

أذية الأعصاب المحيطية الرضية

Traumatic Peripheral Nerves Injury

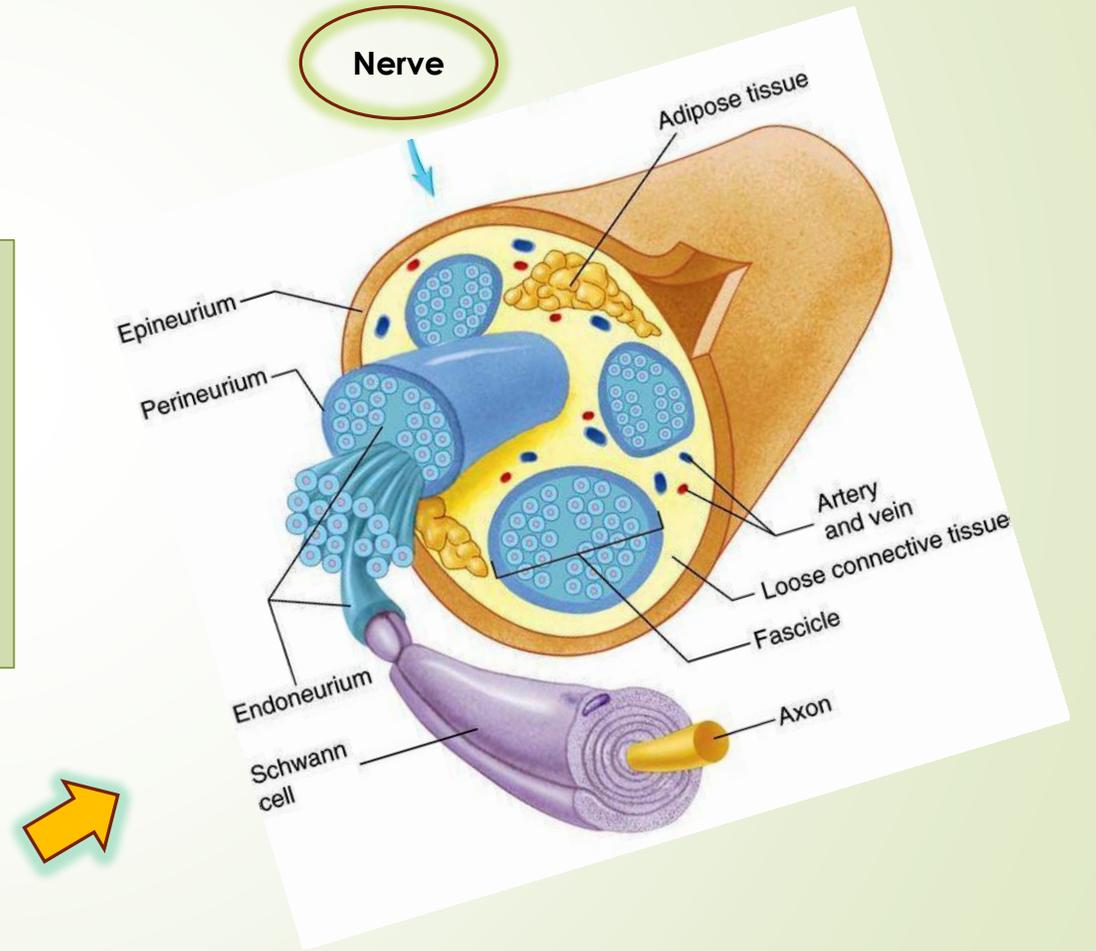
د. عمّار ياسين منصور

AMMAR YASEEN MANSOUR

العصب المحيطي^٣

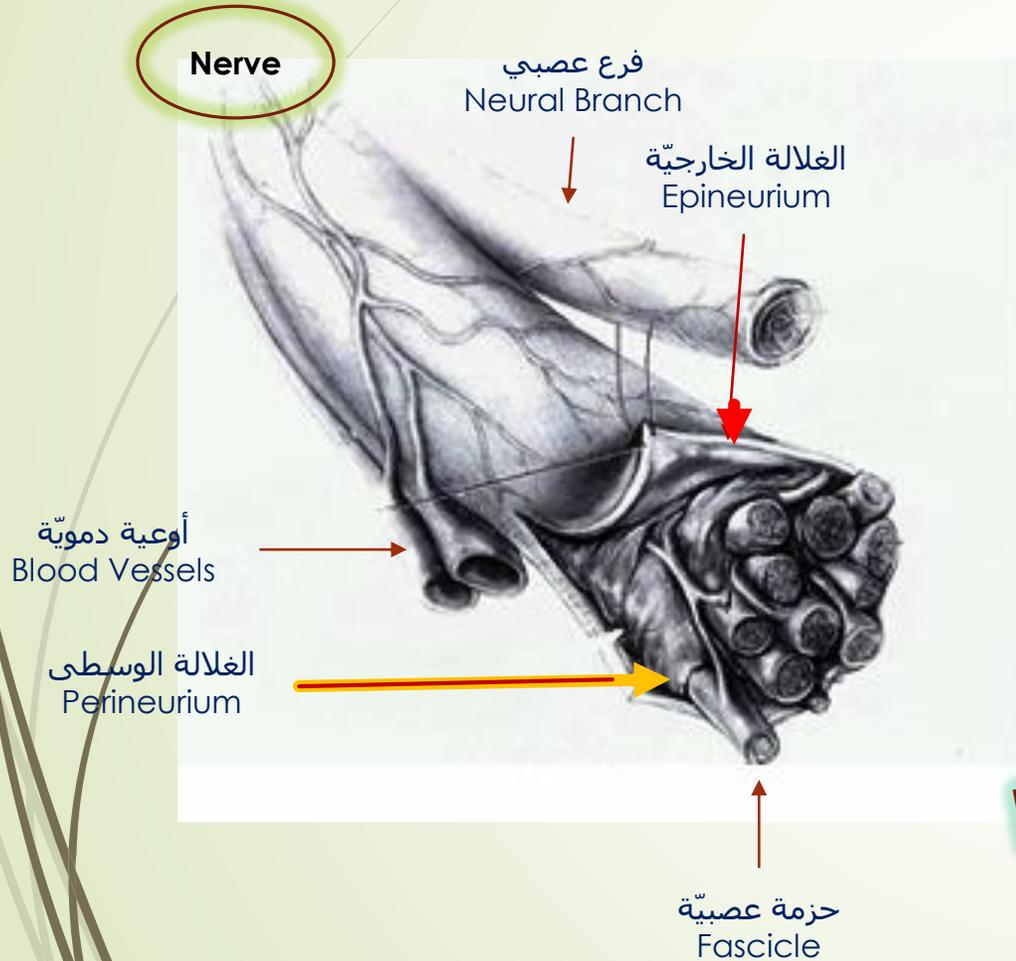
(بالتعريف)

- مفهوم العصب والعصب المحيطي، واحد لا فرق بينهما. سواء ذكرنا كلمة عصب، أو عصب محيطي، فالدلالة واحدة.
- العصب هو بنية حبيبة الشكل، بمكوّنين أساسيين؛ محاور عصبية ونسيج ضام.



تشريح العصب المحيطي^٣

(النسيج العصبي بالخاصة، والنسيج الضام)

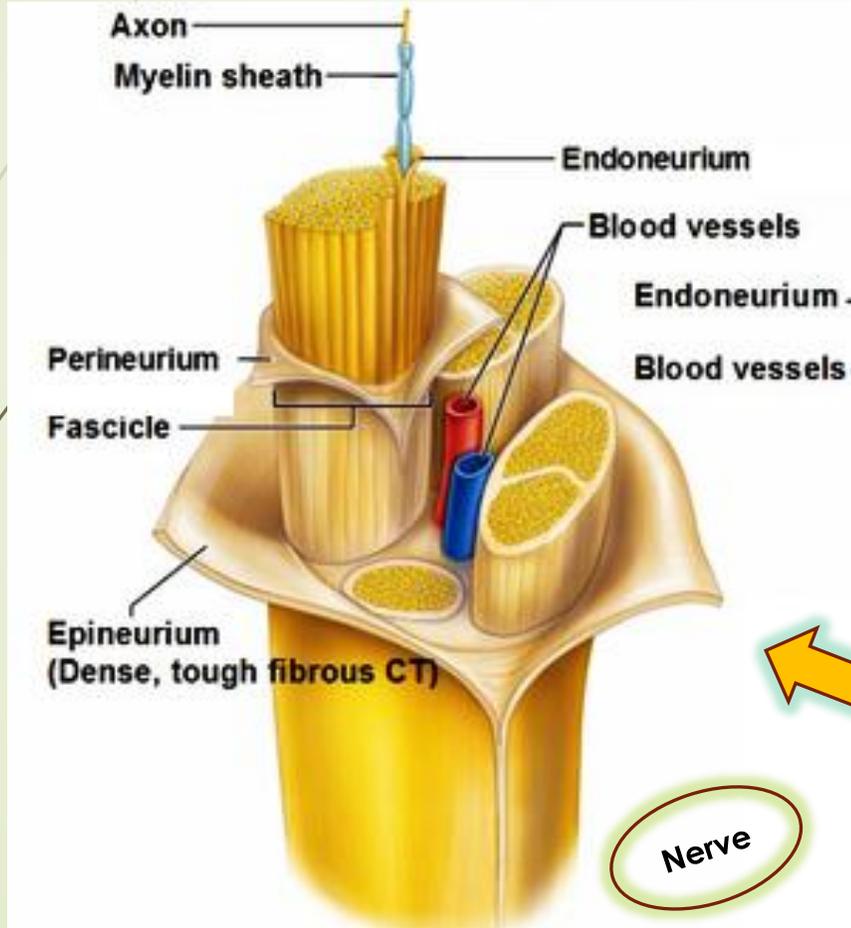


يتألف العصب المحيطي من مكونين نسيجين؛ الأول وظيفي والثاني إسنادي، هما:

النسيج العصبي بالخاصة: هو المحاور العصبية مسؤولة النقل العصبي.

النسيج الضام: هو في كل مكان من بنية العصب. يحيط بالمحاور العصبية الـ Axons، بالحزم العصبية الـ Fascicles، وبالعصب الـ Nerve أيضاً. كما يملأ الفضاءات البينية جميعاً. يؤمن النسيج الضام مرونة العصب، وتغذيته الدموية.

تشريح العصب المحيطي^٣ (النسيج الضام)



تُمَايز في النسيج الضام للعصب المحيطيّ البنى التشريحيّة التالية:

- الغلالة الخارجيّة الـ Epineurium، وتحيط بالعصب. هي قميص ليفيّ متين، كثيف البنية الليفيّة.
- الغلالة المتوسّطة الـ Perineurium، وتحيط بالحزمة العصبية الـ (Fascicle). تتألّف من نسيج ضام رخو القوام.
- الغلالة الداخليّة الـ Endoneurium، وتحيط بالمحور العصبيّ الـ Axon. هي نسيج ضام رخو القوام أيضاً.

لخيطة عصبية موثوقة يجب أن نشرك الغلالة الخارجيّة بالخيطة. هي الوحيدة، بقوامها الصلب، القادرة على أن تمسك جيّداً بالخيطة المجهرية.

تشريح العصب المحيطي^٣ (النسيج الضام)

لذلك،
يختفي الدماغ داخل
تجويف القحف،
ويستوطن النخاع
الشوكي النفق
الفقرية.

لا تتشابه البنى العصبية في كمية النسيج الضام
الداخلة في تركيبها؛ حيث

➤ **يغيب بشكله التقليدي في النخاع الشوكي والدماغ؛**

➤ يقلّ تواجده في الجذور العصبية.

➤ وجوده طاع في الأعصاب المحيطية وإن بنسب متفاوتة.

ههنا،
يغيب فعل الحماية، الوظيفة الأساس،
للنسيج الضام

تشريح العصب المحيطي^٣ (النسيج الضام)

لا تتشابه البنى العصبية في كمية النسيج الضام
الداخلة في تركيبها؛ حيث

■ يغيب بشكله التقليدي في النخاع الشوكي والدماغ.

■ يقلّ تواجده في الجذور العصبية:

■ وجوده طاعٍ في الأعصاب المحيطية وإن بنسب متفاوتة.

الجذور العصبية هي أضعف، وأكثر تأثراً
بشعاع القوة الرّاصة من العصب.

لا تتشكّل أورام عصبية عند طرفي
القطع في الجذر العصبي.
(مشاهدات جراحية خاصة)

تشريح العصب المحيطي^٣ (النسيج الضام)

لا تتشابه البنى العصبية في كمية النسيج الضام
الداخلة في تركيبها؛ حيث

■ يغيب بشكله التقليدي في النخاع الشوكي والدماغ.

■ يقلّ تواجده في الجذور العصبية.

■ وجوده طاغٍ في الأعصاب المحيطية وإن بنسب متفاوتة:

تصل نسبته إلى ٦٣% في العصب
المتوسط، بينما ترتفع نسبته إلى ٨٦%
في العصب الزندي.

تشريح العصب المحيطي^٣ (النسيج الضام)

لا تتشابه البنى العصبية في كمية النسيج الضام
الداخلة في تركيبها؛ حيث

■ يغيب بشكله التقليدي في النخاع الشوكي والدماغ.

■ يقلّ تواجده في الجذور العصبية.

