
(أولاً)

تنشأ موجة ضغط مركزية تجتاح
جسم الخلية العصبية وصولاً إلى
عشائها الخلوي
(ثانياً)

تنخفض قيمة الضغط في منطقة الـ
Axon Hillock
(ثانياً مكرراً)

Axon Hillock

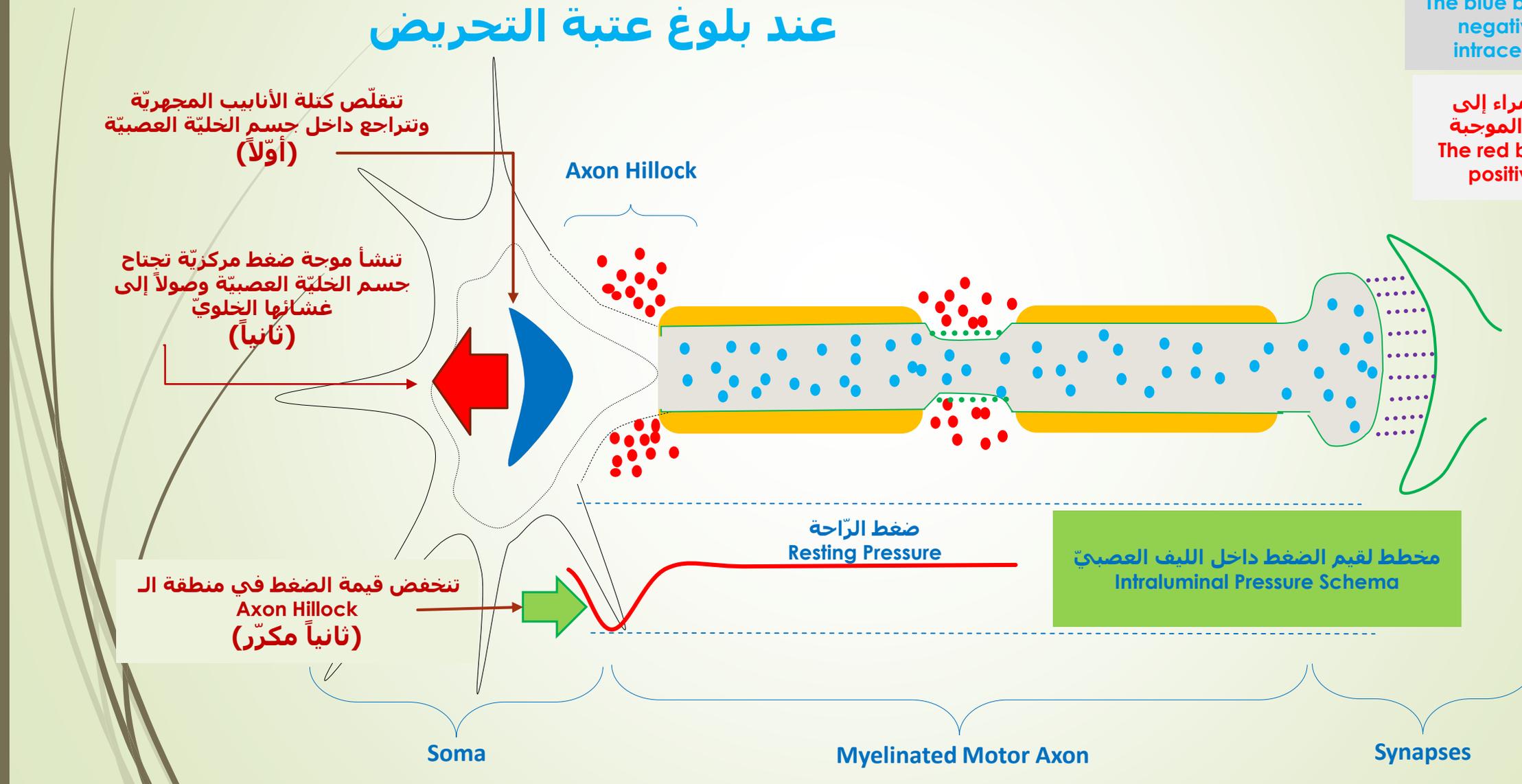
ضغط الراحة
Resting Pressure

مخطط لقيم الضغط داخل الليف العصبي
Intraluminal Pressure Schema

Soma

Myelinated Motor Axon

Synapses



ولادة موجة الضغط المركزية عند بلوغ عتبة التحريض

تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة
The red balls represent the
positive sodium ions

تقلص كتلة الأنايب المجهرية
وتراجع داخل جسم الخلية العصبية
(أولاً)

تنشأ موجة ضغط مركزية تجتاح
جسم الخلية العصبية وصولاً إلى
عشائها الخلوي
(ثانياً)

تعود قيمة الضغط في منطقة الـ
Axon Hillock إلى قيمة ضغط الراحة
(رابعاً)

يعمل الضغط المنخفض الوليد على
شغل شاردة الصوديوم إلى داخل منطقة
Axon Hillock
(ثالثاً)

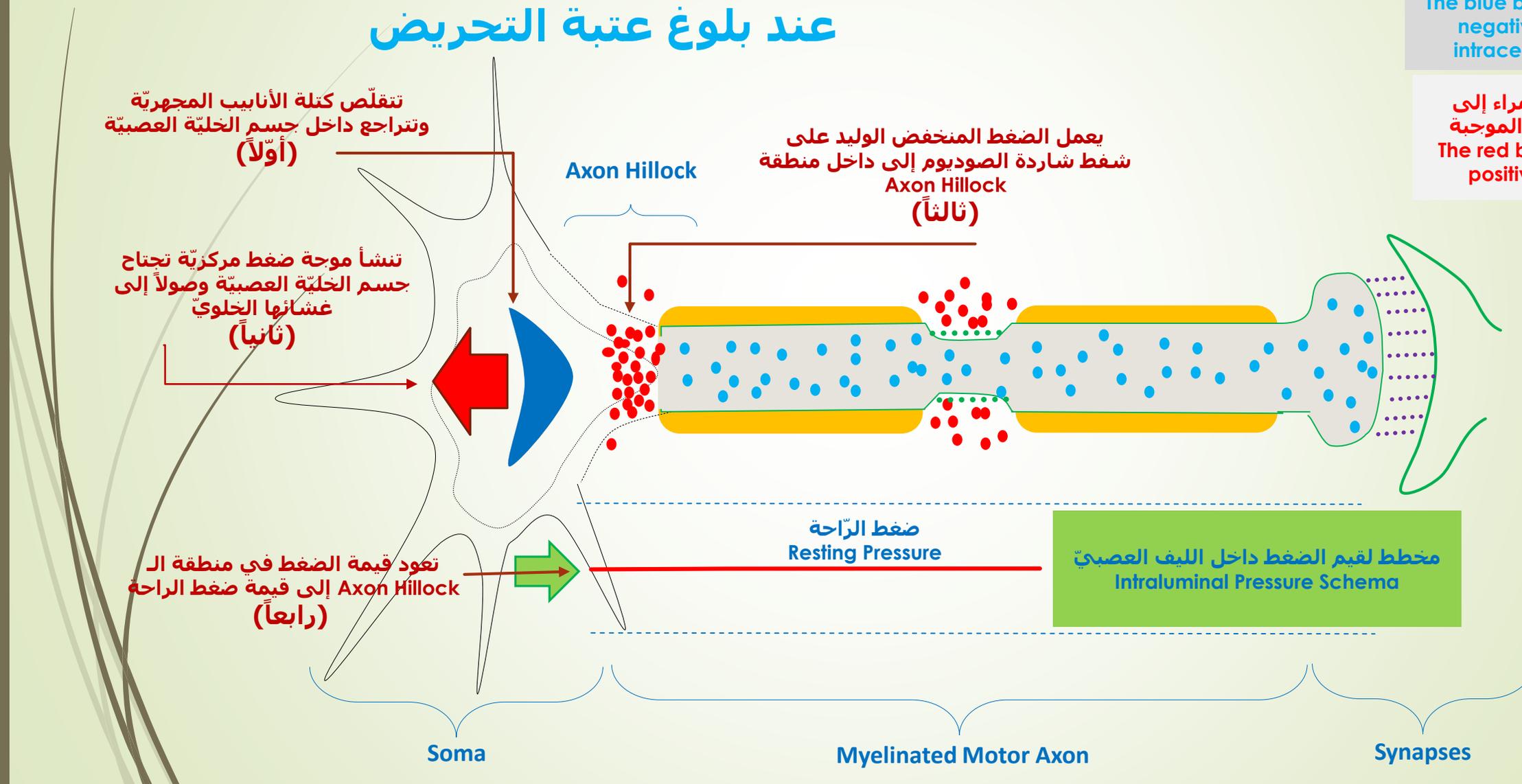
ضغط الراحة
Resting Pressure

مخطط لقيم الضغط داخل الليف العصبي
Intraluminal Pressure Schema

Soma

Myelinated Motor Axon

Synapses



ولادة موجة الضغط العاملة

ارتداد موجة الضغط المركزية، وولادة موجة الضغط العاملة الأولية

تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة

The red balls represent the
positive sodium ions

ترتد موجة الضغط المركزية عن
غشاء جسم الخلية العصبية
(أولاً)

تسترخي كتلة الأنابيب المجهرية
وتندفع عائدة إلى مكانها من حيث
انطلقت
(ثانياً)

ترتفع قيمة الضغط داخل منطقة
Axon Hillock
معلنة ولادة موجة ضغط العمل
الأولية
(ثالثاً)

Axon Hillock

وسيط النقل الكيماوي يملأ الشق المشبكي
Neurotransmitters in the
Synaptic Cleft

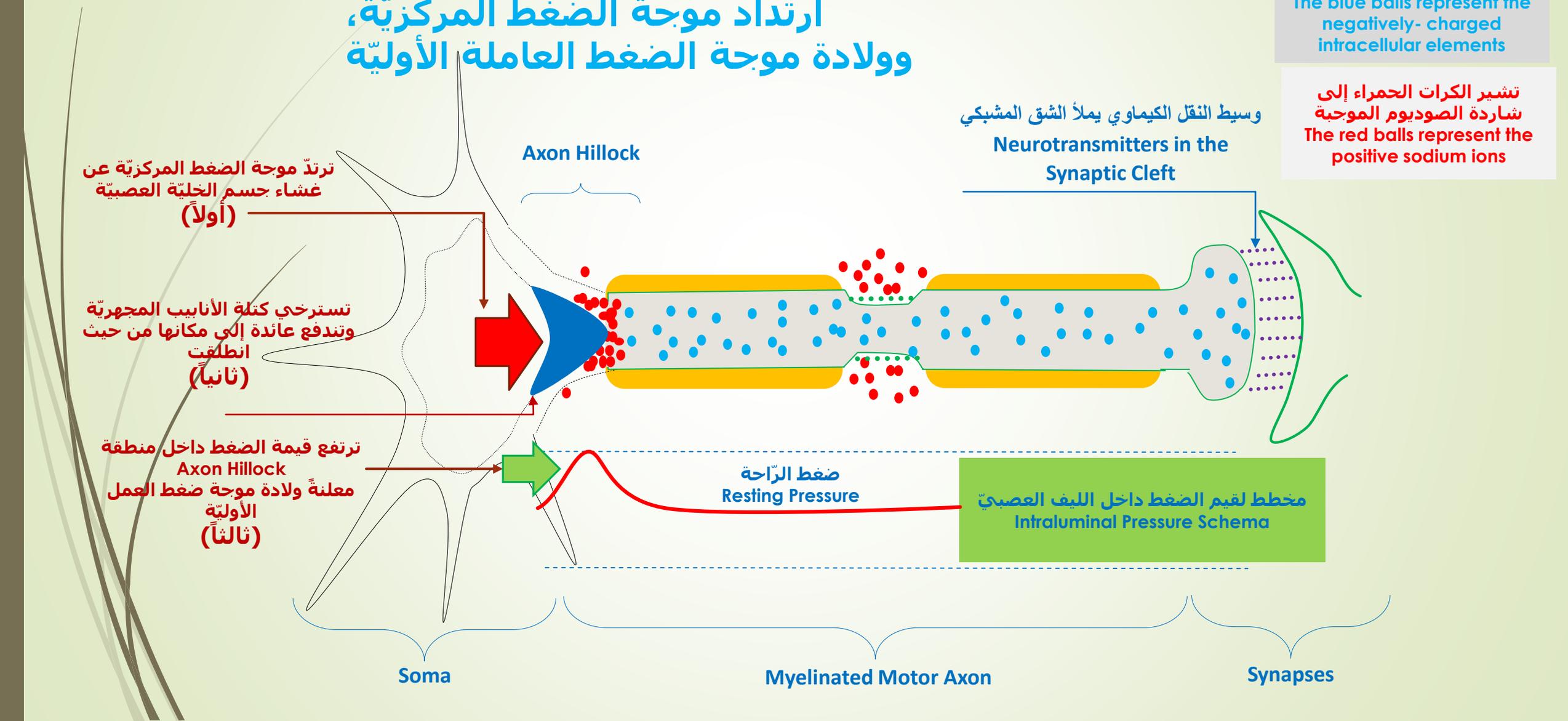
ضغط الراحة
Resting Pressure

مخطط لقيم الضغط داخل الليف العصبي
Intraluminal Pressure Schema

Soma

Myelinated Motor Axon

Synapses



انتشار موجة الضغط العاملة الأولية

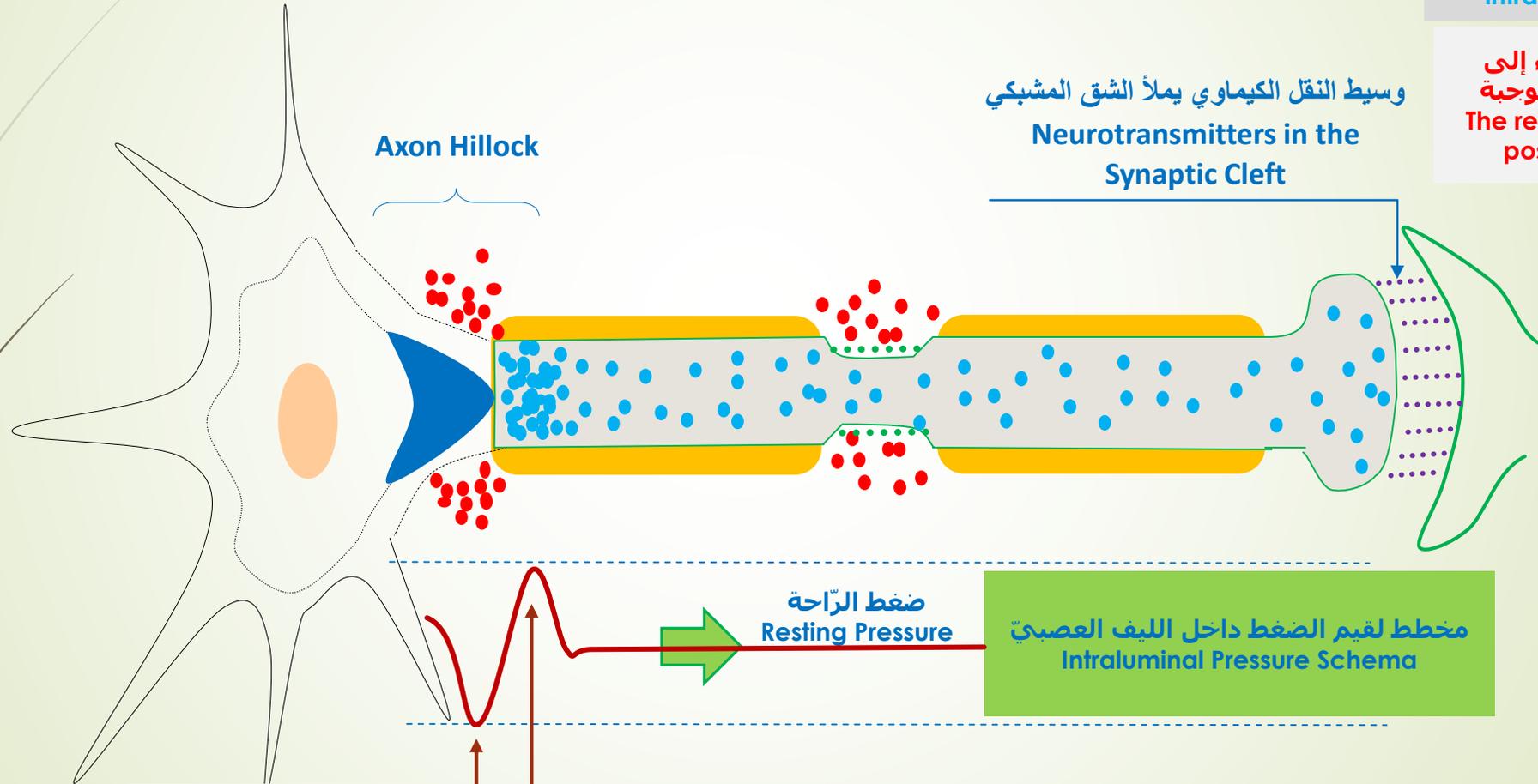
هي موجة ذات مناسيب غير قياسية

تشير الكرات الزرقاء إلى العناصر داخل خلوية سالبة الشحنة

The blue balls represent the negatively- charged intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى شاردة الصوديوم الموجبة

The red balls represent the positive sodium ions



ذيل الموجة هو منطقة من انخفاض الضغط الـ

Rarefaction (Trough)

مقدمة الموجة هي منطقة من ارتفاع الضغط الـ

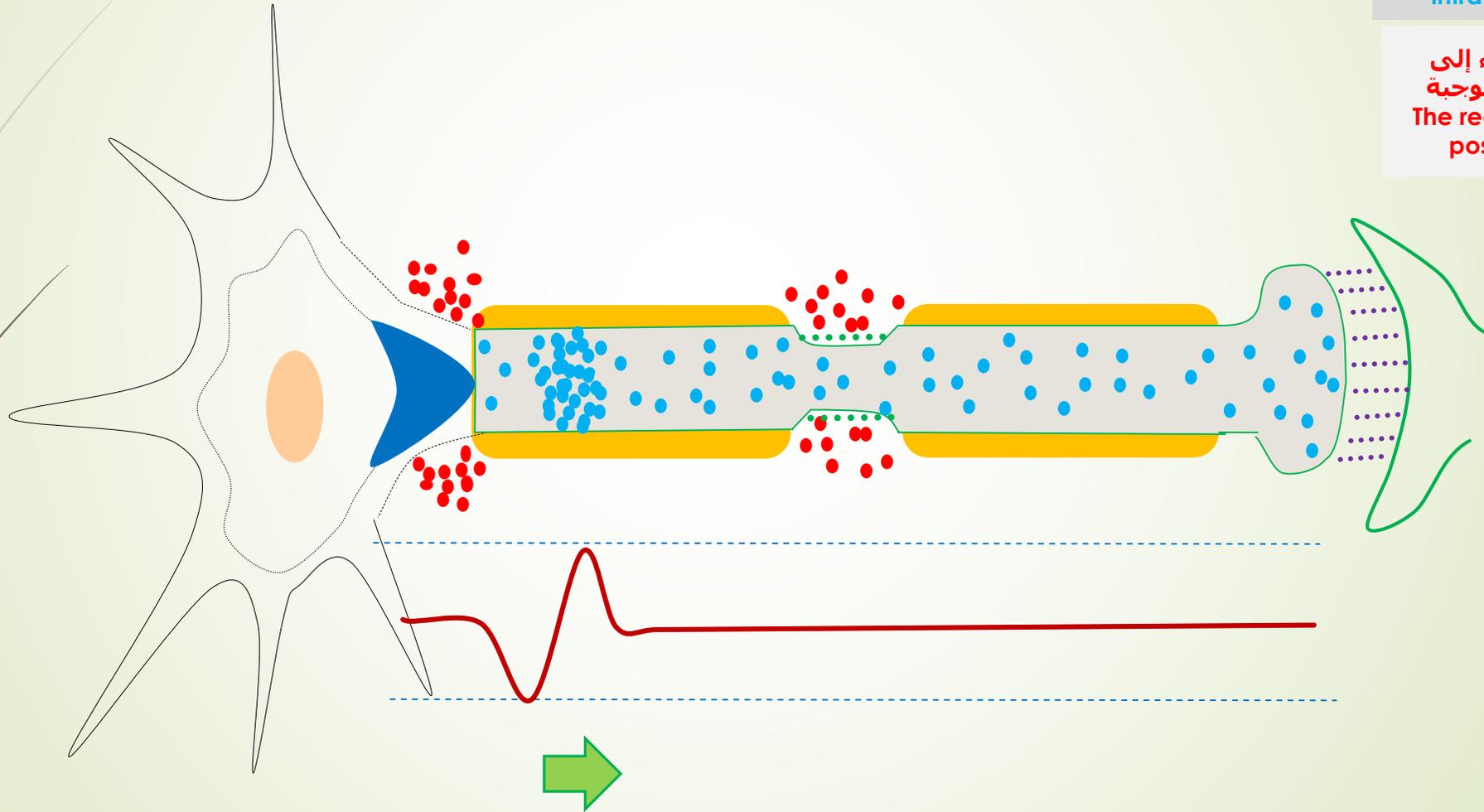
Compression (Crest)

انتشار موجة الضغط العاملة الأولية

تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة
The red balls represent the
positive sodium ions

