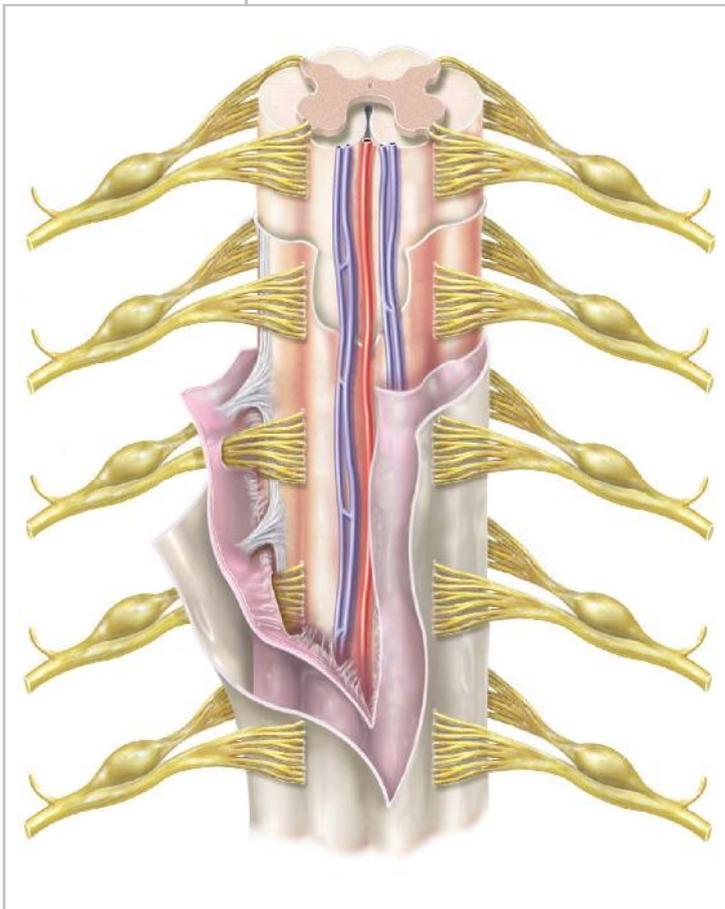


13

LA MÉDULA ESPINAL Y LOS NERVIOS ESPINALES

LA MÉDULA ESPINAL, LOS NERVIOS ESPINALES Y LA HOMEOSTASIS *La médula espinal y los nervios espinales contribuyen con la homeostasis al proporcionar respuestas reflejas rápidas a una diversidad de estímulos. La médula espinal es la vía de comunicación de las aferencias sensoriales hacia el encéfalo y de las eferencias motoras desde éste.*



Aproximadamente 100 millones de neuronas y la neuroglia componen la **médula espinal**, la porción del sistema nervioso central que se extiende desde el encéfalo. La médula espinal y los nervios espinales asociados tienen circuitos neuronales que median algunas de nuestras reacciones más rápidas a los cambios ambientales. Si tomamos un objeto caliente, los músculos encargados de sujetarlo pueden relajarse y dejarlo caer, incluso antes de tener conciencia del dolor o de la temperatura extrema de aquél. Éste es un ejemplo de un reflejo medular: una respuesta automática rápida a cierta clase de estímulos, en la que intervienen únicamente neuronas de los nervios espinales y la médula espinal. Además del procesamiento de los reflejos, la sustancia gris de la médula espinal también es el sitio en donde se integran (suman) los potenciales excitatorios postsinápticos (PPSE) y los potenciales inhibitorios postsinápticos (PPSI), que se explicaron en el Capítulo 12. Estos potenciales graduados se originan cuando las moléculas neurotransmisoras interactúan con su receptor a nivel de las sinapsis en la médula espinal. La sustancia blanca contiene alrededor de una docena de tractos sensitivos y motores, que funcionan a modo de “carreteras” a lo largo de las cuales la información senso-

rial aferente llega al encéfalo, y mediante los cuales la información motora parte de éste hacia los músculos esqueléticos y otros efectores. Recuerden que la médula espinal es una continuación del encéfalo y que en conjunto forman el sistema nervioso central (SNC).



¿Alguna vez pensó por qué las lesiones de los nervios espinales pueden tener efectos tan amplios en el cuerpo?



13.1 ANATOMÍA DE LA MÉDULA ESPINAL

OBJETIVOS

- Describir las estructuras de protección y las características anatómicas macroscópicas de la médula espinal.
- Describir cómo están conectados los nervios espinales con la médula espinal.