■ وجوده طاع في الأعصاب المحيطية وإن بنسب متفاوتة:

لهذا أهميته عند الإصلاح الجراحي للعصب المقطوع.

فمن جهة، تكون العلاقة طردية بين كمية النسيج الضام في
العصب ومثانة الخياطة المجهرية.

بالمقابل، تصبح هذه العلاقة عكسية (في اليد غير الخبيرة
طبعاً) حين الحديث عن نجاح وفعالية الخياطة العصبية.

لهذا السبب تكون نتائج الإصلاح
الجراحي للعصب الزندي هي الأقل
جودة بين أعصاب الطرف العلوي.

زاد النسيج الضام نسبةً، زاد معه خطأ
المطابقة (كأن نقابل بين النسيج الضام
والنسيج العصبي).

نجاح الخياطة العصبية يعتمد أساساً
على مدى المطابقة بين النسيج
العصبي المتوافق في طرفي القطع.

تشريح العصب المحيطي^٣ (النسيج الضام)

الخيطة الشمولية للعصب المقطوع
(غلالة خارجية مع غلالة خارجية)، قد
تبدو جميلة ظاهرياً، لكنها في أحايين
كثيرة تكون غير فعالة وظيفياً.
حيث أنها قد تجمع في داخلها بين حزمة
عصبية أو مجموعة حزمية في جهة مع
نسيج ضام في الجهة المقابلة.

نجاح الخيطة العصبية يعتمد أساساً
على مدى المطابقة بين النسيج
العصبية المتوافقة في طرفي القطع.

- يكثر النسيج الضام في الأعصاب المحيطية ذات المسارات الصعبة، كالتي تلتف حول العظم مباشرة و/ أو تعبر من مسكن عضلي إلى آخر.
- فمثلاً، النسيج الضام في العصب الزندي أكثر كمّاً منه في العصب الكعبري. وفي هذا الأخير، يكون المحتوى من النسيج الضام أكثر ممّا هو في العصب المتوسط.

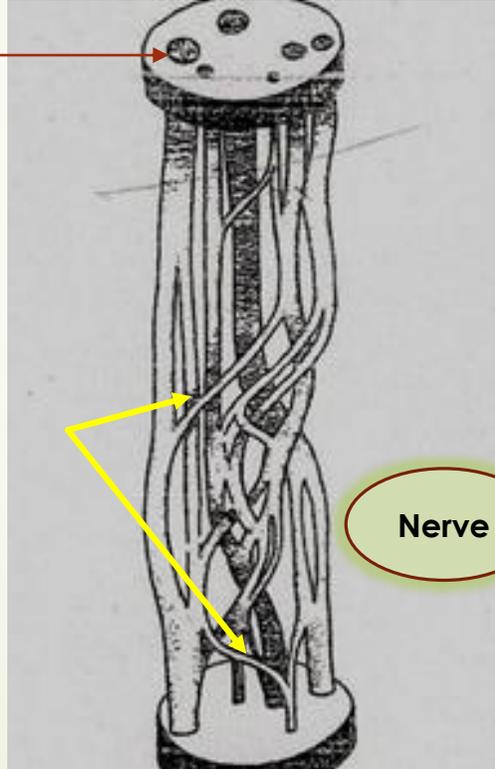
في اليد غير الخبيرة،

تكون نتائج الخيطة العصبية في تناسب عكسي مع كمية النسيج الضام في العصب المعني. بمعنى، النتائج هي أكثر جودة في إصلاح العصب المتوسط منها في العصب الزندي.

تشريح العصب المحيطي^٣ (البنية فائقة الدقة)

حزمة عصبية
Fascicle

سطح المقطع



لاحظ العلاقة التبادلية بين الحزم العصبية، وكيف تتبادل فيما بينها المحاور العصبية.
(رسم توضيحي)



العصب غير متجانس البنية على طول محوره. عملياً، يتغير مقطع العصب كل ١,٥ سم تقريباً.

على طول المسار، تتبادل الحزم العصبية الـ Fascicles فيما بينها بعضاً من محاورها العصبية الـ Axons:

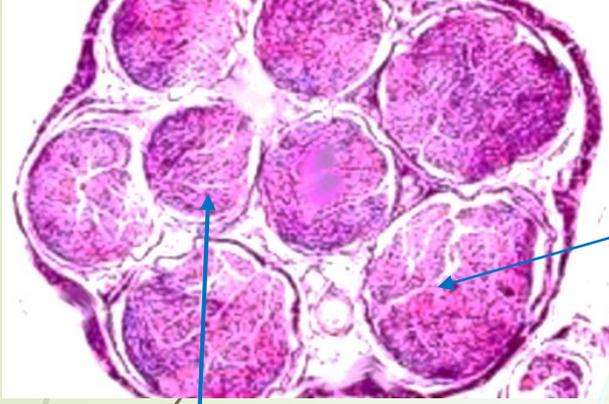
فمثلاً، الحزمة كبيرة القطر ههنا، تصبح بعد مسافة قصيرة أصغر قطراً، حيث التارك لها من المحاور العصبية يفوق الوافد إليها، والعكس صحيح.

على طول المسار أيضاً، تتغير الحزم العصبية مواقعها باستمرار بالنسبة لبعضها البعض، كما بالنسبة لمقطع العصب.

مثلاً، الحزمة العصبية عند الساعة ٣ بالنسبة لمقطع العصب، تصبح عند الساعة ٥ على بعد خطوات قليلة.

حقيقةً، العصب لا يشبه نفسه على طول مساره. فمقطع العصب في نقطة ما، هي غيرها في النقطة الأبعد عنها بـ ١.٥ سم (احصائياً). وهكذا دواليك، وعلى بعد مُعتبر من النقطة الأولى (١٠ سم مثلاً)، قد نجد بنية عصبية مغايرة تماماً وكأنّ العصب قد اكتسب شكلاً جديداً New Look.

تشريح العصب المحيطي^٣ (الهندسة الداخلية)



لاحظ تبدل حجم الحزمة العصبية،
وموقعها من الساعة ٥ إلى الساعة ٤.
(مقطع العصب القريب سفلي،
والمقطع الأبعد منه علوي في هذا
التمثيل).

حزمة عصبية وليدة
New Fascicle

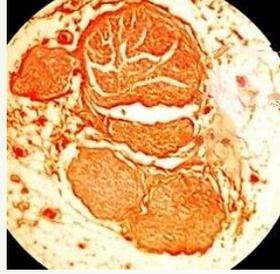


- العصب غير متجانس البنية على طول محوره. عملياً، يتغير مقطع العصب كل ١,٥ سم تقريباً.
- على طول المسار، تتبادل الحزم العصبية الـ Fascicles فيما بينها بعضاً من محاورها العصبية الـ Axons.
- فمثلاً، الحزمة صغيرة القطر ههنا، تصبح بعد مسافة قصيرة أكبر قطراً، حيث الواقد لها من المحاور العصبية يفوق التارك لها، والعكس صحيح.
- على طول المسار أيضاً، تغيّر الحزم العصبية مواقعها باستمرار بالنسبة لبعضها البعض، كما بالنسبة لمقطع العصب.
- مثلاً، الحزمة العصبية عند الساعة ٥ بالنسبة لمقطع العصب، تصبح عند الساعة ٤ على بعد خطوات قليلة.
- حقيقةً، العصب لا يشبه نفسه على طول مساره. فمقطع العصب في نقطة ما، هي غيرها في النقطة الأبعد عنها بـ ١.٥ سم (احصائياً). وهكذا دواليك، وعلى بعد مُعتبر من النقطة الأولى (١٠ سم مثلاً)، قد نجد بنية عصبية مغايرة تماماً وكان العصب قد اكتسب شكلاً جديداً New Look.

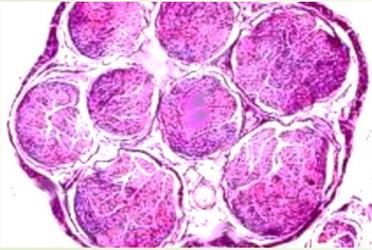
تمثيل افتراضي لما يمكن أن يكون عليه الحال في مقطعين متتالين، من العصب نفسه، يفصل بينهما سنتمترات قليلة.

تشريح العصب المحيطي^٣ (الهندسة الداخليّة)

عند كلّ تفرّع عصبيّ يختفي عددٌ من الحزم العصبيّة في هذا الفرع أو ذاك. لذلك تتناقص الحزم عدداً.



لاحظ تبدّل حجم الحزم العصبيّة، عددها، وموقعها بين البداية والوسط ونهاية العصب.



تمثيل افتراضي لما يمكن أن يكون عليه الحال في البداية، الوسط، وفي نهاية العصب



- العصب غير متجانس البنية على طول محوره. عملياً، يتغيّر مقطع العصب كلّ ١,٥ سم تقريباً.
- على طول المسار، تتبادل الحزم العصبيّة الـ Fascicles فيما بينها بعضاً من محاورها العصبيّة الـ Axons.
- يتفرّد كلّ عصب بترتيب بنيته الداخليّة. فالهندسة الداخليّة لعصب لا تشبه في شيء تلك التي فيما عداه من أعصاب.
- لا يشبه العصب أحداً من أقرانه لا في عدد محاوره العصبيّة، أو عدد الحزم العصبيّة، أو حجمها، أو موقعها بالنسبة لبعضها البعض.
- لا يشبه العصب أحداً في كميّة النسيج الضام الجامع، والمحيط بمحاوره العصبيّة العاملة.
- حقيقةً، العصب نفسه لا يشبه نفسه على طول مساره. فمقطع العصب في نقطة ما، هي غيرها في النقطة الأبعد عنها بـ ١.٥ سم (احصائياً). وهكذا دواليك، وعلى بعد مُعتبر من النقطة الأولى (١٠ سم مثلاً)، قد نجد بنية عصبيّة مغايرة تماماً وكأنّ العصب قد اكتسب شكلاً جديداً New Look.

قراءة باكرة

في ظلال الهندسة الداخليّة للعصب على نتائج الخياطة العصبية

الخياطة العصبية المباشرة لطرفي القطع العصبيّ (أي دون طعم عصبيّ) هي الأفضل. عندها فقط، يمكن مقابلة الحزم العصبية بين طرفي القطع بصورة أدق.

نتائج الإصلاح العصبي في الأذيات الفاطعة للعصب (يقطع الزجاج، بسكين، الخ) هي الأفضل. حيث حواف قطع العصب سليمة غير متكدّمة، والضياع في مادة العصب في حدوده الدّنيا (> 1 سم) رغم عمليّات التنضير تحضيراً للخياطة العصبية. بذلك، تكون بنية العصب عند طرفي القطع ثابتة، والمقابلة بينهما جراحياً سهلةً يسيرة.

العصب غير متجانس البنية على طول محوره. عملياً، يتغيّر مقطع العصب كل 1,5 سم تقريباً.

حقيقةً، العصب نفسه لا يشبه نفسه على طول مساره. فمقطع العصب في نقطة ما، هي نسبياً غيرها في النقطة الأبعد عنها بـ 1.5 سم (احصائياً). وهكذا دواليك، وعلى بعد مُعتبر من النقطة الأولى (10 سم مثلاً)، قد نجد بنية عصبية مغايرة تماماً وكأنّ العصب قد اكتسب شكلاً جديداً.

على طول المسار، تتبادل الحزم العصبية الـ Fascicles فيما بينها بعضاً من محاورها العصبية الـ Axons.

يتفرّد كلّ عصب بترتيب بنيته الداخليّة. فالهندسة الداخليّة لعصب لا تشبه في شيء تلك التي فيما عداه من أعصاب.

لا يشبه العصب أحداً من أقرانه لا في عدد محاوره العصبية، أو عدد الحزم العصبية، أو حجمها، أو موقعها بالنسبة لبعضها البعض.

لا يشبه العصب احداً في كميّة النسيج الضام الجامع، والمحيط بمحاوره العصبية العاملة.

قراءة باكرة

في ظلال الهندسة الداخلية للعصب على نتائج الخياطة العصبية

لا يمكن للطعم العصبي، في حال من الأحوال، ان يلبي حاجات المقابلة الجيدة بين طرفي القطع العصبي. فبنية الطعم العصبي (عدد الحزم العصبية، حجمها، كمية النسيج الضام فيه) لا يناسب تلك التي للعصب موضع الأذية.

نتائج الإصلاح العصبي باستخدام الطعوم العصبية هي دون الجيد على العموم.

نتائج الإصلاح العصبي في الأذيات عالية الطاقة للعصب (الأذيات الانفجارية، الرضوض المغلقة، الخ) و الأذيات العصبية المنسية كذلك، هي الأسوأ. حيث حواف قطع العصب متكيفة في الغالب، والضياغ في مادة العصب كبير (< 2 سم) بعد حساب الخسارة الناتجة عن عمليتي التنضير تحضيراً للخياطة العصبية. عندها، لا غنى عن استخدام الطعوم العصبية في عملية الإصلاح.