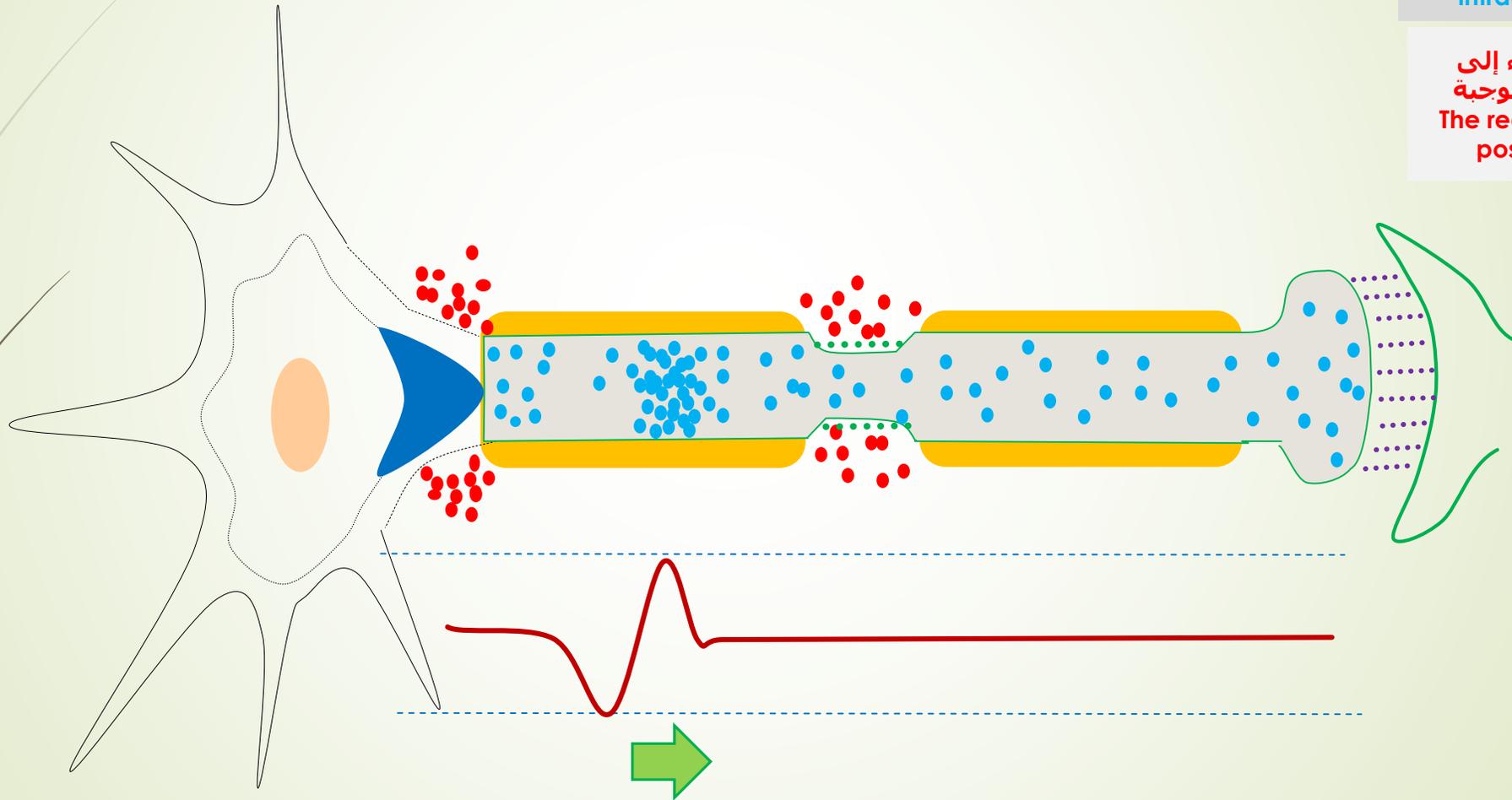


انتشار موجة الضغط العاملة الأولية

تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة
The red balls represent the
positive sodium ions

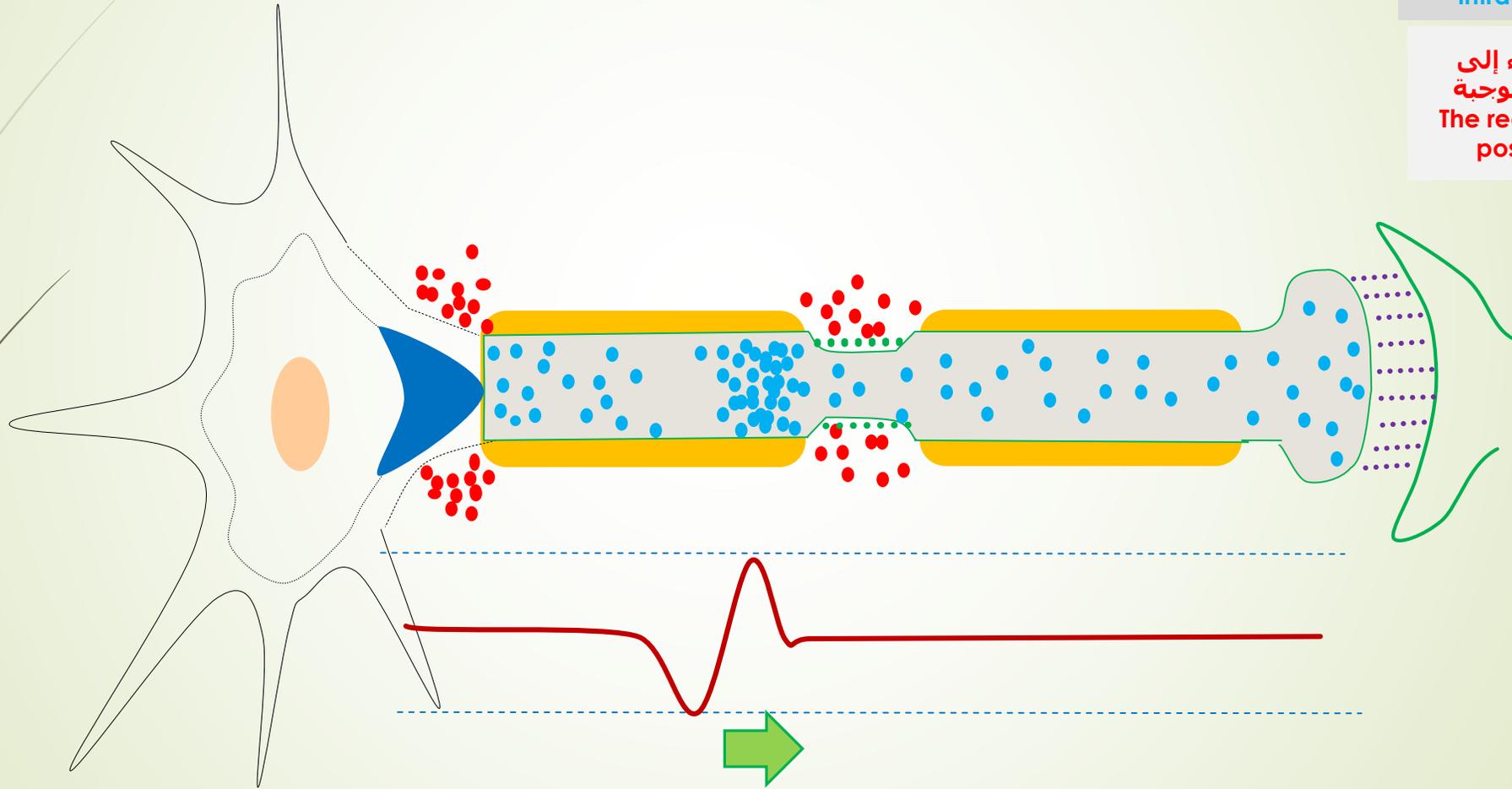


انتشار موجة الضغط العاملة الأولية

تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة
The red balls represent the
positive sodium ions



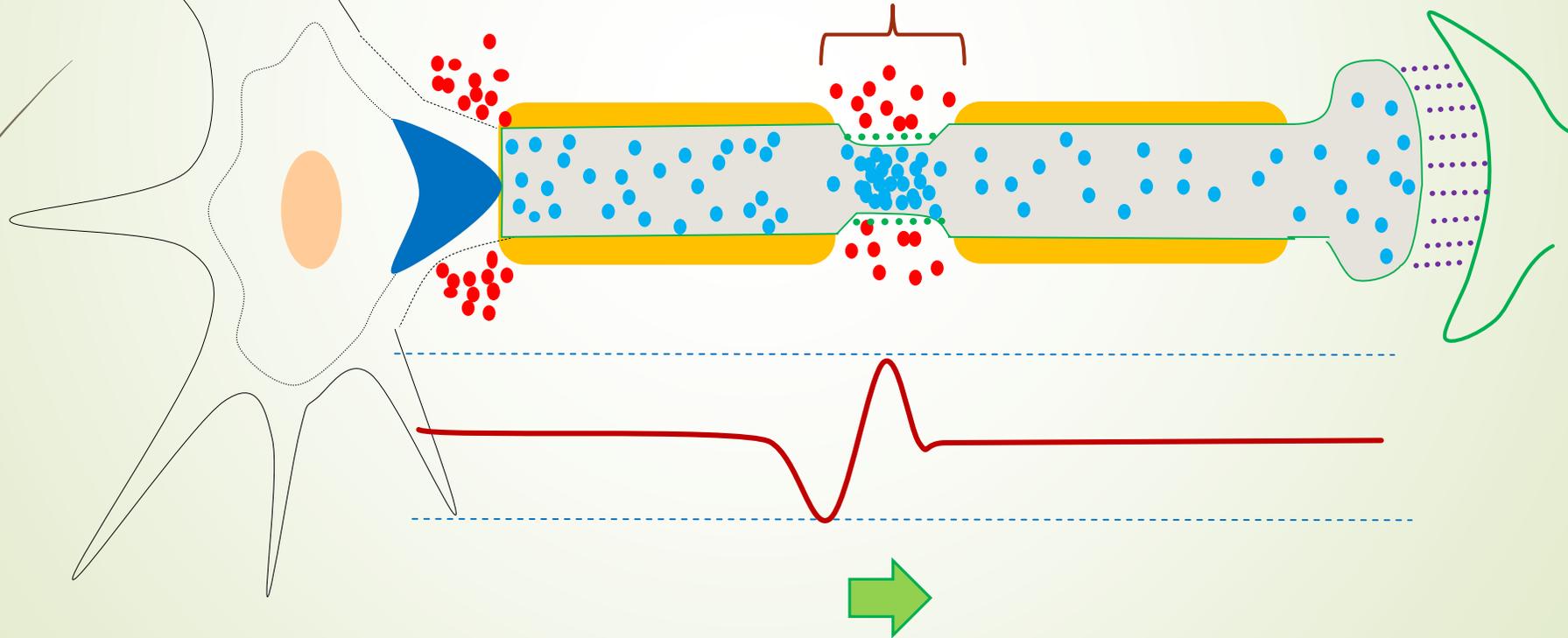
انتشار موجة الضغط العاملة الأولية في مستوى عقدة رانفيه الأولى، تُولد موجة الضغط العاملة القياسية من رحم الأولية

عند وصول مقدمة موجة الضغط العاملة، يعمل
الضغط المرتفع فيها على رفع مغاليق أفنية
شاردة الصوديوم وقطع المرور عبر هذه الأخيرة

تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة
The red balls represent the
positive sodium ions



ولادة موجة الضغط العاملة القياسية

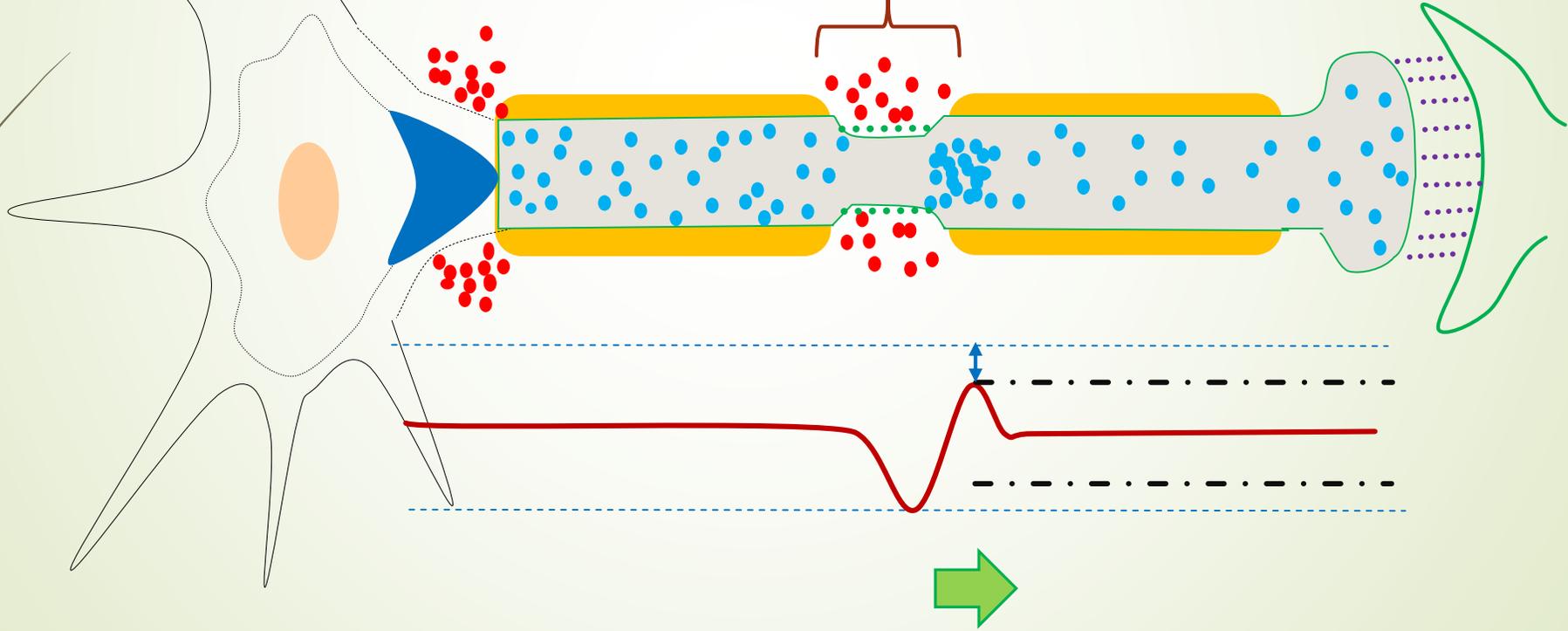
في مستوى عقدة رانغيه الأولى
تكتسب الموجة مناسباً جديدة

عند وصول ذيل موجة الضغط العاملة، يعمل الضغط
المنخفض على فتح بوابات أفقية شاردة الصوديوم
(أولاً)

تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة
The red balls represent the
positive sodium ions



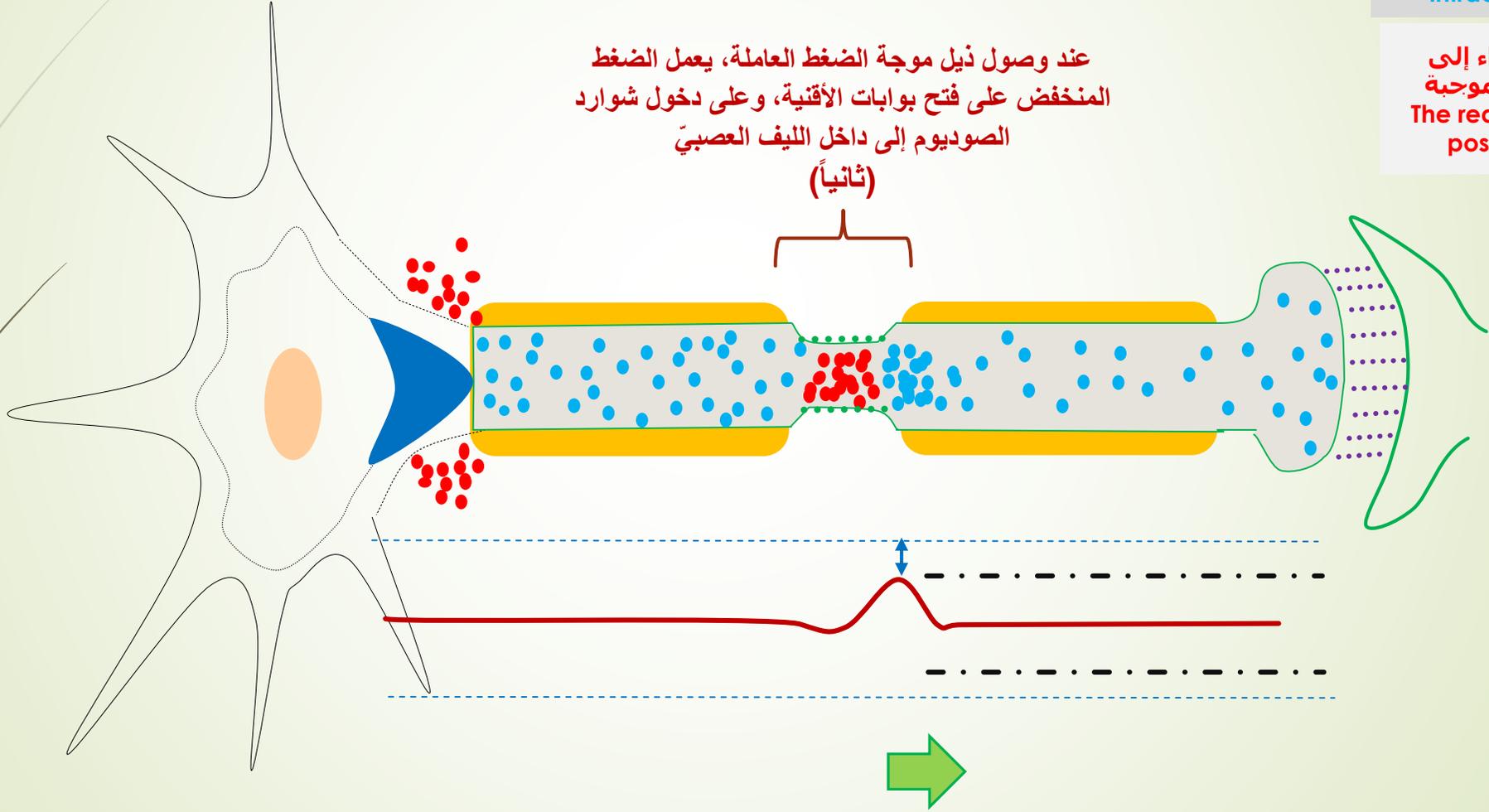
ولادة موجة الضغط العاملة القياسية في مستوى عقدة رانغيه الأولى

تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة
The red balls represent the
positive sodium ions

عند وصول ذيل موجة الضغط العاملة، يعمل الضغط
المنخفض على فتح بوابات الأيونية، وعلى دخول شوارد
الصوديوم إلى داخل الليف العصبي
(ثانياً)



انتشار موجة الضغط العاملة القياسية

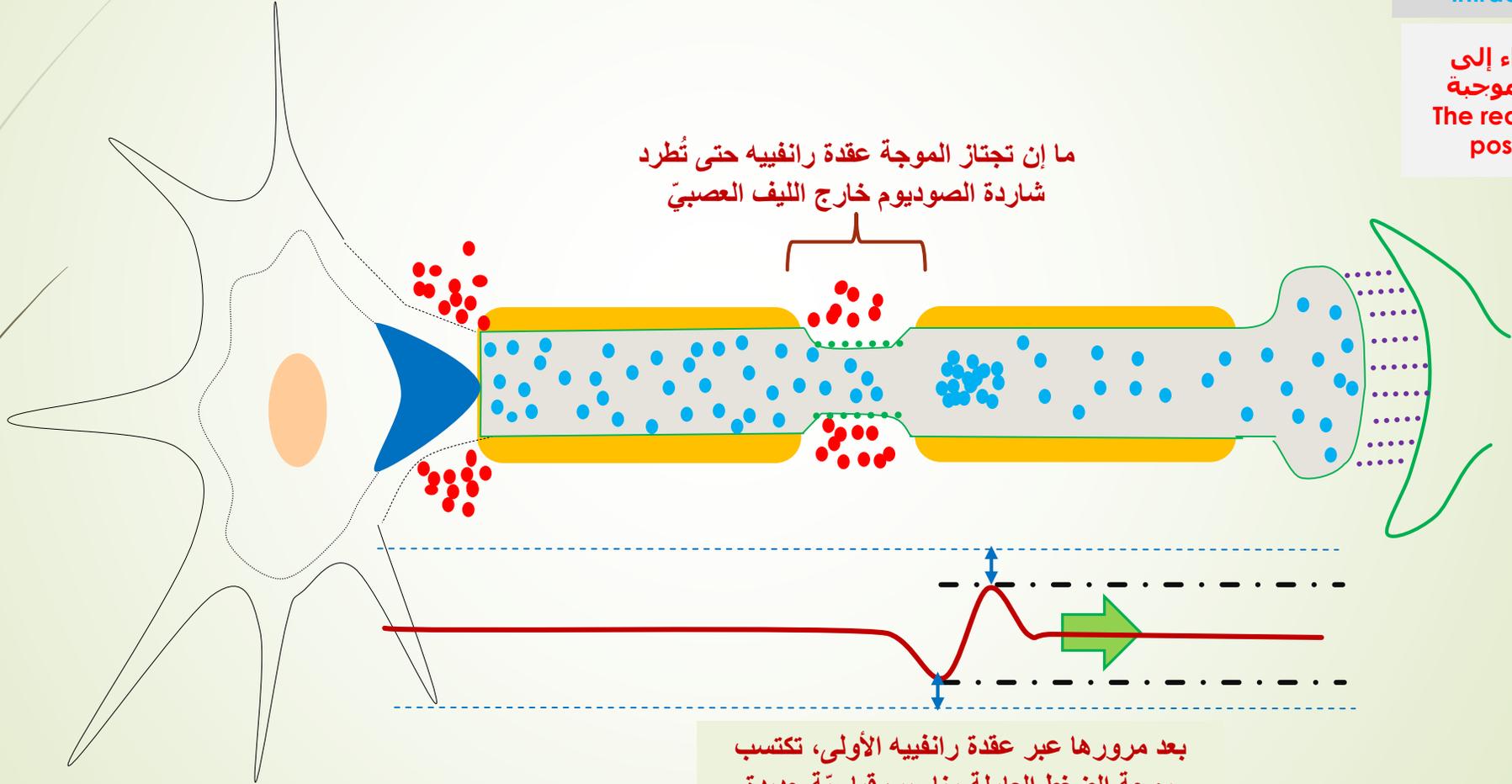
تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة

