الفصل الثالث

الحبلُ (النخاعُ) الشوكيُّ
Spinal Cord (Medulla Spinalis)

هو جزءٌ من الجهاز العصبي المركزي يبدأ من النخاع المتطاول (البصلة) medulla oblongata، ويتتابع بالأسفل حتى ينتهي بقطعةٍ متكاملةٍ انتهائيةٍ هي المخروط النخاعي conus medullaris، ومن أعصابٍ تتفرع من نهايته. يصل عند البالغ حتى مستوى الفقرة القطنية الثانية L2، بينما ينتهي عند الأطفال بمستوى أخفض.

أصل المصطلح التشريحي هو النخاع السيسائي لكننا سنستعمل المصطلح الشائع والذي هو النخاع الشوكي.

وظائف الحبل (النخاع) الشوكي Functions of the spinal cord

يعتبر الحبل الشوكي صلة الوصل بين الدماغ و أنحاء الجسم حيث ينقل التنبيهات بالاتجاهين: من المحيط باتجاه الدماغ، ومن الدماغ باتجاه المحيط، وذلك عن طريق السبل الصاعدة والنازلة Ascending and descending tracts على التوالي. و يعتبر مسؤولاً عن المنعكسات الشوكية Spinal reflexes.

بنى الحماية Protective structures

تتمّ حماية الجهاز العصبي المركزي بوساطة ثلاث بُنى تحيط به وهي:

1- **العظام Bones**: تشكّل أول طبقة حمايةٍ، وتتمثل بـالقحف skull والعمود الفقري vertebral column وهي تحمي الدماغ والحبل الشوكي على الترتيب.

2- **السحايا Meninges**: تشكّل طبقة الحماية الثانية، وهي عبارةٌ عن ثلاثة أغلفةٍ من نسيجٍ ضامٍ تغلِّف الدماغ والنخاع الشوكي وتحميهما، وهي من السطح إلى العمق: الأم الجافية dura mater، الأم العنكبوتية arachnoid mater، الأم الحنون pia mater.

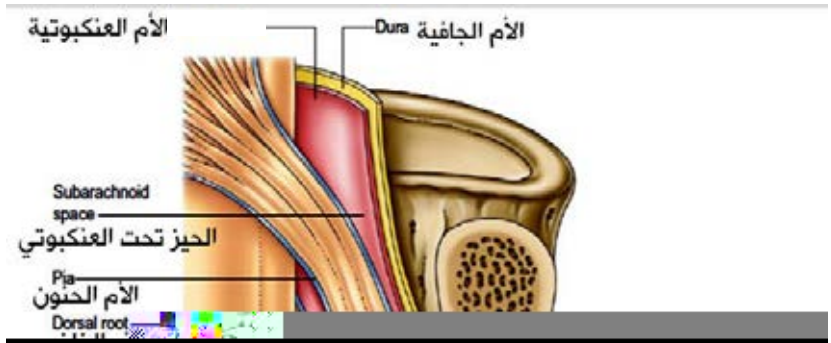
3- **السائل الدماغي الشوكي(س د ش) Cerebro-spinal fluid (CSF)**: الذي يوجد في أجوافٍ داخل الجملة العصبية المركزية ويملؤ الكيس السحائي المحيط بها.

بنى الحماية للحبل (النخاع) الشوكي

1- العمود الفقري Vertebral column

يتواجد الحبل الشوكي ضمن النفق الفقري vertebral canal، حيث يتألف العمود الفقري من مجموعة فقراتٍ متراكبةٍ overlapped vertebrae بعضها فوق بعض ويتشكل النفق الفقري من تتابع الثقب الفقرية ضمن كل فقرةٍ، وهذه الفقرات هي: 7 فقراتٍ رقبيةٍ cervical، 12 فقرةً صدريةً thoracic، 5فقراتٍ قطنيةٍ lumbar، 5 فقراتٍ عجزية sacral ملتحمةٍ تكون عظم العجز sarcum، 4 فقراتٍ عصعصيةٍ coccygeal.

تؤمّن هذه الفقرات مسكناً متيناً للحبل (النخاع) الشوكي الموجود ضمنها. كما توجد أربطةٌ ligaments بين الفقرات تؤمن حمايةً إضافيةً للنخاع الشوكي (الشكل 1-3).



الشكل 1-3 يبين السحايا المغلفة للنخاع الشوكي

2- السحايا الشوكية (السيسائية) Spinal meninges

تحيط السحايا الشوكية بالحبل الشوكي، وتكون متواصلةً مع السحايا القحفية التي تغلف الدماغ.

تغلف طبقات السحايا الثلاث الأعصاب الشوكية حتى نقطة خروجها من العمود الفقري عبر الثقب بين الفقرية intervertebral foramina (الشكل 1-3).

تتم حماية الحبل (النخاع) الشوكي أيضاً بوساطة وسادةٍ من شحمٍ ونسيجٍ ضامٍ تتوضع في المسافة (الحيز) فوق الجافية epidural space.

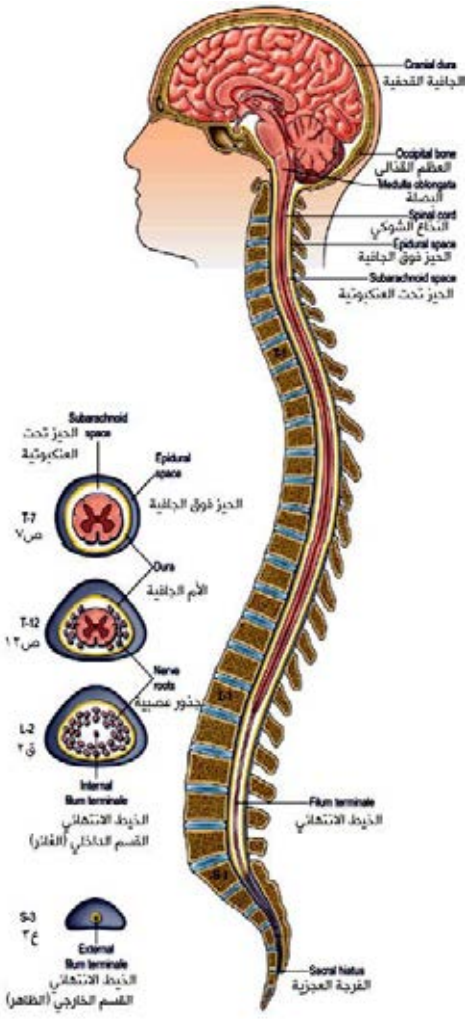
- الأم الجافية Dura mater:

هي الطبقة الأكثر سطحيةً من طبقات السحايا الشوكية الثلاث، وهي طبقةٌ متينةٌ مكوّنةٌ من نسيجٍ ضامٍ كثيفٍ غير مرتّبٍ.

تختلف الأم الجافية في النخاع الشوكي عنها في الدماغ.

- في الدماغ تتألف الأم الجافية من وريقتين: وريقةٌ خارجيةٌ تبطن وتلتصق بالعظم ووريقةٌ داخليةٌ عادةً ما تلتصق بالوريقة الخارجية عادةً وقد تفترق عنها لتحدد بينهما فراغاتٍ على شكل أنفاقٍ تدعى بالجيوب الوريدية القحفية cranial venous sinuses.

- في النخاع الشوكي تتكون الأم الجافية من وريقةٍ واحدةٍ متتابعةٍ مع الوريقة الداخلية للأم الجافية الدماغية، وذلك من مستوى الثقبة الكبرى foramen magnum في العظم القذالي ونزولاً نحو الأسفل حتى مستوى الفقرة العجزية الثانية second sacral vertebra.وتكون على شكل الكيس المحيط بالنخاع الشوكي (الشكل 2-3).



الشكل 2-3: الأم الجافية للحبل الشوكي والخيط الانتهائي

تترك الأم الجافية فراغاً بينها وبين العظم (جدار القناة الفقرية) يدعى

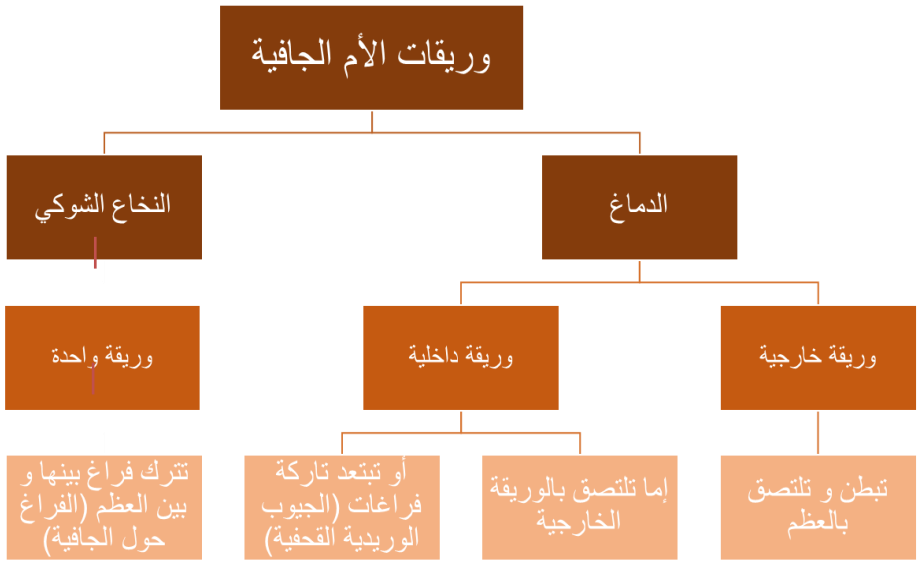
بـالمسافة (الحيز) فوق الجافية Epidural space الذي يستخدم في التخدير القطني lumbar anesthetization من أجل تسكين الألم أو لإجراء عملٍ جراحيٍّ دون ألم.
تتواصل الأم الجافية أيضاً مع غمد العصب epineurium، وهو الطبقة الخارجية المغلفة للأعصاب الشوكية والقحفية.

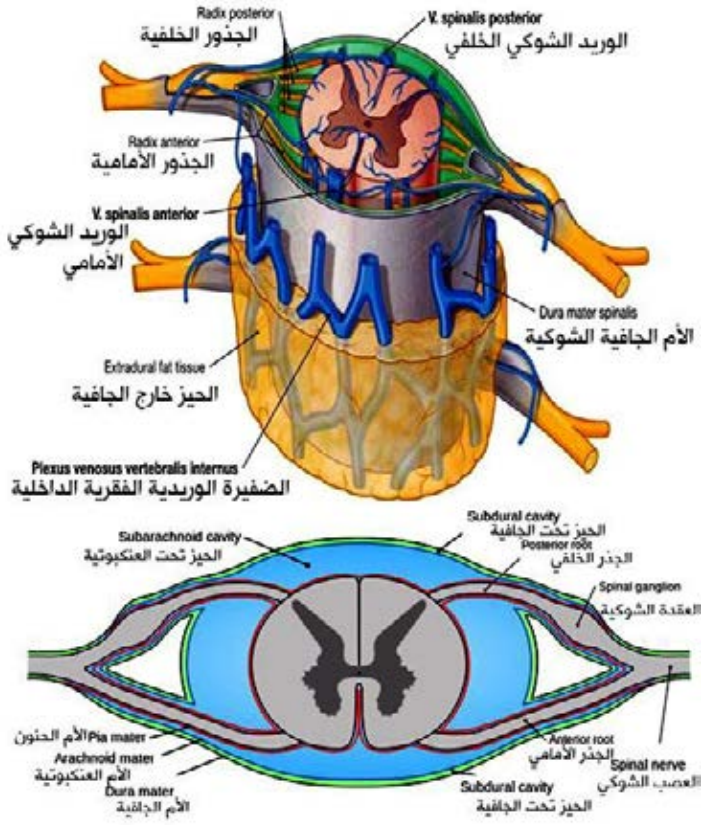
- الأم العنكبوتية Arachnoid mater:

هي الطبقة المتوسطة من طبقات السحايا، وهي طبقةٌ رقيقةٌ لا وعائيةٌ avascular تتضمن خلايا وصفوفاً رقيقةً ورخوةً من ألياف الكولاجين.
يوجد **الحيز تحت الجافية** subdural space بين الأم العنكبوتية والأم الجافية وهو حيزٌ رقيقٌ يحوي سائلاً خلالياً، كما يوجد تحت الأم العنكبوتية **الحيزُ تحت العنكبوتية** subarachnoid space المملوءُ بالسائل الدماغي الشوكي.

- الأم الحنون Pia mater:

هي طبقةٌ من النسيج الضام الشفاف ملتصقةٌ التصاقً صميمياً بالمادة العصبية (الدماغ أو الحبل الشوكي) مباشرةً.
تتألف من خلايا مسطحةٍ إلى مكعبةٍ تتداخلها أليافٌ كولاجينيةٌ وبعض الألياف المرنة. يوجد ضمنها العديد من الأوعية الدموية التي تؤمن الأوكسجين والتغذية للنخاع الشوكي. تتدلى منها حول النخاع الشوكي امتداداتٌ غشائيةٌ مثلثيَّة الشكل triangular-shaped membranous extensions يدعى الواحد منها بـ الرباط المسنَّن.
الرباط المسنن denticulate ligament هو تثخُّنٌ من الأم الحنون، يندمج بالغشاء العنكبوتيِّ والسطح الداخلي للأم الجافية بين الجذور الأمامية والخلفية للأعصاب الشوكية في كلا الجانبين، ويمتدُّ على طول النخاع الشوكي، ويؤمن حمايةً للحبل الشوكي عند الصدمات.





الشكل 3-3: يبين الوريقات الحاوية للدماغ والنخاع الشوكي

الحيِّز فوق الجافية (خارج الجافية) (extradural) Epidural space

يوجد متوضعاً بين القناة الفقرية والسحايا من مستوى الثقبة الكبرى وحتى الفرجة العجزية. يحوي شحماً وأوعيةً دمويةً ولمفيةً وبعض الأوردة الضخمة ذات الجدران الرقيقة (الشكل 3-3).

يمكن الوصول لهذا الحيز في الناحية القطنية والذي يستخدم من أجل التخدير أو إعطاء المسكنات أو لأجل التنظير الداخلي.

الحيِّز تحت العنكبوتي Subarachnoid space

يوجد بين الأم العنكبوتية والأم الحنون. يحيط هذا الحيز بالدماغ والنخاع الشوكي كاملاً. ويملؤه السائل الدماغي الشوكي الذي تفرزه الضفائر المشيمية في البطينات الدماغية.

للسائل الدماغي الشوكي مساران:

- مسارٌ عموديٌّ مركزيٌّ: يبدأ من البطين الجانبي ثم الثقبة بين البطينية فالبطين الثالث فالمسال المخي ثم البطين الرابع وأخيراً قناة السيساء.
- مسارٌ محيطيٌّ: يمر بالثقب الموجودة بالبطين الرابع والواصلة إلى الحيز تحت العنكبوتي (ثقب ماجندي ولوشكا). وهكذا سيصل السائل الدماغي الشوكي إلى الحيز تحت العنكبوتي في محيط الدماغ والنخاع الشوكي وصولاً إلى أسفل القناة الفقرية.

يتوسع الحيز تحت العنكبوتي في بعض الأمكنة على شكل صهاريجَ مملوءةٍ بالسائل الدماغي الشوكي، ويمكن بزل هذا السائل من خلالها.