- العصب غير متجانس البنية على طول محوره. عملياً، يتغير مقطع العصب كل 1,5 سم تقريباً.
- على طول المسار، تتبادل الحزم العصبية الـ Fascicles فيما بينها بعضاً من محاورها العصبية الـ Axons.
- يتفرد كل عصب بترتيب بنيته الداخلية. فالهندسة الداخلية لعصب لا تشبه في شيء تلك التي فيما عداه من أعصاب.
- لا يشبه العصب أحداً من أقرانه لا في عدد محاوره العصبية، أو عدد الحزم العصبية، أو حجمها، أو موقعها بالنسبة لبعضها البعض.
- لا يشبه العصب أحداً في كمية النسيج الضام الجامع، والمحيط بمحاوره العصبية العاملة.
- حقيقةً، العصب نفسه لا يشبه نفسه على طول مساره. فمقطع العصب في نقطة ما، هي غيرها في النقطة الأبعد عنها بـ 1.5 سم (احصائياً). وهكذا دواليك، وعلى بعد مُعتبر من النقطة الأولى (10 سم مثلاً)، قد نجد بنية عصبية مغايرة تماماً وكأن العصب قد اكتسب شكلاً جديداً New Look.

قراءة باكرة

في ظلال الهندسة الداخلية للعصب على نتائج الخياطة العصبية

لا يمكن لعصب أن يعيض آخره بشكل كامل. لذلك، تكون نتائج عمليات النقل العصبي (نستخدم عصب حركي لتفعيل العضلات الهدف تستعيد بعضاً من قوتها. بمعنى أن العضلات التي تمكّنها من أداء الوظيفة على نحو مقبول. أما استعادة القوة العظمى للعضلات الهدف فتبقى أمنية صعبة التحقيق مع هكذا إصلاح عصبي.

- العصب غير متجانس البنية على طول محوره. عملياً، يتغيّر مقطع العصب كل ١,٥ سم تقريباً.
- على طول المسار، تتبادل الحزم العصبية الـ Fascicles فيما بينها بعضاً من محاورها العصبية الـ Axons.
- يتفرّد كلّ عصب بترتيب بنيته الداخلية. فالهندسة الداخلية لعصب لا تشبه في شيء تلك التي فيما عداه من أعصاب.
- لا يشبه العصب أحداً من أقرانه لا في عدد محاوره العصبية، أو عدد الحزم العصبية، أو حجمها، أو موقعها بالنسبة لبعضها البعض.**
- لا يشبه العصب احداً في كمية النسيج الضام الجامع، والمحيط بمحاوره العصبية العاملة.**
- حقيقةً، العصب نفسه لا يشبه نفسه على طول مساره. فمقطع العصب في نقطة ما، هي غيرها في النقطة الأبعد عنها بـ ١.٥ سم (احصائياً). وهكذا دواليك، وعلى بعد مُعتبر من النقطة الأولى (١٠ سم مثلاً)، قد نجد بنية عصبية مغايرة تماماً وكأنّ العصب قد اكتسب شكلاً جديداً New Look.

تشريح العصب المحيطي^٣

(الحزمة العصبية Fascicle)

الحزم العصبية كبيرة القطر، قليلة العدد، وأضيف غير متجانسة وظيفياً بالضرورة.



تمثيل افتراضي لما يمكن أن يكون عليه الحال في مقطع العصب في البدايات.

ينتظم عددٌ من المحاور العصبية الـ Axons ضمن الغلالة الوسطى الـ Perineurium فتعطي الحزمة العصبية الـ Fascicle.

بدايةً، الحزمة العصبية غير متجانسة وظيفياً. هي خليط من محاور عصبية حسية، حركية، وذاتية.

بدايةً، تكون الحزم العصبية قليلة العدد، كبيرة القطر.

تالياً، وعلى طول مسار العصب، تُعيد الحزم العصبية ترتيب نفسها. ينضم إليها عدد كبير من المحاور العصبية لزوم وظيفتها، كما يُغادرها عدد آخر من المحاور العصبية المغايرة لها وظيفياً.

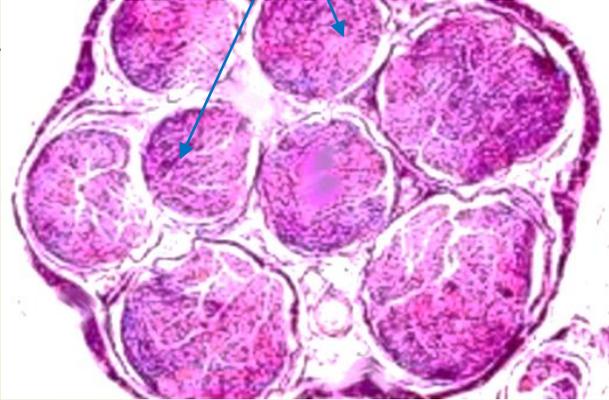
تالياً، وعلى طول المسار، تميل الحزم العصبية لأن تكون أكثر عدداً، أصغر قطراً، وأكثر تخصصاً.

أخيراً، في الفروع العصبية الانتهائية، الحزم العصبية قليلة العدد، صغيرة القطر بالضرورة، ومتجانسة وظيفياً ذاتياً ومع الاخرات أيضاً. هي إما حركية صرف، وإما حسية محض.

أخيراً، التجانس الوظيفي المطلق غير وارد ههنا. مخالطة بعض المحاور العصبية الحركية للحزمة الحسية، والعكس بالعكس، واقع لا محالة، بل هو ضرورة. أما المحاور العصبية الذاتية فوجودها دائم.

تشريح العصب المحيطي^٣ (الحزمة العصبية Fascicle)

الحزم العصبية أصغر قطراً، أكثر عدداً،
وأضيف أكثر تجانساً وظيفياً.



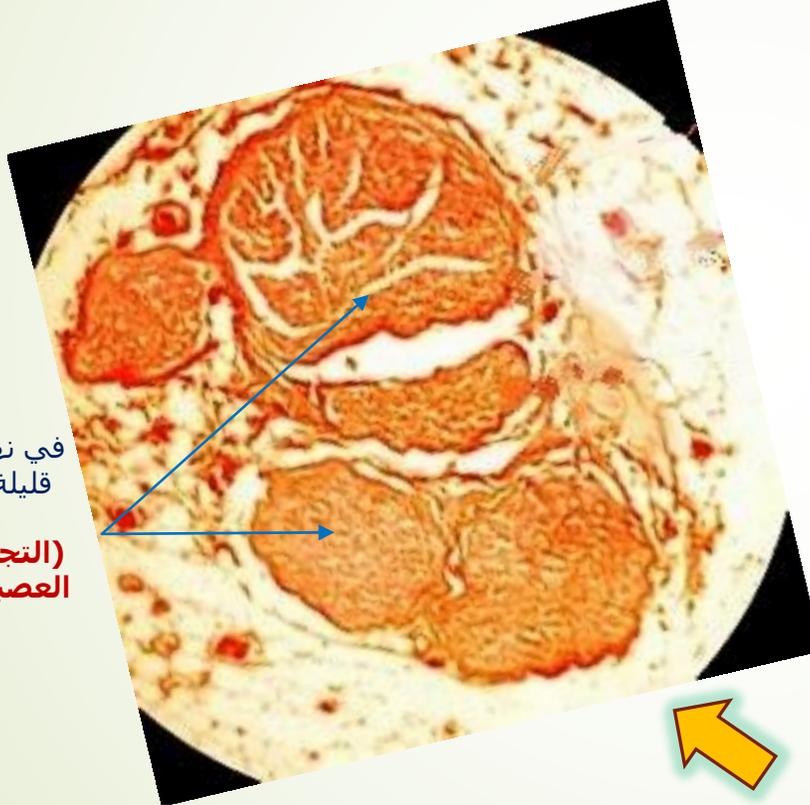
تمثيل افتراضي لما يمكن أن يكون عليه الحال في مقطع
العصب في التاليات.

ينتظم عددٌ من المحاور العصبية الـ Axons ضمن الغلالة
الوسطى الـ Perineurium فتعطي الحزمة العصبية الـ
Fascicle.

- بدايةً، الحزمة العصبية غير متجانسة وظيفياً. هي خليط من محاور عصبية حسية، حركية، وذاتية.
- بدايةً، تكون الحزم العصبية قليلة العدد، كبيرة القطر.
- تالياً، وعلى طول مسار العصب، تُعيد الحزم العصبية ترتيب نفسها. ينضم إليها عدد كبير من المحاور العصبية لزوم وظيفتها، كما يُغادرها عدد آخر من المحاور العصبية المغايرة لها وظيفياً.
- تالياً، وعلى طول المسار، تميل الحزم العصبية لأن تكون أكثر عدداً، أصغر قطراً، وأكثر تخصصاً.
- آخرًا، في الفروع العصبية الانتهازية، الحزم العصبية قليلة العدد، صغيرة القطر بالضرورة، ومتجانسة وظيفياً ذاتياً ومع الاخريات أيضاً. هي إما حركية صرف، وإما حسية محض.
- أخيراً، التجانس الوظيفي المطلق غير وارد ههنا. مخالطة بعض المحاور العصبية الحركية للحزمة الحسية، والعكس بالعكس، واقع لا محالة، بل هو ضرورة. أمّا المحاور العصبية الذاتية فوجودها دائم.

تشريح العصب المحيطي^٣

(الحزمة العصبية Fascicle)



في نهاية المسار، تصبح الحزم العصبية قليلة العدد، والأهم متجانسة وظيفياً حسياً أم حركياً.
(التجانس الوظيفي يشمل الحزمة العصبية مع ذاتها، كما مع مجاوراتها أيضاً)

تمثيل افتراضي لما يمكن أن يكون عليه الحال في النهايات.

ينتظم عدد من المحاور العصبية الـ Axons ضمن الغلالة الوسطى الـ Perineurium فتعطي الحزمة العصبية الـ Fascicle.

- بدايةً، الحزمة العصبية غير متجانسة وظيفياً. هي خليط من محاور عصبية حسية، حركية، وذاتية.
- بدايةً، تكون الحزم العصبية قليلة العدد، كبيرة القطر.
- تالياً، وعلى طول مسار العصب، تُعيد الحزم العصبية ترتيب نفسها. ينضم إليها عدد كبير من المحاور العصبية لزوم وظيفتها، كما يُغادرها عدد آخر من المحاور العصبية المغايرة لها وظيفياً.
- تالياً، وعلى طول المسار، تميل الحزم العصبية لأن تكون أكثر عدداً، أصغر قطراً، وأكثر تخصصاً.
- أخيراً، في الفروع العصبية الانتهازية، الحزم العصبية قليلة العدد، صغيرة القطر بالضرورة، ومتجانسة وظيفياً مع ذاتها ومع الاخريات أيضاً. هي إما حركية صرف، وإما حسية محض.
- أخيراً، التجانس الوظيفي المطلق غير وارد ههنا. مخالطة بعض المحاور العصبية الحركية للحزمة الحسية، والعكس بالعكس، واقع لا محالة، بل هو ضرورة. أما المحاور العصبية الذاتية فوجودها دائم.

قراءة باكرة

في ظلال بنية الحزم العصبية على نتائج الخياطة العصبية

نتائج الإصلاح العصبي في الأذيات القريبة (قطع العصب المتوسط في أعلى العضد مثلاً) أقل جودةً من إصلاح أذيّات البعيدة (أذية العصب المتوسط في المعصم مثلاً).

هـب أنّ مقابلة الحزم العصبية جراحياً بين طرفي القطع كانت فائقة الدقة. عندها، لا يمكن لاحد أن يضمن حسن التئام المحاور العصبية في طرف القطع القريب مع مشابهاتها الوظيفية في طرف القطع البعيد. غالباً ما يحدث أن تلتقي المحاور الحركية مع المحاور الحسية أو الذاتية، والعكس صحيح كذلك. فيضيع قسم لا يُستهان به من المحاور العصبية، كما فعل التجدد العصبي هباءً دون فائدة.

ينتظم عدد من المحاور العصبية الـ Axons ضمن الغلالة الوسطى الـ Perineurium فتعطي الحزمة العصبية الـ Fascicle.

➤ **بدايةً، الحزمة العصبية غير متجانسة وظيفياً. هي خليط من محاور عصبية حسية، حركية، وذاتية.**

➤ بدايةً، تكون الحزم العصبية قليلة العدد، كبيرة القطر.

➤ تالياً، وعلى طول مسار العصب، تُعيد الحزم العصبية ترتيب نفسها. ينضم إليها عدد كبير من المحاور العصبية لزوم وظيفتها، كما يُغادرها عدد آخر من المحاور العصبية المغايرة لها وظيفياً.

➤ تالياً، وعلى طول المسار، تميل الحزم العصبية لأن تكون أكثر عدداً، أصغر قطراً، وأكثر تخصصاً.

➤ أخيراً، في الفروع العصبية الانتهازية، الحزم العصبية قليلة العدد، صغيرة القطر بالضرورة، ومتجانسة وظيفياً مع ذاتها ومع الاخريات أيضاً. هي إما حركية صرف، وإما حسية محض.

➤ أخيراً، التجانس الوظيفي المطلق غير وارد ههنا. مخالطة بعض المحاور العصبية الحركية للحزمة الحسية، والعكس بالعكس، واقع لا محالة، بل هو ضرورة. أما المحاور العصبية الذاتية فوجودها دائم.