The red balls represent the
positive sodium ions

ما إن تجتاز الموجة عقدة رانفييه حتى تُطرد
شاردة الصوديوم خارج الليف العصبي



بعد مرورها عبر عقدة رانفييه الأولى، تكتسب
موجة الضغط العاملة مناسب قياسية جديدة
(Standard Wave Parameters)

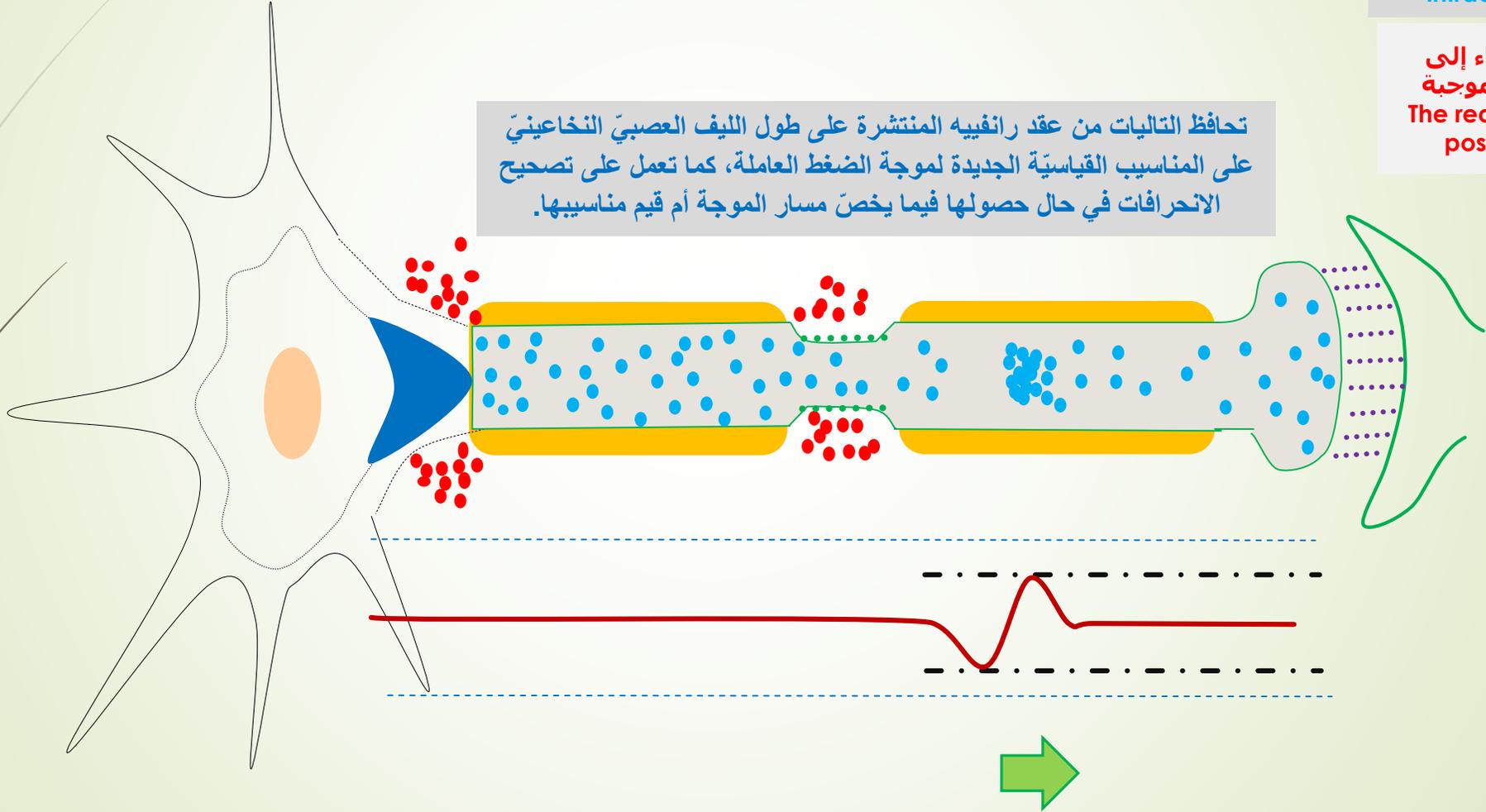
انتشار موجة الضغط العاملة القياسية عقدة رانغيه ضابطة الإيقاع

تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة
The red balls represent the
positive sodium ions

تحافظ التاليات من عقد رانغيه المنتشرة على طول الليف العصبي النخاعي
على المناسيب القياسية الجديدة لموجة الضغط العاملة، كما تعمل على تصحيح
الانحرافات في حال حصولها فيما يخص مسار الموجة أم قيم مناسيبها.



انتشار موجة الضغط العاملة القياسية

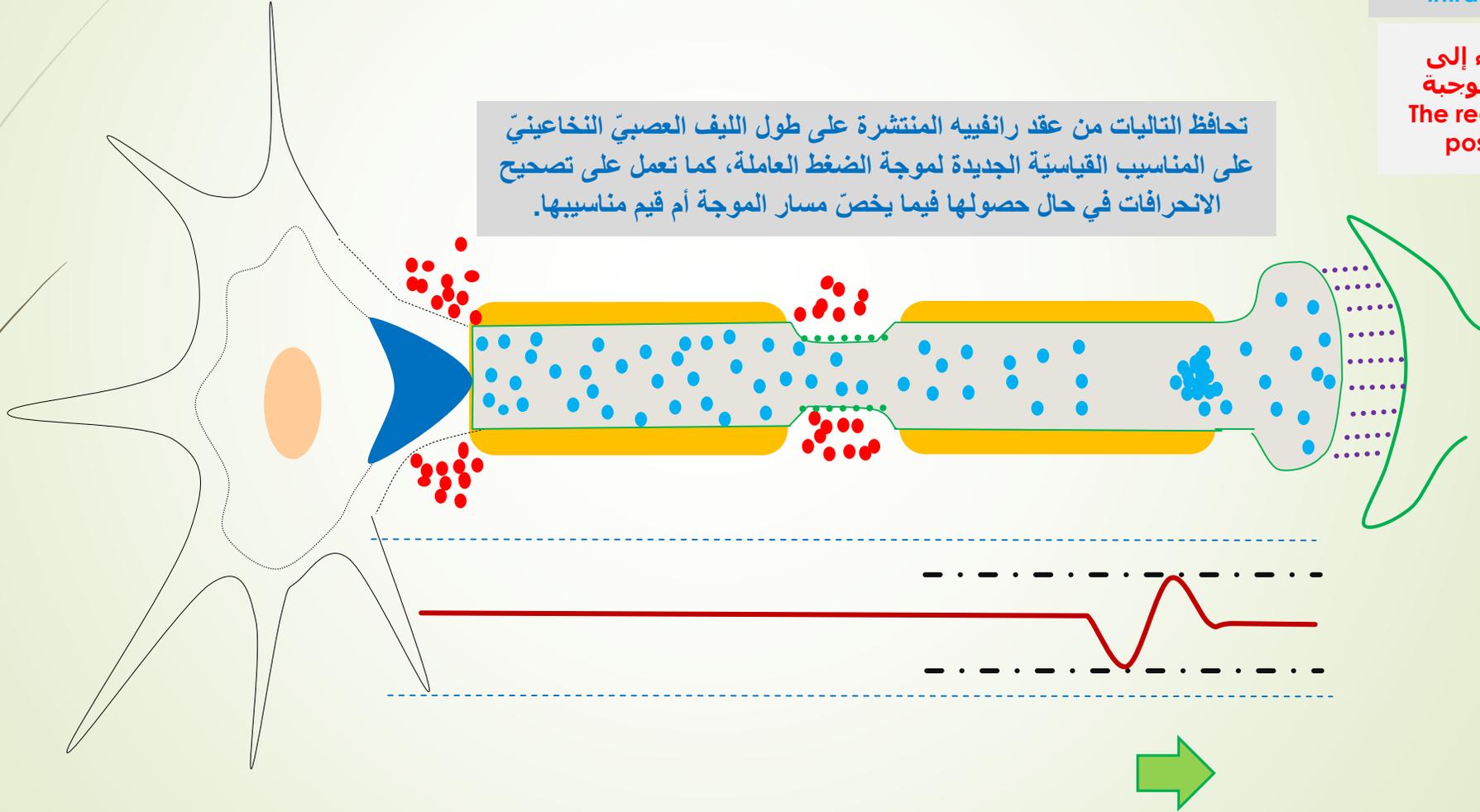
تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة

The red balls represent the
positive sodium ions

تحافظ التاليات من عقد رانفييه المنتشرة على طول الليف العصبي النخاعي
على المناسيب القياسية الجديدة لموجة الضغط العاملة، كما تعمل على تصحيح
الانحرافات في حال حصولها فيما يخص مسار الموجة أم قيم مناسيبها.



انتشار موجة الضغط العاملة القياسية

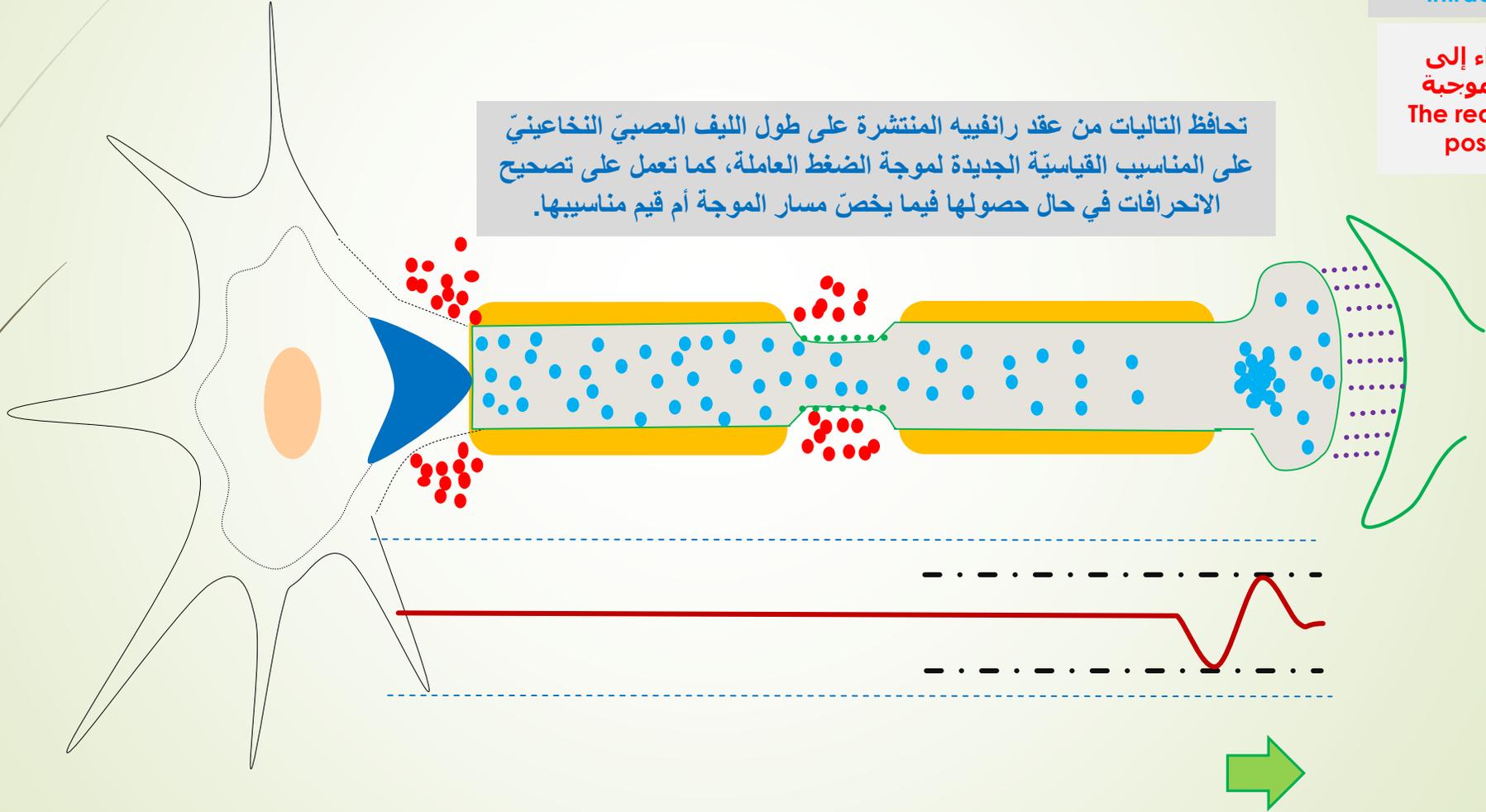
تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة

The red balls represent the
positive sodium ions

تحافظ التاليات من عقد رانفييه المنتشرة على طول الليف العصبي النخاعي
على المناسيب القياسية الجديدة لموجة الضغط العاملة، كما تعمل على تصحيح
الانحرافات في حال حصولها فيما يخص مسار الموجة أم قيم مناسيبها.



انتشار موجة الضغط العاملة القياسية وصولاً إلى الانتفاخ ما قبل المشبك العصبي

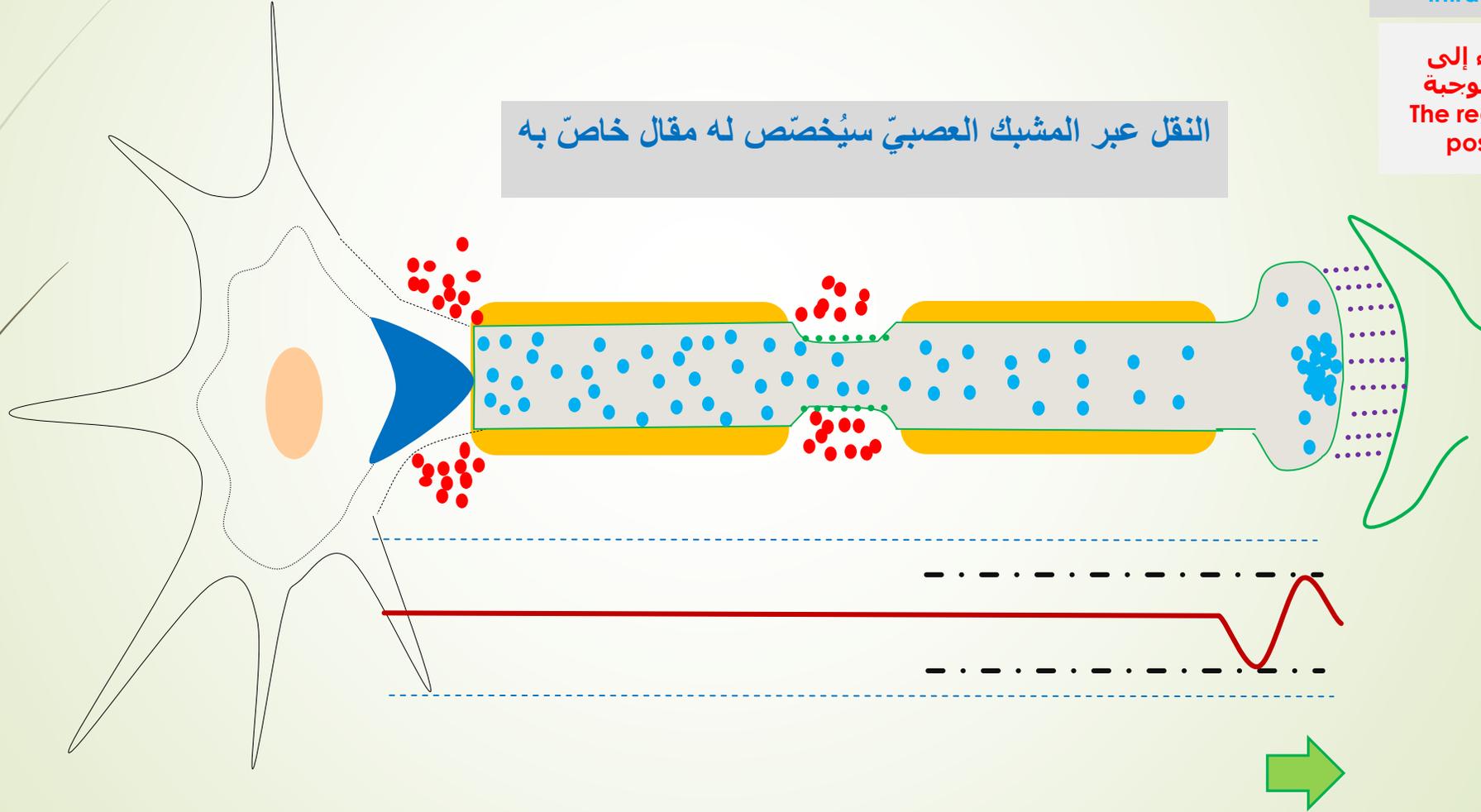
تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة

The red balls represent the
positive sodium ions

النقل عبر المشبك العصبي سيخصص له مقال خاص به



تيار النقل الكهربائي

الولادة الأولى،

في منطقة الـ Axon Hillock وبعد بلوغ عتبة التنبيه

تشير الكرات الزرقاء إلى العناصر داخل خلوية سالبة الشحنة

The blue balls represent the negatively-charged intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى شاردة الصوديوم الموجبة
The red balls represent the positive sodium ions

تقلص كتلة الأنايب المجهرية وتراجع داخل جسم الخلية العصبية (أولاً)

تنشأ موجة ضغط مركزية تجتاح جسم الخلية العصبية وصولاً إلى غشائها الخلوي (ثانياً)

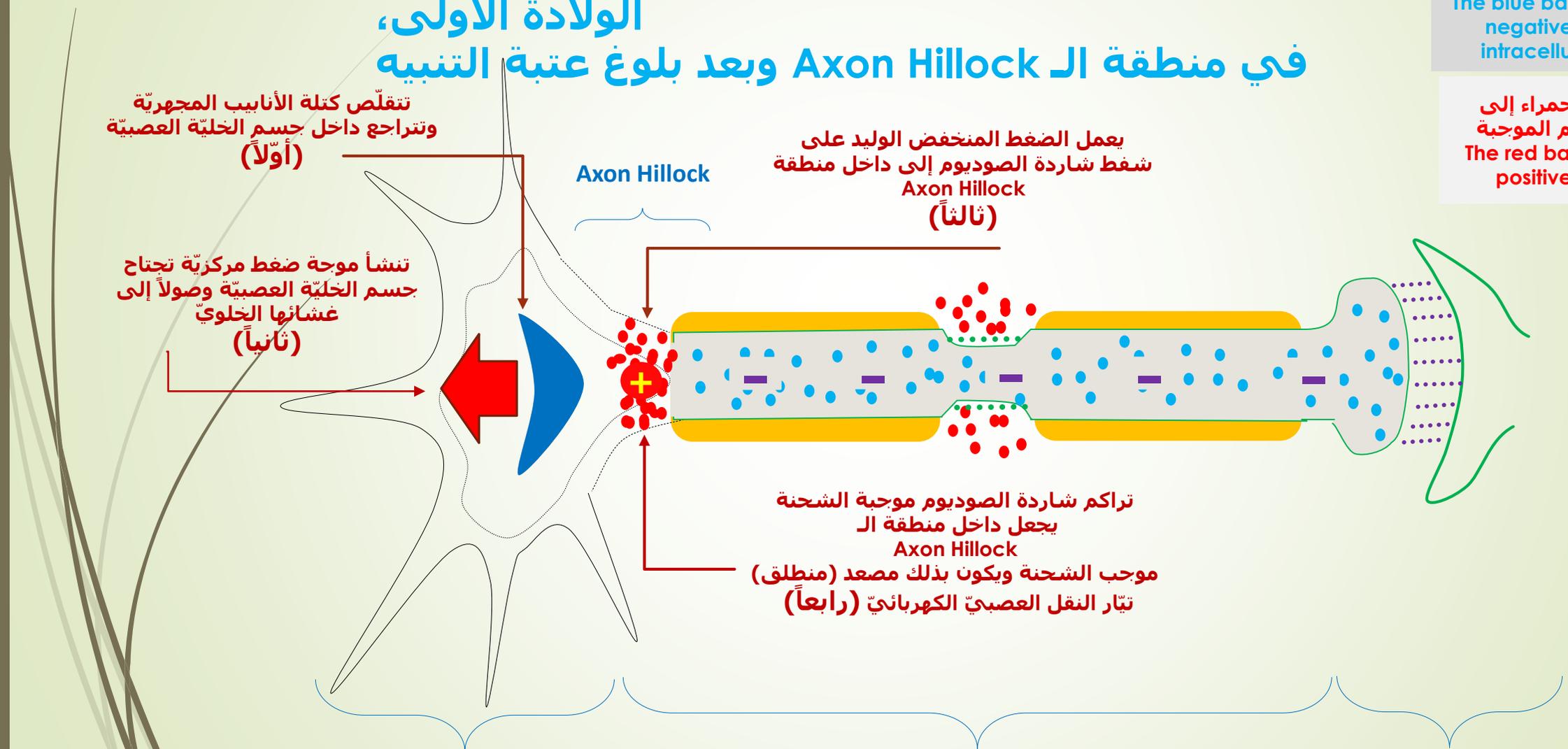
يعمل الضغط المنخفض الوليد على شغل شاردة الصوديوم إلى داخل منطقة Axon Hillock (ثالثاً)