Estructuras de protección

Recordemos del capítulo anterior que el tejido nervioso del sistema nervioso central es muy delicado y no responde bien a la lesión o al daño. Por lo tanto, el tejido nervioso requiere una protección considerable. La primera capa de protección para el sistema nervioso central está constituida por el cráneo óseo duro y la columna vertebral. El cráneo encierra el encéfalo, y la columna vertebral rodea la médula espinal, lo que proporciona fuertes defensas protectoras contra los puñetazos o golpes. La segunda capa de protección son las meninges, tres membranas que se ubican entre la caja ósea y el tejido nervioso, tanto en el encéfalo como en la médula espinal. Por último, un espacio entre las membranas meníngicas contiene líquido cefalorraquídeo, un líquido flotante que suspende el tejido nervioso central en un entorno ingravido mientras lo rodea con un acolchado hidráulico que absorbe los golpes.

La columna vertebral

La médula espinal se encuentra alojada en el conducto vertebral de la columna vertebral. Como se explicó en el Capítulo 7, el conducto vertebral está formado por la superposición vertical de los forámenes o agujeros vertebrales. Las vértebras circundantes proporcionan un fuerte resguardo para la médula espinal (véase la **Figura 13.1c**). Los ligamentos vertebrales, las meninges y el líquido cefalorraquídeo constituyen una protección adicional.

Meninges

Las **meninges** son tres capas de tejido conectivo protectoras que revisten la médula espinal y el encéfalo. Desde la superficie hacia la profundidad, son: 1) la duramadre, 2) la aracnoides y 3) la piamadre. Las **meninges espinales** rodean la médula (**Figura 13.1a**) y se continúan con las **meninges craneales**, las que envuelven el encéfalo (véase la **Figura 14.2a**). Las tres meninges espinales cubren los nervios espinales hasta el punto en que abandonan la columna vertebral, a través de los forámenes intervertebrales. La médula espinal también se encuentra protegida por un colchón de grasa y de tejido conectivo, que se localiza en el **espacio** o **cavidad epidural**, comprendido entre la duramadre y la pared del conducto vertebral (**Figura 13.1c**). A continuación, se describe cada una de las meninges:

1. La más superficial de las meninges espinales es la **duramadre**; es una capa gruesa y dura compuesta por tejido conectivo denso irregular. Forma un saco desde el nivel del foramen magno o agujero occipital (donde se continúa con la duramadre cerebral) hasta la segunda vértebra sacra. La duramadre también se continúa con el epineuro, el revestimiento externo de los nervios espinales y craneales.
2. La meninge media es una membrana avascular denominada **aracnoides** (*arachn-*, araña; y *-oid*, similar) es un revestimiento delgado y avascular formado por células, delgadas fibras colágenas de

disposición laxa y fibras elásticas. Se denomina aracnoides por la disposición (como la tela de una araña) de las delicadas fibras colágenas y algunas fibras elásticas. Se encuentra por dentro de la duramadre y se continúa con la aracnoides en el cerebro. Entre la duramadre y la aracnoides se halla el estrecho **espacio subdural**, que contiene líquido intersticial.

3. La más interna de las meninges es la **piamadre** (*pia-*, tenue), una fina y transparente capa de tejido conectivo que se adhiere a la superficie de la médula espinal y al encéfalo. Está compuesta por finas células pavimentosas cuboides, dentro de los haces entretelados de fibras colágenas, y algunas finas fibras elásticas. En la piamadre hay gran cantidad de vasos sanguíneos que abastecen de oxígeno y de nutrientes a la médula espinal. Unas extensiones membranosas triangulares de la piamadre mantienen suspendida la médula en el medio de la vaina dural. Estas extensiones, llamadas **ligamentos dentados**, son engrosamientos de la piamadre. Se proyectan lateralmente; se fusionan con la aracnoides y con la superficie interna de la duramadre entre las raíces anteriores y posteriores de los nervios raquídeos de cada lado (**Figura 13.1a y b**). Extendiéndose a lo largo de la médula espinal, los ligamentos dentados la protegen de posibles desplazamientos súbitos que pueden ocasionar un shock. Entre la aracnoides y la piamadre, se encuentra el **espacio subaracnoideo**, que contiene líquido cefalorraquídeo.