الحيِّز	الموقع	المحتويات
فوق الجافية	بين جدار القناة الفقرية والأم الجافية	دهنٌ، نسيجٌ ضامٌ رخوٌّ، ضفائرُ وريديةٌ فقريةٌ داخليةٌ
تحت العنكبوتية	بين الأم العنكبوتية والأم الحنون	السائل الدماغي الشوكي، العوارض العنكبوتية, شرايينٌ وأوردةٌ (شوكيةٌ, فقريةٌ, قطريةٌ, سهميةٌ, نخاعيةٌ)

التشريح السريري:

التخدير القطني:

يتم حقن المخدر بوساطة إبرةٍ في الحيز حول الجافية بغية تسكين الألم أثناء العمل الجراحي.
يمكن أيضاً الحقن في مستوى أخفض (ذيلي caudal) ولكنه يكون علاجياً ومسكناً للألم.

البزل القطني Lumbar puncture:

المدخل الأكثر أماناً للسائل الدماغي الشوكي هو الدخول للصهريج القطني في الحيز تحت العنكبوتي على الخط الناصف، تحت المستوى الذي ينتهي عنده الحبل الشوكي (المخروط النخاعي) (L2 عند الكبار).
ويتم ذلك عند البالغين أعلى أو أسفل الفقرة القطنية الرابعة، وغالباً في مستوى بين الفقرتين ق4 وق5. لا يسبب استخدام الإبرة الرفيعة في البزل أذيةً للأعصاب المتحركة المشكلة لذيل الفرس.

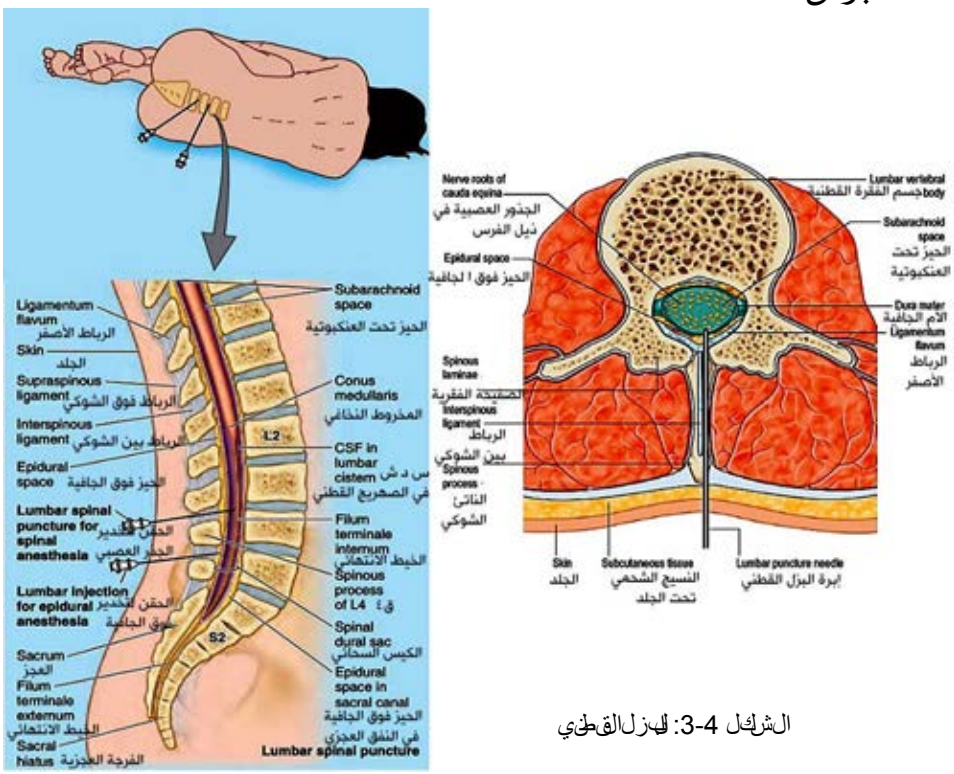
مراحل البزل القطني

- التخدير موضعي.
- إدخال إبرةٍ طويلةٍ مجوَّفةٍ ضمن الحيز تحت العنكبوتية لسحب السائل الدماغي الشوكي، لأهدافٍ تشخيصيةٍ أو لحقن المضادات الحيوية أو المادة الظليلة للتصوير الشعاعي للنخاع الشوكي.

كما يتم إجراؤه في التخدير والمعالجة الكيميائية وقياس ضغط السائل الدماغي الشوكي وتقييم نجاعة معالجة الأمراض مثل التهاب السحايا.

تخترق إبرة البزل الطبقات التالية بالترتيب: الجلد، اللفافة السطحية والنسيج الشحمي، الرباط فوق النواتئ الشوكي، الرباط بين النواتئ الشوكية، الرباط الأصفر، المسافة فوق الجافية، الأم الجافية، المسافة تحت العنكبونية.

يجرى التخدير القطني في الحيز حول الجافية بينما يتم البزل في الحيز تحت العنكبوتى.



الشكل 4-3: البزل القطني

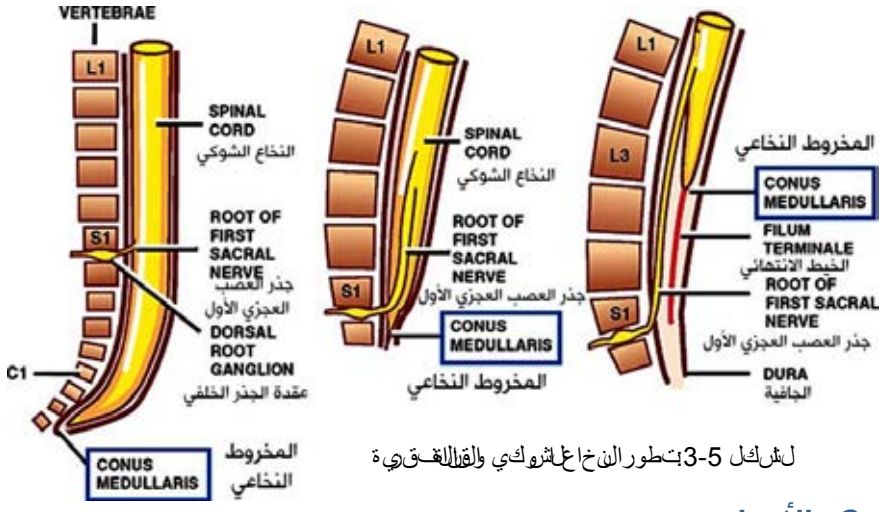
البزل الصهريجي Cisternal puncture

من الممكن الوصول إلى السائل الدماغي الشوكي بإجراء بزلٍ على الخط الناصف للصهريج المخيخي البصلي cerebellomedullary cistern (الصهريج الكبير cisterna magna)، ويتطلب إجراؤه طبيباً اختصاصياً.

التشريح الخارجي للحبل (النخاع) الشوكي

1- تطور وامتداد النخاع الشوكي:

يستمر تطور النخاع الشوكي والقناة الفقرية بشكلٍ ثنائيٍّ (سويةً) حتى سن الخامسة حيث يتوقف بعدها تطور النخاع الشوكي وتستمر القناة الفقرية بالتطور. مما يفسر امتداد النخاع الشوكي عند البالغين من البصلة حتى مستوى الفقرة القطنية الثانية فقط. بينما يصل النخاع الشوكي عند الأطفال إلى مستوى الفقرة القطنية الثالثة، لذلك يجب الانتباه عند إجراء البزل القطني لدى الأطفال.



الشكل 5-3 تطور النخاع الشوكي والقناة الفقرية

2- الأبعاد:

يتراوح طول النخاع الشوكي عند البالغين من 42-45 سم. ويبلغ قطره الأعظمي 1,5سم تقريباً في المنطقة الرقبية السفلية، ويكون قطره أصغرياً في المنطقة الصدرية والنهاية الطرفية السفلية للنخاع الشوكي ويعزى ذلك تبعاً لتوزع الأعصاب الصادرة من هذه الشدف.

3- الشكل الخارجي:

الشكل الخارجي للنخاع الشوكي ليس متجانساً بل يتكون من حبلٍ وانتباجاتٍ (انتفاخاتٍ) ومخروطٍ نخاعي وخيط انتهائي.

الانتباجان (الانتفاخان) الرقبي والقطني Cervical and lumbar enlargement:

عندما نشاهد الحبل الشوكي من الخارج، يُلاحظ انتباجٌ في الناحية الرقبية وآخر في الناحية القطنية (الشكل 6-3):

	الانتباج العلوي (الرقبي) Cervical enlargement	الانتباج السفلي (القطني) Lumbar enlargement
الامتداد	من الفقرة الرقبية الرابعة C4 إلى الفقرة الصدرية الأولى T1	من ال T9 - T12
ينشأ منه	الأعصاب من وإلى الطرف العلوي (الضفيرة العضدية)	الأعصاب من وإلى الطرفين السفلين (الضفيرة القطنية العجزية)

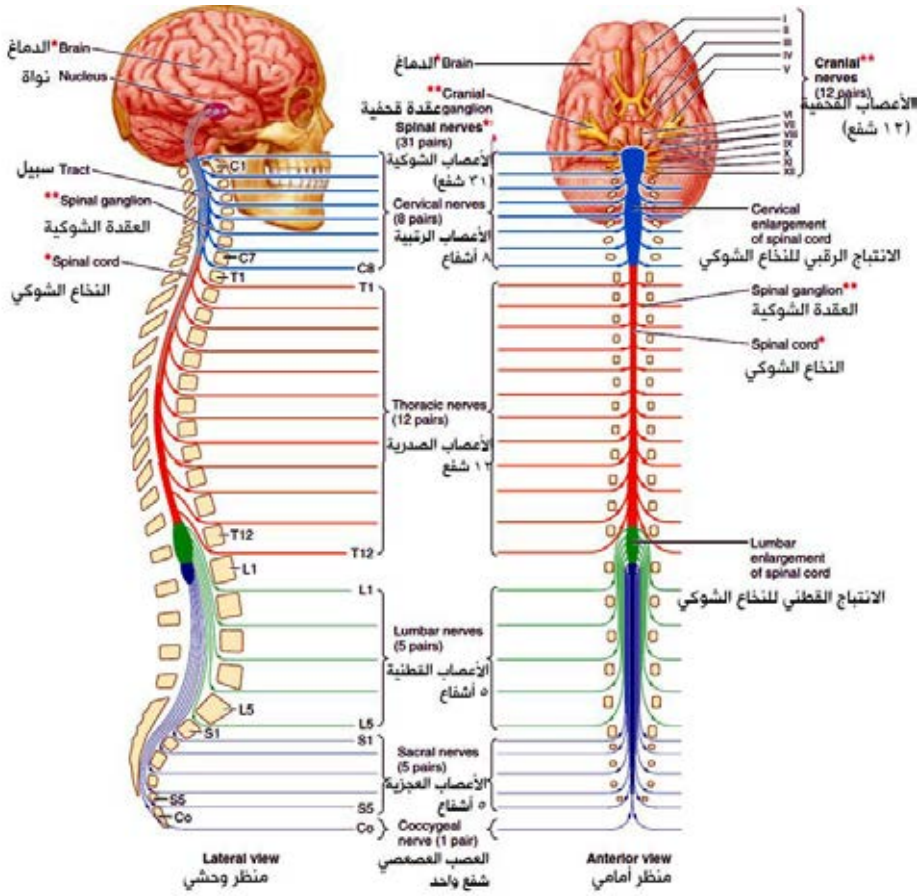
المخروط النخاعي Conus medullaris: هو توسعٌ في الجزء القطني للنخاع الشوكي إلى الأسفل من الانتباج القطني ينتهي في مستوى القرص بين الفقري بين الفقرتين القطنيتين الأولى والثانية عند البالغين.

الخيط الانتهائي Filum terminale: هو امتدادٌ من الأم الحنون، ينشأ من المخروط النخاعي، ويمتد باتجاه الأسفل ليتَّحد مع الأم العنكبوتية والأم الجافية ويرتكز بنهايته البعيدةعلى العصعص (الشكل 7-3).

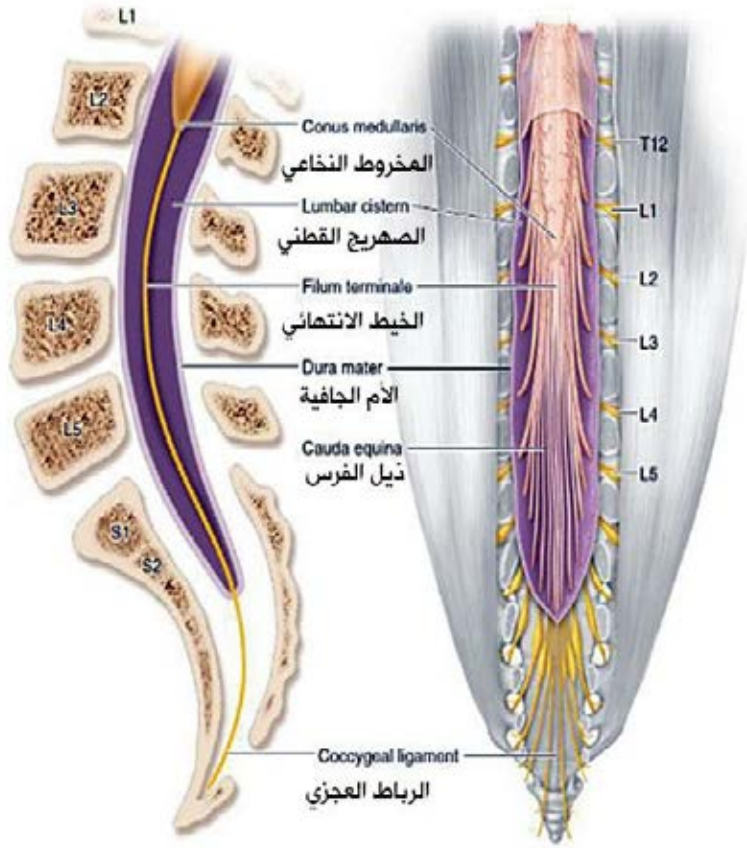
ذيل الفرس Cauda equina: هو مجموع جذور الأعصاب النهائية القطنية والعجزية والعصعصية الخارجة من النخاع الشوكي.

تتجه جذور الأعصاب الشوكية وحشياً لتغادر القناة الفقرية عبر الثقوب بين الفقرية الموافقة لها بالرقم، ونلاحظ أن جذور الأعصاب القطنية والعجزية

والعصعصية لا تغادر القناة الفقرية من نفس مستوى خروجها من النخاع الشوكي وذلك بسبب قصر النخاع الشوكي، فتغير جذور الأعصاب الشوكية الأخيرة اتجاهها الأفقي وتتجه مسافةً نحو الأسفل على جانب الخيط الانتهائي مشكلة بمجموعها ما يشبه خصلة الشعر، ويسمى مجموع هذه الجذور ذيلَ الفرس (الشكل 6-3).