قراءة باكرة

في ظلال بنية الحزم العصبية على نتائج الخياطة العصبية

سبب آخر لضعف النتائج المتوخاة من الإصلاح العصبي باستخدام الطعوم العصبية. الحزم العصبية قليلة العدد، كبيرة الحجم، وغير المتجانسة في طرف القطع القريب، ستقابل عدداً أكبر من الحزم العصبية أصغر حجماً وأكثر تخصصاً في طرف القطع البعيد. إياها هو استمرار للأولى؟ لا ندري! خصوصاً مع طول المسافة بين طرفي القطع.

ههنا، يصبح الوصل العصبي باستخدام الطعوم العصبية اعتباطياً لا يخضع لشروط خاصة، فقط لإحساس الجراح وخبرته.

ينظم عددٌ من المحاور العصبية الـ Axons ضمن الغلالة الوسطى الـ Perineurium فتعطي الحزمة العصبية الـ Fascicle.

➤ بدايةً، الحزمة العصبية غير متجانسة وظيفياً. هي خليط من محاور عصبية حسية، حركية، وذاتية.

➤ **بدايةً، تكون الحزم العصبية قليلة العدد، كبيرة القطر، وغير متجانسة.**

➤ تالياً، وعلى طول مسار العصب، تُعيد الحزم العصبية ترتيب نفسها. ينضم إليها عدد كبير من المحاور العصبية لزوم وظيفتها، كما يُغادرها عدد آخر من المحاور العصبية المغادرة لها وظيفياً.

➤ **تالياً، وعلى طول المسار، تميل الحزم العصبية لأن تكون أكثر عدداً، أصغر قطراً، وأكثر تخصصاً.**

➤ آخراً، في الفروع العصبية الانتهازية، الحزم العصبية قليلة العدد، صغيرة القطر بالضرورة، ومتجانسة وظيفياً مع ذاتها ومع الاخرى أيضاً. هي إما حركية صرف، وإما حسية محض.

➤ أخيراً، التجانس الوظيفي المطلق غير وارد ههنا. مخالطة بعض المحاور العصبية الحركية للحزمة الحسية، والعكس بالعكس، واقع لا محالة، بل هو ضرورة. أما المحاور العصبية الذاتية فوجودها دائم.

قراءة باكرة

في ظلال بنية الحزم العصبية على نتائج الخياطة العصبية

في الفروع العصبية الانتهائية (الفرع العميق للعصب الكعبري مثلاً):
تكون نتائج الخياطة العصبية في أحسن حالاتها، حتى مع الطعوم العصبية. من جهتها، تؤمن الخياطة المباشرة للعصب مقابلة فائقة الدقة بين الحزم العصبية. ليس لأخطاء المقابلة، إن حدثت، عظيم الأثر على النتائج المرجوة، فالحزمة حركية هنا وحركية هناك أو حسية هنا وحسية هناك. ومع الطعوم العصبية، تبقى نتائج الإصلاح العصبي ذات مردود جيد بسبب تجانس الحزم العصبية وظيفياً بين طرفي القطع العصبي.

ينتظم عددٌ من المحاور العصبية الـ Axons ضمن الغلالة الوسطى الـ Perineurium فتعطي الحزمة العصبية الـ Fascicle.

- بدايةً، الحزمة العصبية غير متجانسة وظيفياً. هي خليط من محاور عصبية حسية، حركية، وذاتية.
- بدايةً، تكون الحزم العصبية قليلة العدد، كبيرة القطر، وغير متجانسة.
- تالياً، وعلى طول مسار العصب، تُعيد الحزم العصبية ترتيب نفسها. ينضم إليها عدد كبير من المحاور العصبية لزوم وظيفتها، كما يُغادرها عددٌ آخر من المحاور العصبية المغايرة لها وظيفياً.
- تالياً، وعلى طول المسار، تميل الحزم العصبية لأن تكون أكثر عدداً، أصغر قطراً، وأكثر تخصصاً.
- أخيراً، في الفروع العصبية الانتهائية، الحزم العصبية قليلة العدد، صغيرة القطر بالضرورة، ومتجانسة وظيفياً مع ذاتها ومع الاخريات أيضاً. هي إما حركية صرف، وإما حسية محض.
- أخيراً، التجانس الوظيفي المطلق غير وارد ههنا. مخالطة بعض المحاور العصبية الحركية للحزمة الحسية، والعكس بالعكس، واقع لا محالة، بل هو ضرورة. أما المحاور العصبية الذاتية فوجودها دائم.



آليات الأذية العصبية الرضية



هي الأسهل تدبيراً، والأفضل نتيجةً مع الإصلاح الجراحي. حواف القطع نظيفة، غير كدمية. لا نحتاج إلى تنضير الحواف قبل الخياطة العصبية.

يمكن أن تحدث الأذية الرضية للعصب بآلية مما يلي:

قطع العصب بأداة حادة:

- شذ العصب وفق محوره الطولاني.
- سحق العصب.
- اجتماع، متفاوت الدرجة، لبعض أو لكل ما ذكر آنفاً.

كثيراً ما يترافق قطع العصب وقطع الشريان المغذي لمنطقة عمل العصب نفسه. وكثيراً أيضاً، تبقى حيوية المنطقة موضع الحديث مُصانة بفعل تروية شريانية جانبية، فنعمد إلى إهمال إصلاح الشريان المعطوب بدعوى لزوم ما لا يلزم. هنا، أؤكد على ضرورة إصلاح الشريان من أجل كفاءة عملية التجدد العصبي. ليس عبثاً أن جعل الخالق شريانين لتروية اليد، وآخرين لتروية الإصبع. هي حكمة قد نجهل علة وجودها، لكنّها حتماً مبررة.

آليات الأذية العصبية الرضية

يمكن أن تحدث الأذية الرضية للعصب بألية مما يلي:

➤ قطع العصب بألة حادة.

➤ شدّ العصب وفق محوره الطولاني:

➤ سحق العصب.

➤ اجتماع، متفاوت الدرجة، لبعض أو لكل ما ذكر آنفاً.

هي بالتعريف رضّ مغلق يُمارس على العصب بشدّه وفق محوره الطولاني، قد يتحوّل إلى رضّ مفتوح باستمرار عمليّة الشدّ كما في أذية الخاتم.

يتمدّد العصب، وامتى تجاوز الشدّ حدود المرونة ظهرت الأذية العصبية. غالباً، ما تترافق الأذية العصبية النسيجية، وأذية في نظام التغذية الشرياني الخاص بالعصب. فكلاهما لا يحتمل فعل التمطيط.

هنا، افضل الانتظار ومراقبة عمليّة التجدّد العفوي. بعد شهرين، تأخرت عمليّة التجدّد العصبيّ أو بدت غير مقنعة، تدخلت جراحياً للكشف والتدبير وفق ما يقتضيه واقع الحال.

في حالات الشدّ العنيفة، يحدث أن تنفصل الأنسجة وينكسر العظم في نقطة ما بعيدة (أذية الخاتم مثلاً)، ويتمطط العصب إلى أن ينقطع في نقطة أخرى قريبة (بالنسبة لانفصال الجلد والعظم). هي أذية عصبية شديدة وممتدة لا ينفع معها الإصلاح المباشر. فالطعم العصبيّ، في زمن ثانٍ طبعاً، هو الخيار الأوحدهنا.

آليات الأذية العصبية الرضية

لا تستخدم
الطعوم العصبية
في العمليات
الإسعافية!!!

يمكن أن تحدث الأذية الرضية للعصب بألية مما يلي:

- قطع العصب بألة حادة.
- شدّ العصب وفق محوره الطولانيّ.

سحق العصب:

- اجتماع، متفاوت الدرجة، لبعض أو لكلّ ما دُكر آنفاً.

يمكن للعصب أن ينسحق بالرضوض المغلقة، كما في الرضوض المفتوحة. غالباً، ما تكون الأذية العصبية شديدة وممتدة. كثيراً ما تترافق أذية العصب واذيات أخرى في المجاورات النسيجية (جلد، عضلات، عظم، أوعية دموية).

التدخل الجراحيّ المتأخر:
نكشف العصب المعني. نستأصل الورم العصبيّ عند طرف القطع القريب، ونستأصل الورم الليفي عند طرف القطع البعيد، وصولاً إلى نسيج عصبيّ سليم ظاهرياً. في النهاية، غالباً ما نضطر إلى طعم عصبيّ متعدّد لجسر الهوة بين طرفي القطع العصبيّ.

خلال شهرين

التدخل الجراحيّ الباكر:
يهدف أساساً إلى إصلاح الأذيات المرافقة للأذية العصبية تحسباً لبيئة العصب. وغالباً، ما يُرجأ الإصلاح العصبيّ إلى زمن ثانٍ. قد نلجأ إلى ربط نهايتي العصب المسحوق ببعضهما البعض، أو إلى جوار نسيجيّ ثابت، منعاً لانكماش طرفي العصب المقطوع وتباعدهما لاحقاً.

آليات الأذية العصبية الرضية

لا تستخدم
الطعوم العصبية
اسعافياً!!!

يمكن أن تحدث الأذية الرضية للعصب بألية مما يلي:

- قطع العصب بألة حادة.
- شدّ العصب وفق محوره الطولاني.
- سحق العصب.

■ اجتماع، متفاوت الدرجة، لبعض أو لكل ما ذكر آنفاً:

قد تتكالب قوى الشرّ على العصب، فتقطعه بشعاع من طيف قوتها، تسحق طرفي القطع بشعاع آخر منه، وتعمل على تمطيته ومجاوراته بثالث.

التداخل الجراحي المتأخر: نكشف العصب المعني. نستأصل الورم العصبي عند طرف القطع القريب، ونستأصل الورم الليفي عند طرف القطع البعيد، وصولاً إلى نسيج عصبي سليم ظاهرياً. في النهاية، غالباً ما نضطر إلى طعم عصبي متعدّد لجسر الهوة بين طرفي القطع العصبي.

التداخل الجراحي الباكر: يهدف اساساً إلى إصلاح الأذيّات المرافقة للأذية العصبية تحسباً لبيئة العصب. وغالباً، ما يُرجأ الإصلاح العصبي إلى زمن ثانٍ. قد نلجأ إلى ربط نهايتي العصب المسحوق ببعضهما البعض، أو إلى جوار نسيجيّ ثابت، منعاً لانكماش طرفي العصب المقطوع وتباعدهما لاحقاً.

خلال شهرين

تصنيف الأذيّات العصبية وفق طاقة العامل المسبّب

في الرضوض منخفضة الطّاقة المغلقة (كالسقوط من وضعية الوقوف على طرف علويّ في وضعية فرط التباعد قد يحدث شدّاً محوريّاً على عناصر الضفيرة العصبية وبالتالي أذيّتها)، الأذيّة العصبية بسيطة تستجيب غالباً على استراتيجيّة الانتظار والمراقبة.

بعد شهرين، تأخرت عمليّة التجدّد العصبيّ أو بدت غير مقنعة، تداخلنا جراحياً للكشف والتدبير وفق ما يقتضيه واقع الحال.

تحدث الأذيّة الرضيّة للعصب بتأثير شعاع القوّة للعامل المسبّب، وهذا الأخير على ثلاثة أنواع من حيث طاقته:

➤ **منخفض الطّاقة:**

➤ متوسط الطّاقة.

➤ عالي الطّاقة.

في الرضوض منخفضة الطّاقة المفتوحة (كقطعنة سكين، وخز إبرة، الخ)، تكون الأذيّة العصبية بسيطة، غير ممتدّة، تقبل الإصلاح الجراحي المباشر. شكل الأذيّة العصبية، كما ندرة وجود مرافقات مقلقة للأذية العصبية، تجعل الإنذار في مثل هكذا رضوض في نطاق الجيد جداً.

تصنيف الأذيّات العصبية وفق طاقة العامل المسبّب

في الرضوض المغلقة متوسّطة الطاقة (كسور عظمية متبدّلة، أو خلوع مفصليّة، اختلطت بأذيّة العصب المجاور لبؤرة الكسر أو المفصل على الترتيب): الأذيّة العصبية مهمّة وقد تكون مصحوبة بأذيّة وعائيّة ربّما.

تحدث الأذيّة الرضيّة للعصب بتأثير شعاع القوّة للعامل المسبّب، وهذا الأخير على ثلاثة أنواع من حيث طاقته:

➤ منخفض الطّاقة.

➤ متوسّط الطاقة:

➤ عالي الطاقة.

في الرضوض المفتوحة متوسّطة الطّاقة (كمقذوف نارّي من سلاح صيد، شطيّة ناجمة عن انفجار في مكان قريب، الخ)، تكون الأذيّة العصبية شديدة، وقد تتشارك فيها بعض من آليات التخريب من قطع، وسحق مثلاً. هي أذيّات غير ممتدة غالباً. لا يتجاوز طول الأذيّة العصبية إمكانيّة الإصلاح الجراحيّ المباشر. في الأعمّ الأغلب، هي أذيّات تقبل الإصلاح الجراحيّ المباشر. الأذيّة العصبية بحدّ ذاتها، وتواضع خطر الأذيّات المرافقة لها، تجعل الإنذار في مثل هكذا رضوض جيّد على العموم.

قانون الأولويّات:
نهتم أولاً بحفظ حياة المصاب،
وثانياً بصون حياة الطرف
المعني بالأذيّة.
وأخيراً، وفي الزمن نفسه أو
في زمن ثانٍ، نهتم بصيانة
العصب أو الأعصاب المتأذيّة.