تراكم شاردة الصوديوم موجبة الشحنة يجعل داخل منطقة الـ Axon Hillock موجب الشحنة ويكون بذلك مصعد (منطلق) تيار النقل العصبي الكهربائي (رابعاً)

Soma

Myelinated Motor Axon

Synapses



تيار النقل الكهربائي الولادة الأولى

تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة

The red balls represent the
positive sodium ions

ترتد موجة الضغط المركزية عن
غشاء جسم الخلية العصبية
(أولاً)

تسترخي كتلة الأنابيب المجهرية
وتدفع عائدة إلى مكانها من حيث
انطلقت
(ثانياً)

ترتفع قيمة الضغط داخل منطقة
Axon Hillock
معلنة ولادة موجة ضغط العمل
الأولية
(ثالثاً)

Axon Hillock

بين قطب موجب ممثلاً بتراكم شوارد
الصوديوم موجبة الشحنة داخل منطقة ال
Axon Hillock
وقطب سالب ممثلاً بالعناصر داخل الخلوية
سالبة الشحنة (البروتينات أساساً) ينطلق
تيار النقل الكهربائي الأولي
(رابعاً)

Soma

Myelinated Motor Axon

Synapses

تيار النقل الكهربائي

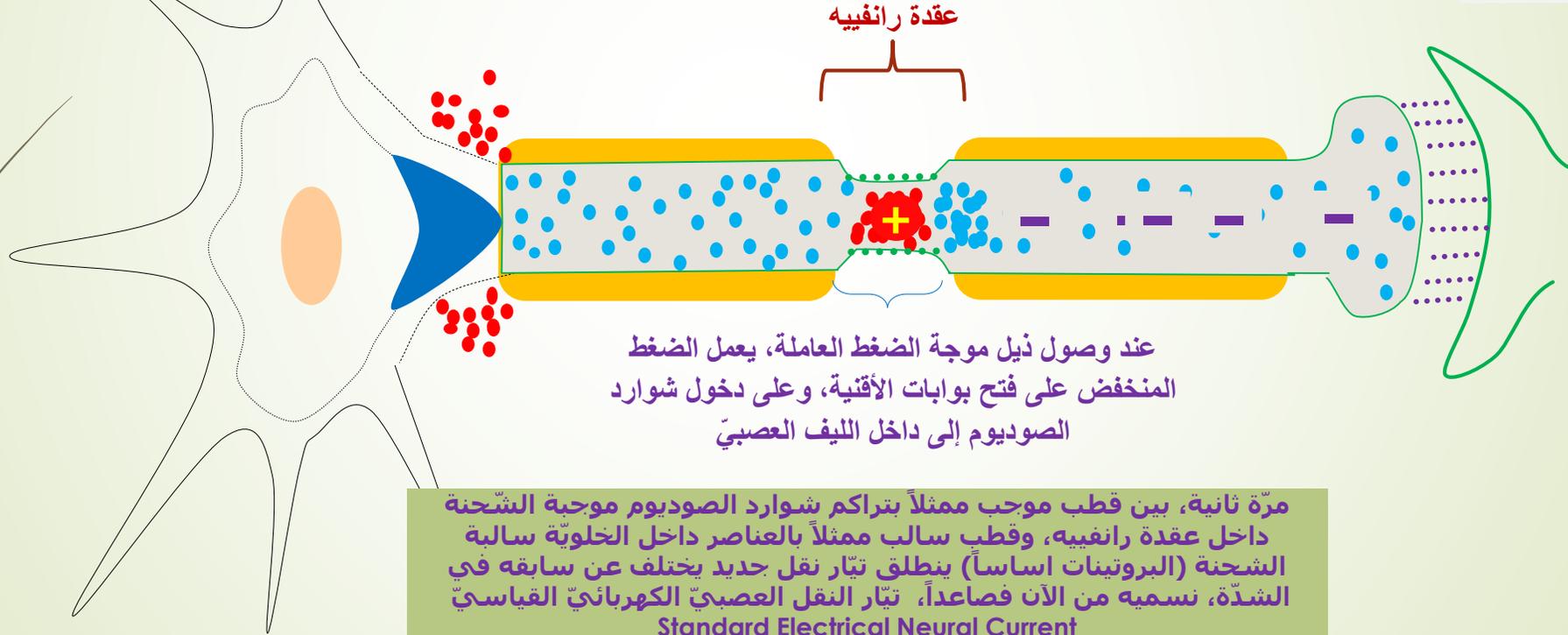
الولادة الجديدة،

عند كل عقدة من عقد رانفييه تكون هناك ولادة جديدة

تشير الكرات الزرقاء إلى
العناصر داخل خلوية سالبة
الشحنة

The blue balls represent the
negatively- charged
intracellular elements

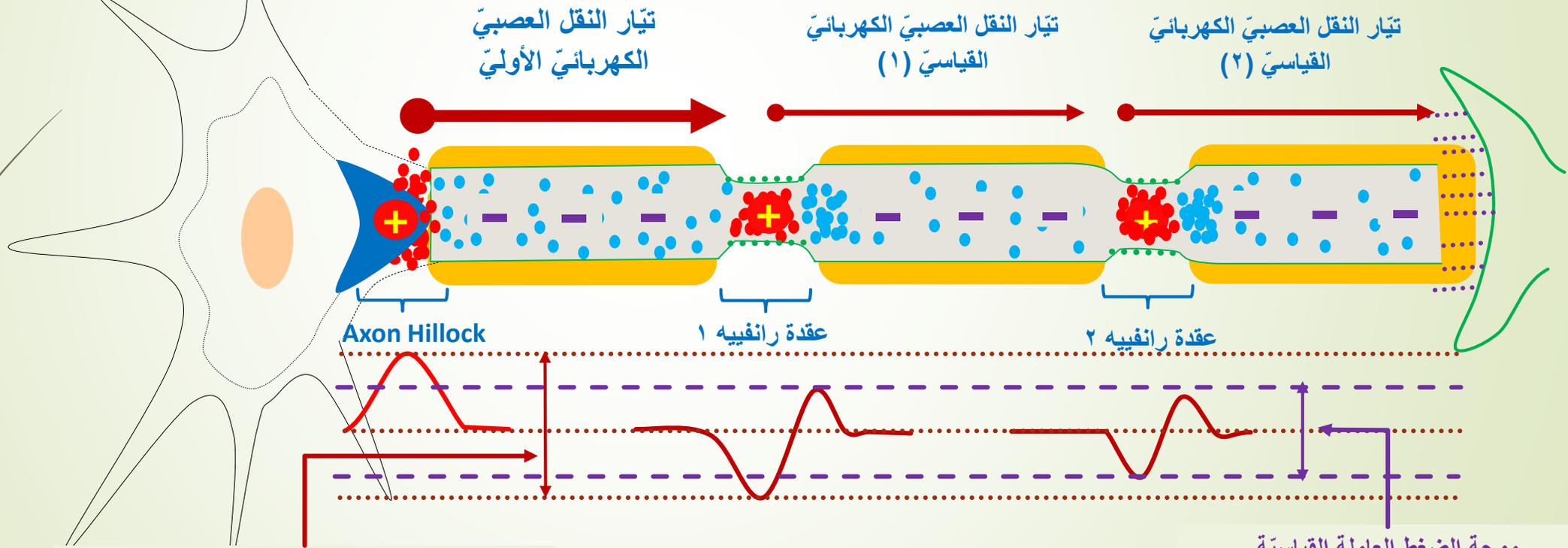
تشير الكرات الحمراء إلى
شاردة الصوديوم الموجبة
The red balls represent the
positive sodium ions



تيّار النقل الكهربائيّ

هو ليس بتيّار واحد،
بل هو تيّارات عديدة متلاحقة

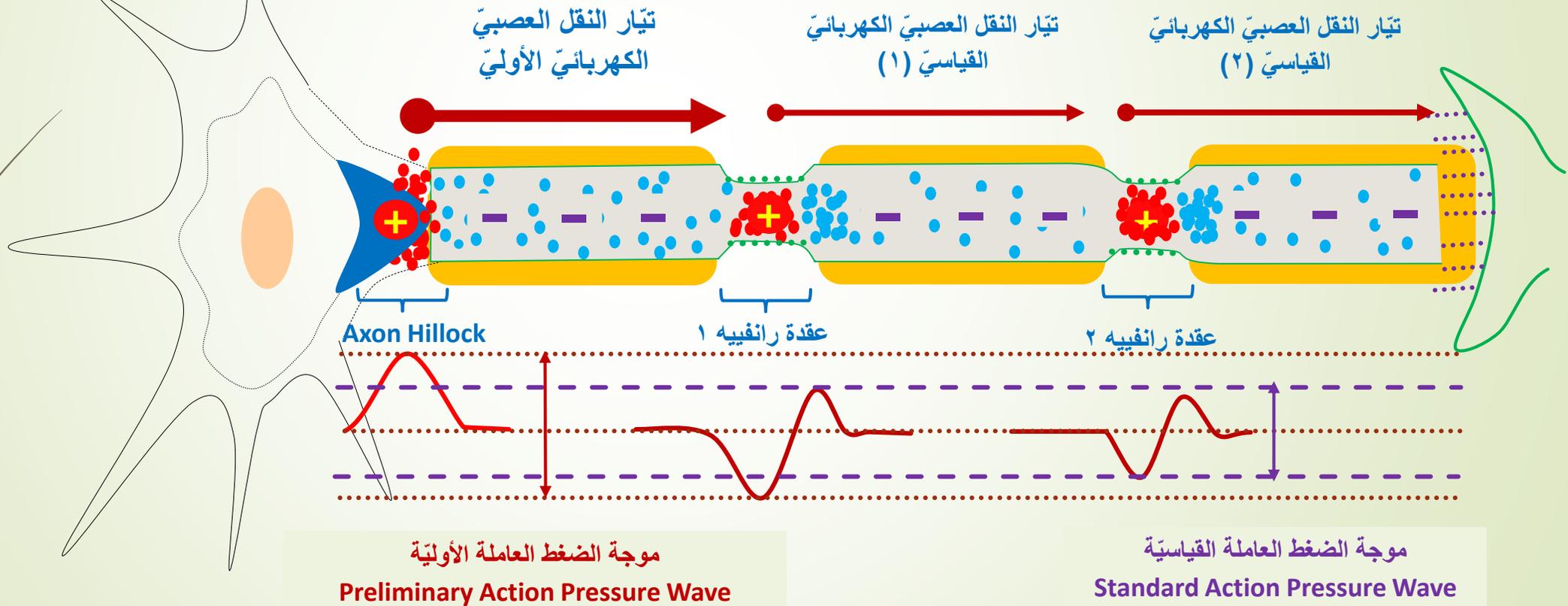
موجة الضغط العاملة القياسية ذات مناسب الـ Parameters أصغر من تلك للموجة العاملة الأولية. في الحقيقة، مرور موجة الضغط العاملة الأولية عبر عقدة رانفليه الأولى هو العامل الحاسم في تبدّل تلك المعايير. تحافظ عقد رانفليه التالية على المعايير القياسية لموجة الضغط



تيار النقل الكهربائي

هو ليس بتيار واحد، بل هو تيارات عديدة متلاحقة

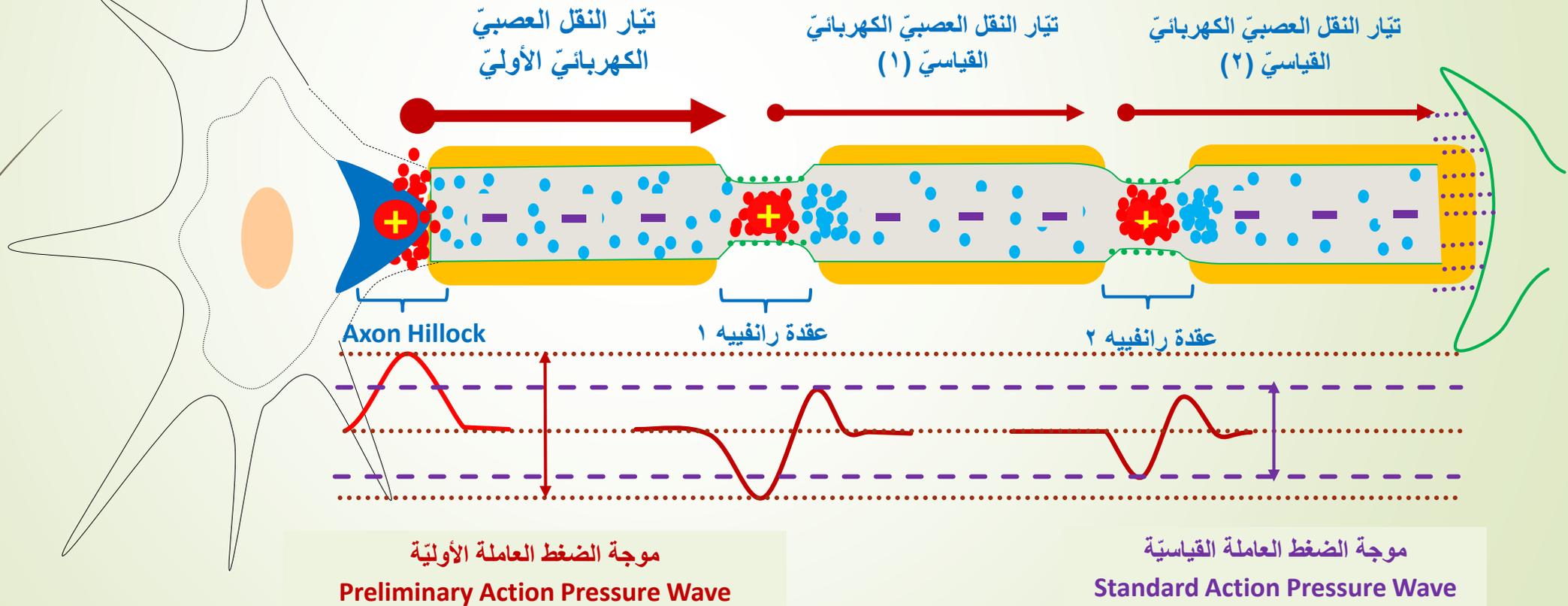
لا يوجد تيار نقل عصبي كهربائي واحد ينتشر على طول الليف العصبي، بل نجد تيارات عديدة متلاحقة. في كل عقدة من عقد رانفييه يتلاشى تيار كهربائي، ويولد آخر مكافئ له في الشدة والجهة والمسار. وكان سابقاً يسلم المشعل للاحق، ومن ثم يختفي



تيار النقل الكهربائي

هو ليس بتيار واحد، بل هو تيارات عديدة متلاحقة

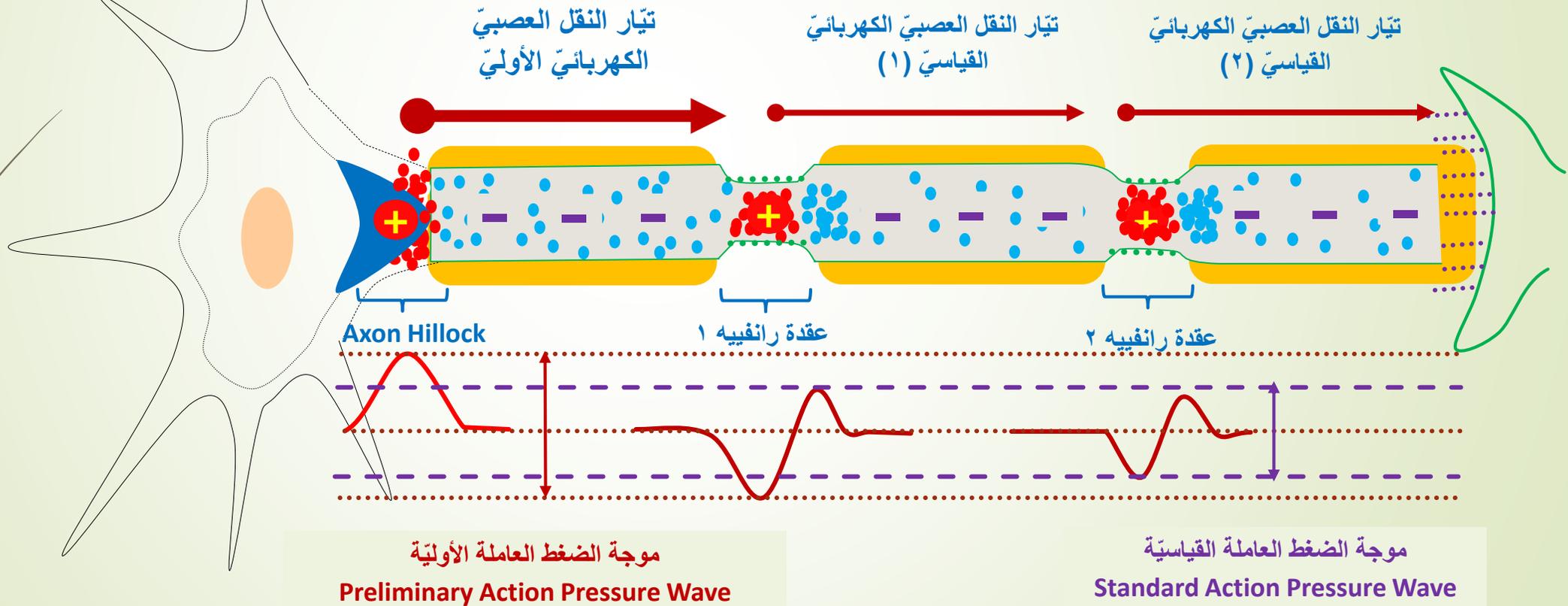
يكون تيار النقل العصبي الكهربائي الأولي الـ Preliminary Electrical Neural Current أكبر شدة من التيارات القياسية. اعتباراً من عقدة رانفييه الأولى، يأخذ التيار الكهربائي قيماً قياسية جديدة.



تيار النقل الكهربائي

هو ليس بتيار واحد، بل هو تيارات عديدة متلاحقة

تيار النقل العصبي الكهربائي القياسي (١) يكافئ التيار (٢)، يكافئ التيار (...). و يكافئ تيار النقل العصبي الكهربائي القياسي (ن). حيث (ن) عقدة رانفييه الأخيرة، أي ما قبل المشبك العصبي.



تيّار النقل الكهربائيّ

وظيفة تيّارات النقل الكهربائيّة

❖ يدفع جزيئات البلازما الخاملة إلى داخل البلازما الفاعلة.
❖ يعدّل شحنة العناصر داخل البلازما سلبية الشحنة فيساعد على تراصها جنباً إلى جنب.
❖ يفكك الأنايب المجهرية إلى عناصرها الأساسية، ويستخدم هذه العناصر في بناء مسار موجة الضغط العاملة.

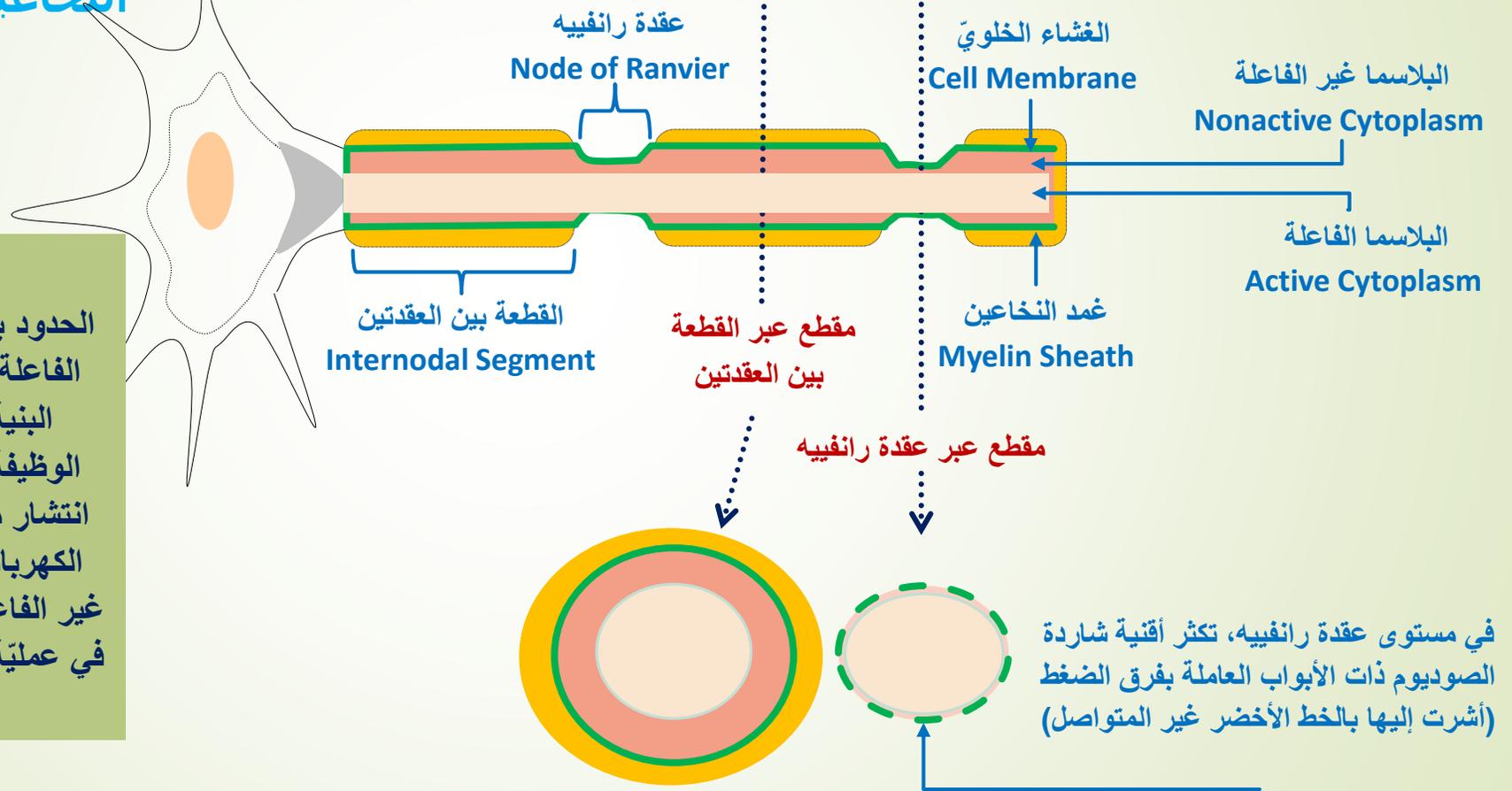
- يُولد تيار النقل العصبيّ الكهربائيّ من رحم موجة الضغط العاملة.
- بين قطب موجب مُحدث خلف موجة الضغط العاملة، وقطب سالب غريزيّ أمامها، ينطلق تيار النقل الكهربائيّ.
- يتقدّم تيار النقل الكهربائيّ موجة الضغط العاملة، فسرعة انتشار الكهرباء أكبر من سرعة انتشار موجات الضغط.
- يعمل تيار النقل الكهربائيّ على تسريع انتشار موجة الضغط العاملة، وعلى منع الضياعات في طاقتها. وذلك باليتين:

✓ يزيد من كثافة الـ Density وسط انتشار موجة الضغط العاملة (تخصّ الألياف النخاعية وغير النخاعية على حدّ سواء):

✓ يغلق مساريب الطاقة على طول الغشاء الخلويّ للّيف العصبيّ (تخصّ الألياف العصبية غير النخاعية تحديداً).