الشكل 6-3: النخاع الشوكي والأعصاب الشوكية

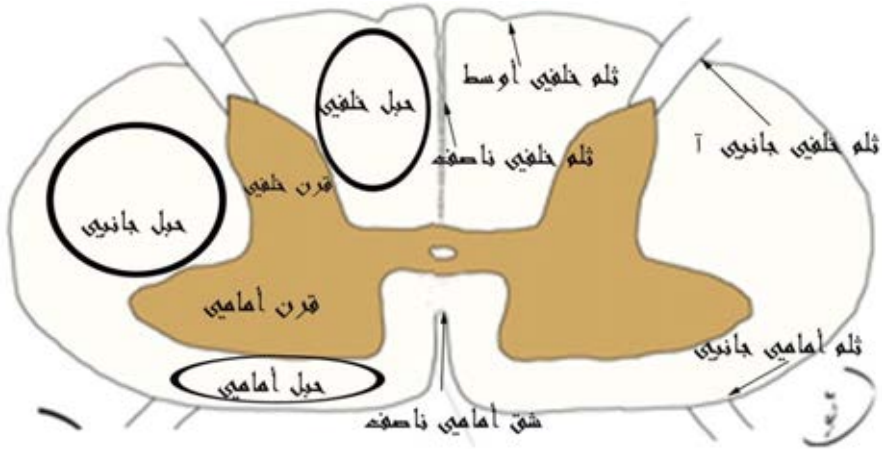


الشكل 7-3: المخطط التخطيطي

4- الأتلام (الأخاديد) Sulci (grooves)

تقسم الأتلام النخاع الشوكي إلى نصفين أيمن وأيسر. يكون الشق الأمامي الناصف على الوجه البطني عريضاً ويتوضع فيه الشريان الشوكي الأمامي. بينما يكون التلم الخلفي الناصف على الوجه الظهري ضيقاً. يلاحظ على جانبي التلم الخلفي الناصف تلمٌ خلفي متوسط يفصل بين الحزمتين الإسفينية والرشيقة في الشدف النخاعية الصدرية العلوية والرقبية (الشكل 3-8).

يلاحظ على كل جانبٍ من الخلف تلمٌ خلفيٌّ جانبيٌّ، ومن الأمام تلمٌ أماميٌّ جانبيٌّ، حيث يدخل الجذر الحسي ويخرج الجذر الحركي على التوالي.
تحدد الأتلام الحدود بين نصفين متماثلين للحبل الشوكي وتنبثق جذور الأعصاب الشوكية من هذين النصفين. فيتألف العصب الشوكي من جذرٍ أماميٍّ حركيٍّ صادرٍ وجذرٍ خلفيٍّ حسيٍّ واردٍ يحتوي على عقدةٍ شوكيةٍ.
تُلاحظ جذور الأعصاب الشوكية ضمن القناة الفقرية فقط ثم تتحد هذه الجذور وتشكِّل العصب الشوكيَّ الذي ينبثق من الثقبة بين الفقرية.



الشكل 8-3: مقطع مستعرض يظهر البنية الداخلية للحبل الشوكي

التنظيم الداخلي للنخاع الشوكي

Internal Organization of Spinal Cord

يتكون النخاع الشوكي داخلياً من ثلاثة عناصرَ تتوضع من المحيط إلى المركز بالشكل الآتي:

1- **المادة البيضاء** White matter التي تتوضع محيطياً وتتوزع بشكل أعمدةٍ تحتوي على سبلٍ صاعدةٍ (تحمل الإحساس من المحيط) وسبلٍ نازلةٍ (تحمل الأوامر باتجاه المحيط). تتألف المادة البيضاء من حزمٍ من المحاوير المغمدة بالنخاعين myelinated axons للعصبونات الحسية، والبينية و المحرّكة.

2- **المادة السنجابية (الرمادية)** Gray matter التي تتوضع مركزياً بالنسبة للمادة البيضاء وتتشكل من قسمين هما القرون السنجابية ومن قسمٍ وصاليٍّ محيطٍ بالقناة المركزية. تمتد القرون السنجابية الأمامية والخلفية على طول النخاع الشوكي بينما تُلاحظ القرون الجانبية بالمستويات الصدرية والقطنية 1-2 فقط. تتألف المادة السنجابية (الرمادية) بشكل رئيسي من أجسام الخلايا العصبية والدبق العصبي neuroglia والمحاوير غير المغمدة بالنخاعين unmyelinated axons وتغصنات العصبونات البينية interneurons والعصبونات المحركة motor neurons.

3- **القناة المركزية** Central canal المتتابعة مع القناة المركزية في الجزء المغلق من البصلة السيسائية، وتحتوي على السائل الدماغي الشوكي وتحيط بها المادة السنجابية. تبطن بالبطانة العصبية ependyma، التي هي ظهارةٌ أسطوانيةٌ مهدبةٌ مبطِّنةٌ لبطينات

الدماغ والقناة المركزية للنخاع الشوكي، وتعدُّ أحد الأنماط الأربعة للدبق العصبي في الجهاز العصبي المركزي.

يُقسم النخاع الشوكي (بشكلٍ غير تامٍ) إلى قسمين متناظرين بواسطة الأتلام التي شوهدت على *الوجه* الخارجيِّ:

- **الحاجز الناصف الخلفي (الظهري)** Posterior (dorsal) median septum وهو ضيّقٌ وعميقٌ يصل إلى حدود المادة السنجابية (الرمادية).
- **الشق الناصف الأمامي (البطني)** Anterior (ventral) median fissure الذي لا يصل إلى حدود المادة السنجابية فلا يفصل المادة البيضاء بشكلٍ تامٍ، وبالتالي تبقى مادةٌ بيضاءُ بين الشق والمادة السنجابية تسمّى المادة البيضاء الوصالية (أو الصوار الأبيض).

الصوار السنجابي (الرمادي) Gray commissure:

جسرٌ عرضيٌّ من المادة الرمادية يصل القرون الأمامية والخلفية في كل جانبٍ.

يُثقب بالقناة المركزية التي تقسمه إلى قسمين أماميٍّ وخلفيٍّ.

الصوار الأبيض White commissure:

يوجد أمام الصوار السنحابي (الرمادي)، ويحوي بشكلٍّ رئيسيٍّ أليافاً عصبيةً متصالبةً (الشكل 8-3).

الاختلافات المناطقية في توزّع المادة الرمادية والمادة البيضاء
Regional differences in the distribution of gray and white matter

المادة السنجابية (الرمادية) Gray matter:

تعتمد كمية المادة السنجابية في أيٍّ مستوىً من النخاع على كمية العضلات والجلد والأنسجة الأخرى المُعصَّبة من قبل العصبونات في هذا المستوى.

ولذلك توجد أكبر كميةٍ من المادة السنجابية في الانتباجين الرقبي والقطني، وذلك لأن العصبونات في هذه القطع من النخاع تعصّب الأطراف العلوية

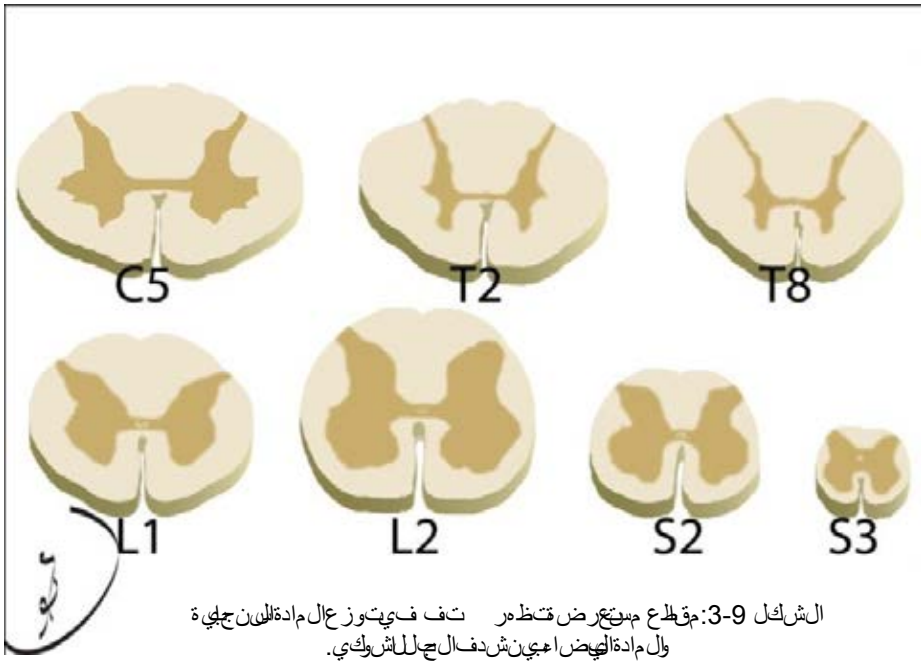
والسفلية. تقل كمية المادة السنجابية في المستويات الصدرية من النخاع الشوكي. يُعدّ القرن الوحشي (الجانبي) lateral horn مميّزاً للقطع الصدرية والقطنية العلوية والقطع العجزية 2-3-4 (الشكل 9-3).

المادة البيضاء White matter:

تزداد كمية المادة البيضاء مع الاتجاه من الأسفل نحو الأعلى. حيث تواجد أكبر كميةٍ من المادة البيضاء في المستويات الرقبية. وتتناقص تدريجياً في المستويات الأخفض. ويعود ذلك إلى وجود أليافٍ تغادر السبل النازلة في أثناء نزولها، وأليافٍ تنضم إلى السبل الصاعدة في أثناء صعودها.

القناة المركزية Central canal:

تتمادى في الأعلى في النصف المغلق (السفلي) من البصلة وبعدها تنتهي في البطين الرابع. تتوسّع في الأسفل، في المخروط النخاعي بشكلٍ مغزليٍّ لتشكّل البطين الانتهائي terminal ventricle؛ والذي يبلغ طوله 8-10 مم، ويزول في حوالي عمر الأربعين سنة. تنتهي القناة المركزية في الأسفل عند جذر الخيط الانتهائي filum terminalis.



الشكل 9-3: مقطع مستعرض متطور يتوزع المادة الرمادية على شكل فراشة والمادة البيضاء على شكل حلقة في الحبل الشوكي.

المادة السنجابية (الرمادية) النخاعية Spinal gray matter

غالباً ما توصف المادة السنجابية النخاعية في المقاطع العرضية بأن لها "شكل الفراشة butterfly-shaped" أو تشبه الحرف "H".

تتألف من أربع كتلٍ خلويةٍ متصلةٍ تدعى القرون horns وهي: قرنان أماميان (بطنيان) anterior (ventral) horns وقرنان خلفيان (ظهريان) posterior horns (dorsal).

تنتهي الألياف الواردة الأولية primary afferent fibers في القرني الخلفيين والتي تدخل عبر الجذور الخلفية (الظهرية) للأعصاب الشوكية.

يحوي القرنان الأماميان العصبونات الصادرة efferent neurons، والتي تغادر محاويرها النخاع الشوكي في الجذور الأمامية (البطنية) للأعصاب الشوكية.

يوجد قرنان وحشيان (جانبيان) lateral horns صغيران في المستويات الصدرية والقطنية العلوية، وهما يحويان أجسام الخلايا لعصبوناتٍ وديةٍ قبل

عقديةٍ preganglionic sympathetic neurons، بينما يحويان في المستويات العجزية S2, S3, S4 أجسام الخلايا لعصبوناتٍ نظيرة وديةٍ قبل عقديةٍ preganglionic parasympathetic neurons.

مجموعات الخلايا العصبية في النخاع الشوكي
Neuronal cell groups of the spinal cord

تكون العصبونات في المادة السنجابية متعددة الأقطاب multipolar، وتتنوع في الحجم وفي ميزاتٍ أخرى، بخاصةٍ الطول وترتيب محاويرها وتغصناتها.
يوجد ثلاثة أنماطَ رئيسيةً من العصبونات:

العصبونات الحسية Sensory neurons	تستقبل الدفعات العصبية من محيط الجسم، وتشكل محاويرها الحزم الصاعدة في المادة البيضاء.
العصبونات المحركة السفلية Lower motor neurons	تنقل الدفعات العصبية إلى العضلات الهيكلية.
العصبونات البينية (الواصلة) Interneurons (connector neurons)	تصل بين العصبونات الحسية والمحركة، في المستوى ذاته أو في مستوياتٍ مختلفةٍ من النخاع، وتشكل بذلك أقواس المنعكسات الشوكية spinal reflex arcs.

تتوزع على الشكل الآتي:

القرن الأمامي (البطني) Anterior (ventral) horn	يحوي نوى محركةً جسميةً، وهي تجمعاتٌ لأجسام الخلايا لعصبوناتٍ محركةٍ جسميةٍ، والتي تؤمن الدفعات العصبية لتقلص العضلات الهيكلية.
القرن الخلفي (الظهري) Posterior (dorsal) horn	يحوي أجسام خلايا ومحاويرَ عصبوناتٍ بينيةٍ، بالإضافة إلى محاوير عصبوناتٍ حسيةٍ واردةٍ.
القرن الوحشي (الجانبي) Lateral horn	يحوي أجسام الخلايا لنوى محركةٍ ذاتيةٍ (حشويةٍ)، والتي تنظّمُ نشاط العضلات الملس، والعضلة القلبية، والغدد.

توجد طريقتان لترتيب مجموعات الخلايا العصبية في النخاع الشوكي:
تعتمد الطريقة الأولى على النوى nuclei حيث تتم دراسة النوى في كل قرنٍ (أماميٍّ، خلفيٍّ، جانبيٍّ) على حدة.
الطريقة الثانية هي صفائح ريكسد Rexed's laminae وتشمل دراستها القرون الثلاثة معاً (الشكل 10-3).

أولاً- الترتيب في نوى Nuclei

1. نوى القرن الأمامي (الحركية الجسمية) Anterior horn nuclei:

يمكن تصنيفها في ثلاث مجموعات: إنسيةٌ medial ومركزيةٌ central ووحشيةٌ lateral.

1- **المجموعة الإنسية Medial group:** توجد في معظم قِطَع (شدف) النخاع الشوكي. تعد مسؤولة عن تعصيب العضلات الهيكلية في العنق والجذع، متضمنةً العضلات الوربية intercostal والعضلات البطنية abdominal.

2- **المجموعة المركزية Central group:** تعدُّ المجموعة الأصغر، وتوجد في بعض القطع الرقبية والقطنية العجزية. تعصب بعض الخلايا في القطع الرقبية C3-C5 الحجاب الحاجز diaphragm على وجه التحديد، وتدعى مجتمعةً **النواة الحجابية** phrenic nucleus. وتعصب بعض الخلايا في القطع الرقبية الخمس أو الست العلوية C1-C5 or (C6) العضلة القصية الترقية الخشائية sternocleidomastoid والعضلة شبه المنحرفة trapezius، وتدعى **النواة اللاحقة** accessory nucleus التي تشكل محاويرها الجذر الشوكي (السيسائي) للعصب اللاحق. توجد **النواة القطنية العجزية** lumbosacral nucleus في القطعة القطنية الثانية وحتى العجزية الأولى (L2-S1)، وتتشكل من عصبونات ذات محاوير مجهولة التوزّع.

3- **المجموعة الوحشية Lateral group:** توجد في القطع الرقبية والقطنية العجزية من النخاع الشوكي، وتعدُّ مسؤولةً عن تعصيب العضلات الهيكلية للأطراف. تتوضع العصبونات المعصبة للعضلات القابضة خلف العصبونات المعصبة للعضلات الباسطة.

2. نوى القرن الجانبي (الحركية الحشوية) Lateral horn nuclei

تشكل المجموعة (النواة) المتوسطة الوحشية (الجانبية) intermediolateral group قرناً سنجابياً جانبياً صغيراً. تمتد من القطعة الصدرية الأولى إلى القطعة القطنية الثانية أو الثالثة من النخاع الشوكي (T1-L2 or L3).

تكون الخلايا صغيرةً نسبياً وتعطي الألياف قبل العقدية الودية preganglionic sympathetic fibers.

توجد مجموعة مشابهة من الخلايا في القطع العجزية الثانية، الثالثة والرابعة من النخاع الشوكي (S2-S4)، وهي تعطي الألياف قبل العقدية نظيرة الودية preganglionic parasympathetic fibers.