تصنيف الأذيّات العصبية وفق طاقة العامل المسبّب

في الرضوض المغلقة عالية الطّاقة (كالسقوط من شاهق على طرف علويّ في وضعية فرط التّعييد مثلاً، يحدث شدّاً محوريّاً عنيفاً على عناصر الضفيرة العصبية وبالتالي أذيّتها)، الأذيّة العصبية شديدة ومصحوبة بأذيّات أخرى وعائية، عظمية، وأخرى حشوية ربّما.

تحدث الأذيّة الرضية للعصب بتأثير شعاع القوّة للعامل المسبّب، وهذا الأخير على ثلاثة أنواع من حيث طاقته:

- منخفض الطّاقة.
- متوسّط الطاقة.
- عالي الطاقة:

في الرضوض المفتوحة عالية الطّاقة (كمقذوف ناريّ من سلاح حربيّ فتّاك، تهشيم طرفيّ بألة زراعية أم صناعية، الخ)، تكون الأذيّة العصبية شديدة جداً تتشارك فيها كلّ آليات التّخريب من قطع، سحق، وشدّ كذلك. هي أذيّات ممتدة تتناول بالأذى قطاعاً هاماً من طول العصب. في الأعمّ الأغلب، هي أذيّات لا تقبل الإصلاح الجراحي المباشر. شكل الأذيّة العصبية، كما كثرة وجود مرافقات مقلقة للأذية العصبية، تجعل الإنذار في مثل هكذا رضوض سيّء جداً.

قانون الأولويّات:
نهتم أولاً بحفظ حياة المصاب،
وثانياً بصون حياة الطرف
المعني بالأذيّة.
وأخراً، وفي زمن ثانٍ حتماً،
نهتم بصيانة العصب أو
الأعصاب المتأذيّة.

الأسلحة النارية من أهم مسببات الأذية العصبية

هي رضوض مفتوحة متوسّطة إلى عالية الطّاقة تبعاً لنوع السلاح الناري. بالتالي وتبعاً لطاقة المقذوف، تكون الأذية العصبية شديدة إلى شديدة جداً. هنا، تخضع الأذيات العصبية للقواعد ذاتها أنفة الذكر فيما يخص الرضوض المفتوحة متوسطة وعالية الطاقة.

قانون الأولويات:
نهتم أولاً بحفظ حياة المصاب،
وثانياً بصون حياة الطرف
المعني بالأذية.
وأخراً، وفي الزمن نفسه، أو
في زمن ثانٍ، نهتم بصيانة
العصب أو الأعصاب المتأذية.

آليات الأذية العصبية بمقذوف ناري:
يعمل المقذوف الناري على قطع العصب أو الأعصاب التي تقاطع مسارها التشريحي مباشرة مع مساره. ويعمل لهيب المقذوف على حرق أنسجة العصب، كما أنسجة المحيط الواقع ضمن شعاع طاقته. بالية مماثلة، تعمل الموجات الاهتزازية الوليدة من احتكاك المقذوف بأنسجة الجسم على تحطيم البنى التشريحية حتى البعيدة عن مساره. (لمزيد من التفصيل أذعوكم لقراءة مقالي بعنوان:

الأذيات الرضّة للضفيرة العضدية

تقييم الأذية العصبية

لا مكان لدراسة
الأعصاب كهربائياً
في المرحلة
الحادة!!!

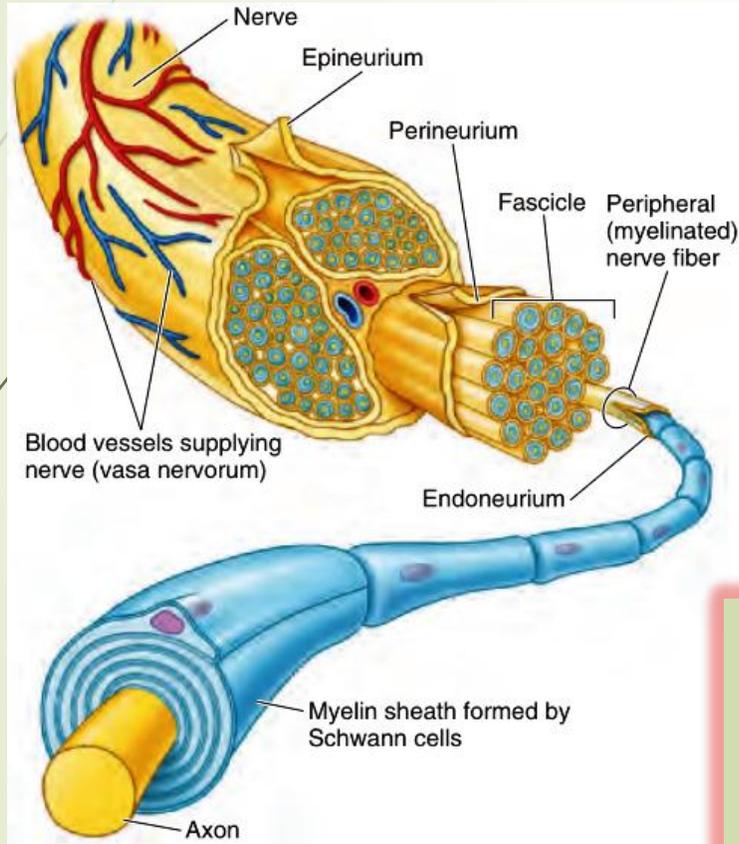
الفحص الحركي:
يشترط صحة المريض ومطاوعته للأوامر الحركية.
هو إجراء صعب ودقيق. غالباً، لا يستطيع الفاحص
إتمام الفحص الحركي بسبب تألم المريض أو لوجود
أدبَات أخرى (كسبر مثلاً). أكثر ما يفيد هنا الحركات
العفوية في الطرف المصاب.
نهتم بالفحص الحركي خاصة عند مشاهدة المصاب
بعد زمنٍ من وقوع الأذية.

الفحص الحسي:
هو الأسهل والأسرع، لكن لا يغيب عن
خاطرنا إمكانية الخطأ في تفسير
الموجودات الحسية. فمثلاً، عند سؤال
المصاب إن كان يشعر بوخزنا لإبهام يده،
فقد يعتبر المصاب شعور النمل في إصبعه
على أنه إحساس طبيعي فيضلنا بقوله
"نعم".

في الإسعاف، على الفاحص، قبل المفحوص، أن يكون
مدركاً لواقع حال. فغالباً ما يكون المصاب متألماً،
متهيجاً، ومأخوذاً من هول الصدمة. فليس من السهل
إخضاعه لآليات الفحص العصبي التقليدية.
كذلك الفاحص، هو في عجلة من أمره، عليه، ضمان
العلامات الحيوية للمصاب، ضمان حياة الطرف، تدبير
الأدبَات المرافقة إن وجدت، وكذلك تقييم الأدبَات
العصبية بالخاصة.

الفحص العياني،
التي نظرة سريعة، لكن متمرسية، على وضعية
الطرف، وعلى وضعية أصابع الطرف المصاب.
فالمصاب متألم بالضرورة، والطرف المصاب
يكون في وضعية الثني عفواً. غياب هذه
الوضعية قد يعني فيما يعني إصابة العصب
المسؤول عن هذه الوضعية.

تقييم الأذية العصبية (درجات الأذية)



Sunderland Classification

لا أدري حقيقةً المنهجية المتبعة حين وضع هذا التصنيف. هل هي قوة الاستنتاج؟ أم دراسة نسيجية للعصب المصاب؟ أم هي الاستقراء السريري؟ أم جميعها؟ رغم ذلك، متكناً على الهندسة الداخلية للعصب، وعلى ما تيسر لي من مشاهدات سريرية لعدد غير قليل من الأذيات الرضية العصبية، فانا أقول بمصداقية هذا التصنيف. يقول التصنيف بوجود درجات خمس للأذية العصبية، هي كالتالي:

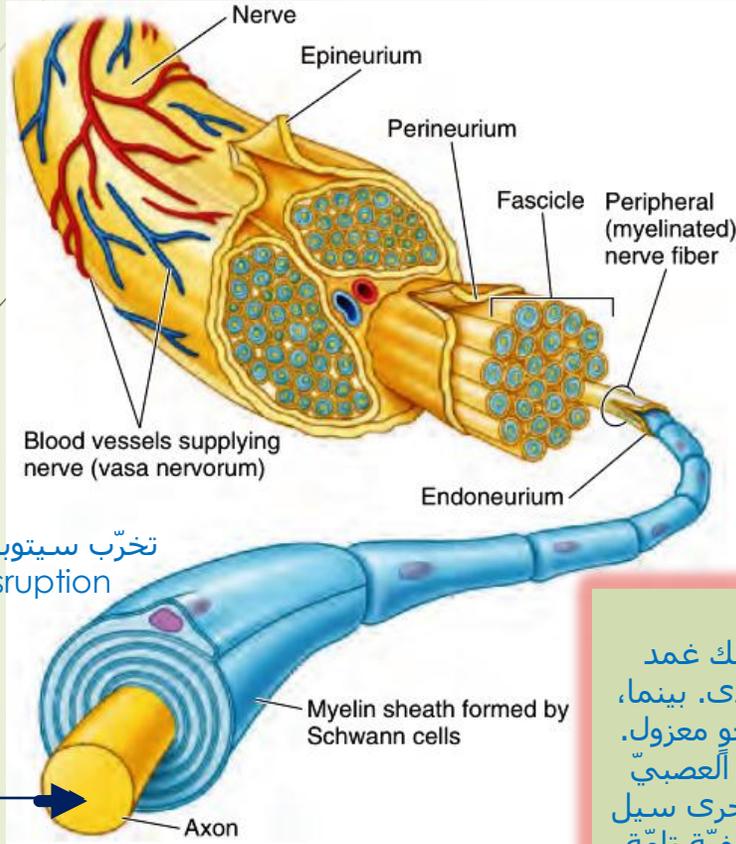
١. حصار النقل العصبي:

٢. أذية المحور العصبي مع سلامة غمده.
٣. أذية المحور العصبي مع أذية غمده.
٤. أذية العصب مع سلامة الغلالة الخارجية.
٥. قطع تام للعصب.

بنية العصب طبيعية، بيد أن خلافاً ما أصاب كهربائية محاوره العصبية فتعطل النقل العصبي فيها، لكن لفترة. بعدها، بأيام إلى أسابيع قليلة، عودة النقل العصبي، ومن ثم الوظيفة، إلى طبيعتهما هو القاعدة.

تقييم الأذية العصبية (درجات الأذية)

Sunderland Classification



تخرّب سيتوبلازما المحور العصبي
Cytoplasm Disruption

لا أدري حقيقةً المنهجية المتبعة حين وضع هذا التصنيف. هل هي قوة الاستنتاج؟ أم دراسة نسيجية للعصب المصاب؟ أم هي الاستقراء السريري؟ أم جميعها؟ رغم ذلك، متكناً على الهندسة الداخلية للعصب، وعلى ما تيسر لي من مشاهدات سريرية لعدد غير قليل من الأذيات الرضية العصبية، فانا أقول بمصداقية هذا التصنيف. يقول التصنيف بوجود درجات خمس للأذية العصبية، هي كالتالي:

١. حصار النقل العصبي.

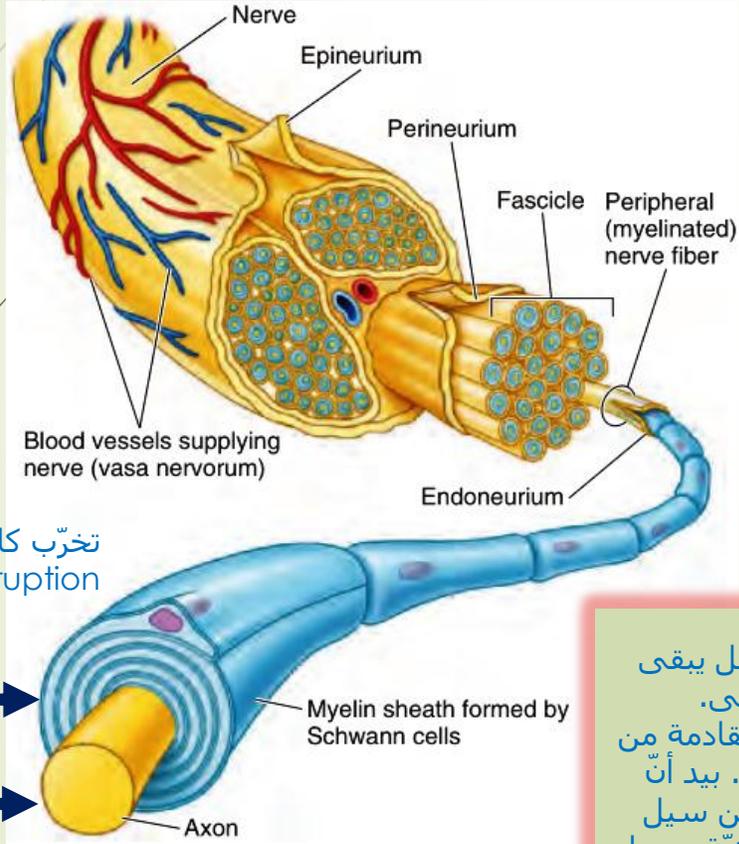
٢. أذية المحور العصبي مع سلامة غمده:

٣. أذية المحور العصبي مع أذية غمده.
٤. أذية العصب مع سلامة الغلالة الخارجية.
٥. قطع تام للعصب.