CORRELACIÓN CLÍNICA | Punción lumbar

Para la **punción lumbar**, se administra un anestésico local y se inserta luego una aguja larga en el espacio subaracnoideo. Esta técnica se utiliza para la extracción de líquido cefalorraquídeo (LCR) con fines diagnósticos, para la administración de antibióticos, medios de contraste mielográficos, anestésicos o agentes quimioterápicos, para medir la presión del LCR y evaluar los efectos del tratamiento de ciertas enfermedades, como la meningitis. Durante este procedimiento, el paciente se coloca en decúbito lateral, con la columna vertebral flexionada. La flexión de la columna vertebral aumenta la distancia entre las apófisis espinosas de las vértebras, lo que permite el fácil acceso al espacio subaracnoideo. La médula espinal termina alrededor de la segunda vértebra lumbar (L2); sin embargo, las meninges espinales y el líquido cefalorraquídeo circulante se extienden hasta la segunda vértebra sacra (S2). Entre las vértebras L2 y S2 se presentan las meninges espinales, pero la médula espinal está ausente. En consecuencia, en los adultos normalmente la punción lumbar se realiza entre las vértebras lumbares L3 y L4 o L4 y L5 porque esta región proporciona un acceso seguro al espacio subaracnoideo, sin el riesgo de dañar la médula espinal. (Una línea trazada a través de los puntos más altos de las crestas ilíacas, denominada **línea supracrestas**, atraviesa la apófisis espinosa de la cuarta vértebra lumbar y es utilizada como reparo anatómico para realizar la punción lumbar).

Anatomía externa de la médula espinal

La **médula espinal**, casi cilíndrica, presenta un ligero aplanamiento anteroposterior. En los adultos, se extiende desde el bulbo raquídeo, la región inferior del encéfalo, hasta el borde superior de la segunda vértebra lumbar (**Figura 13.2**). En los neonatos llega hasta la tercera o cuarta vértebra lumbar. Durante la primera infancia, tanto la médula espinal como la columna vertebral crecen en longitud como parte del desarrollo total del cuerpo. El alargamiento de la médula espinal se detiene alrededor del cuarto o quinto año de vida, pero la columna

vertebral continúa creciendo. De esta manera, la médula no ocupa toda la longitud de la columna vertebral en el adulto. La longitud de la médula espinal de un adulto es de unos 42 o 45 cm. Su diámetro se aproxima a los 2 cm en la región torácica media; es algo más ancha en la región cervical baja y en la zona lumbar media, y más angosta en su segmento inferior.

Cuando se observa la médula espinal externamente, se aprecian dos engrosamientos importantes. El superior, llamado **engrosamiento o intumescencia cervical**, se extiende desde la cuarta vértebra cervical (C4) hasta la primera vértebra torácica (T1) y corresponde a la terminación de los nervios provenientes del miembro superior y al origen de los nervios que se dirigen a éste. El **engrosamiento o intumescencia lumbar** se extiende desde la novena hasta la duodécima vértebra torácica, y en éste nacen y terminan los nervios de los miembros inferiores.

Por debajo del engrosamiento lumbar, la médula espinal se adelgaza en una estructura cónica aguzada, el **cono medular**, que termina a nivel del disco intervertebral, entre la primera y la segunda vértebra