تؤمن هذه المجموعة التعصيب نظير الودي إلى الجزء السفلي من البطن والحوض (أي الأجزاء التي لا يصل إليها العصب المبهم).

3. نوى القرن الخلفي (الحسية الجسمية والحشوية) Posterior horn nuclei:

وتقسم في خمس مجموعات:

1- المنطقة الهامشية (الهامشية الخلفية) Marginal zone (posterior marginalis): توجد في ذروة tip القرن الخلفي، وهي ضرورية لنقل حواس الألم pain والحرارة temperature إلى الدماغ.

2- المادة الهلامية (الجيلاتينية) Substantia gelatinosa: توجد في قمة (أسَلةِ) apex القرن الخلفي أمام المنطقة الهامشية، وتمتد على طول النخاع الشوكي.

تتألف عموماً من عصبونات غولجي من النمط الثاني Golgi type II neurons وتتلقى الألياف الخاصة بأحاسيس الألم pain، الحرارة temperature، واللمس touch عبر الجذر الخلفي للعصب الشوكي.

3- النواة البدنية Nucleus proprius: وهي مجموعة من الخلايا العصبية الكبيرة المتوضعة إلى الأمام من المادة الهلامية، والممتدة على طول النخاع الشوكي. تشكل هذه النواة الكتلة الرئيسية من الخلايا الموجودة في القرن الخلفي.

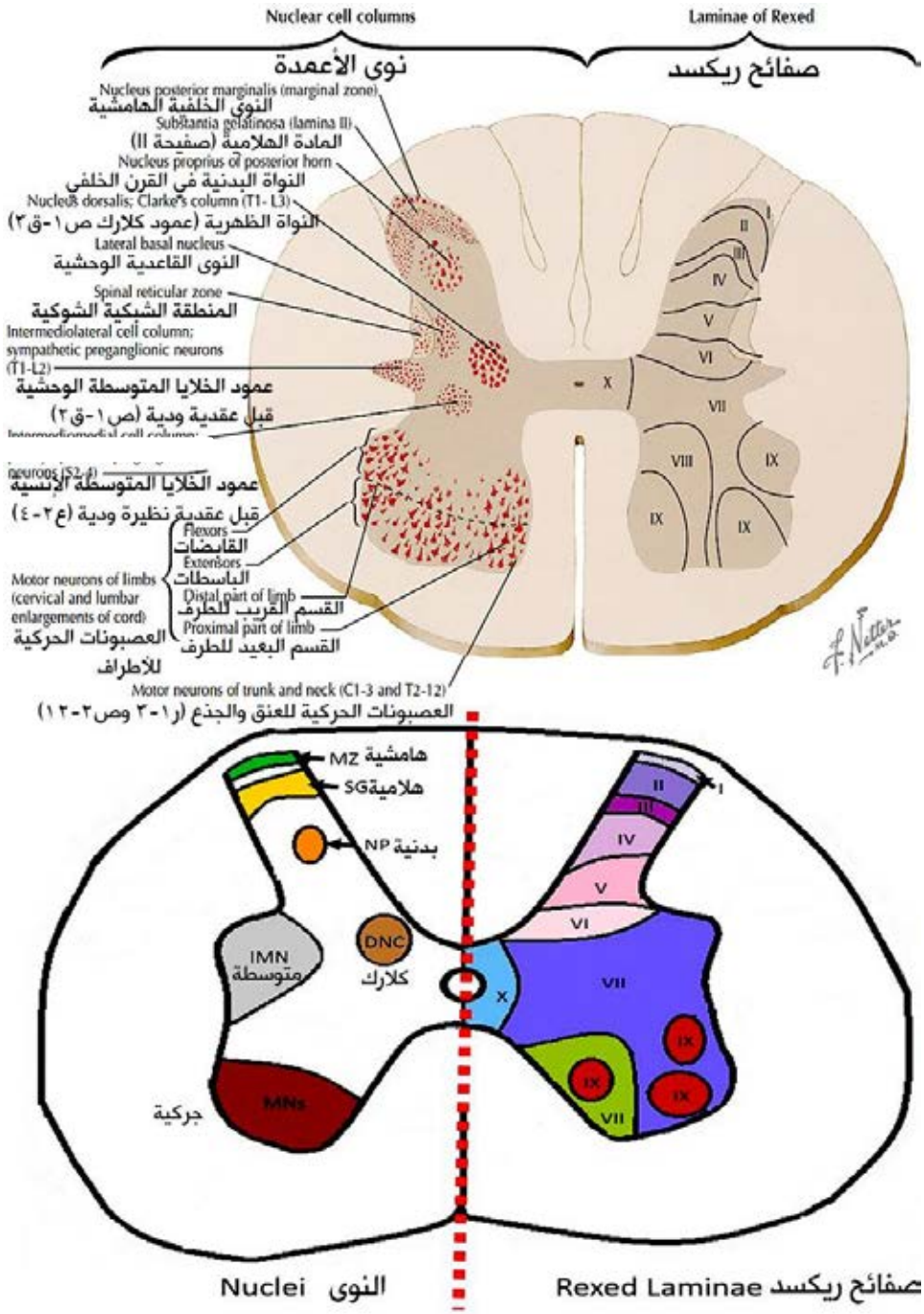
تتلقى الألياف من العمود الأبيض الخلفي المرتبطة بحواس الوضعة position والحركة movement استقبال حس التلقي البدني (الحس العميق

proprioception) المعني بإدراك وضعية الجسم (proprio معناها الذات، ception معناها إدراك).

4- النواة الظهرية (عمود كلارك) Nucleus dorsalis (Clarke's column): هي مجموعة من الخلايا العصبية المتوضعة في قاعدة القرن الخلفي، وتمتد من القطعة الرقبية الثامنة إلى القطعة القطنية الثالثة أو الرابعة (C8-L3 or L4). تكون معظم الخلايا كبيرةً نسبياً، وترتبط بنهايات مستقبلات حس التلقي البدني العميق proprioceptive ending (المغازل العصبية العضليةneuromuscular spindles والأعضاء الوتريةtendon organs).

5- النواة الواردة (الحسية) الحشوية Visceral afferent nucleus: وهي مجموعةٌ من الخلايا **العصبية** متوسطة الحجم، والمتوضعة إلى الوحشي من نواة كلارك الظهرية Clarke's dorsal nucleus. تمتد من القطعة الصدرية الأولى إلى القطعة القطنية الثالثة (T1-L3) وتتلقى المعلومات الواردة (الحسية) الحشوية visceral afferent information.

القرن	المجموعة		الامتداد، ((الموقع))	الوظيفة
الأمامي	الإنسية		معظم القطع	تعصيب العضلات الهيكلية في العنق والجذع
	المركزية	النواة الحجابية	C3-C5	تعصيب عضلة الحجاب الحاجز
		النواة اللاحقة	C1-C5/6	تعصيب العضلة القصية الخشائية والعضلة شبه المنحرفة
		النواة القطنية العجزية	L2-S1	وظيفتها مجهولة
	الوحشية		القطع الرقبية والقطنية العجزية	تعصيب العضلات الهيكلية في الأطراف
الوحشي (الجانبي)	النواة المتوسطة الوحشية		T1-L2/3	التعصيب الودي لكامل الجسم
	النواة العجزية نظيرة الودية		S2-S4	التعصيب نظير الودي للجزء السفلي من البطن والحوض
الخلفي	المنطقة الهامشية		((ذروة القرن الخلفي))	ضرورية لنقل أحاسيس الألم والحرارة إلى الدماغ
	المادة الهلامية		كل القطع، ((قمة القرن الخلفي))	تتلقى الألياف الخاصة بحس الألم، الحرارة، واللمس من الجذر الخلفي للعصب الشوكي
	النواة البدنية		كل القطع، ((أمام المادة الجيلاتينية))	تتلقى الألياف من العمود الأبيض الخلفي المرتبطة باستقبال الحس العميق (وضعة+حركة)
	نواة كلارك الظهرية		C8-L3/4، ((قاعدة القرن الخلفي))	تتلقى معلومات عن استقبال الحس العميق من المغازل العضلية والأعضاء الوترية
	النواة الواردة (الحسية) الحشوية		T1-L3، ((وحشي النواة الظهرية))	تتلقى المعلومات الواردة (الحسية) الحشوية visceral afferent information



الشكل 10-3 تتوزع مجموعات الخلايا العصبية في الحبل الشوكي في النوى الأعمدة الرمادية وفي صفائح ريكسد

ثانياً- الترتيب في صفائح ريكسد Rexed's Laminae

يُدعى هذا الترتيب التنظيمَ المعماري الخلوي للنخاع الشوكي cytoarchitectonic organization of the spinal cord. تُجمع الخلايا العصبية في طبقات أو صفائح تبعاً لـبنيتها ووظيفتها، بدلاً من الاعتماد على موقعها وحده، يكون هذا الانتظام بشكل أعمدةٍ طويلةٍ تظهر في المقاطع العرضية بشكل صفائحَ لا سيما في القرن الخلفي.

تدعى هذه الصفائح بـصفائح ريكسد نسبةً لعالم الأعصاب السويدي Bror Rexed، ويبلغ عددها عشرة صفائحَ مرقمةً بأرقامٍ رومانيةٍ بدءاً من ذروة القرن الخلفي ونحو الأمام باتجاه القرن الأمامي.

تُشكل الصفائح من I حتى VI القرن الخلفي ولها وظيفةٌ حسيَّةٌ.

تشكل الصفيحتان VIII و IX القرن الأمامي ولهما وظيفةٌ حركيةٌ.

الصفيحة VII متوسطةٌ ووظيفتها حشويةٌ) والصفيحة X مركزيةٌ.

الصفيحة الأولى Lamina I:

- توجد في ذروة القرن الخلفي، وتتوافق مع المنطقة الهامشية marginal zone.
- تستجيب الخلايا لمنبهات الألم والحرارة.
- ترسل المعلومات إلى الدماغ عبر السبيل الشوكي المهادي في الجهة المقابلة contralateral spinothalamic tract.

الصفيحة الثانية Lamina II:

- تتوافق مع المادة الجيلاتينية substantia gelatinosa.
- تستقبل حواس الألم والحرارة واللمس، وتُعنى بالإحساس بالمنبهات المؤذية noxious وغير المؤذية non-noxious، وبتنظيم المدخلات الحسية لتساهم في تفسير الدماغ للإشارات القادمة على أنها مؤلمة أم غير مؤلمة.
- ترسل معلومات إلى الصفيحتين الثالثة والرابعة lamina III, IV.

الصفيحة الثالثة Lamina III:

- تتوافق جزئياً مع النواة البدنية nucleus proprius في القرن الخلفي.
- تُعنى باستقبال الحس العميق (حس التلقي البدني أو الوضعة) proprioception وحس اللمس الخفيف light touch.
- تتصل الخلايا فيها مع الخلايا في الصفائح IV, V, VI.

الصفيحة الرابعة Lamina IV:

- تتوافق جزئياً مع النواة البدنية nucleus proprius في القرن الخلفي.
- تُعنى بنقل ومعالجة المعلومات الحسية غير المؤذية non-noxious.
- تتصل الخلايا فيها مع الخلايا في الصفيحة II.

الصفيحة الخامسة Lamina V:

- تنقل المعلومات الحسية، متضمنةً حواس تلقي الأذية nociceptive (مؤلمةٌ مُحتمَلةٌ potentially painful)، إلى الدماغ عبر السبل الشوكية المهادية في الجانب المقابل contralateral spinothalamic tracts.
- تتلقى المعلومات النازلة من الدماغ عبر السبل القشرية الشوكية corticospinal والحمراوية الشوكية rubrospinal.

الصفيحة السادسة Lamina VI:

- تحتوي العديد من العصبونات البينية الصغيرة المعنية بالمنعكسات الشوكية.
- تتلقى المعلومات الحسية من مغازل العضلات (معنية باستقبال الحس العميق).
- ترسل المعلومات إلى الدماغ عبر الطرق الشوكية المخيخية في الجانب ذاته Ipsilateral spinocerebellar pathway.

الصفيحة السابعة Lamina VII:

- منطقةٌ كبيرةٌ غير متجانسةٍ تتنوع على طول النخاع الشوكي.

- تتلقى المعلومات من الصفيحة الثانية وحتى السادسة Lamina II-VI، ومن الأحشاء.
- تنقل المعلومات الحركية إلى الأحشاء وتعطي خلايا معنية بالجهاز العصبي الذاتي autonomic nervous system. تعد نواة كلارك الظهرية Clarke's dorsal nucleus جزءاً من الصفيحة VII.

الصفيحة الثامنة Lamina VIII:

- تتنوع باختلاف مستويات النخاع الشوكي، ولكن تكون أكثر وضوحاً في الانتباجين الرقبي والقطني.
- تُعنى الخلايا في هذه الصفيحة بتنظيم الأوامر الحركية للعضلات الهيكلية.

الصفيحة التاسعة Lamina IX:

- يختلف حجمها وشكلها بين مستويات النخاع الشوكي. تتكون من مجموعاتٍ بارزةٍ من العصبونات الحركية التي تعصب العضلات الهيكلية.

الصفيحة العاشرة Lamina X:

- تحيط بالقناة المركزية، وتُشكّل الصوار السنجابي (الرمادي) grey commissure تتصالب فيها المحاوير من أحد جانبي النخاع الشوكي إلى الآخر.

القرن	الصفحية	النواة المقابلة	الوظيفة	علاقتها بالصفائح الأخرى	السبيل النخاعي المشارك
الخلفي	I	المنطقة الهامشية	الاستجابة لمنبهات الألم والحرارة		السبيل الشوكي المهادي
	II	المادة الجيلاتينية	بالإحساس بالمنبهات المؤذية وغير المؤذية، وبتنظيم المدخلات الحسية	ترسل معلومات إلى الصفيحة III و IV	
	III	النواة البدنية	استقبال الحس العميق (الوضعة) واللمس الدقيق	الصفائح IV, V & VI	
	IV		بنقل ومعالجة المعلومات الحسية غير المؤذية	الصفيحة II	
	V		تنقل المعلومات الحسية، متضمنةً الأحاسيس مستقبلة الأذية إلى الدماغ		-السبل الشوكية المهادية -تتلقى معلومات من السبل القشري الشوكي والحمراوي الشوكي
	VI		تتلقى المعلومات الحسية من مغازل العضلات		ترسل المعلومات إلى الدماغ عبر السبل الشوكية المخيخية
الأمامي	VII	نواة كلارك الظهرية هي جزء منها	تنقل المعلومات الحركية إلى الأحشاء وهي معنيةٌ بالجهاز العصبي الذاتي	تتلقى معلومات من الصفائح II-VI	
	VIII		بتنظيم النتاج الحركي للعضلات الهيكلية		
	IX		تُعصّب العضلات الهيكلية		
	X		تُشكّل الصوار السنجابي وتتصالب فيها المحاوير		

المادة البيضاء النخاعية Spinal White Matter

تحيط المادة البيضاء النخاعية باللب المركزي من المادة السنجابية (الرمادية) و تحوي أليافاً عصبيةً ودبقاً عصبياً وأوعيةً دموية.

تكون مرتبةً في ثلاثة حبالٍ تدعى الأعمدة Columns وهي:

- العمود الأمامي (البطني) Anterior (ventral) column.
- العمود الخلفي (الظهري) Posterior (dorsal) column.
- العمود الوحشي (الجانبي) Lateral column.