يبقى الغشاء الخلوي للمحور العصبي، كذلك غمد النخاعين في حال وجوده، محفوظين من الأذى. بينما، يتخرّب ما في داخل المحور العصبي على نحو معزول. تستطيع الخلية العصبية تجديد مادة المحور العصبي بسهولة، مادامت الخلية العصبية سليمة ومجرى سيل التجدد العصبي مصاناً. لذلك نتوقع عودة وظيفية تامة للعصب، خلال أسابيع إلى ثلاثة أشهر تقريباً.

تقييم الأذية العصبية (درجات الأذية)

Sunderland Classification



تخرّب كامل بنية المحور العصبي
Complete Axon Disruption

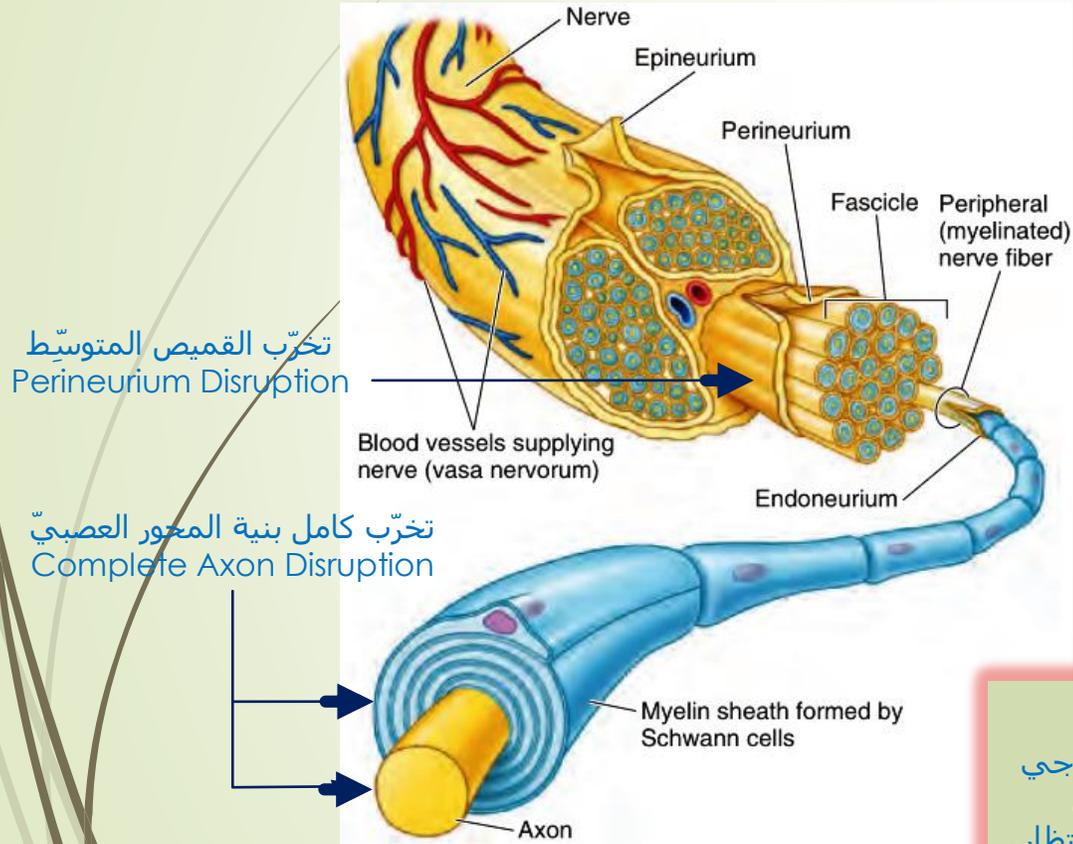
لا أدري حقيقةً المنهجية المتبعة حين وضع هذا التصنيف. هل هي قوة الاستنتاج؟ أم دراسة نسيجية للعصب المصاب؟ أم هي الاستقراء السريري؟ أم جميعها؟ رغم ذلك، متكناً على الهندسة الداخلية للعصب، وعلى ما تيسر لي من مشاهدات سريرية لعدد غير قليل من الأذيات الرضية العصبية، فانا أقول بمصداقية هذا التصنيف. يقول التصنيف بوجود درجات خمس للأذية العصبية، هي كالتالي:

١. حصار النقل العصبي.
٢. أذية المحور العصبي مع سلامة غمده.
٣. **أذية المحور العصبي مع أذية غمده:**
٤. أذية العصب مع سلامة الغلالة الخارجية.
٥. قطع تام للعصب.

يتخرّب المحور العصبي بتمامه، أي مع أغلفته جميعاً. بالمقابل يبقى القميص (الغلالة) المتوسط للحمزة العصبية سليماً معافى. يعمل هذا الأخير كدليل يقود سيل المادة العصبية المتجددة القادمة من المركز. إذاً، يبقى الأمل معقوداً على عملية التجدد العصبي. بيد أنّ استعادة الوظيفة لن تكون كاملة أبداً (بسبب فقدان كمية من سيل التجدد العصبي في المحاور العصبية المتخالفة نوعاً)، مع إمكانية حصول سوء في التوجيه بسبب ضلال بعد المحاور العصبية (كان يتم تعصيب عضلات متعكسة في الوقت نفسه).

تقييم الأذية العصبية (درجات الأذية)

Sunderland Classification



لا أدري حقيقةً المنهجية المتبعة حين وضع هذا التصنيف. هل هي قوة الاستنتاج؟ أم دراسة نسيجية للعصب المصاب؟ أم هي الاستقراء السريري؟ أم جميعها؟

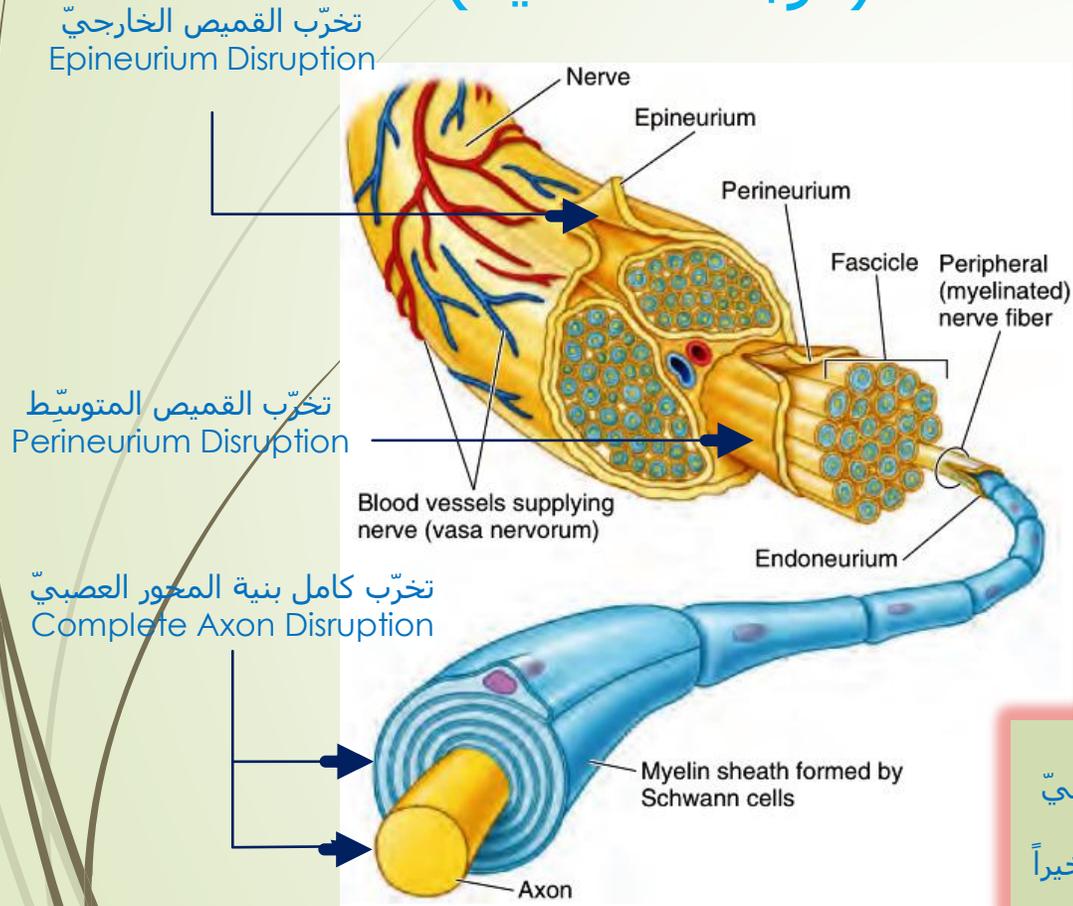
رغم ذلك، متكناً على الهندسة الداخلية للعصب، وعلى ما تيسر لي من مشاهدات سريرية لعدد غير قليل من الأذيات الرضية العصبية، فانا أقول بمصداقية هذا التصنيف. يقول التصنيف بوجود درجات خمس للأذية العصبية، هي كالتالي:

١. حصار النقل العصبي.
٢. أذية المحور العصبي مع سلامة غمده.
٣. أذية المحور العصبي مع أذية غمده.
٤. **أذية العصب مع سلامة الغلالة الخارجية:**
٥. قطع تام للعصب.

يصح العصب خاوياً من مادته. فقط القميص الخارجي للعصب يقف شاهداً على ما تبقى من بنيته. العجز الوظيفي تام. لا فائدة هنا من المراقبة والانتظار. العودة العفوية للوظيفة غير واردة. لا بدّ من الإصلاح الجراحي للعصب.

تقييم الأذية العصبية (درجات الأذية)

Sunderland Classification



لا أدري حقيقةً المنهجية المتبعة حين وضع هذا التصنيف. هل هي قوة الاستنتاج؟ أم دراسة نسيجية للعصب المصاب؟ أم هي الاستقراء السريري؟ أم جميعها؟
رغم ذلك، متكناً على الهندسة الداخلية للعصب، وعلى ما تيسر لي من مشاهدات سريرية لعدد غير قليل من الأذيات الرضية العصبية، فانا أقول بمصداقية هذا التصنيف. يقول التصنيف بوجود درجات خمس للأذية العصبية، هي كالتالي:

١. حصار النقل العصبي.
٢. أذية المحور العصبي مع سلامة غمده.
٣. أذية المحور العصبي مع أذية غمده.
٤. أذية العصب مع سلامة الغلالة الخارجية.
٥. **قطع تام للعصب:**

يتخرّب العصب بكامل تركيبته. وحده الإصلاح الجراحي للعصب يمنح الأمل في استعادة الوظيفة. والنتائج مرهونة بسخاء الطبيعة، بحرفية الجراح، وأخيراً وليس آخراً بحلم وخبرة طبيب التأهيل الفيزيائي.

الإصلاح الجراحيّ (الإنذار)

الإنذار الجيّد للإصلاح العصبيّ يعتمد على عوامل ثلاثة:

١. طبيعة سخيّة:

٢. جراح حقيقيّ.
٣. طبيب تأهيل خبير وحليم.

- عمر المصاب: الأطفال أحسن إنذاراً من الكبار.
- صحّة المصاب: صحيحو الأبدان أفضل إنذاراً من أصحاب العلل (مرضى السكري، المدخنين، سيئيّ التغذية، الخ).
- موقع الأذيّة العصبيّة: أذيّة العصب الزندي في المعصم أفضل إنذاراً من أذيّته في العضد أو المرفق.
- نوع العصب المصاب: العصب وحيد الوظيفة (حسي، ام حركي) أفضل إنذاراً بكثير من الأعصاب المختلطة الحسيّة- الحركيّة.
- آلية الأذيّة العصبيّة: جرح العصب بالزجاج أفضل إنذاراً من سحق العصب بألة صناعيّة أم زراعيّة.
- طاقة العامل المسيّب: قطع العصب بطعنة سكين أفضل إنذاراً من تهشيمه بطلقة رشاش حربيّ.
- نوع الإصلاح العصبيّ: الخياطة المباشرة للعصب أفضل إنذاراً بكثير من إصلاح العصب بوساطة الطعوم العصبيّة.
- توحد الإصابة العصبيّة: الأذيّة العصبيّة المعزولة أفضل إنذاراً منها مع وجود مرافقات أخرى.
- ومن سحاء الطبيعة كذلك، وجود غرفة عمليّات مجهّزة، طبيب مخدّر قادر، أدوات جراحيّة مناسبة، ومساعدين مدربيين على هكذا جراحات.

الإصلاح الجراحيّ (الإنذار)

الإنذار الجيّد للخياطة العصبية يعتمد على عوامل ثلاثة:

١. طبيعة سخيّة.
٢. جراح حقيقيّ:
٣. طبيب تأهيل خبير وحليم.