تيار النقل الكهربائي

مفهوما البلاسما الفاعلة والبلاسما غير الفاعلة (يخصان الألياف العصبية النخاعية)



ملاحظة هامة

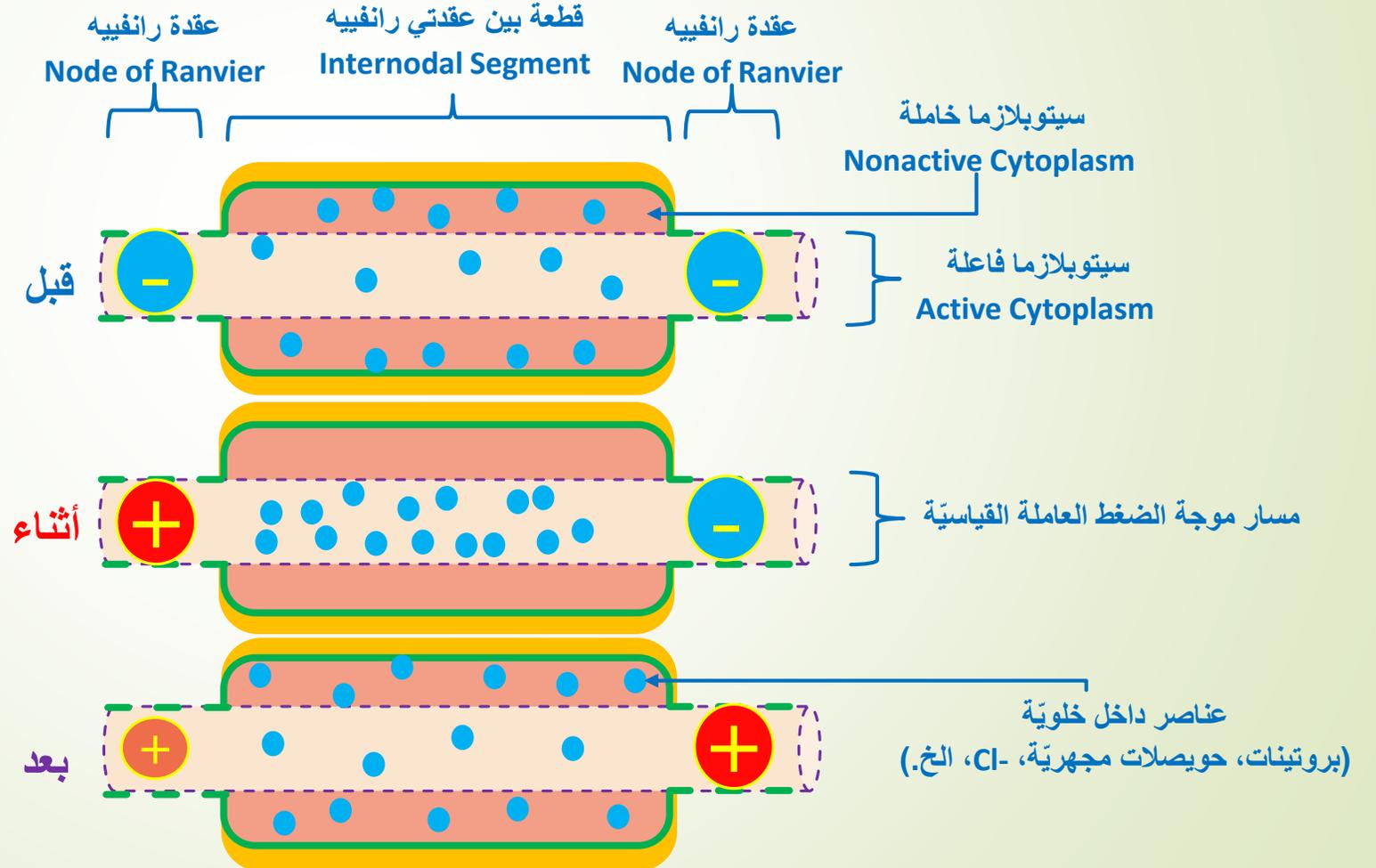
الحدود بين قسيمي البلاسما الفاعلة وغير الفاعلة وهمي لا وجود له في الحقيقة. البنية واحدة لكن الاختلاف هو في الوظيفة. البلاسما الفاعلة، تشكل وسط انتشار موجة الضغط العاملة وتيار النقل الكهربائي على السواء. بينما، البلاسما غير الفاعلة، تحيط بالأولى دون أن تشارك في عملية النقل العصبي بصورة مباشرة.

تيّار النقل الكهربائيّ

يدفع عناصر البلاسما الخاملة إلى داخل البلاسما الفاعلة

أثناء مروره عبر القطعة بين عقدتي رانفييه، يعمل التيّار الكهربائيّ على دفع جزيئات المادة في البلاسما الخاملة باتجاه البلاسما الفاعلة. تزداد بذلك كثافة البلاسما الفاعلة، أي تزداد كثافة وسط انتشار موجة الضغط العاملة. ولهذا تأثيره الواضح المسرّع لموجة الضغط العاملة القادمة حالاً.

بعد مرور التيّار الكهربائيّ عبر القطعة بين عقدتي رانفييه، تكون القطبية الموجبة (الشحنة الموجبة) في عقدة رانفييه الأولى أضعف من القطبية الموجبة في عقدة رانفييه التالية، حيث معظم شوارد الصوديوم الموجبة تكون قد غادرت لمعة عقدة رانفييه الأولى باتجاه الخارج. ما تبقى من شاردة الصوديوم سيغادر اللمعة عمّا قريب. معلنة انقلاب القطبية باتجاه السلبية.

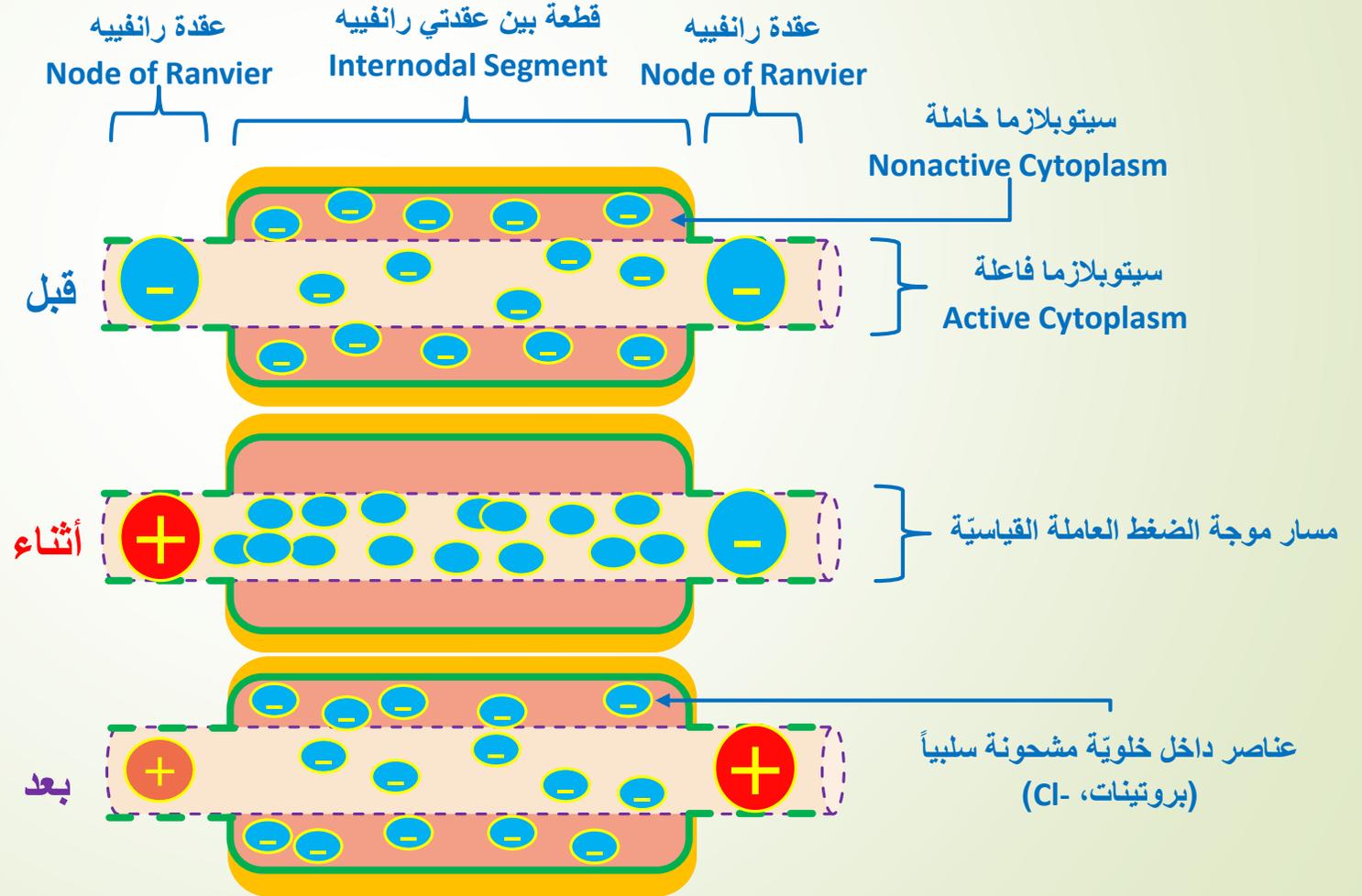


تيار النقل الكهربائي

يعدّل الشحنة السالبة للعناصر داخل الخلية فيساعد على جمعها داخل البلازما الفاعلة

أثناء مروره عبر القطعة بين عقدتي رانفييه، يعمل التيار الكهربائي على زيادة تركيز المادة في وسط انتشار موجة الضغط العاملة. فهو يعمل على تعديل شحنة العناصر سلبية الشحنة المألثة لبلازما الليف العصبيّ فيخفّف التنافر فيما بينها ويعمل على رصّها جنباً إلى جنب. تزداد بذلك كثافة البلازما في وسط الانتشار ولهذا تأثيره الواضح المسرّع لانتشار لموجة الضغط العاملة.

بعد مرور التيار الكهربائيّ عبر القطعة بين عقدتي رانفييه، تكون القطبية الموجبة (الشحنة الموجبة) في عقدة رانفييه الأولى أضعف من القطبية الموجبة في عقدة رانفييه التالية، حيث معظم شوارد الصوديوم الموجبة تكون قد غادرت لمعة عقدة رانفييه الأولى باتجاه الخارج. ما تبقى من شاردة الصوديوم سيغادر اللمعة عمّا قريب. معلنة انقلاب القطبية باتجاه السلبية.

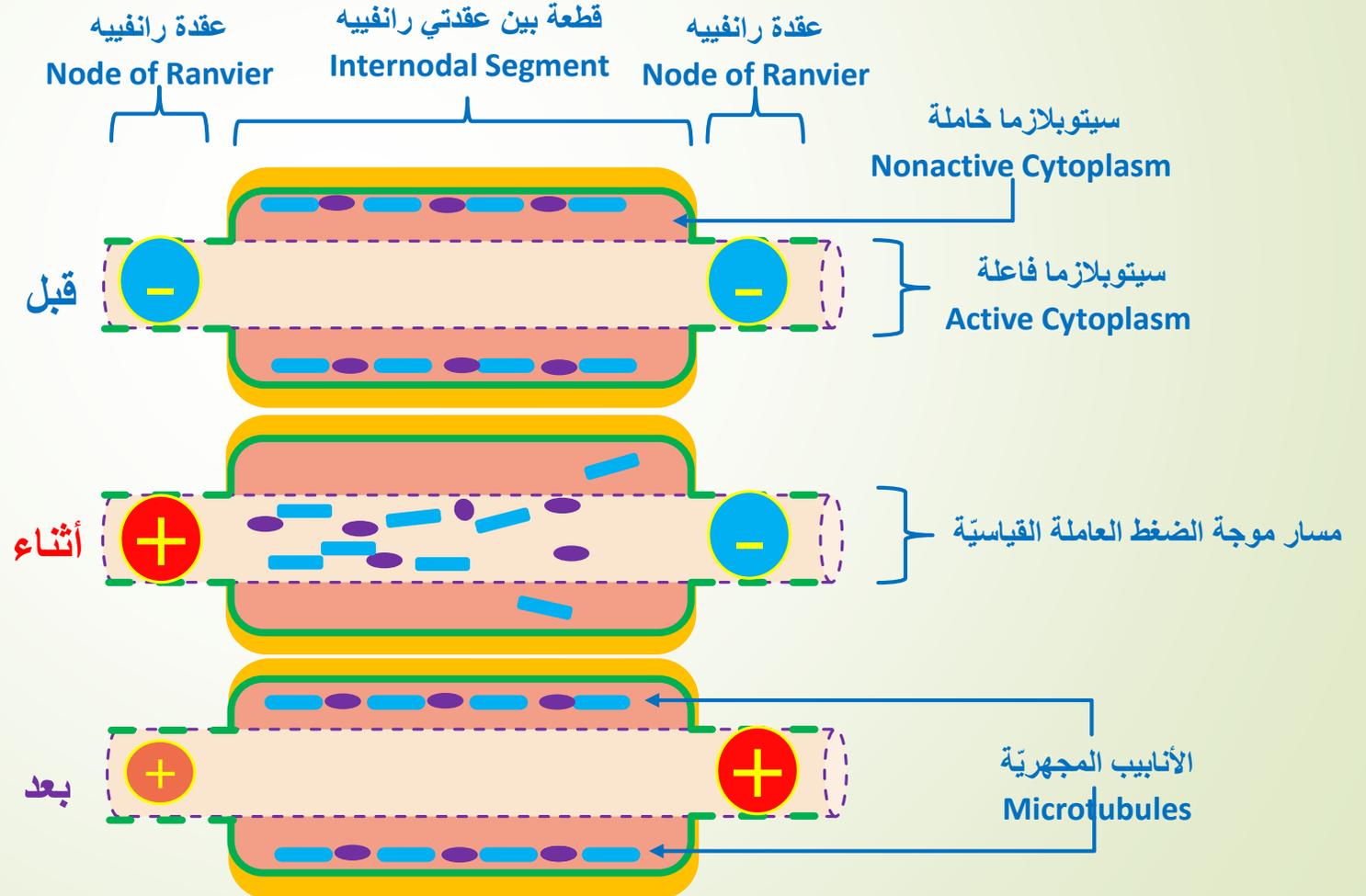


تيّار النقل الكهربائيّ

يفكّ الأنابيب المجهرية إلى عناصرها الأساسية

أثناء مروره عبر القطعة بين عقدتي رانفييه، يعمل التيّار الكهربائيّ على تفكيك الأنابيب المجهرية وعلى دمج عناصرها في البلازما الفاعلة. تزداد بذلك كثافة البلازما الفاعلة، أي تزداد كثافة وسط انتشار موجة الضغط العاملة. ولهذا تأثيره الواضح المسرّع لموجة الضغط العاملة القادمة حالاً.

بعد مرور التيّار الكهربائيّ عبر القطعة بين عقدتي رانفييه، تكون القطبية الموجبة (الشحنة الموجبة) في عقدة رانفييه الأولى أضعف من القطبية الموجبة في عقدة رانفييه التالية، حيث معظم شوارد الصوديوم الموجبة تكون قد غادرت لمعة عقدة رانفييه الأولى باتجاه الخارج. ما تبقى من شاردة الصوديوم سيغادر اللمعة عمّا قريب. معلنة انقلاب القطبية باتجاه السلبية.



تيار النقل الكهربائي

وظيفة تيارات النقل الكهربائيّة

تكثر أفضية التسريب لشاردتي الصوديوم والبوتاسيوم على طول الغشاء الخلوي للليف العصبي. فحركة الشوارد بين داخل وخارج الليف العصبي مستمرة. لكن تتوقع زيادة معدّل هروب عناصر البلازما إلى خارج الليف العصبي عند وصول مقدمة الموجة العاملة ذات الضغط المرتفع. مما يعني نقصاً في كثافة وسط انتشار الموجة وتراجعاً في سرعة انتشارها بالضرورة. في الألياف النخاعينيّة، يسدّ غمد النخاعيني الكتيم هذه المسارب أصلاً ودون الحاجة إلى تيار النقل الكهربائي.

- يُولد تيار النقل العصبيّ الكهربائيّ من رحم موجة الضغط العاملة.
- بين قطب موجب مُحدث خلف موجة الضغط العاملة، وقطب سالب غريزيّ أمامها، ينطلق تيار النقل الكهربائيّ.
- يتقدّم تيار النقل الكهربائيّ موجة الضغط العاملة، فسرعة انتشار الكهرباء أكبر من سرعة انتشار موجات الضغط.
- يعمل تيار النقل الكهربائيّ على تسريع انتشار موجة الضغط العاملة، وعلى منع الضياعات في طاقتها. وذلك باليتين:

✓ يزيد من كثافة الـ Density وسط انتشار موجة الضغط العاملة (تخصّ الألياف النخاعينيّة وغير النخاعينيّة على حدّ سواء).