تتجمع الألياف ذات الوظيفة المترابطة وتلك الألياف ذات المنشأ أو الوجهة المشتركة، لتشكل السبل الصاعدة والنازلة.

أولاً- السبل النازلة الحركية Descending Motor Tracts

يمكن أن تقسم السبل الحركية وظيفياً إلى مجموعتين رئيسيتين:

1- السبل الهرمية Pyramidal tracts:

تنشأ في قشرة المخ (من الباحة الحركية الأولية الموجودة بالتلفيف أمام المركزي في الفص الجبهي)، وتحمل الألياف الحركية إلى النخاع الشوكي وجذع الدماغ. وهي مسؤولةٌ عن التحكم الإرادي بعضلات الجسم والوجه.

يمكن أن تقسم هذه السبل وظيفياً إلى **السبل القشرية الشوكية** corticospinal tracts التي تعصب عضلات الجسم و **السبل القشرية البصلية** corticobulbar tracts التي تعصب عضلات الرأس والعنق.

السبل القشرية الشوكية Corticospinal tracts:

تبدأ في القشرة المخية. تتقارب، ثم تنزل عبر المحفظة الداخلية internal capsule ثم عبر الساق المخية crus cerebri للدماغ المتوسط ثم عبر الجسر

pons والبصلة medulla. تقسم ألياف هذا السبيل في أسفل جزء من البصلة إلى:

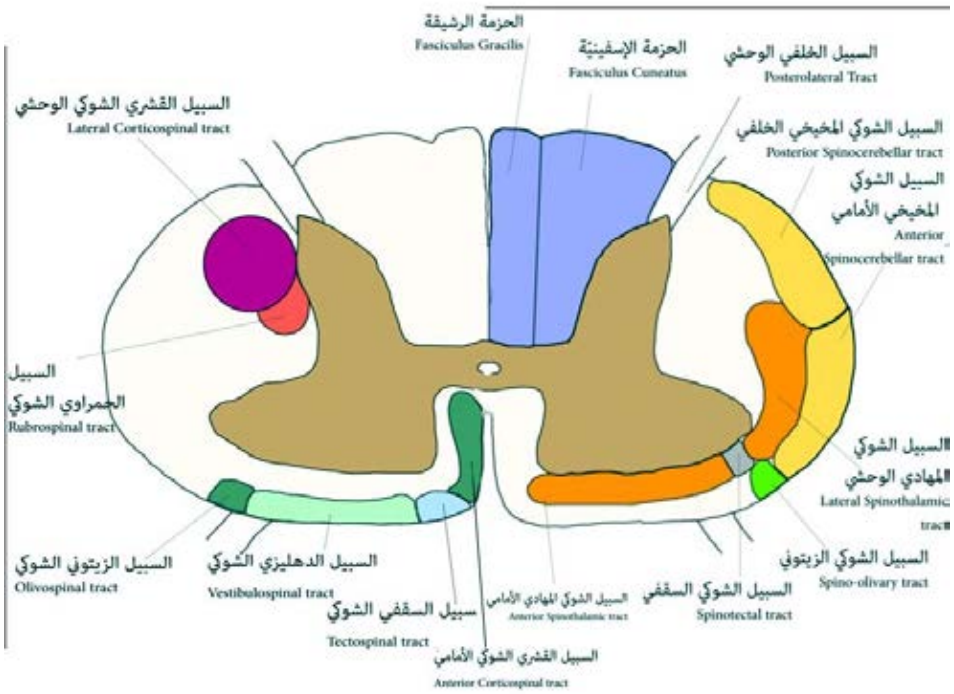
-السبيل القشري الشوكي الوحشي Lateral corticospinal tract:

تتصالب ألياف هذا السبيل (أي تعبر إلى الجانب المقابل للجهاز العصبي المركزي CNS). ثم تنزل في النخاع الشوكي (في العمود الوحشي lateral column)، وتنتهي في القرن الأمامي (في كل مستويات قطع النخاع).

من القرن الأمامي، تمضي العصبونات الحركية السفلية lower motor neurons قُدماً لتعصب عضلات الجسم. يكون انتظام الألياف ضمن هذا السبيل بشكل صفيحي فتقع الألياف النازلة المعصبة للطرفين السفليين (العجزية والقطنية) وحشياً بالنسبة إلى الألياف المعصبة للطرفين العلويين (الصدرية والرقبية) (الشكل 10-3).

-السبيل القشري الشوكي الأمامي Anterior corticospinal tract:

يبقى في الجانب نفسه، وينزل في النخاع الشوكي (في العمود الأمامي anterior column). ثم يتصالب في نهاية المطاف، وينتهي في القرن الأمامي في مستوى القطع الرقبية والصدرية العلوية.



الشكل 9-3: مقطع عرضي في الحبل الشوكي يظهر مواضع السبل الصاعدة (في اليمين) والنازلة (في اليسار).

2- السبل خارج الهرمية Extrapyramidal tracts:

تنشأ في جذع الدماغ، وتحمل الألياف الحركية إلى النخاع الشوكي. وهي مسؤولةٌ عن التحكم اللاإرادي والذاتي بكل العضلات، مثل التوتر العضلي muscle tone، والتوازن balance، والوضعة posture والحركة locomotion.

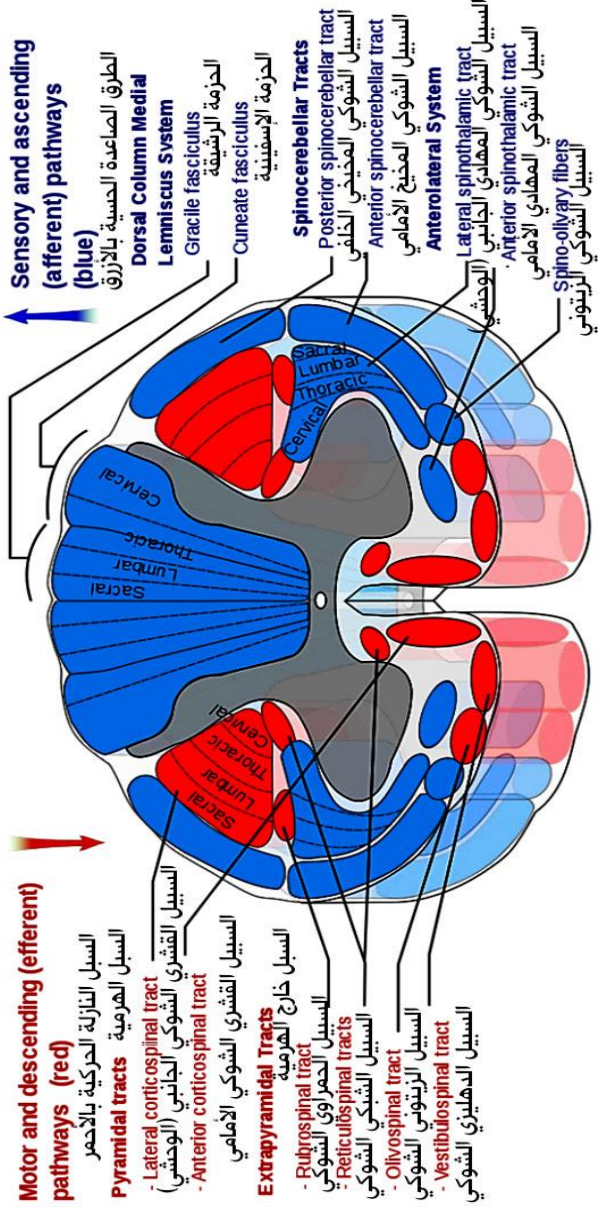
توجد عدة سبلٍ ستشرح بالتفصيل لاحقاً وهي:

- السبيل الحمراوي الشوكيRubrospinal truct ويقع في الحبل الجانبي.
- السبيل الشبكي الشوكي Reticulospinal truct.
- السبيل الدهليزي الشوكي Vestibulospinal truct.
- السبيل السقفي الشوكي Tectospinal truct.

وفي بعض المراجع يضاف السبيل الزيتوني الشوكي olivospinal truct.

لا تتصالب السبل الدهليزية الشوكية والشبكية الشوكية، وتؤمن التعصيب في الجانب نفسه ipsilateral innervation.

تتصالب السبل الحمراوية الشوكية والسقفية الشوكية، ولذلك تؤمن التعصيب في الجانب المقابل contralateral innervation.



الشكل 10-3: مقطع مستعرض في النخاع الشوكي يظهر المسالك الصاعدة والهابطة في الحبل النازل في الجانبين مع تنظيمهن في حزم.

ثانياً- السبل الصاعدة The ascending tracts

تحمل السبل الصاعدة الإشارات الحسية عبر النخاع الشوكي، وتبدأ معظم أسماء السبل الصاعد بسابقة "الشوكي" "spino-".

يوجد على مسير السبل الصاعدة ثلاثة عصبوناتٍ:

- عصبون المرتبة الأولى First order neuron: يكتشف وجود المنبه ويحمله إلى النخاع الشوكي.
- عصبون المرتبة الثانية Second order neuron: يستمر ضمن النخاع الشوكي إلى المهاد (محطة النقل الحسية).
- عصبون المرتبة الثالثة Third order neuron: يوجد في المهاد عادةً ويحمل الدفعات العصبية إلى الباحة الحسية لقشرة المخ.

1- السبل الشوكية المخيخية الأمامية والخلفية Anterior and posterior spinocerebellar tracts

تصعد في الجانب نفسه من النخاع الشوكي، وتدخل المخيخ من خلال السويقتين المخيخيتين cerebellar peduncles العلويتين والسفليتين على التوالي. تنقل إشارات الحس المفصلي العضلي غير المدرك (الحس المبهم) من الأطراف والجذع إلى المخيخ.

2. السبل الشوكية المهادية الأمامية والوحشية Anterior and lateral spinothalamic tracts

تدخل الألياف الحاملة لحس الألم والحرارة والضغط و اللمس الخفيف light touch (اللمس الخشن أو الخام crude touch أو حس اللمس غير التمييزي non-discrimination touch) الجذورَ الخلفية، لتسهيل تذكر هذه المترادفات باللغة العربية تذكر أنها تحوي جميعها حرف الخاء. وتصعد أو تنزل عبر بعض قطع النخاع الشوكي. تُنقل في المادة الهلامية substantia gelatinosa. ثم تعبر إلى الجانب المقابل لتصعد في هذه السبل إلى المهاد، حيث تتمشبك في طريقها إلى القشرة الحسية.

تنقل أليافُ السبيل الشوكي المهادي الأمامي حسَّ اللمس الخام (الخفيف أو الخشن) crude touch والضغط pressure بينما تعبر الألياف الناقلة لحس الألم Pain والحرارة temperature عبر السبيل الشوكي المهادي الوحشي (الجانبي).

3. الحِزَم في العمود الخلفي Tracts in the posterior column

يشمل العمود الخلفي حزمةً إنسيَّةً وحزمةً وحشيَّةً:

- الإنسية هي الحزمة الرشيقة (لِـغول) Fasciculus gracilis (of Goll).
- الوحشية هي الحزمة الإسفينية (لِبورداخ) Fasciculus cuneatus (of Burdach).

تقوم هاتان الحزمتان بنقل الألياف الحسية من المرتبة الأولى 1st order sensory fibers المسؤولة عن اللمس الناعم أو الدقيق fine touch أو اللمس التمييزي (بين نقطتين) discriminative touch (two-point discrimination) والاهتزاز vibration وحس التلقي البدني العميق proprioception (حس موضع المفاصل Joint position sense أو الحس المفصلي العضلي المُدرك).

تكون غير متصالبةٍ وتتجه إلى النوتين الرشيقة والإسفينية gracile and cuneate nuclei في البصلة، حيث تتصالب الألياف من المرتبة الثانية 2nd order fibers، وتعبر إلى المهاد حيث يوجد عصبون المرتبة الثالثة 3rd order fibers،الذي تتجه أليافه بعد التمشبك إلى القشرة الحسية.

تعبر بعض ألياف هذه الحزم من البصلة إلى المخيخ عبر السويقة المخيخية السفلية.

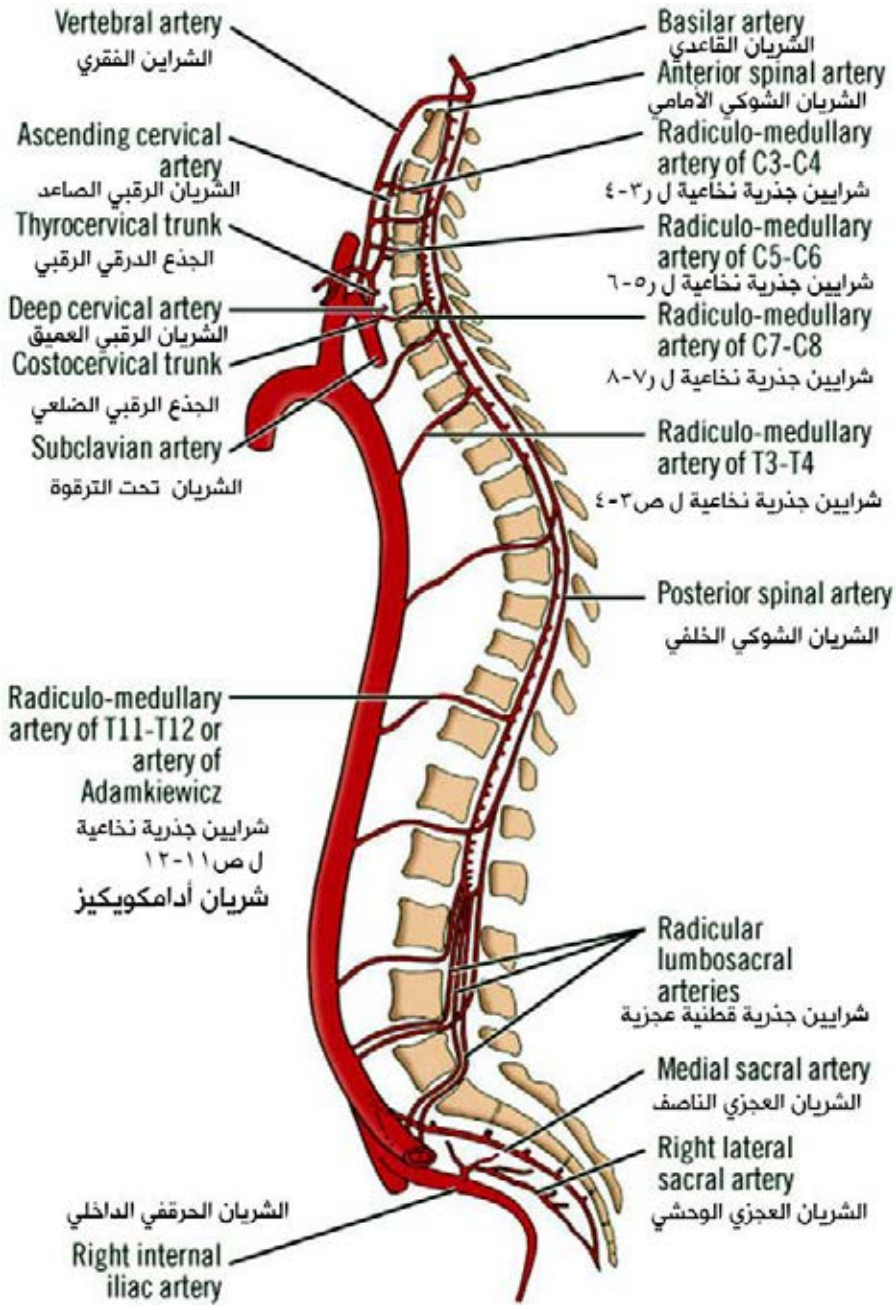
4. السبيل الشوكي الشبكي Spinoreticular tract

ينقل إشارات الألم الناتجة عن الأذية النسيجية. تتصالب أليافه في النخاع الشوكي وتصعد مع الألياف الشوكية المهادية. تنتهي في التشكيل الشبكي (في البصلة والجسر). تستمر عصبونات الترتيب الثالث والرابع إلى المهاد والقشرة المخية.