- هو من يتقن تقنيّات الجراحة المجهرية، ومن يُحسن استعمال أدواته.
- هو من يعلم موجبات الإصلاح العصبيّ، ويعلم توقيته.
- هو من يحفظ عن ظهر قلب قانون الأولويات (حياة المصاب، حياة الطرف، آخراً وظيفة الطرف).
- هو من فهم العلاقة العضوية بين مفردات الجسم فهماً عميقاً، فما فائدة استعادة وظيفة العصب حين يكون المفصل الهدف خراباً بانسأ، مثلاً.
- هو من عرف حدود استطاعته، فالتزمها.
- هو من يعلم أن لا يخوض فيما لا معنى له: فما فائدة إصلاح عصب زندي مقطوع في أعلى العضم، بوساطة طعوم عصبية، على بعد عامين من الأديّة، مثلاً.
- هو من علم موانع العمل الجراحيّ عموماً، والإصلاح العصبيّ خصوصاً.

الإصلاح الجراحيّ (الإنذار)

الإنذار الجيّد للخياطة العصبية يعتمد
على عوامل ثلاثة:

١. طبيعة سخيّة.
٢. جراح حقيقيّ.
٣. طبيب تاهيل خبير وحليم:

قد نخسر بعض المكتسبات الجراحيّة، إن لم نقل جميعها،
عند بدء العلاج الفيزيائي بيد عابثة تفتقد الحلم والخبرة.

الإصلاح الجراحيّ (أدواته)

" لا إصلاح عصبيّ بدون الجراحة المجهرية، وبدون أدواتها الخاصّة " وهي:

- وسائل التكبير الضوئية (مجهر رأسي، مجهر سقفي، أو مجهر على قاعدة أرضية متحركة).
- خيوط الجراحة المجهرية (خيطان برولين ٧/٠، ٨/٠، ٩/٠، ١٠/٠).
- الابرة مدوّرة، استدارتها ٣/٨، طول الابرة ١٦ مم، و ١٩ مم.
- ملقط مجهري، مزوّد بسنّ مجهرية، لمناولة الغلالة الخارجيّة للعصب.
- ملقط مجهريّ، بدون سنّ، لمناولة الخيوط المجهرية.
- مقص مجهري، بفكين طويلين، لقص نهايتي العصب.
- حامل إبرة مجهريّ.
- رقاقة بلاستيكية بلون أزرق أو أصفر، تخدم كخلفية لمسرح الخياطة المجهرية.

الإصلاح الجراحيّ (أدواته)

"لا إصلاح عصبيّ بدون الجراحة المجهرية، وبدون أدواتها الخاصّة" وهي:

- سائط التكبير الضوئية (مجهر رأسي، مجهر سقفي، أو مجهر على قاعدة أرضية متحرّكة).
- خيوط الجراحة المجهرية (خيطان برولين ٧/٠، ٨/٠، ٩/٠، ١٠/٠).
- الابرة مدوّرة، استدارتها ٣/٨، طول الابرة ١٦ مم، و ١٩ مم.
- ملقط مجهري، مزوّد بسنّ مجهرية، لمناولة الغلالة الخارجيّة للعصب.
- ملقط مجهريّ، بدون سنّ، لمناولة الخيوط المجهرية.
- مقص مجهري، بفكين طويلين، لقص نهايتي العصب.
- حامل إبرة مجهريّ.
- رقاقة بلاستيكية بلون أزرق أو أصفر، تخدم كخلفية لمسرح الخياطة المجهرية.

الإصلاح الجراحيّ (التوقيت)

رأي شخصي

تغزو الصفيحات وعوامل التخثر، كما مصورات الليف، طرفي القطع العصبي فتعطيها بعض القساوة. هي قساوة لا تعيق في شيء عملية التجدد العصبي، بيد أنها عظيمة الفعل في تمكين الجراح من منابذة نهايتي العصب ومن غرز خيطانه حيث يجب.

في الاصلاح الجراحي العصبي، نمايز بين زمنين:

➤ الإصلاح الجراحي الباكر:
➤ الإصلاح الجراحي المتأخر.

• **بصورة عاجلة:** قطعاً، عند وجود أذيات مرافقة لا تحتمل تأخير العمل الجراحي (نزف، أذية وعائية تهدد حياة الطرف، كسر عظم مجاور للأذية العصبية، الخ). واحتمالاً، عند إلحاح المصاب و/ أو أهله على التدخل الجراحي العاجل.

• **خلال اليومين التاليين:** خارج ما سبق، شخصياً أفضل التدخل الجراحي في اليومين التاليين لزمان الأذية العصبية للأسباب التالية:

- الأهم في نظري، تقسى حواف القطع العصبي بشكل يسمح بالخياطة المجهريّة للعصب بسهولة أكبر.
- لا يتأثر الإنذار بسبب تأخير الإصلاح الجراحيّ للأذية العصبية، للأذية العضلية- الوترية، أو للأذية الوعائية غير الإقفارية (أي التي لا تحمل تهديداً لحياة الطرف) ليوم أو ويومين.
- يسمح بالعمل الجراحي في ظروف أفضل فيما يخص صحة المريض، واستعداد الطاقم الجراحي على السواء.

الإصلاح الجراحيّ (التوقيت)

بعد قطعه، تفقد القطعة البعيدة من العصب مادتها تدريجيّاً، وهو ما يُعرف بالتنكس الفاليريّني.
بعد أربع سنوات من الأذية، تتهدّم جدران البنية الأنبوبيّة للقطعة البعيدة من العصب. عندها، وبرغم الإصلاح العصبيّ الجيّد، لن يجد سبيل التجدّد العصبيّ القادم من المركز أية قناة لجريانه. لذلك نظريّاً، نقول بغياب الفرصة في استعادة الوظيفة، حتّى الحسيّة منها، بعد أربع سنوات من الأذية العصبيّة.

- نظريّاً، ورغم غياب الوظيفة التالي لأذية العصب المغذي لها، تحافظ المستقبلات الحسيّة المحيطيّة على سلامة بنيتها النسيجيّة لعشر سنوات. ونتيجةً لذلك، يبقى الأمل في استعادة الحسّ الوقائيّ (حس الألم وحس الحرارة والبرودة) قائماً بمثل ذلك. بالمقابل، لا نعد المصاب بعودة كاملة للحركة بعد عام من الأذية العصبيّة المهملة (أي غياب التحريض الكهربائيّ الصنعيّ). فعمر المستقبلات الحركيّة العضليّة قصير، لا يتعدى العام.

شخصيّاً، أقول بضرورة التحرير الجراحيّ في كلّ الأذيات العصبيّة المهملة. فاستعادة الحسّ الوقائيّ ممكنة مادامت المستقبلات الحسيّة المحيطيّة سليمة البنية، أي لـ عشر سنوات.

في الاصلاح الجراحي العصبيّ، نمايز بين زمنين:

- الإصلاح الجراحي الباكر.
- الإصلاح الجراحي المتأخر:

- **خلال الشهرين التاليين للرض:** حين استقرار العلامات الحيويّة للمصاب، وزوال المفاعيل الصّارة للرضّ والشدّة المصاحبة له (وذمة الطرف، تكدّم جلد الناحية، انتان ثانويّ في حال حدوثه، الخ).
- **ابعد من ذلك:** في الأذيات العصبيّة المهملة، متى طلب المصاب العون الطّبيّ.

الإصلاح الجراحيّ (لغير المختصّين)

هَبْ اِنَّكَ وَحيداً امام اذّيّة عصبية،
مالعمل حينها؟
خياران لا ثالث لهما:

- خياطة العصب نهاية-نهاية:
- تحضير طرفي العصب لخياطة احترافية في زمن ثانٍ.

كونك غير مختصّ في الإصلاح العصبيّ المجهرّي، تقبّل منّي بعض النصائح خدمة للمصاب:

- قلّل ما امكن من منابطة طرفي القطع العصبيّ كونك لا تملك الأدوات المناسبة لذلك.
- استعمل خيط برولين فهو الوحيد المناسب للخياطة العصبية (وحيد الجديلة، لا يُمتص، ارتكاس العصب نحوه في حدوده الدّنيا).
- في حال لم يتوفّر خيط البرولين، استعمل أيّ خيط وحيد الجديلة بطيء الامتصاص وهذا لزوم الضرورة.
- استعمل خيوط ناعمة في حدود قدرتك على التعامل معها (عادة ما يُستعمل الخيط بقياس 0/0 من قبل غير المختصين).
- اكتفِ بخياطة القميص الخارجي للعصب بين طرفي القطع (خياطة سطحية شمولية).
- حافظ على مسارات خطوط الأوعية الدموية على ظهر العصب فهي الدليل على حسن المقابلة.
- قلّل من عدد غرز الخياطة (5 إلى 6 غرز وذلك حسب قطر العصب).
- قلّل المسافة بين مدخل الخيط، وكذلك مخرجه، وبين حافة القطع العصبى (1 مم عن حافة القطع).
- تجنّب الخياطة تحت شدّ.
- لا تحاول استعمال طعوم عصبية لتعويض الضياع في مادة العصب، فالطعوم العصبية نادرة وصعبّ التعامل معها.
- تأتي الخياطة العصبية في الزمن الأخير من العمل الجراحيّ (ليس بعدها سوى إغلاق الجلد ووضع مفجّر إن لزم الأمر).
- تأكد من جودة الجلد فوق خطّ الخياطة العصبية.
- تجنّب وجود الأنبوب النازح (المفجّر) بجوار خط الخياطة.
- تأكد من تثبيت الطرف في وضعية الراحة بالنسبة لخط الخياطة العصبية لمدة ثلاثة أسابيع على الأقل.

الإصلاح الجراحيّ (لغير المختصّين)

هَبْ اِنَّكَ وَحيداً امام اذّيّة عصبية، مالعمل حينها؟
خياران لا ثالث لهما:

- خياطة العصب نهاية-نهاية.
- تحضير طرفي العصب لخياطة احترافية في زمن ثانٍ:

في الانتظار، عليك بالآتي:

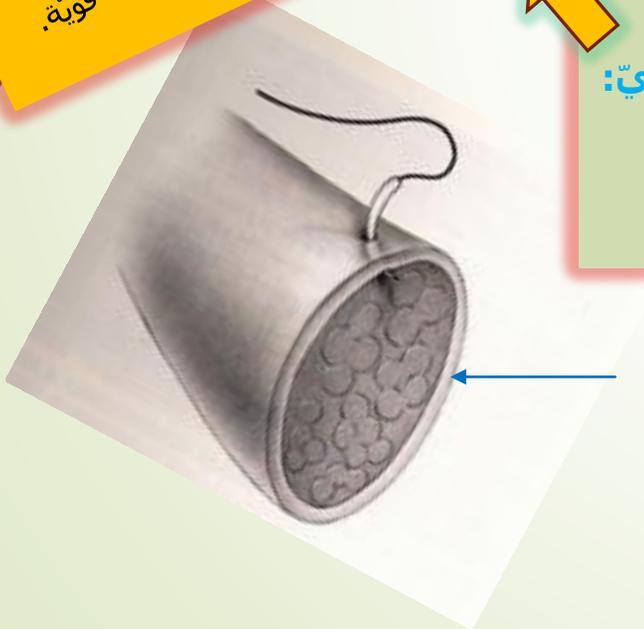
- اصلاح الأذيّات المرافقة للأذيّة العصبية.
- إصلاح الأذيّة الشريانية، في حال وجدت، إجراء ضروريّ لازم. لا تركن لوجود تروية إضافية للطرف المعني فقد تبين إحصائياً تحسّن التجدد العصبيّ كماً وكيفاً بتحسّن تروية الطرف.
- استئصال النسيج النخرية من سرير العصب.
- تعليق طرفي القطع العصبي ببعضهما، أو عليّ بنية نسيجية ثابتة في الجوار، منعاً لانكماشهما وتباعدهما لاحقاً (المسافة بين طرفي القطع هي ١ سم مثلاً في الزمن الأوّل، قد تصبح ٦ سم بعد عدّة اشهر، ممّا يعني صعوبة اكبر في الإصلاح العصبيّ المباشر).
- تامين غطاء جلديّ جيّد لمنطقة الإصابة غاية في الأهميّة.
- توجيه المصاب إلى ضرورة الإصلاح العصبيّ في زمن ثانٍ، لكن عند اختصاصي هذه المرّة.

الإصلاح الجراحيّ (الخيطة العصبية)

- هي الأساس والأسهل في خياطة العصب.
- تقابل بين القميص الخارجي لسطح القطع القريب مع نظيره في سطح القطع البعيد.
- هي خياطة قويّة لأنّها تستند على بنية قويّة.

تهدف خياطة العصب إلى مقابلة سطحي القطع بحيث تجد كل حزمة عصبية في سطح القطع القريب امتدادها الطبيعيّ في سطح القطع البعيد، أو أن تجد شبيهة له بالوظيفة على أضعف تقدير (الحزمة الحركية تقابل حزمة حركية، والحزمة الحسية تقابل حزمة حسية). للخياطة العصبية اشكال عديدة، هي:

- **خياطة سطحية شمولية: خياطة القميص الخارجي- إلى- القميص الخارجي:**
- خياطة عميقة شمولية: خياطة كامل سماكة القميص الخارجي- إلى- كامل القميص الخارجي.
- خياطة حزمية: خياطة القميص الأوسط- إلى- القميص الأوسط.
- خياطة كتلية: خياطة قميص خارجيّ و قميص متوسط- إلى- قميص متوسط و قميص خارجيّ.