✓ يغلّق مسارب الطاقة على طول الغشاء الخلويّ للليف العصبيّ (تخصّ الألياف العصبيّة غير النخاعينيّة تحديداً):

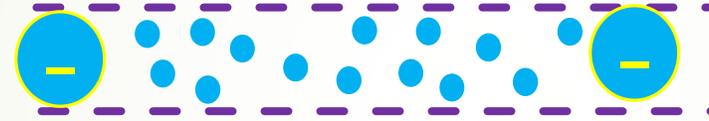
تيار النقل الكهربائي

وظيفة تيارات النقل الكهربائية في الألياف غير النخاعية تحديداً

في الألياف العصبية النخاعية، يلعب غمد النخاع دوراً مشابهاً

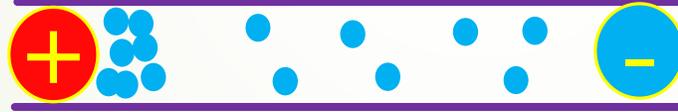
الغشاء الخلوي غير كقيم لكثرة اقنية التسريب فيه

قبل



الغشاء الخلوي أصبح كتيماً

أثناء



الغشاء الخلوي عاد غير كقيم لكثرة اقنية التسريب فيه

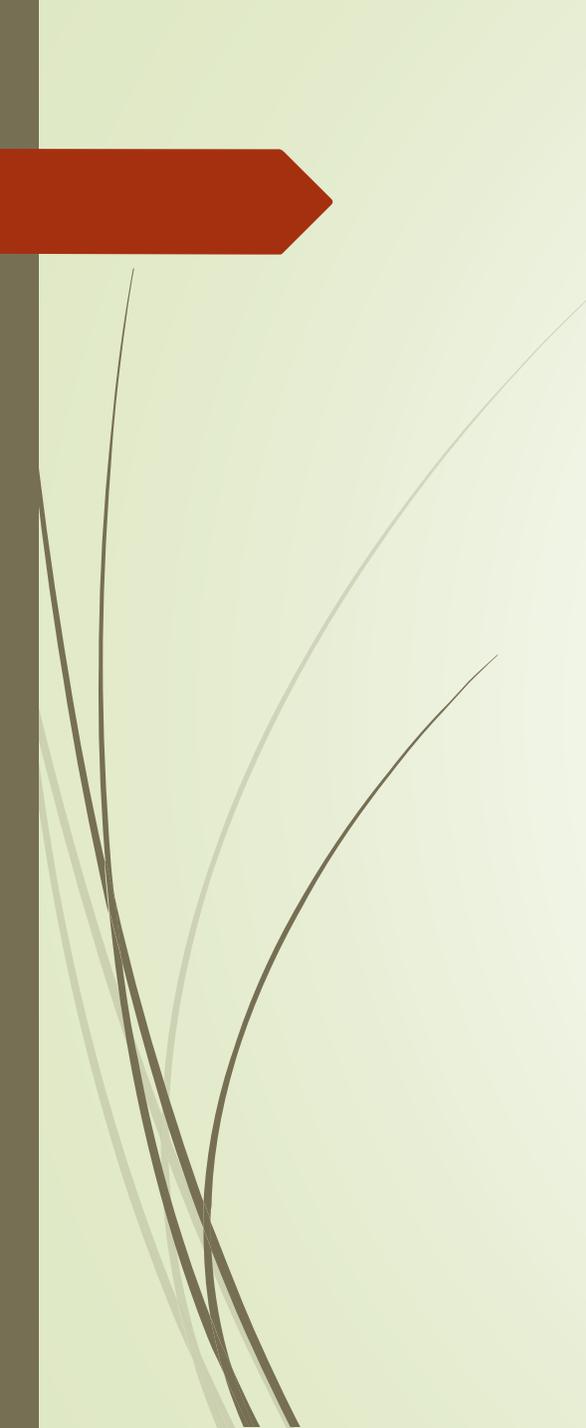
بعد



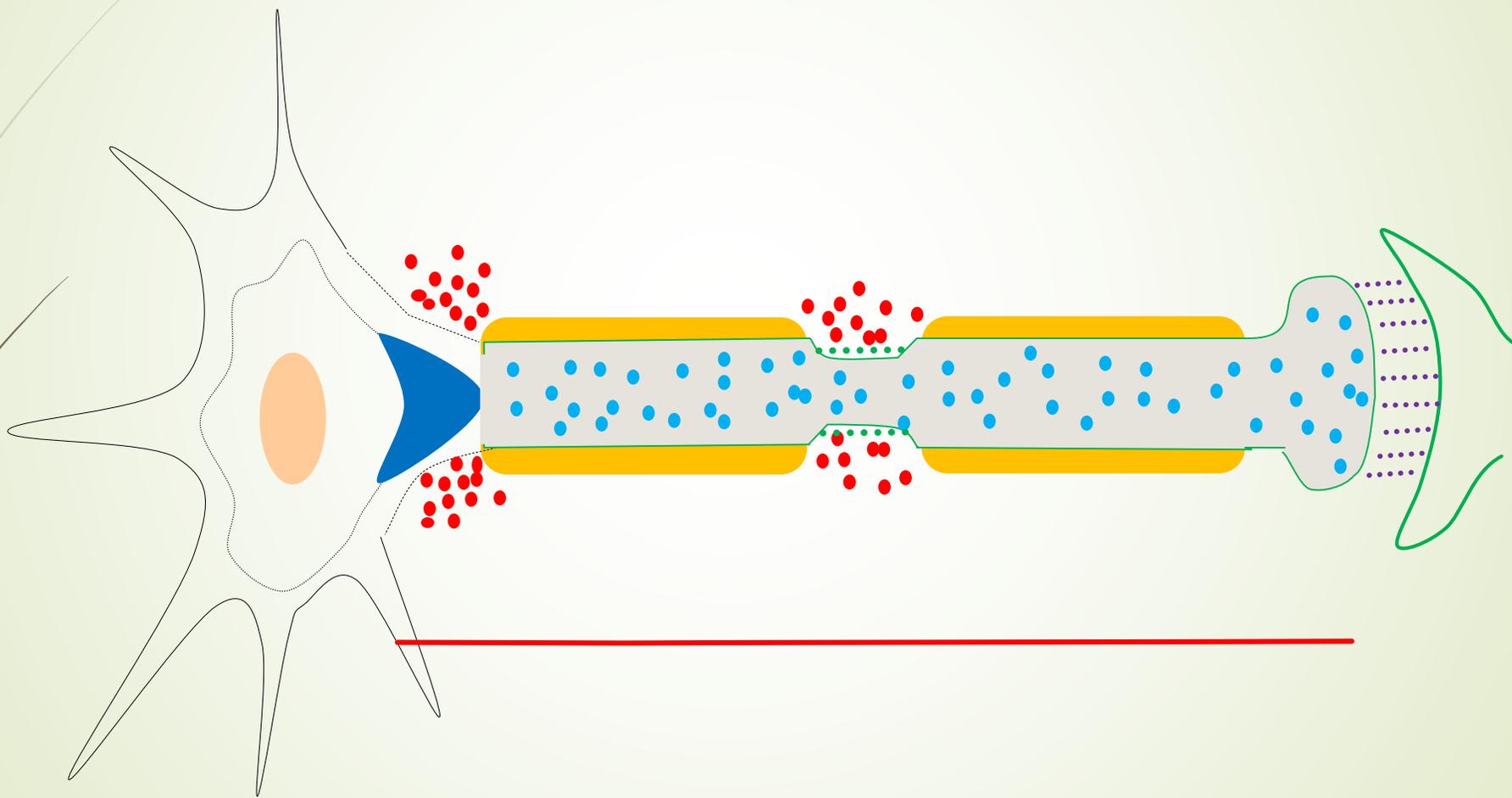
اتجاه النقل
العصبي

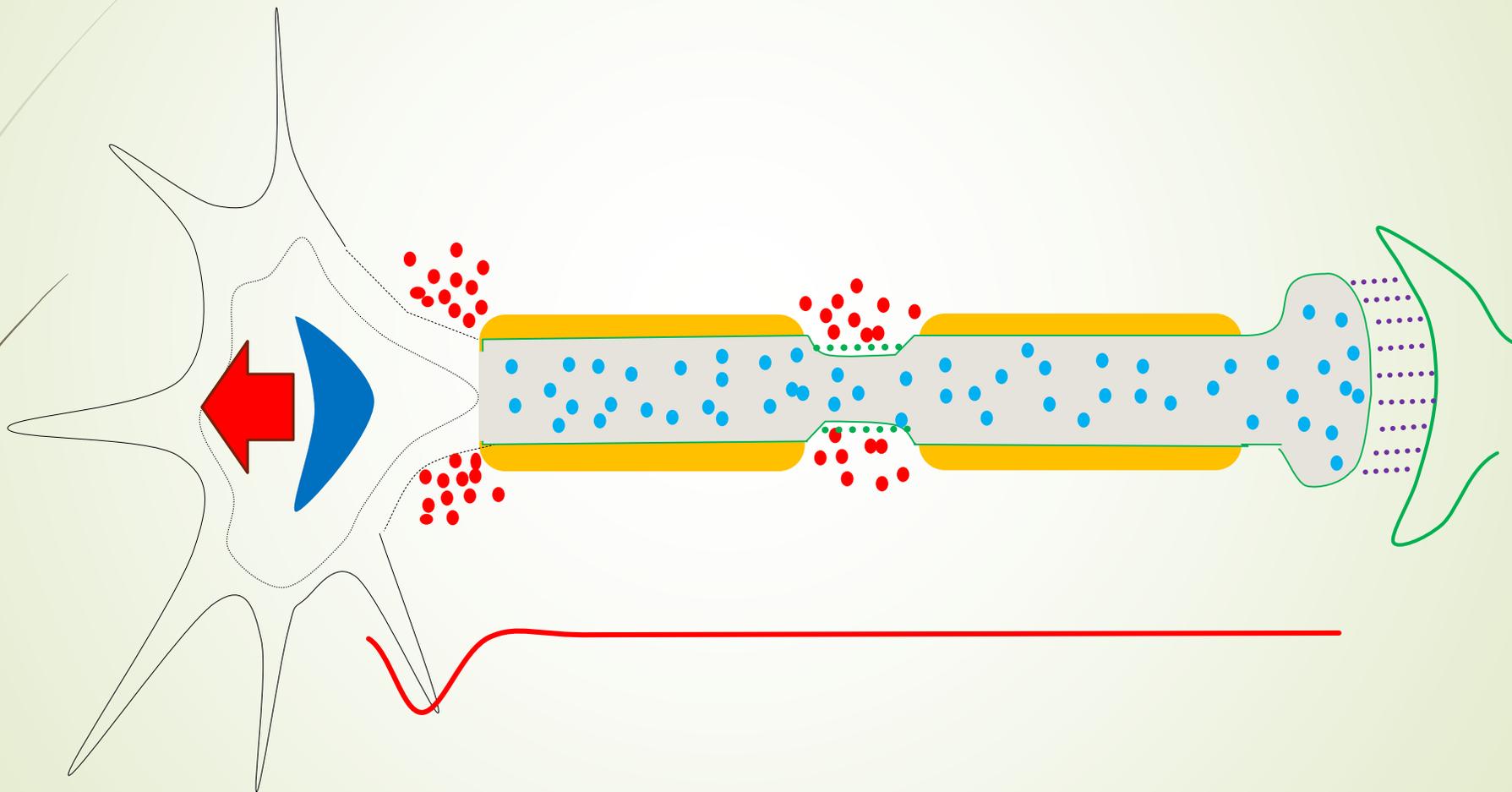
يعمل التيار الكهربائي على إغلاق قنوات التسريب المنتشرة على طول الغشاء الخلوي. لذلك، وعند مرور موجة الضغط العاملة، تُحتبس جزيئات المادة داخل البلازما، كما تُجبر على المشاركة في نقل طاقة الموجة.

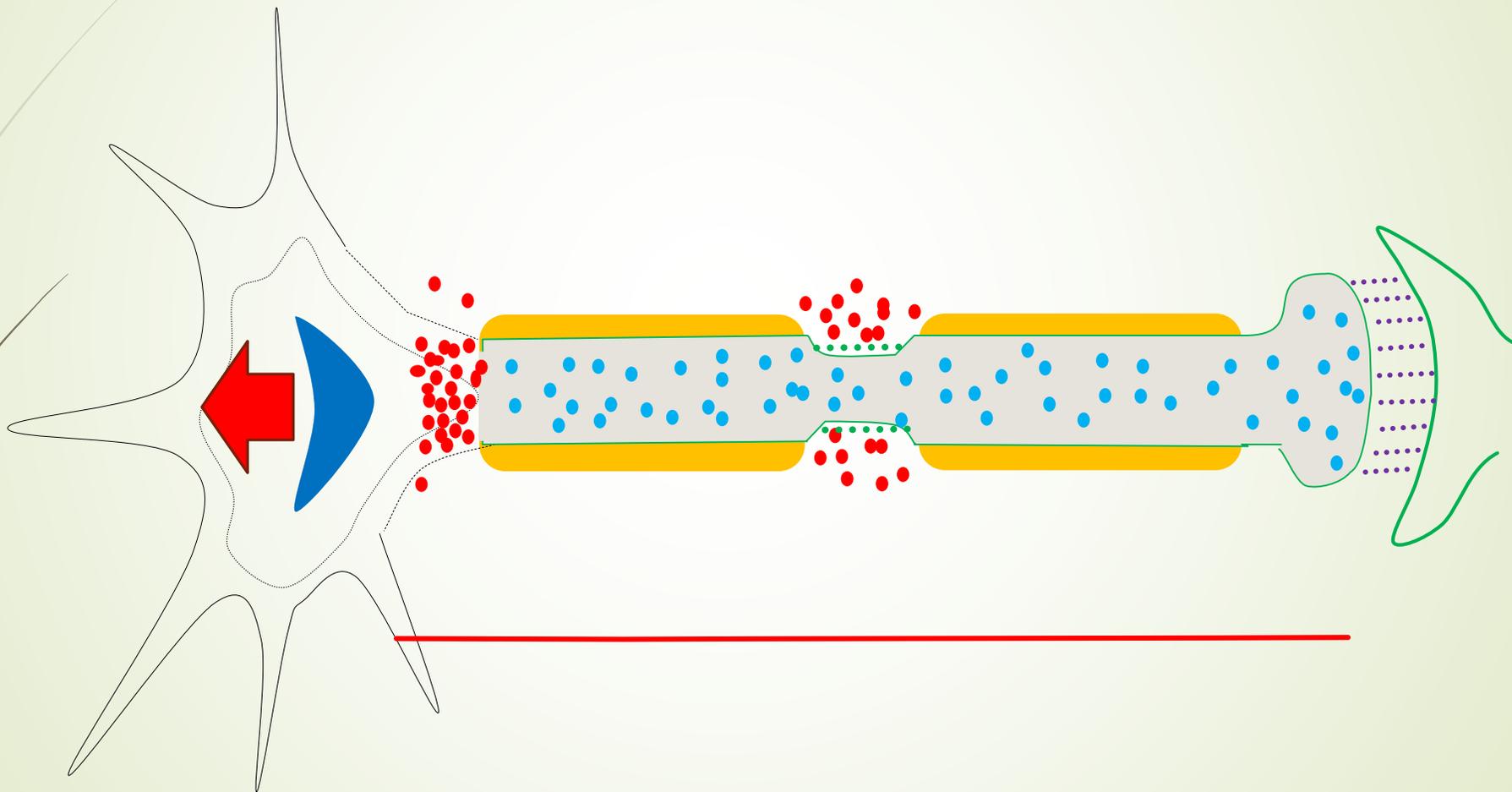
في غياب ذلك، تهرب جزيئات المادة إلى خارج الليف العصبي تحت تأثير مقدمة الموجة مرتفعة الضغط، فتخسر البلازما قسماً من مادتها كما تخسر موجة الضغط العاملة بعضاً من نواقلها. والنتيجة، ضياعات مهمة في طاقة الموجة.

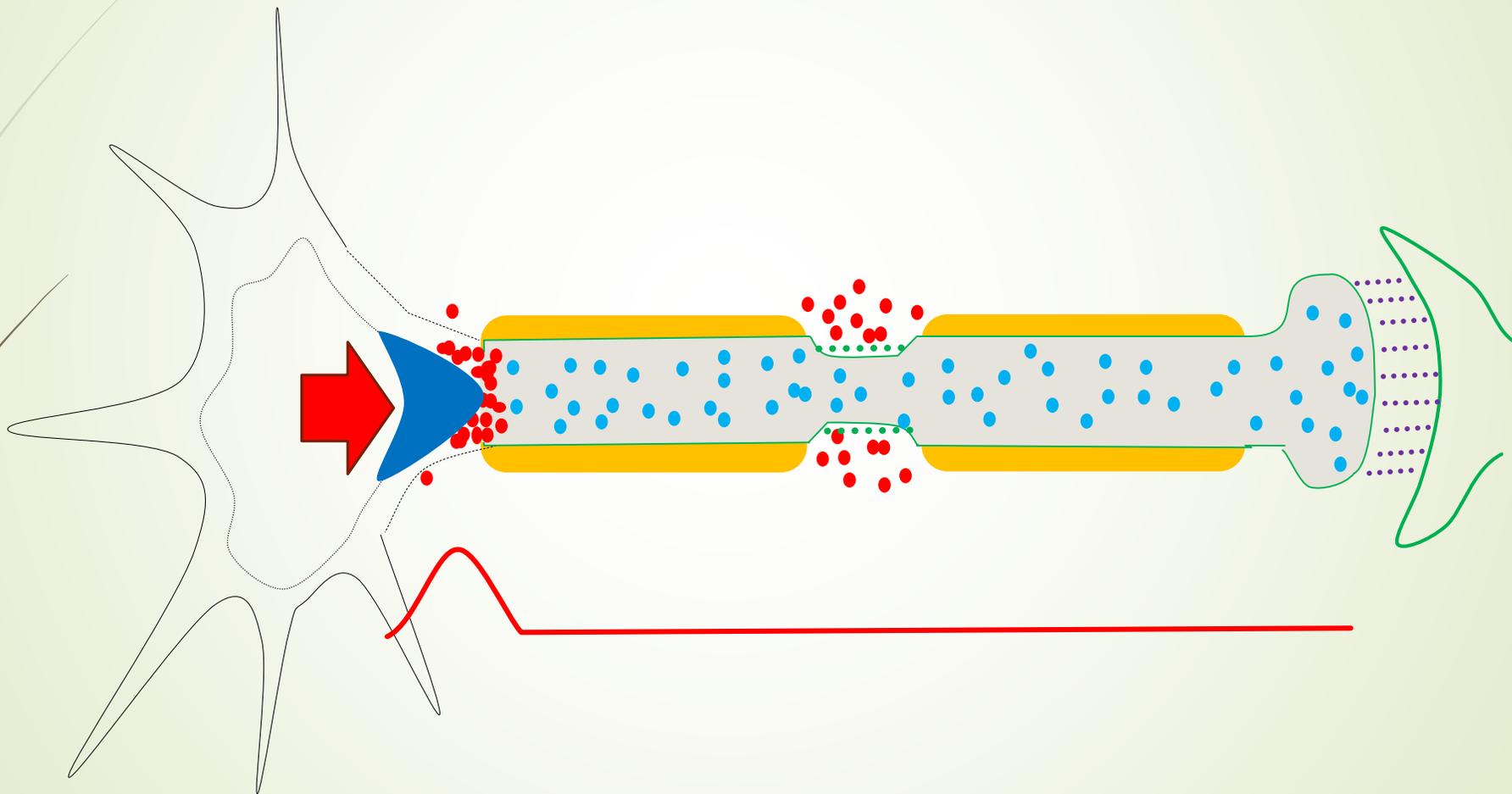


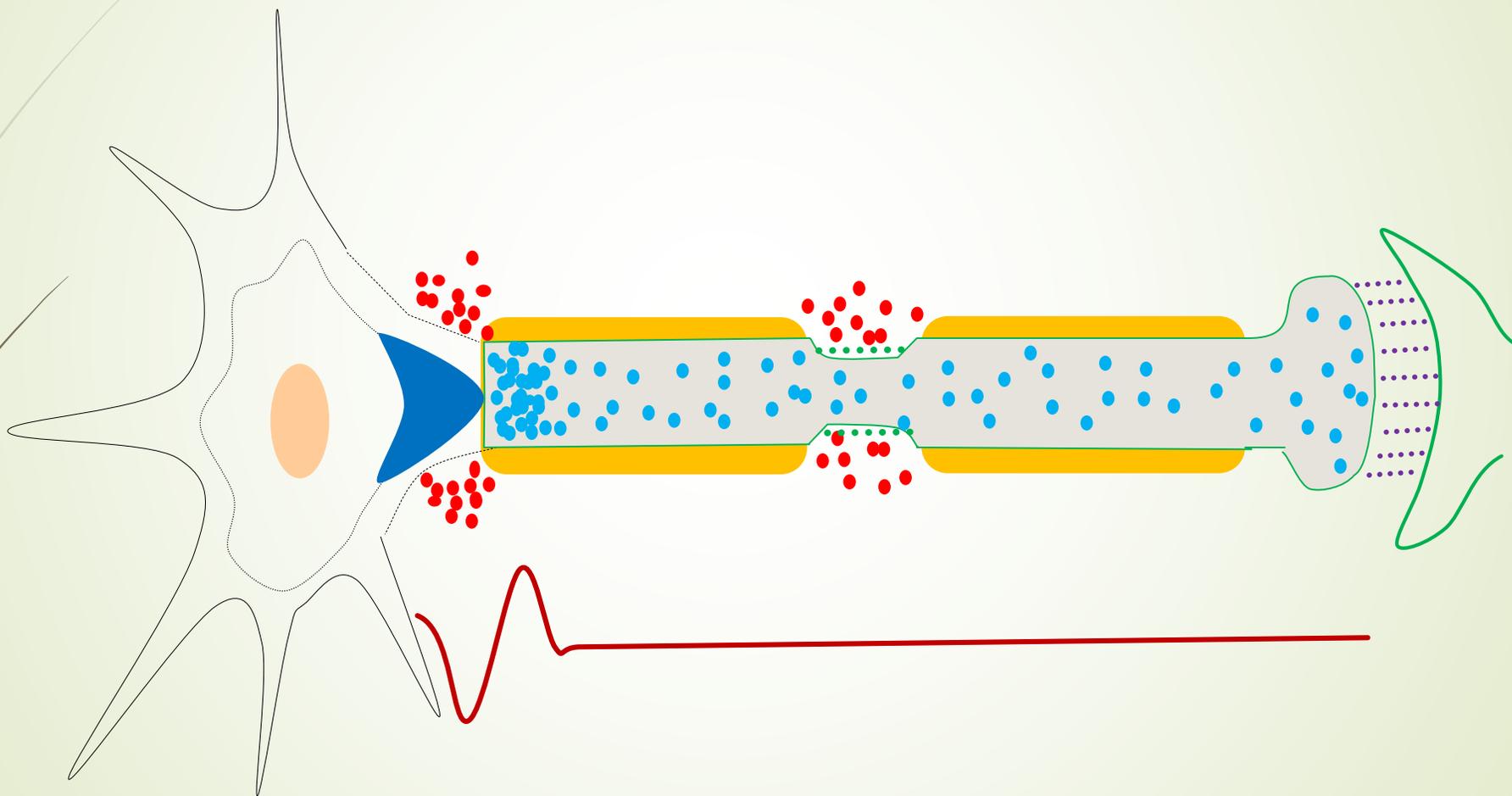
مشاهدة حركة مستمرة
لآلية النقل العصبي
عبر الليف العصبي النخاعي