التروية الدموية للنخاع الشوكي Blood supply of the spinal cord

تنزل الشرايين الشوكية spinal arteries الأمامية والخلفية في الأم الحنون من الجزء داخل القحفي للشريان الفقري intracranial part of vertebral artery.
تُدعم هذه الشرايين بشكلٍ متسلسلٍ بواسطة فروعٍ من الشرايين:
- الرقبي الصاعد ascending cervical.
- القسم الرقبي من الشريان الفقري cervical part of the vertebral.
- الشرايين الوربية intercostal والقطنية lumbar.

هناك شريانٌ مغذٍّ هامٌ وكبيرٌ هو **الشريان النخاعي الأمامي الكبير لـ أدامكويكز** great anterior medullary artery of Adamkiewiez. وهو ينشأ من الأبهر في المستوى الصدري السفلي أو القطني العلوي، وهو شريان مفردٌ في جانبٍ واحدٍ، وعادةً ما يدخل النخاع في الجهة اليسرى، وتكمن أهميته أنه قد يشكل المصدر الرئيسي لتغذية الثلثين السفليين للنخاع (الشكل 11-3).



الشكل 11-3: التروية الدموية للنخاع الشوكي

السبل الصاعدة والنازلة في النخاع الشوكي

السبل الصاعدة في النخاع الشوكي Ascending tracts

السبل الصاعدة هي الطرق العصبية التي تنقل المعلومات الحسية من الأعصاب المحيطية إلى القشرة المخية. تقسم السبل الصاعدة وظيفياً بحسب نمطي المعلومات التي تحملها، إلى سبلٍ واعيةٍ conscious و سبلٍ لا واعيةٍ unconscious.

السبل الواعية Conscious tracts:

-حزم العمود الخلفي (الظهري)-الفتيل الإنسي Dorsal column-Medial lamniscal pathway:

الذي يتألف من الحزمة الرشيقة Gracile Fasciculus في الإنسي، والحزمة الإسفينية Cuneate Fasciculusفي الوحشي.

- الجهاز الأمامي الوحشي (الجانبي) Anterolateral system:

الذي يتألف من السبل الشوكية المهادية الأمامية والوحشية anterior and lateral spinothalamic tracts.

أولاً-السبل اللا واعية Unconscious tracts:

وتضم السبل الشوكية المخيخية الأمامية والخلفية spinocerebellar Tracts.

وتتألف السبل الصاعدة غالباً من سلسلة من ثلاثة عصبونات: عصبونات المرتبة الأولى والثانية والثالثة first, second and third order neurons.

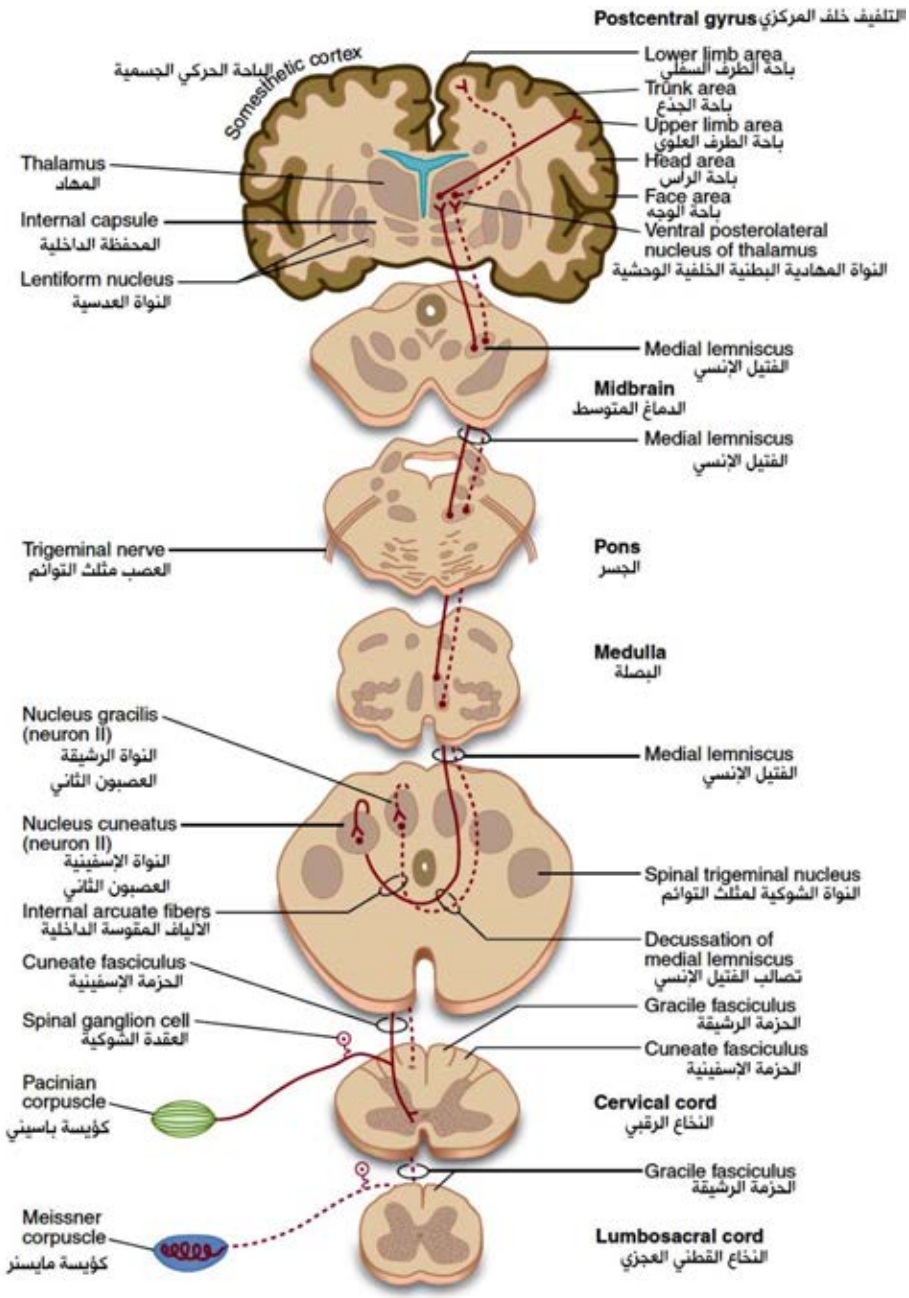
يتوضع عصبون المرتبة الأولى في العقدة الشوكية spinal ganglion. وغالباً ما تتصالب أحد هذه العصبونات -أي العصبونات المكونة للسبل الصاعدة- قبل الوصول إلى الوجهة النهائية. وتشارك هذه العصبونات عبر فروع لها في تشكيل الأقواس الشوكية الانعكاسية spinal reflex arcs.

1- طريق العمود الظهري-الفتيل الإنسي-Dorsal column Medial lemniscal pathway (DCML)

تمّ اشتقاق اسمه DCML من المكونين الرئيسين الذين يكونانه.

يحمل إحساسات اللمس الناعم أو الدقيق fine touch أو ما يسمى حس اللمس التمييزي (التمييز بين نقطتين تتلقيان احساساً على الجلد) ، وحس الاهتزاز vibration، والحسّ العميق (حس الاستقبال البدني) proprioception الذي يدعى أيضاً الحس المفصلي العضلي المُدرَك.

تسير المعلومات في الحبل الشوكي عبر العمودين الأبيضين الخلفيين posterior columns، أمّا في جذع الدماغ فتنتقل عبر الفتيلين الإنسيين medial lemnisci (الشكل 12-3).



الشكل 12-3: طريق العمود الظهري الحزيزي الإنسي والشريط الفتيلي الإنسي

- عصبونات المرتبة الأولى First order neurons

يحمل عصبون المرتبة الأولى المعلومات الحسية سواء اللمسية أم الاهتزازية أم الخاصة بالتلقي البدني، من الأعصاب المحيطية إلى البصلة.
وهناك طريقان مختلفان يمكن أن تسلكهما عصبونات المرتبة الأولى فتنتقل:

المعلومات من الطرف العلوي (الشدفة T6 والمستويات الأعلى منها):

تذهب في **الحزمة الإسفينية** fasciculus cuneatus (الحزمة الوحشية في العمود الخلفي)، ثمّ تتشابك في النواة الإسفينية nucleus cuneatus في البصلة.

المعلومات من الطرف السفلي (المستويات الأدنى من الشدفة T6):

تذهب في **الحزمة الرشيقة** fasciculus gracilis (الحزمة الإنسية في العمود الخلفي)، ثمّ تتشابك في النواة الرشيقة nucleus gracilis في البصلة.

- عصبونات المرتبة الثانية Second order neurons

تبدأ عصبونات المرتبة الثانية إما في النواة الرشيقة أو في النواة الإسفينية.
تتلقى هذه العصبونات المعلومات من عصبونات المرتبة الأولى، وتقوم بنقلها إلى عصبونات المرتبة الثالثة في المهاد thalamus.
في البصلة: تتصالب ألياف هذه العصبونات (تسمّى الألياف هنا بالألياف المقوّسة الداخلية internal arcuate fibers)، فيما يدعى بـ تصالب الفتيل الإنسي (ف إ) decussation of medial lemniscus (ML) (أو التصالب الحسي sensory decussation).
ثمّ تصعد في الفتيل الإنسي المقابل contralateral medial lemniscus للوصول إلى المهاد.

- عصبونات المرتبة الثالثة Third order neurons

أخيراً، تنقل عصبونات المرتبة الثالثة الإشارات الحسية من المهاد إلى القشرة المخية الحسية الأولية في الجهة الموافقة ipsilateral primary sensory cortex.

تصعد هذه العصبونات من النواة البطنية الخلفية الوحشية (ن خ ب و) ventral posterolateral nucleus (VPLN) في المهاد، وتعبر المحفظة الداخلية عبر السبيل المهادي القشري thalamocortical tract المتوضع في الذراع الخلفية للمحفظة لتنتهي في القشرة المخية الحسية (التلفيف خلف المركزي 2-1-3).

2- الجهاز الأمامي الجانبي Anterolateral system

ويتكون من سبيلين منفصلين هما (الشكل 13-3):

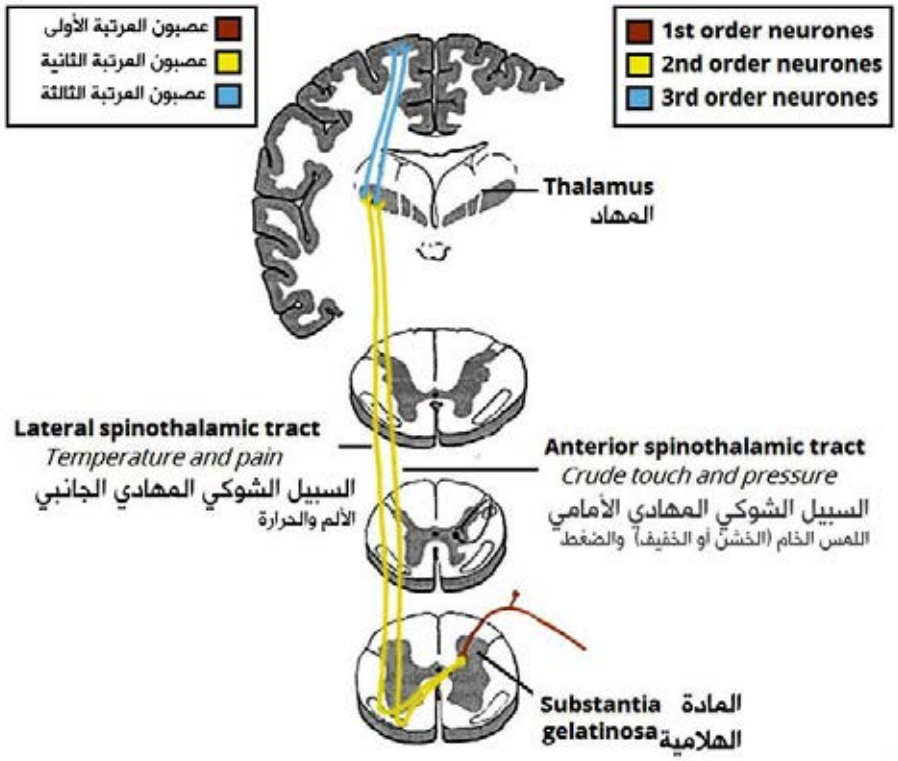
- السبيل الشوكي المهادي الأمامي Anterior spinothalamic tract:

يحمل حس اللمس الخفيف light touch (اللمس الخشن أو الخام crude touch أو حس اللمس غير التمييزي non-discrimination touch) وهو الحس الذي ينتج عندما نتحسس المواد بالجلد الخالي من الشعر (كالتعرف على قطعة قطن)، والضغط pressure، والحكة itch، والدغدغة tickle.

- السبيل الشوكي المهادي الوحشي (الجانبي) Lateral spinothalamic tract:

يحمل حسّي الألم Pain والحرارة Temperature.

يندمج هذان السبيلان معاً ومع سبيل صاعد آخر يدعى السبيل الشوكي السقفي Spinotectal tract بعد المرور عبر البصلة وتشكل هذه السبلُ الثلاثة **الفتيلَ الشوكي (ف و)** Spinal lemniscus (SL).



الشكل 13-3: المسارات الحسية الصاعدة (السبيل الشوكي المهادي الجانبي والسبيل الشوكي المهادي الأمامي)

- عصبونات المرتبة الأولى First order neurons

تبدأ عصبونات المرتبة الأولى من المستقبلات الحسية في المحيط. ثمّ تدخل النخاع الشوكي، وتصعد أو تنزل مستوى أو مستويين فقريين. وتنتهي بالتشابك مع عصبونات المرتبة الثانية في المادة الهلامية substantia gelatinosa.

- عصبونات المرتبة الثانية Second order neurons

تحمل عصبونات المرتبة الثانية المعلومات الحسية من المادة الهلامية إلى المهاد. تتمشبك هذه العصبونات مع عصبونات المرتبة الأولى، ثم تتصالب في القرن الخلفي للحبل الشوكي، لتقوم بتشكيل سبيلين مستقلّين:
تدخل ألياف اللمس الخام والضغط السبيل الشوكي المهادي الأمامي.

في حين تدخل ألياف الألم والحرارةالسبيل الشوكي المهادي الوحشي (الجانبي).

على الرغم من أنّ هذين السبيلين مستقلان وظيفياً، إلا أنهما يسيران مترافقين ويمكن اعتبارهما سبيلاً واحداً single pathway.

تتجه ألياف عصبونات المرتبة الثانية بعدها نحو الأعلى عبر الحبل الشوكي لتنتهي بالتشابك في النواة المهادية الخلفية البطنية الوحشية (ن ب خ و) ventral posterior lateral nucleus (VPLN).