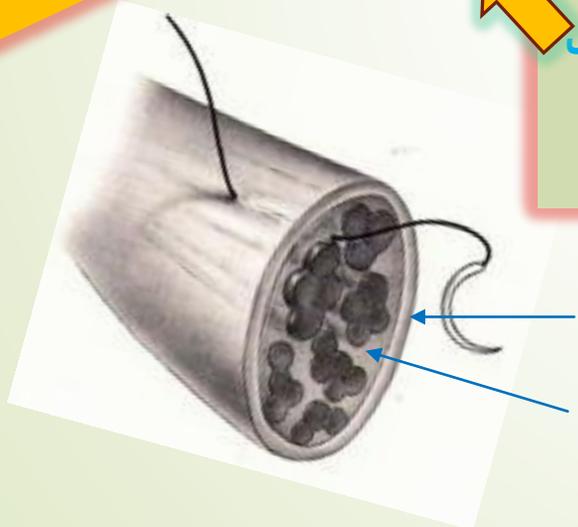
القميص الخارجي
Epineurium

الإصلاح الجراحيّ (الخيطة العصبية)

تشمل الخيطة القميص الخارجي بجزئيه؛ القميص الخارجي بالخاصة ومادته بين الحزم العصبية في جهة، مع نظيريهما في الجهة المقابلة. إذاً، هي ذاتها الخيطة السابقة مع تعديل طفيف. لها خصائص الخيطة الأولى من حيث السهولة والقوة، وتزيد عليها دقة المقابلة بين الحزم.

تهدف خيطة العصب إلى مقابلة سطحي القطع بحيث تجد كل حزمة عصبية في سطح القطع القريب امتدادها الطبيعي في سطح القطع البعيد، أو أن تجد شبيهة له بالوظيفة على أضعف تقدير (الحزمة الحركية تقابل حزمة حركية، والحزمة الحسية تقابل حزمة حسية). للخيطة العصبية اشكال عديدة، هي:

- خيطة سطحية شمولية: خيطة القميص الخارجي- إلى- القميص الخارجي.
- **خيطة عميقة شمولية: خيطة كامل سماكة القميص الخارجي- إلى- كامل سماكة القميص الخارجي:**
- خيطة حزمية: خيطة القميص الأوسط- إلى- القميص الأوسط.
- خيطة كتلية: خيطة قميص خارجي و قميص متوسط- إلى- قميص متوسط و قميص خارجي.



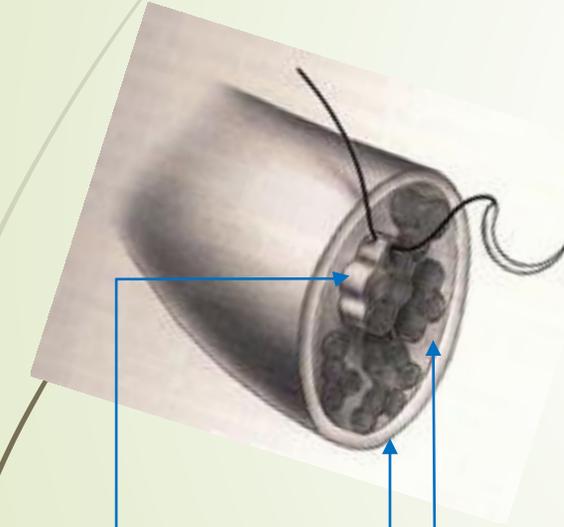
القميص الخارجي
Epineurium

القميص الخارجي في جزئه بين الحزم
Inter- Fascicular Epineurium

الإصلاح الجراحيّ (الخيطة العصبية)

تهدف خيطة العصب إلى مقابلة سطحي القطع بحيث تجد كل حزمة عصبية في سطح القطع القريب امتدادها الطبيعيّ في سطح القطع البعيد، أو أن تجد شبيهة له بالوظيفة على أضعف تقدير (الحزمة الحركية تقابل حزمة حركية، والحزمة الحسية تقابل حزمة حسية). للخيطة العصبية اشكال عديدة، هي:

- خيطة سطحية شمولية: خيطة القميص الخارجي- إلى- القميص الخارجي.
- خيطة عميقة شمولية: خيطة كامل القميص الخارجي- إلى- كامل القميص الخارجي.
- **خيطة حزمية: خيطة القميص المتوسط- إلى- القميص المتوسط:**
- خيطة كتلية: خيطة قميص خارجي و قميص متوسط- إلى- قميص متوسط و قميص خارجي.



القميص المتوسط
Perineurium

القميص الخارجي
Epineurium

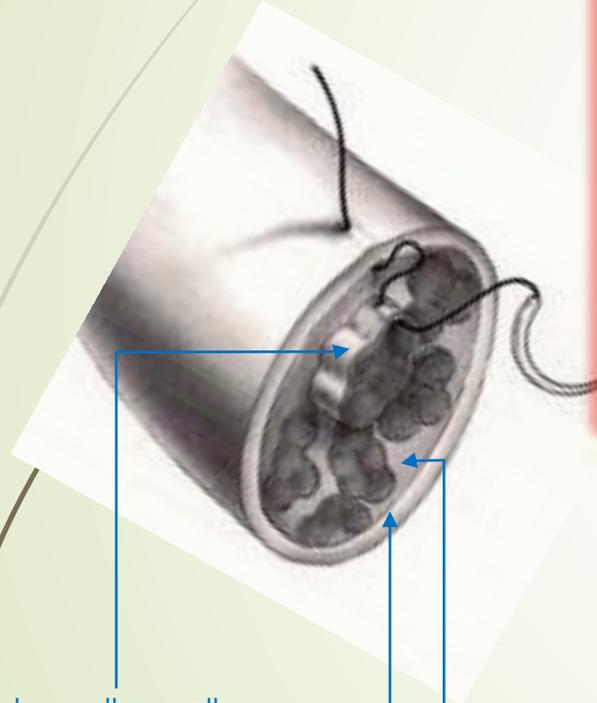
القميص الخارجي في جزئه بين الحزم
Inter-Fascicular Epineurium

- تجمع الخيطة القميص الأوسط في جهة، مع نظيره في الجهة المقابلة.
- تحقق تقابل ممتاز بين الحزم العصبية.
- كتلة الخيط لمقابلة حزمة عصبية واحدة قليلة نسبياً، لكن المجموع الجبري لهذه الكتلة حين مقابلة مجموع الحزم في العصب هو كبير جداً ولذلك محاذيره.
- تتصف بالضعف وصعوبة التنفيذ نظراً لرقّة وميوعة القميص المتوسط.
- غالباً ما تُشارك مع أنواع أخرى للخيطة العصبية.
- غالباً، ما ألجا لمقابلة بعض الحزم الكبيرة تاركاً بقية عملية الاصلاح العصبية لواحدة ممّا سبق.

الإصلاح الجراحيّ (الخيطة العصبية)

تهدف خياطة العصب إلى مقابلة سطحي القطع بحيث تجد كل حزمة عصبية في سطح القطع القريب امتدادها الطبيعيّ في سطح القطع البعيد، أو أن تجد شبيهة له بالوظيفة على أضعف تقدير (الحزمة الحركية تقابل حزمة حركية، والحزمة الحسية تقابل حزمة حسية). للخياطة العصبية اشكال عديدة، هي:

- خياطة سطحية شمولية: خياطة القميص الخارجي- إلى- القميص الخارجيّ.
- خياطة عميقة شمولية: خياطة القميص الخارجيّ- إلى- القميص الخارجي.
- خياطة حزمية: خياطة القميص الأوسط- إلى- القميص الأوسط.
- **خياطة كتلية: خياطة قميص خارجيّ وقميص متوسط- إلى- قميص متوسط وقميص خارجيّ:**



القميص المتوسط
Perineurium

القميص الخارجيّ
Epineurium

القميص الخارجيّ في جزئه بين الحزم
Inter-Fascicular Epineurium

- تنتقل فيها إبرة الخيط من القميص الخارجيّ إلى القميص المتوسط في الجهة ذاتها، إلى القميص المتوسط فالقميص الخارجي في الجهة الأخرى.
- تحقق تقابل ممتاز بين الحزم العصبية.
- تتصف بالقوة نظراً لمتانة القميص الخارجيّ للعصب.
- غالباً، ما ألجا لهذا خياطة في الأعصاب كبيرة القطر حين إتمام صف الخياطة السطحيّ (الأقرب إليّ)، ثمّ اتّمم صف الغرز العميقة بخياطة شمولية عميقة و/ أو سطحية.

الإصلاح الجراحيّ

(بين العام والشخصيّ)

وفياً لتجربتي الشخصية أقول:

قد يكون من الضروريّ قونة عمليّة التجدّد العصبيّ لغايات تعليميّة. بيد أنّي بعد طول العمل في هذا المجال، لم أعد متحمساً لهكذا منهجيّة. فقد حدث معي ان استعاد المصاب حسّاً وقاتياً جيداً بعد العمل الجراحيّ مباشرة، وفي عددٍ غير قليل من عمليّات الإصلاح العصبيّ سواء الباكرة منها أو المتأخرة (في واحدة منها مثلاً، بعد ثلاثة اشهر من زمن قطع العصب المتوسّط في الثلث السفليّ من الساعد، كانت المفاجأة باستعادة حسّ جيّد في باحة المتوسّط اعتباراً من اليوم الأول بعد الجراحة).

قد يكون مردّ التناقض بين ما هو سائد عالمياً ومعطياتي الخاصّة هو فكرة النقل العصبيّ في المحاور العصبيّة ذاتها. لذلك، أنصح المهتمين بقراءة مقالي المعنون:

"النقل العصبيّ بين مورون قاصر وحديد حاصر"
مقاربة شخصيّة لآلّة النقل العصبيّ

- نظريّاً، بعد تجاوزه خط الخياطة العصبيّة، يتقدّم سيل التجدّد العصبيّ، كنهج جليد، ببطء (١ مم / اليوم).
- عادةً، يبدأ المصاب باستعادة الحس الوقائي (حس الألم والحرارة) أوّلاً.
- استعادة الحركة الفاعلة في المفصل أو المفاصل الهدف تأتي متأخّرة.
- تستمر عمليّة التجدّد العصبي لعامين بعد الإصلاح العصبيّ.
- عادةً، تكون المكاسب الحسيّة أفضل من تلك الحركيّة.
- إعادة التأهيل والتدريب هي عمليّة مستمرة، وبناتج هامّة.
- دراسة العصب كهربائياً بعد ٤٠ يوماً من عمليّة الإصلاح، ثمّ كل شهرين بعد ذلك (شخصياً لا التزم بهذه الإجراء).

الإصلاح الجراحيّ

(بين العام والشخصيّ)

هنا أيضاً، ستجدون اختلافاً كبيراً بين ما هو سائد في عالم الطبّ، وبين توجهاتي الخاصّة. نظرياً وعملياً، وجدت أن الأساس النظريّ لما يُسمّى بدراسة سرعة النقل العصبيّ خاطئ بالمطلق. وعليه فإن القيم المنتزعة من جهاز تخطيط الأعصاب هي خاطئة بالضرورة.

لمزيد من المعرفة، أنصح بقراءة مقالي المعنون:

[" تخطيط الأعصاب الكهربائيّ
كلمة في سرعة النقل العصبيّ "](#)

- نظرياً، بعد تجاوزه خط الخياطة العصبية، يتقدّم سيل التجدّد العصبيّ، كنهج جليد، ببطء (١ مم / اليوم).
- عادةً، يبدأ المصاب باستعادة الحس الوقائي (حس الألم والحرارة) أولاً.
- استعادة الحركة الفاعلة في المفصل أو المفاصل الهدف تأتي متأخّرة.
- تستمر عملية التجدّد العصبي لعامين بعد الإصلاح العصبيّ.
- عادةً، تكون المكاسب الحسية أفضل من تلك الحركية.
- إعادة التأهيل والتدريب هي عملية مستمرة، وبناتج هامة.
- دراسة العصب كهربائياً بعد ٤٠ يوماً من عملية الإصلاح، ثم كل شهرين بعد ذلك .
- (شخصياً لا التزم بهذه الإجراء. لمتابعة التطور السريريّ بعد الإصلاح العصبيّ، أعتد على الفحص السريري المتكرّر فقط).

أنصح بقراءة رؤى جديدة في سياقات مشابهة:

في فقه الأعصاب، الألم أولاً The Pain is First

في فقه الأعصاب، الشكل.. الضرورة The Philosophy of Form

تخطيط الأعصاب الكهربائي، بين الحقيقي والموهوم

الصدمة النخاعية (مفهوم جديد) The Spinal Shock (Innovated Conception)

أذات النخاع الشوكي، الأعراض والعلامات السريرية، بحث في آليات الحدوث The Spinal Injury, The Symptomatology

التنكس الغاليريني، بهاجم المحاور العصبية الحركية للعصب المحيطي.. ويعف عن محاوره الحسية

Wallerian Degeneration, Attacks the Motor Axons of Injured Nerve and Conserves its Sensory Axons

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

عرض تمثلي لآلية النقل العصبي في اللف العصبي Innovated View of Neural Conduction

المستقبلات الحسية، 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

النقل في المشابك العصبية (PowerPoint Presentation)

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

عرض مصور لدور عقدة رانفييه كضابط إيقاع في النقل العصبي Node of Ranvier, The Equalizer (PowerPoint)

شكراً لكم