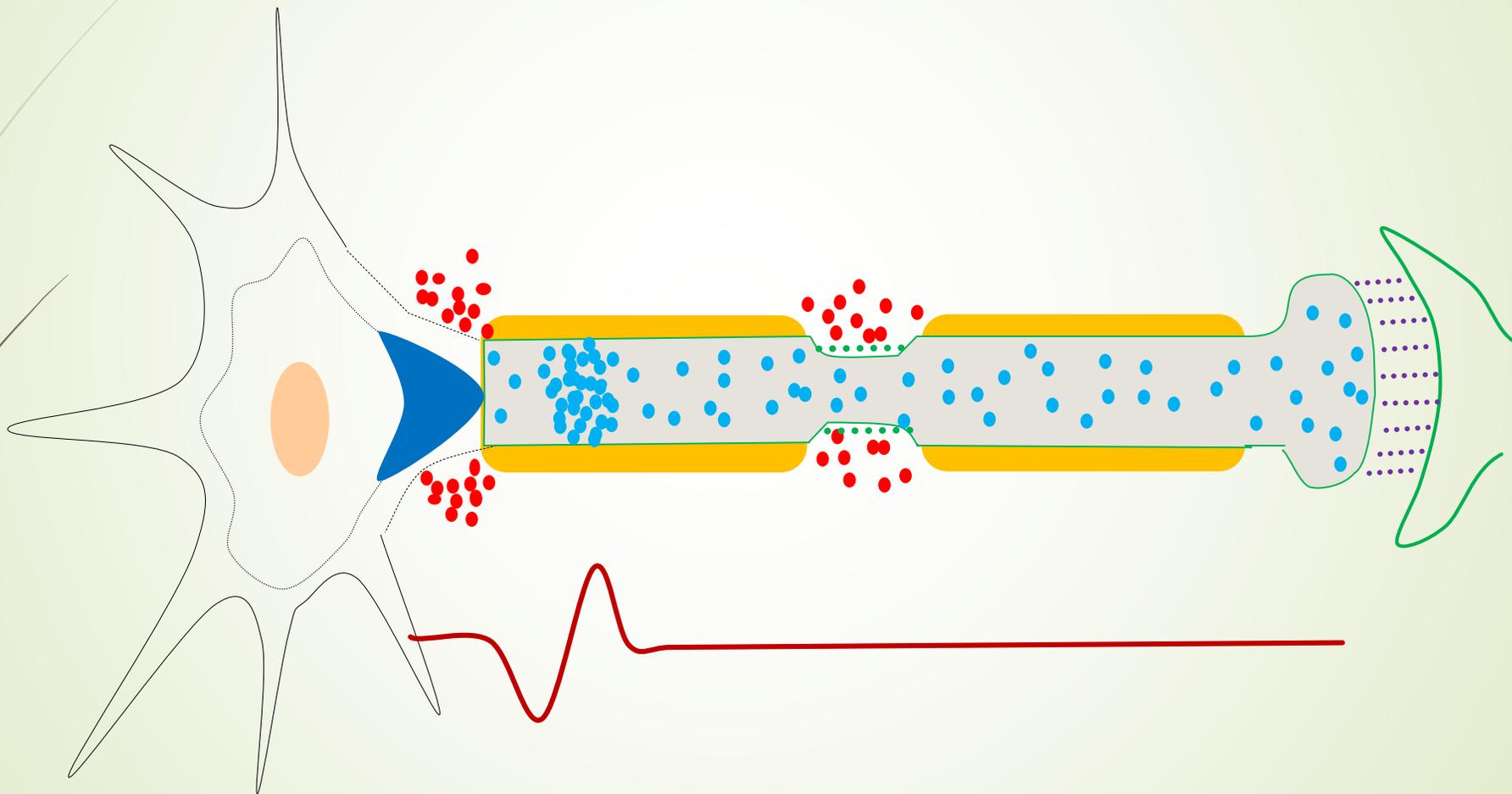


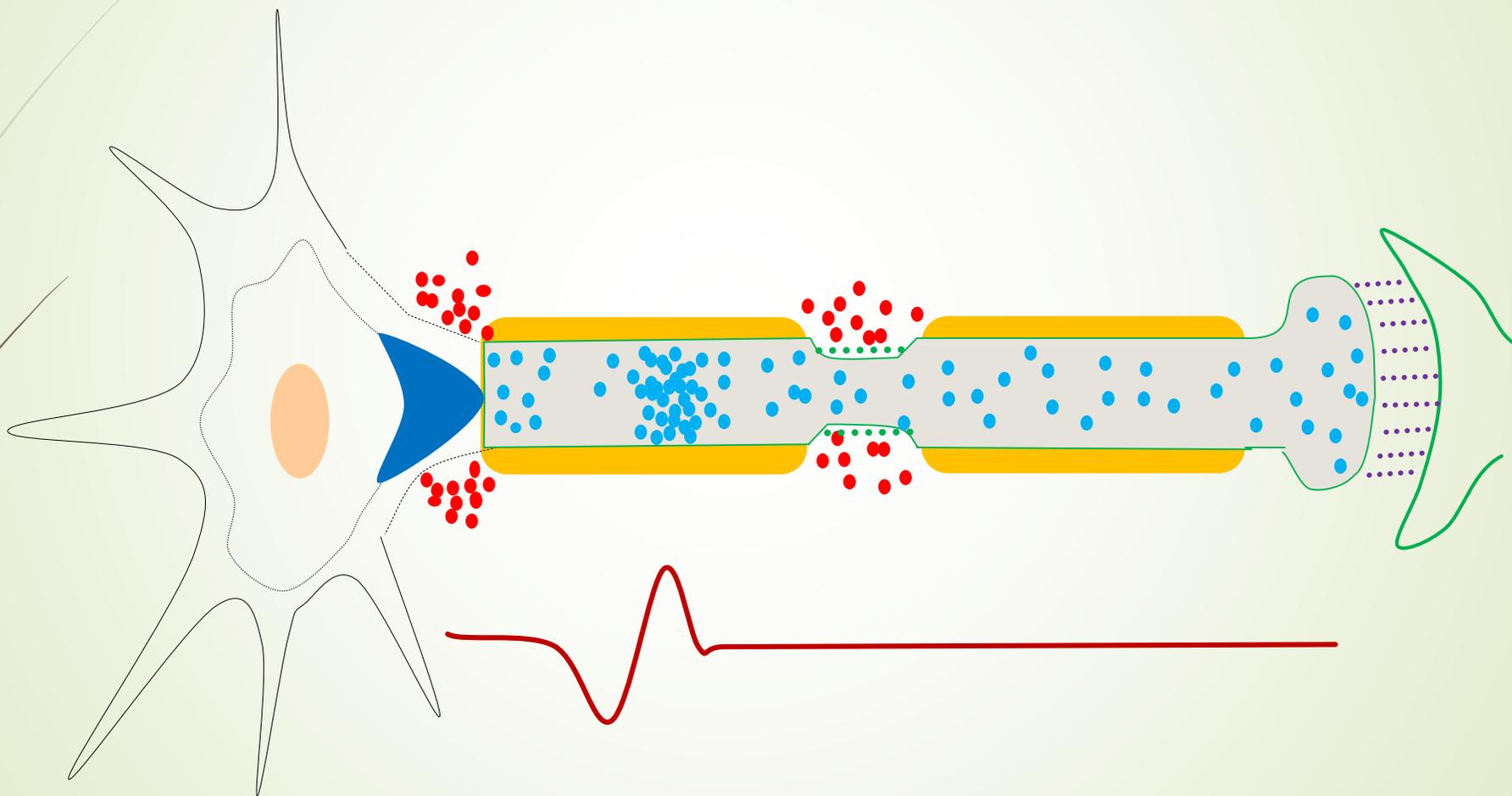


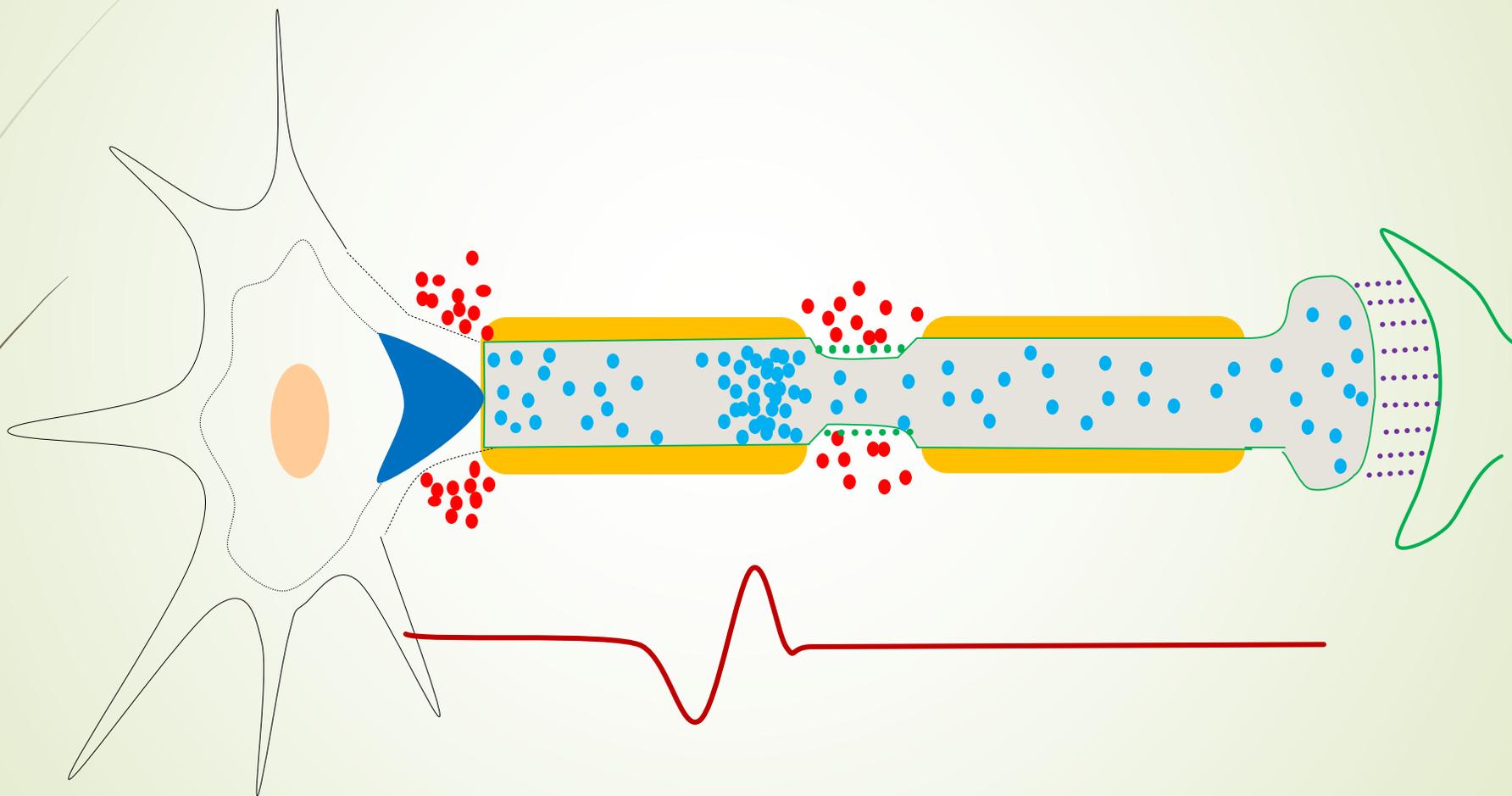


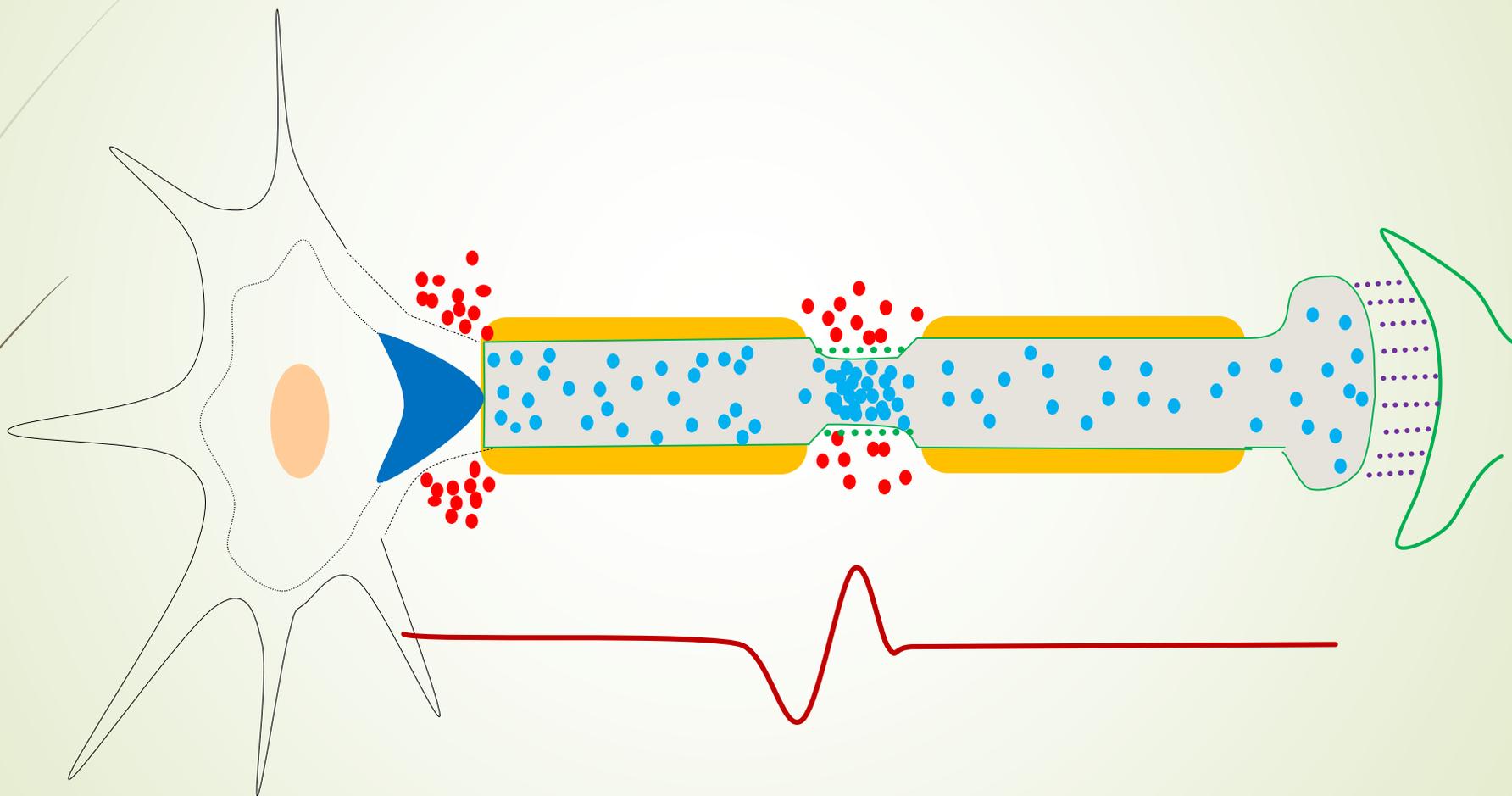


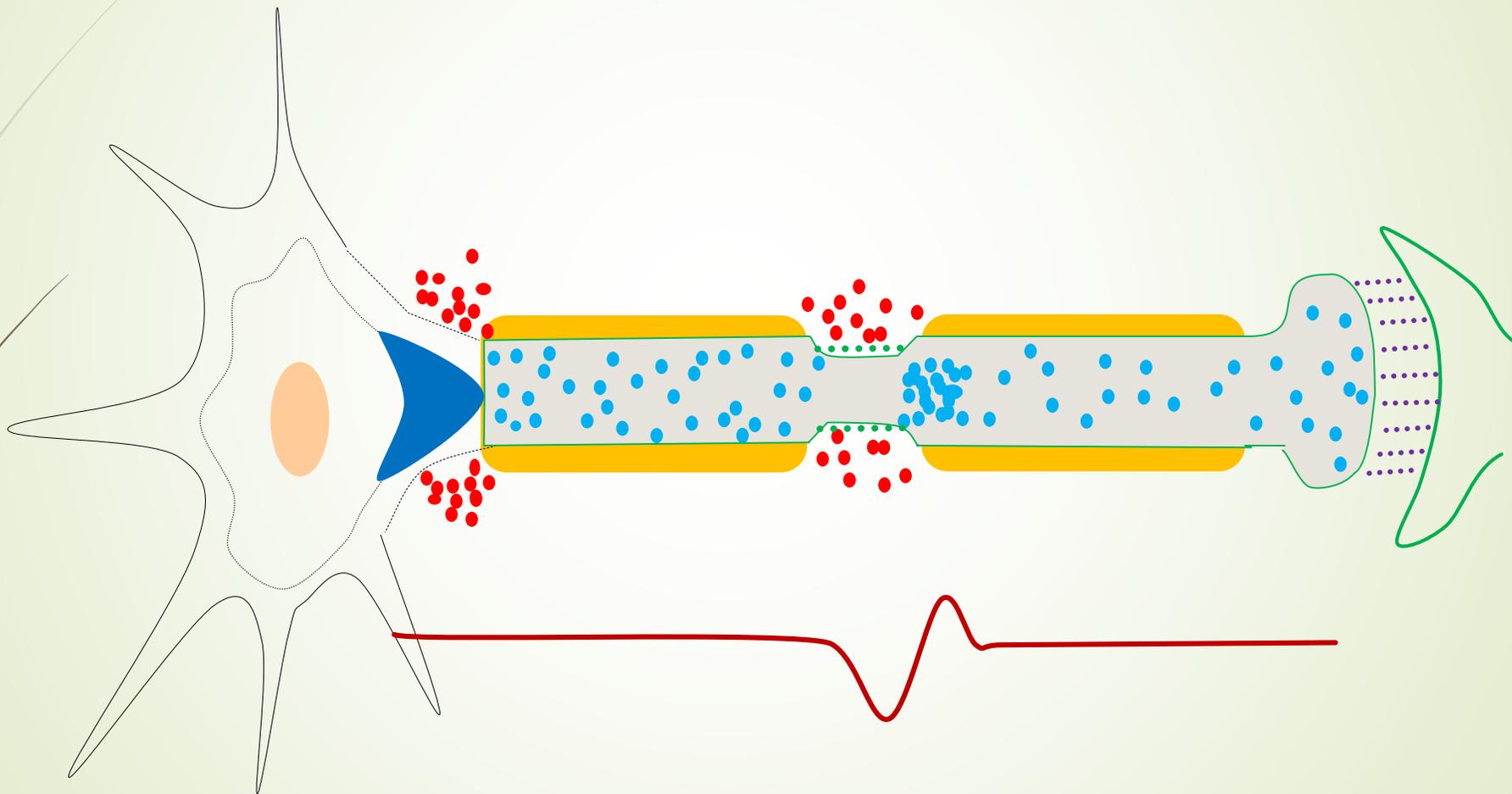


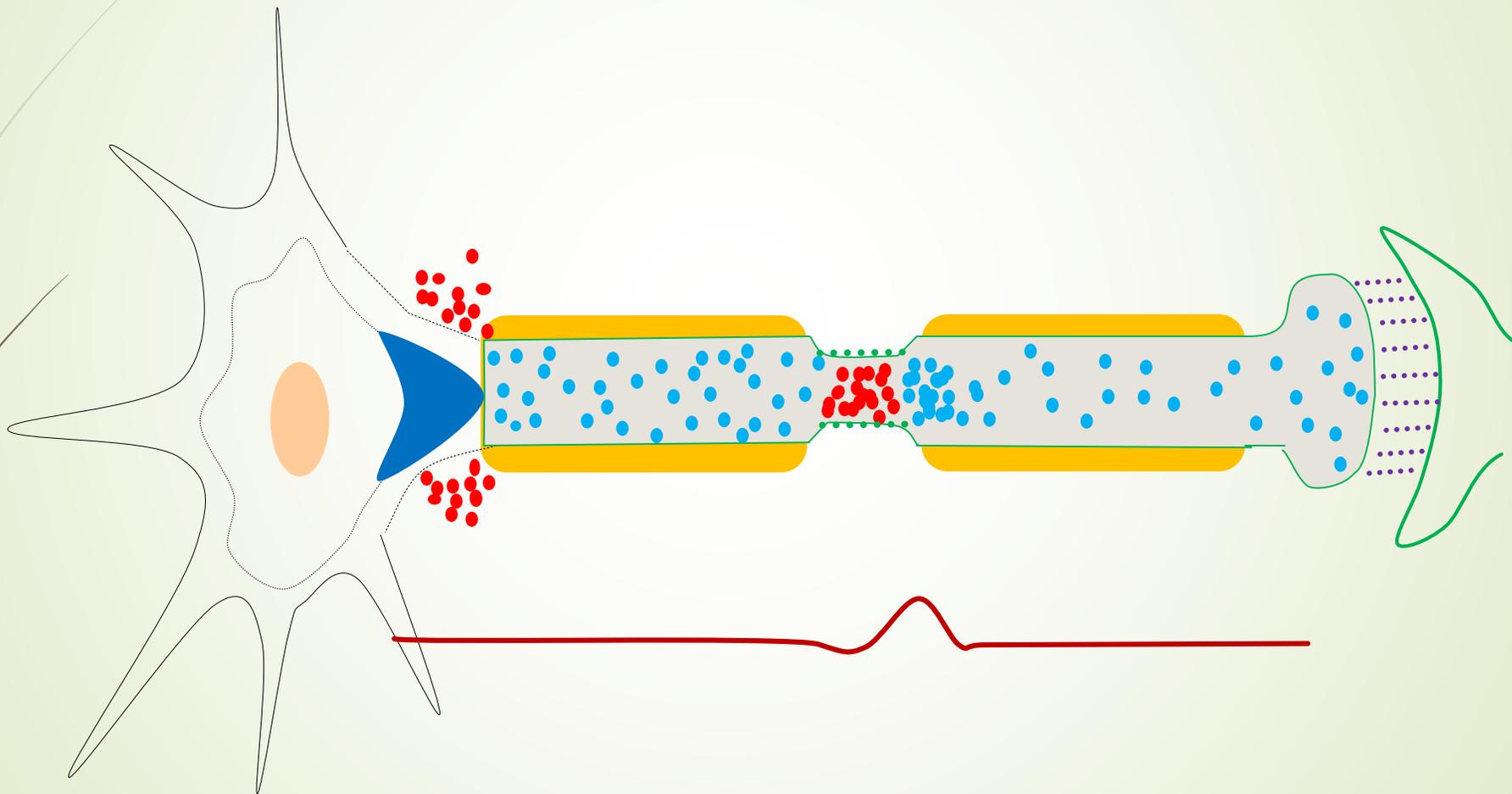


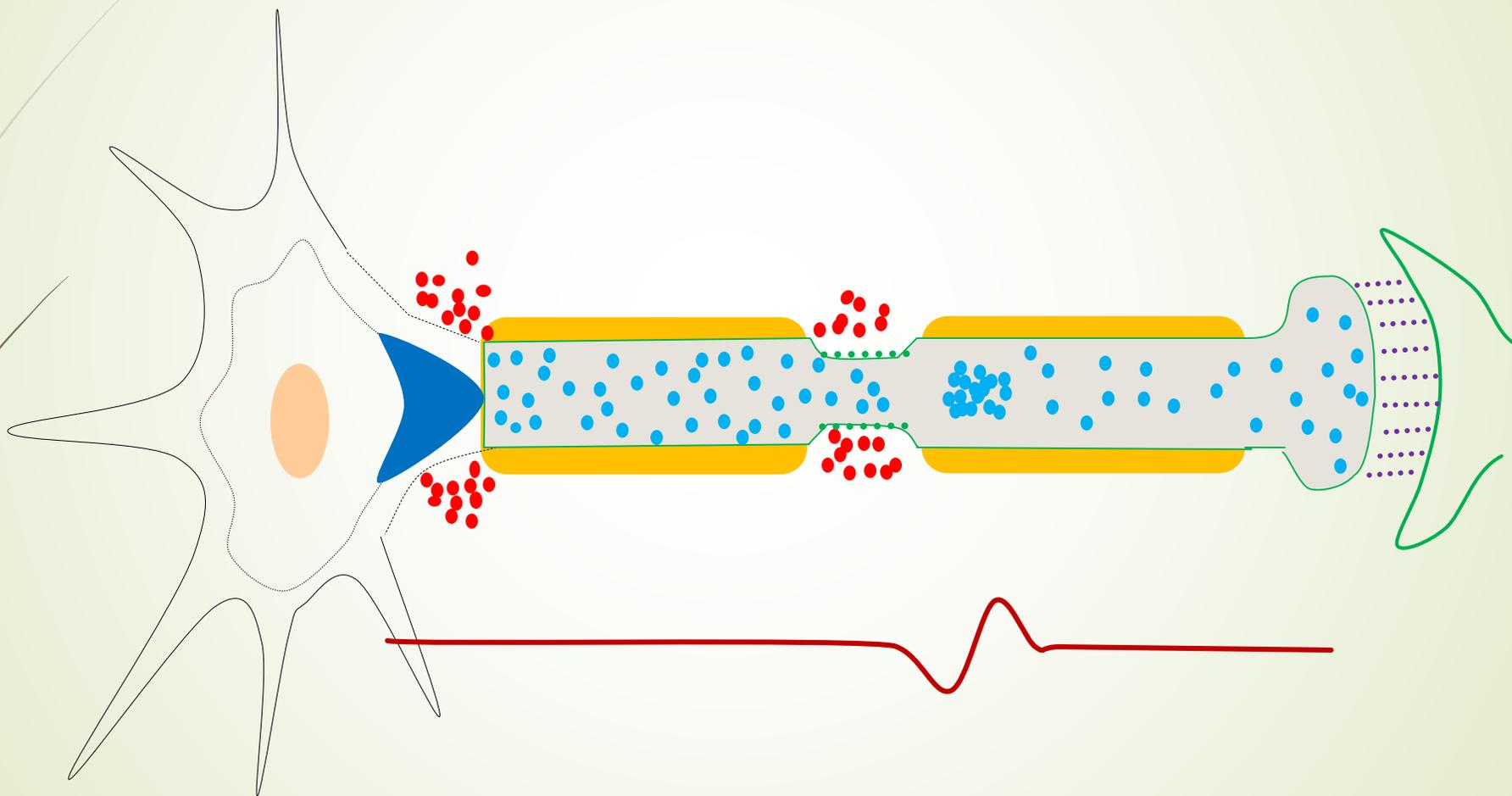


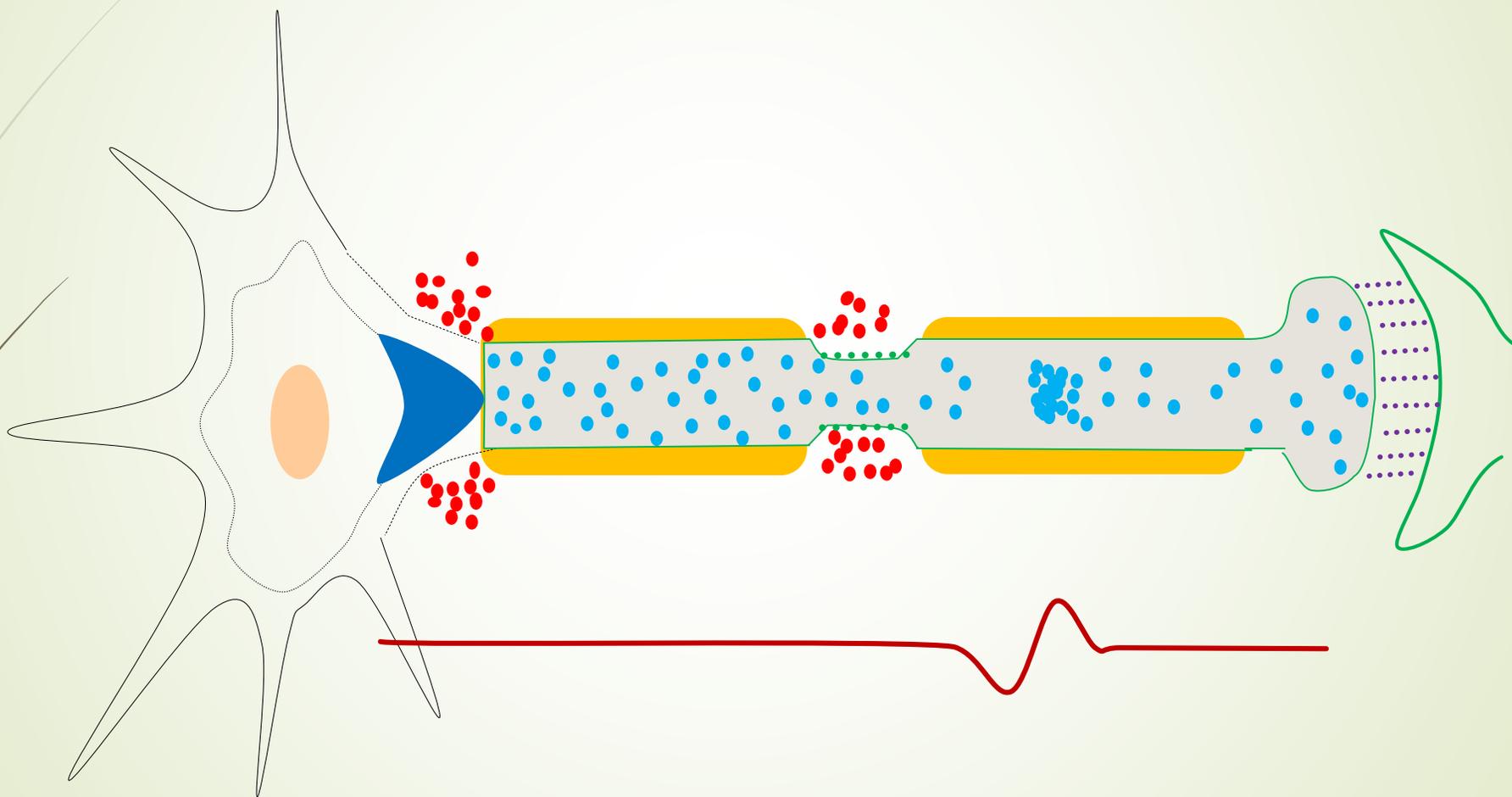


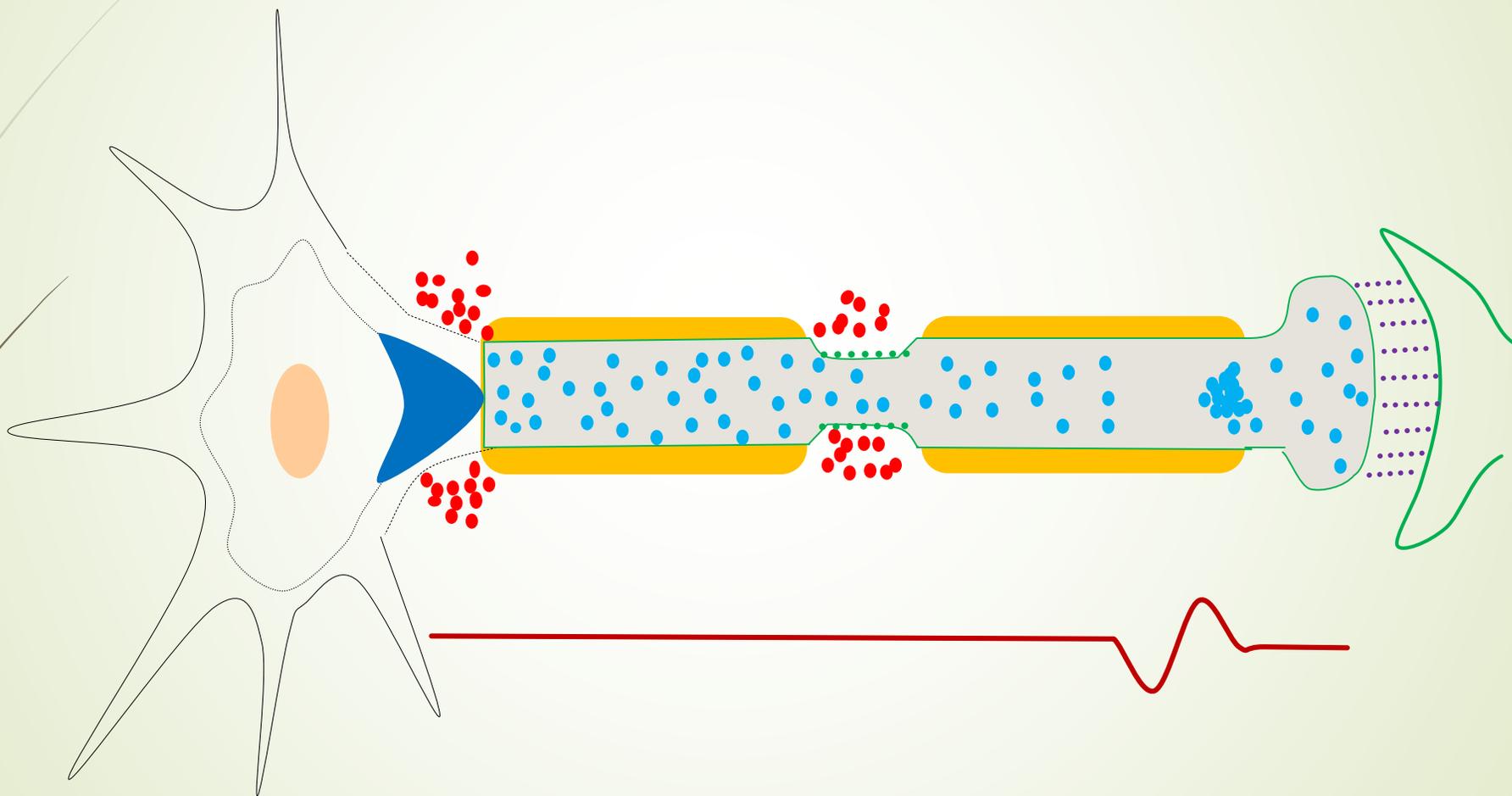


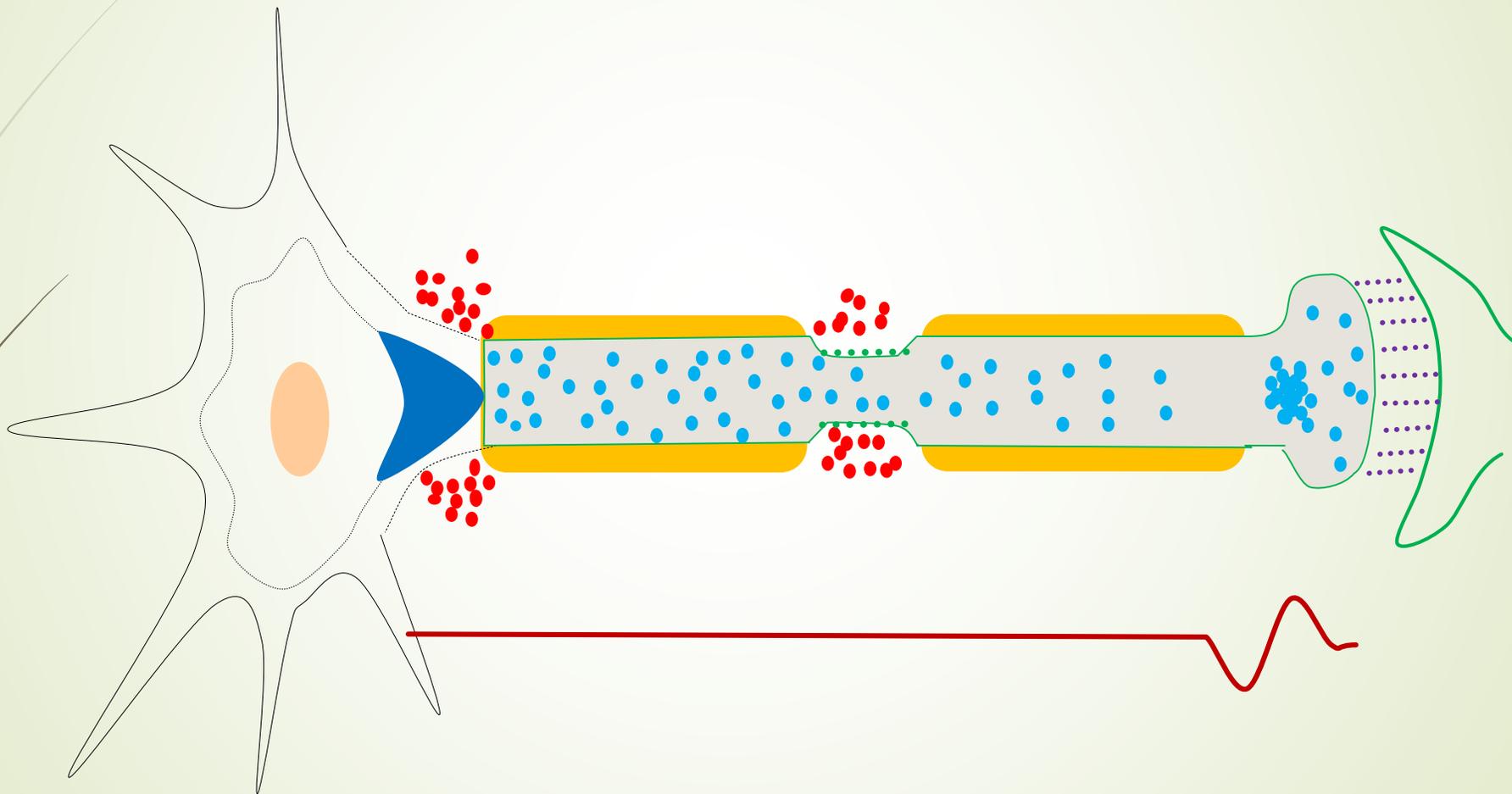


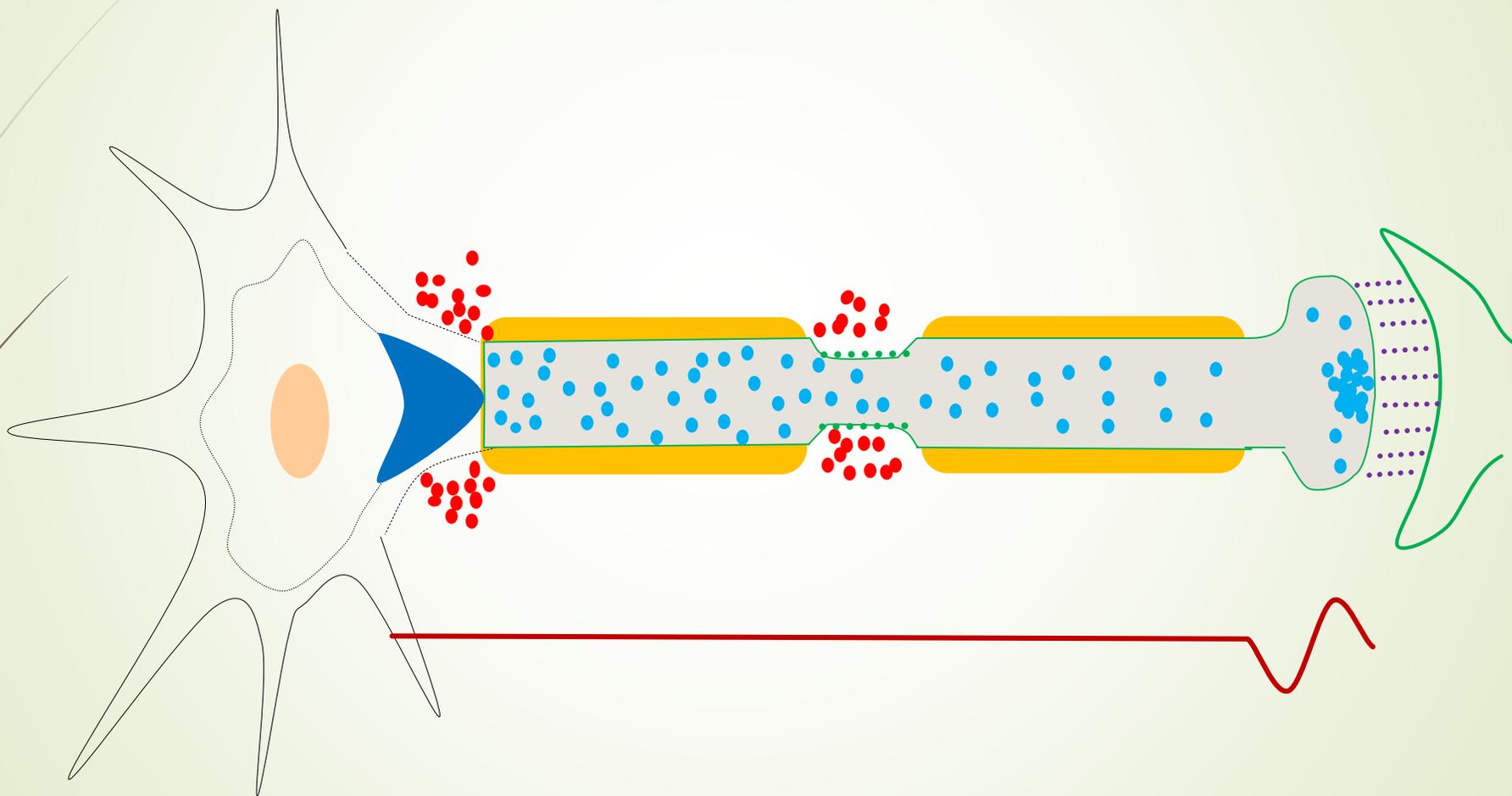












في ذات السياق

أنصح بقراءة

- [النقل العصبيّ، بين مفهوم قاصر وحديد حاضر](#)
[The Neural Conduction.. Personal View vs. International View](#)
- [المستقبلات الحسّية، عبقرية الخلق وجمال المخلوق](#)
[The Sensory Receptors, The Genius of Creation and the Beauty of Creature](#)
- [النقل في المشابك العصبية](#)
[The Neural Conduction in the Synapses](#)
- [عقدة رانفييه، ضابطة الإيقاع](#)
[The Node of Ranvier, The Equalizer](#)
- [عرض مصوّر لدور عقدة رانفييه كضابط إيقاع في النقل العصبيّ](#)
[Node of Ranvier, The Equalizer \(PowerPoint\)](#)
- [في فقه الأعصاب، الألم أولاً](#)
[The Pain is First](#)
- [في فقه الأعصاب، الشكل.. الضرورة](#)
[The Philosophy of Form](#)
- [تخطيط الأعصاب الكهربائي، بين الحقيقي والموهوم](#)
[The Spinal Shock \(Innovated Conception\)](#)
- [الصدمة النخاعية \(مفهوم جديد\)](#)
[The Spinal Shock \(Innovated Conception\)](#)
- [أذيات النخاع الشوكي، الأعراض والعلامات السريرية، بحث في آليات الحدوث](#)
[The Spinal Injury, The Symptomatology](#)
- [التنكس الفاليريبي، مهاجم المحاور العصبية الحركية للعصب المحيطي.. ويعفّ عن محاوره الحسّية](#)
[Wallerian Degeneration, Attacks the Motor Axons of Injured Nerve and Conserves its Sensory Axons](#)

شكراً لكم