يكون توضع الألياف ضمن هذين السبيل ذا انتظامٍ صفيحيٍّ، فمع صعود ألياف الجهاز الأمامي الوحشي (الجانبي) (السبيل الشوكي المهادي الأمامي والشوكي المهادي الوحشي (الجانبي)) عبر النخاع تضاف أليافٌ جديدةٌ إلى وجهه الإنسي بحيث يكون توضع الألياف العجزية وحشياً في الشدف النخاعية الرقبية العلوية (الشكل 10-3).

- عصبونات المرتبة الثالثة Third order neurons

تنقل عصبونات المرتبة الثالثة الإشارات الحسية من المهاد إلى القشرة المخية الحسية الأولية في الجهة نفسها ipsilateral primary sensory cortex.

تصعد هذه العصبونات من النواة البطنية الخلفية الوحشية (ن ب خ و) ventral posterolateral nucleus (VPLN) في المهاد وتعبر المحفظة الداخلية عبر السبيل المهادي القشري thalamocortical tract المتوضع في الذراع الخلفية للمحفظة لتنتهي في القشرة المخية الحسية (التلفيف خلف المركزي 2-1-3).

ثانياً- السبل الشوكية المخيخية (الحسُّ اللاواعي) Spinocerebellar tracts

هي السبل التي تنقل معلومات الاستقبال البدني اللاواعي unconscious proprioceptive information وتدعى أيضاً الحس المفصلي العضلي غير المُدرَك أو الحس المبهم.

وعلى الرغم من أننا لا نستطيع معرفتها (إدراكها)، لكن هذه الإشارات تساعد الدماغ على تكامل coordinate وتنسيق (تحسين) refine الحركات التي نقوم بها.

وتكون مهمّتها نقل المعلومات من العضلات إلى المخيخ.

تتألف السبل الشوكية المخيخية من أربع سبل مفردة هي:

- السبيل الشوكي المخيخي الخلفي Posterior Spinocerebellar tract.
- السبيل الشوكي المخيخي الأمامي Anterior Spinocerebellar tract.
- السبيل الإسفيني المخيخي Cuneocerebellar tract.
- السبيل الشوكي المخيخي العلوي Rostral Spinocerebellar tract.

تتكوّن هذه السبل من عصبونين فقط أي عصبون مرتبة أولى وآخر من المرتبة الثانية.

1- السبيل الشوكي المخيخي الخلفي Posterior spinocerebellar tract:

يحمل معلومات الحسّ العميق (الاستقبال البدني) proprioceptive information، من الطرفين السفليين إلى المخيخ في الجانب الموافق ipsilateral cerebellum.

توجد عصبونات المرتبة الأولى في عقدة الجذر الظهري (في الشدف النخاعية من C8 إلى S3) ، وتنتهي في النواة الظهرية حيث تتشابك مع عصبونات المرتبة الثانية (التي تواجد في الشدف النخاعية ر8 وحتى ق3 (C8 - L3).

تسير عصبونات المرتبة الثانية في العمود الأبيض الوحشي (الجانبي)، ثمّ تدخل المخيخ عبر السويقة المخيخية السفلية Inferior cerebellar Peduncle (الشكل 14-3).

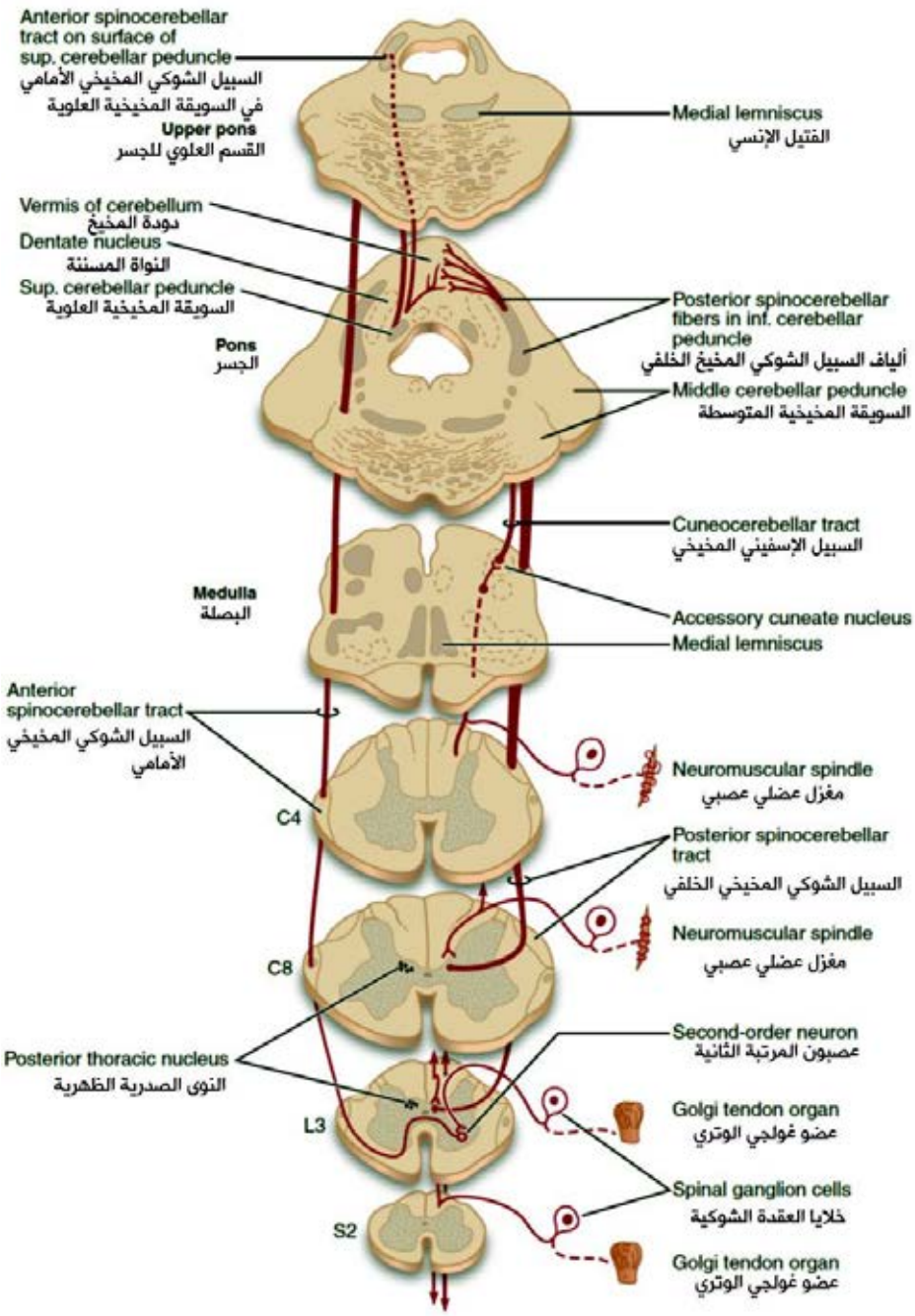
2- السبيل الشوكي المخيخي الأمامي Anterior spinocerebellar tract:

يحمل معلومات التلقي البدني من الطرفين السفليين أيضاً، لكن بعض ألياف هذا السبيل تتصالب لتصعد في الجانب المقابل من النخاع ويتابع بعض هذه الألياف في الجانب الموافق.

توجد عصبونات المرتبة الأولى في العقدة الشوكية للجذر الخلفي (للشدف النخاعية ق1 إلى ع2 L1-S2)، وتتشابك مع عصبونات المرتبة الثانية (الموجودة في المادة السنجابية الأمامية، في الشدف من L1 إلى S2 فقط).

تسير عصبونات المرتبة الثانية في العمود الأبيض الجانبي في الجهتين، ثمّ تدخل المخيخ عبر السويقة المخيخية العلوية superior cerebellar peduncle.

ونظراً لأن المخيخ مسؤول عن تنسيق الحركة في الجانب الموافق من الجسم فإن الألياف المتصالبة في النخاع تعود وتتصالب مرةً أخرى في المخيخ لتعود أدراجها عبر السويقة المخيخية المتوسطة، فتكون النتيجة عودتها إلى الجانب الموافق.



الشكل 14-3: المسالك الصاعدة في الحبل الشوكي، السبيل الشوكي المخيخي الأمامي والسبيل الشوكي المخيخي الخلفي

3. السبيل الإسفيني المخيخي Cuneocerebellar tract:

يحمل معلومات الاستقبال البدني proprioception information من الطرفين العلويين إلى المخيخ في الجانب ذاته، يمكن اعتباره كالسبيل الشوكي المخيخي الخلفي.

عصبونات المرتبة الأولى موجودة في العقد الشوكية لأعصاب الشدف النخاعية من ر2 إلى ص7 C2-T7.

تسير أليافها عبر الحزمة الإسفينية لتنتهي بالتشابك مع عصبونات المرتبة الثانية في النواة الإسفينية اللاحقة accessory cuneate nucleus، الموجودة في البصلة.

تدخل ألياف عصبونات المرتبة الثانية المخيخ عبر السويقة المخيخية السفلية inferior cerebellar peduncle.

4- السبيل الشوكي المخيخي المنقاري (العلوي) Rostral spinocerebellar tract:

يحمل معلومات التلقي البدني proprioception information من الطرفين العلويين إلى المخيخ في الجانب الموافق. يشبه هذا السبيل بمسيره السبيل الشوكي المخيخي الأمامي.

5-السبيل الشوكي الزيتوني Spinoolivary tract:

هو سبيلٌ شوكيٌّ مخيخيٌ لكنّه غير مباشر، (شوكيٌ زيتونيٌ مخيخيٌ spino-olivo-cerebellar).

تدخل المحاوير إلى النخاع الشوكي، وتنتهي بالتشابك مع عصبونات المرتبة الثانية الموجودة في المادة السنجابية على طول النخاع الشوكي.

تتصالب ألياف عصبونات المرتبة الثانية وتصعد باسم السبيل الشوكي الزيتوني في المادة البيضاء عند اتصال العمودين الأمامي والوحشي.

تنتهي هذه الألياف بالتشابك مع عصبونات المرحلة الثالثة في النواة الزيتونية السفلية inferior olivary nucleus في البصلة.
تتصالب ألياف هذه العصبونات أيضاً، وتدخل المخيخ في الجانب المقابل عبر السويقة المخيخية السفلية inferior cerebellar peduncle.
ينقل هذا السبيل المعلومات الحسية إلى المخيخ (التلقي البدني Proprioception).

6-السبيل الشوكي السقفي Spinotectal Tract:

تنتهي عصبونات المرتبة الأولى بالتشابك مع عصبونات المرتبة الثانية الموجودة في قاعدة القرن السنجابي الخلفي.
تعبر محاويرُ عصبونات المرحلة الثانية الخطَّ الناصف (تتصالب)، وتصعد باسم السبيل الشوكي السقفي في العمود الأبيض الأمامي الوحشي، متوضعة بشكل ملاصق للسبل الشوكية المهادية.
تنتهي هذه الألياف بالتشابك مع عصبونات في الأكيمة العلوية superior colliculus في الدماغ المتوسط.
يحمل هذا السبيل معلوماتٍ واردةً تُنظِّم الحركات الانعكاسية للرأس والعينين نحو مصدر التنبيه.

السبل النازلة Descending Tracts

هي الطرق التي تُرسل عبرها الإشارات الحركية motor signals، من الدماغ إلى العصبونات الحركية السفلية (ع ح س LMN) lower motor neurons، التي تعصب العضلات مباشرةً لإنتاج الحركة.
يمكن أن تقسم هذه السبل المحركة وظيفياً إلى مجموعتين رئيستين هما:

- السبل الهرمية Pyramidal Tracts:

تنشأ من القشرة المخية، وتحمل الألياف العصبية إلى جذع الدماغ والنخاع الشوكي. وهي مسؤولةٌ عن التحكم الإرادي لعضلات الجسم والرأس.

- السبل خارج الهرمية Extrapyramidal Tracts:

تنشأ في جذع الدماغ، وتحمل الألياف المحركة إلى النخاع الشوكي.
مسؤولةٌ عن التحكم الذاتي واللاإرادي لجميع العضلات، مثل التوتر (المقوية) العضلية muscle tone، والتوازن balance، وحركات الوضعة الانعكاسية (استجابةً للتنبيهات البصرية) (audiovisual reflex) locomotion، وفعالية الوضعة (المرتبطة بالتوازن) posture.

أولاً- السبل الهرمية Pyramidal Tracts

تمّ اشتقاق اسمها من الهرمين لأن هذه السبل تمرّ عبرها – أي عبرالهرمين pyramids- التابعين للبصلة. أو من نشوئهما من طبقتي الخلايا الهرمية في القشرة الحركية. تساهم الباحات الحركية الهرمية الرئيسة رقم 4 بـ 40٪ من الألياف والباحة الحركية الثانوية رقم 6 بـ 60٪. وهي مسؤولةٌ عن التحكم الإرادي بعضلات الجسم والوجه. تختص الباحة 4 بالحركات الدقيقة والباحة 6 بالحركات الكتلية.

تنقسم هذه الحزم وظيفياً إلى قسمين (الشكل 15-3):

- السبل القشرية الشوكية Corticospinal tracts: المتحكمة بعضلات الجسم (الجذع).
- السبل القشرية البصلية Corticobulbar tracts: المتحكمة بعضلات الرأس والعنق.

1- السبل القشرية الشوكية Corticospinal tracts:

تبدأ في القشرة المخية، ثمَّ تتجمّع الألياف، وتنزل عبر الذراع الخلفية للمحفظة الداخلية internal capsule، ثم عبر الساق المخية crus cerebri للدماغ المتوسط، فالجسر pons فالبصلة medulla وصولاً إلى الهرم pyramid.

ينقسم السبيل في القسم السفلي من البصلة إلى سبيلين:

- السبيل القشري الشوكي الوحشي Lateral corticospinal tract:

عدد أليافه أكبر، تتصالب في البصلة، ثمّ تنزل في العمود الأبيض الوحشي للحبل الشوكي. تتناقص ثخانته مع كل شدفة، ويكون ترتيب الألياف بشكلٍ صفيحي حسب خروجها، فتتوضع الألياف النازلة من الإنسي للوحشي على الشكل الآتي: الرقبية ثم الصدرية ثم القطنية ثم العجزية (ر،ص،ق،ع) (S،L،T،C).

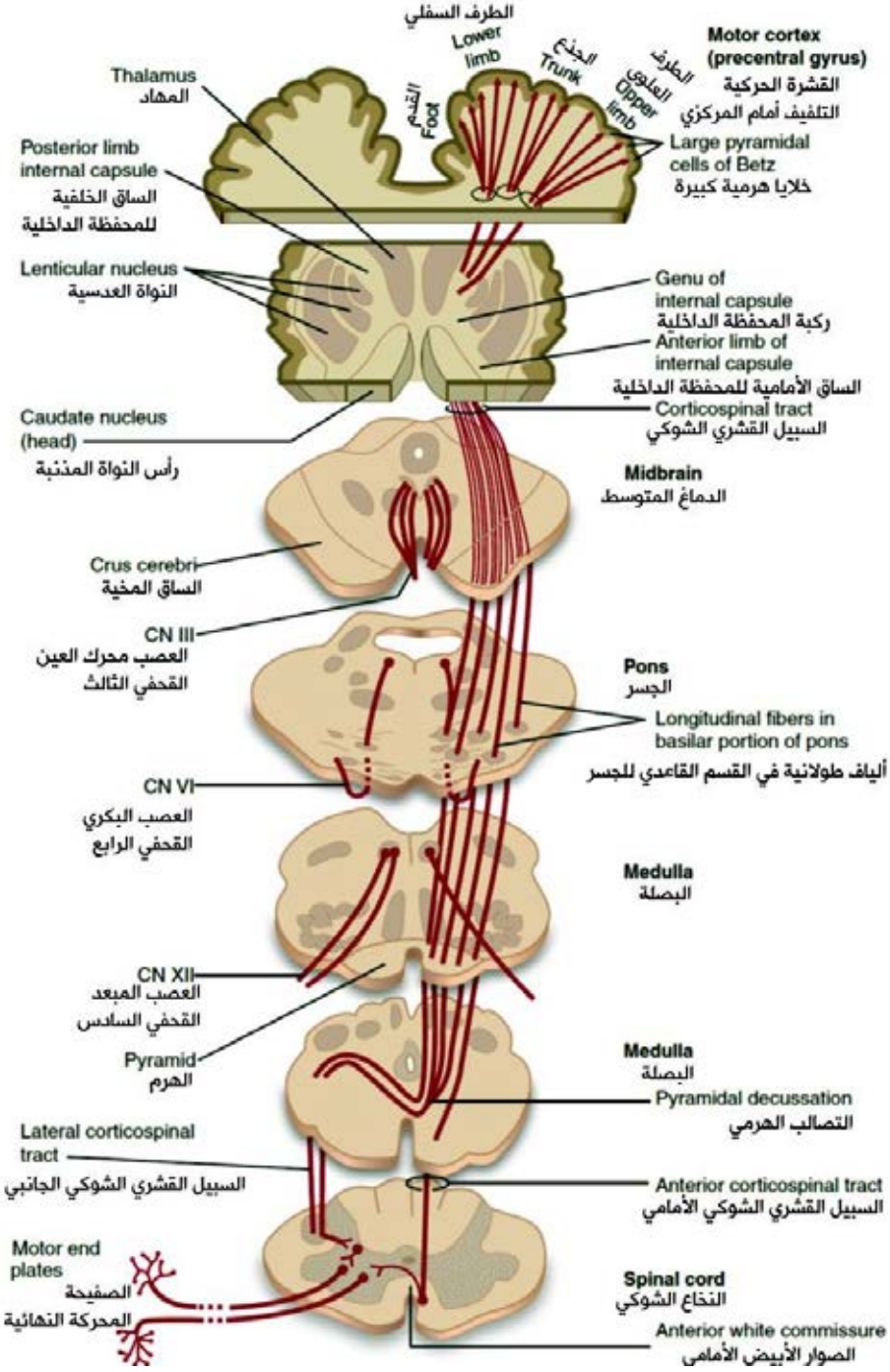
تنتهي في القرون الأمامية لجميع الشدف النخاعية (على طول النخاع الشوكي).

تذهب ألياف العصبونات المحركة السفلية (ع م س) (LMN) من القرن الأمامي ventral horn إلى عضلات الأطراف.

- السبيل القشري الشوكي الأمامي Anterior corticospinal tract:

تعبر أليافه البصلة دون أن تتصالب، ثمّ تنزل في العمود الأبيض الأمامي للنخاع الشوكي.

تنتهي أليافه في القرون الأمامية للشدف النخاعية الرقبية والصدرية العلوية، بعد أن تتصالب في الشدفة المعنية من النخاع الشوكي، لتعصب العصبوناتُ المحرّكةُ السفليةُ العضلاتِ المحوريةَ.



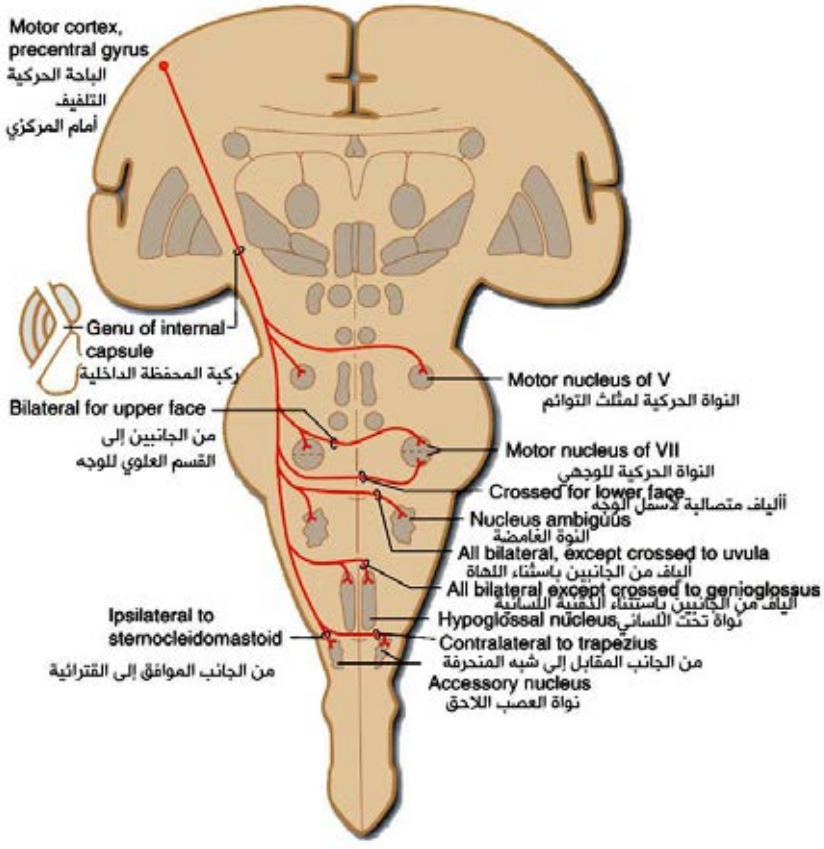
الشكل 15-3: السبيل القشري الشوكي

2- السبيل القشري البصلي Corticobulbar tract

ينشأ من القطّاع الوحشي للقشرة المحركة الأولية من الباحات الحركية الهرمية الرئيسة area 4 والثانوية area 6.

تتجمع الألياف وتعبر ركبة المحفظة الداخلية إلى جذع الدماغ. ثمّ تنتهي في النوى المحركة للأعصاب القحفية cranial nerves. وتتشابك في هذه النوى مع العصبونات المحركة السفلية (ع م س LMN)، التي تحمل الإشارات المحركة إلى عضلات الرأس والعنق .

تتلقى جميع نوى الأعصاب القحفية أليافاً من نصفي الكرة المخية **عدا** القسم السفلي من نواة العصب الوجهي و قسم من نواة العصب اللاحق و قسم من نواة العصب تحت اللساني (الشكل 15-3).



الشكل 16-3: السبيل القشري البصلي

ثانياً- السبل خارج الهرمية Extrapyramidal tracts

يكون منشؤها من جذع الدماغ لا من قشرة المخ، وتحمل معها أليافاً حركيّةً للنخاع الشوكي.

تكون مسؤولة عن السيطرة غير الإراديّة والذاتيّة على كل الجهاز العضلي مثل التوتر العضليّ muscle tone، والتوازن balance، وحركات الوضعة الانعكاسية locomotion، وفعالية الوضعة المرتبطة بالتوازن posture.

تضم السبل خارج الهرمية:

-السبيل الحمراوي الشوكيّ Rubrospinal tract.

- السبيل الدهليزي الشوكيّVestibulospinal tract.

- السبيل الشبكي الشوكيّ Reticulospinal tract .

- السبيل السقفيّ الشوكيّ Tectospinal tract.

وبعض المراجع تضيف السبيل الزيتوني الشوكيolivospinal truct (الشكل 16-3).

1- السبيل الحمراوي الشوكي Rubrospinal tract

ينشأ من النواة الحمراء في الدماغ المتوسط. **تتصالب** أليافه في الدماغ المتوسط (تصالب فوريل Forrel`s decussation) وتنزل في الجانب المقابل لتعبر غطاء tegmentum جذع الدماغ ، والتشكيلات الشبكيّة للجسر والبصلة، يتابع في العمود الأبيض الوحشي قريباً من السبيل القشري الشوكي الجانبي لتنتهي أليافه في القرون الأمامية.

تكون وظيفته: زيادة تأثير المقويّة العضليّة، **ويسهل عمل العضلات القابضة ويثبط الباسطة** كما في وضعية تجنب السقوط.

2- السبيل الدهليزي الشوكي Vestibulospinal tract

ينشأ من النوى الدهليزية vestibular nuclei (Deiter`s nucleus) في الجزء السفلي من الجسر والأعلى البصلة (أرضية البطين الرابع).

ترده معلوماتٌ من أعضاء التوازن (الأذن الداخلية والمخيخ)، ويقوم بتوصيل هذه المعلومات للنخاع الشوكي في الجانب الموافق ipsilateral حصراً، أي أنه **غير متصالبٍ**.

ينزل في العمود الأبيض الأمامي، وهو مسؤولٌ عن تنظيم التوازن balance وفعالية الوضعة posture المرتبطة بالتوازن، فهو **يسهل عمل العضلات الباسطة ويثبط العضلات القابضة** عن طريق تعصيب العضلات التي يكون عملها عكس الجاذبيّة عبر العصبونات المحرّكة السفلية.

يقسم إلى سبيلين: سبيلٍ بطنيٍّ (إنسيٍّ) ventral (medial) tract وسبيلٍ جانبيٍّ (وحشيٍّ) lateral tract.

2- السبيل الشبكي الشوكي Reticulospinal tract

يقسم إلى سبيلين:

- السبيل الشبكيّ الشوكيّ من الجسر Pontine reticulospinal tract

أو السبيل الشبكي الشوكي الإنسي Medial reticulospinal tract:

ينشأ من التشكيلات الشبكيّة reticular formation في الجسر.معظم أليافه متصالبة وتنزل في العمود الأبيض الأمامي. **ويسهّل الحركات** الإراديّة ويزيد التوتر العضليّ.

- السبيل الشبكيّ الشوكيّ من البصلة Medullary reticulospinal tract

أو السبيل الشبكي الشوكي الوحشي Lateral reticulospinal tract:

ينشأ من التشكيل الشبكيّ reticular formation في البصلة. بعض أليافه متصالبٌ وبعضها الآخر غير متصالبٍ، وينزل في العمود الأبيض الوحشي (الجانبي). وهو **يثبط الحركات** الإراديّة ويقلّل التوتر العضليّ.

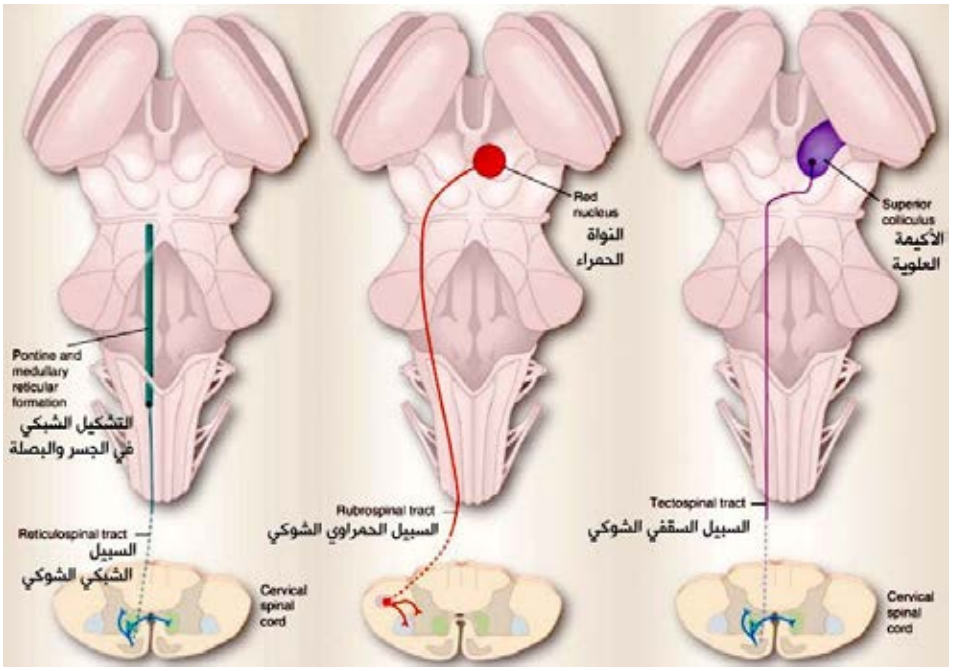
ويعتقد أن الألياف الشبكية الشوكية تحوي أليافاً ذاتيةً نازلةً من الوطاء للتحكم بالمنبعين الودي ونظير الودي في النخاع.

4- السبيل السقفي الشوكي Tectospinal tract

ينشأ من الأكيمة العلويّة superior colliculus في الدماغ المتوسط midbrain. **يتصالب** باسم تصالب مينر Meynerts، ثم ينزل عبر التشكيلات الشبكية للجسر والبصلة، لينتهي في القرون الأمامية للشدف النخاعية الرقبية. دوره توجيه الرأس والعنق بالتناسق مع حركات العين.

5- السبيل الزيتوني الشوكي Olivospinal truct:

وصفت بعض المراجع سابقاً وجود سبيلٍ بين النواة الزيتونية السفلية والعمود السنجابي الأمامي يتوضع في الحبل الأبيض الوحشي.



الشكل 17-3: المسالك النازلة خارجة من مراكز الدماغ في السبيل الشوكي الوسطاني الحمراوي السبيل الشوكي السقفي السبيل الشوكي الشبكي

السبيل	الحس	المرتبة الأولى	المرتبة الثانية	المرتبة الثالثة	الوجهة النهائية	مكان التصالب
الرشيقة	اللمس التمييزي والاهتزاز والاستقبال البدني (أسفل T6)	عقدة الجذر الخلفي	النواة الرشيقة	النواة البطنية الخلفية الوحشية VPL في المهاد	القشرة الحسية الأولية، في الجهة المقابلة	غير متصالبة (في الحبل الشوكي)
الإسفينية	اللمس التمييزي والاهتزاز والاستقبال البدني (أعلى T6 ومعها)	عقدة الجذر الخلفي	النواة الإسفينية	النواة البطنية الخلفية الوحشية VPL في المهاد	القشرة الحسية الأولية، في الجهة المقابلة	غير متصالبة (في الحبل الشوكي)
الشوكي المهادي الوحشي	ألم وحرارة	عقدة الجذر الخلفي	المادة الهلامية	النواة البطنية الخلفية الوحشية VPL في المهاد	القشرة الحسية الأولية، في الجهة المقابلة	يصعد شدفتين أو ثلاث شدفات ثمّ يتصالب
الشوكي المهادي الأمامي	لمس خام (خشن) وضغط	عقدة الجذر الخلفي	المادة الهلامية	النواة البطنية الخلفية الوحشية VPL في المهاد	القشرة الحسية الأولية، في الجهة المقابلة	يصعد شدفتين أو ثلاث شدفات ثمّ يتصالب
الشوكي المخيخي الخلفي	التلقي البدني غير مدرك	عقدة الجذر الخلفي	النواة الظهرية (كلارك)		القشرة المخيخية في الجانب الموافق	غير متصالب
الشوكي المخيخي الأمامي	التلقي البدني غير مدرك	عقدة الجذر الخلفي	النواة الظهرية (كلارك)		القشرة المخيخية في الجانب الموافق	يتصالب مرتين: في النخاع الشوكي وفي جذع الدماغ
الشوكي الزيتوني	التلقي البدني غير مدرك				النواة الزيتونية السفلية، ثم المخيخ	غير متصالب
الشوكي السقفي	معلومات واردة تنظم الحركات الانعكاسية للرأس والعينين				الأكيمة العلوية	متصالب