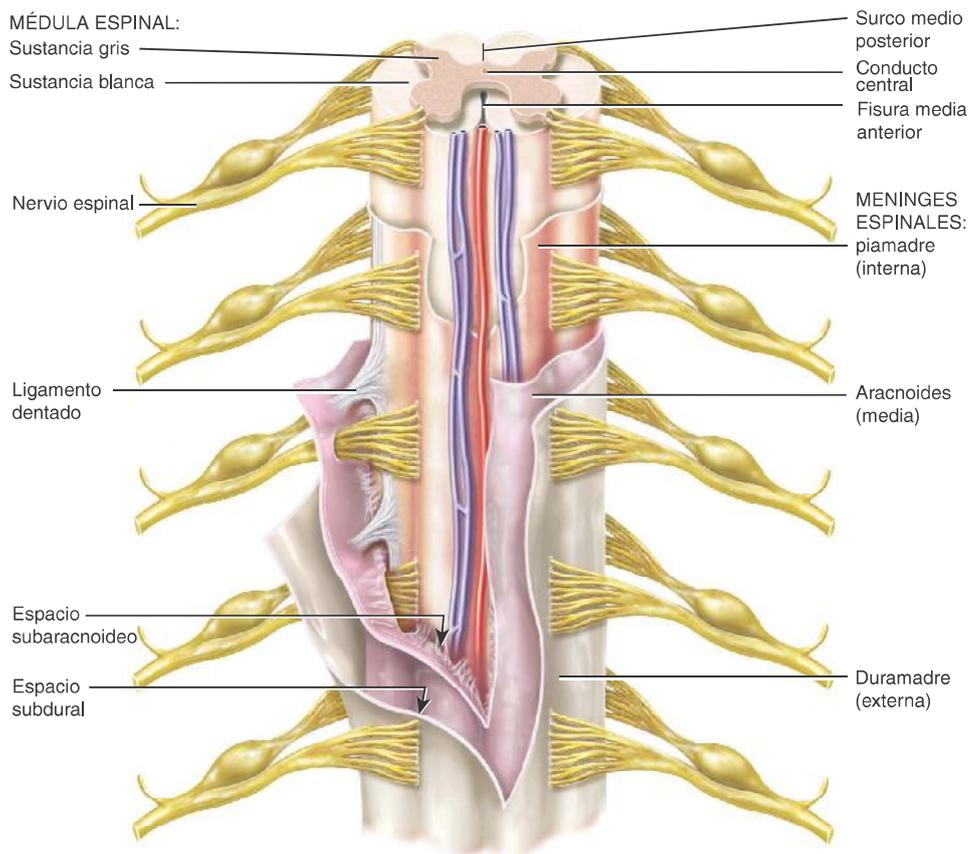
lumbar (L1-L2) en los adultos. A partir del cono medular, se origina el **filum terminale** (filamento terminal), una prolongación de la pia madre que se extiende en sentido caudal y fija la médula espinal al coxis.

Los **nervios espinales** son las vías de comunicación entre la médula espinal y ciertas regiones específicas del cuerpo. La organización de la médula espinal parece ser segmentaria, ya que los 31 pares de nervios espinales que de ella se originan emergen a intervalos regulares de los forámenes intervertebrales (Figura 13.2). En efecto, se dice que cada uno de los pares de nervios craneales emerge de un *segmento espinal*. Dentro de la médula espinal no hay segmentación obvia pero, por conveniencia, los nervios se designan según los segmentos en los que se originan. Hay 8 pares de nervios cervicales (representados en la Figura 13.2 como C1-C8), 12 pares de *nervios torácicos* (T1-T12), 5 pares de *nervios lumbares* (L1-L5), 5 pares de *nervios sacros* (S1-S5) y 1 par de *nervios coxígeos* (Co1).

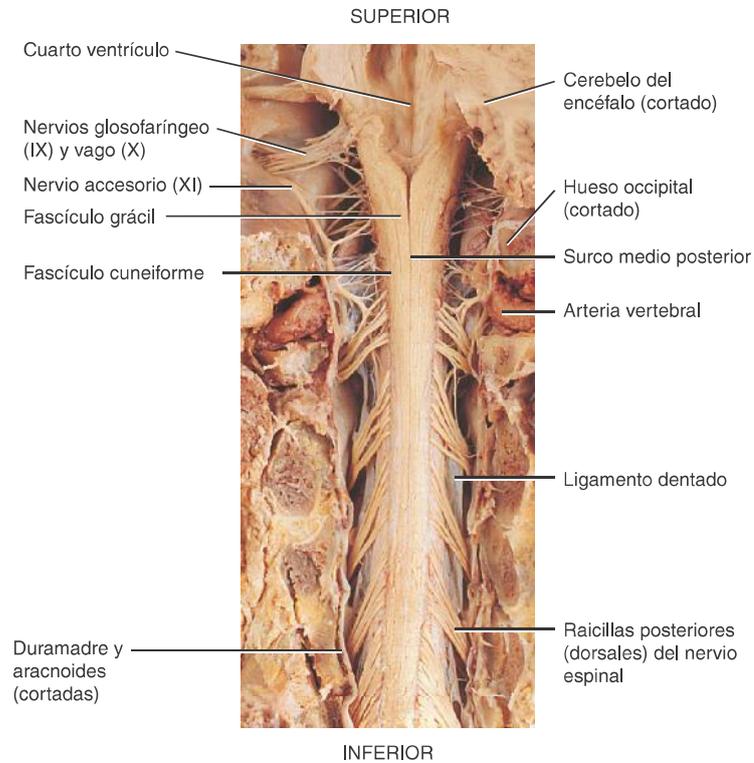
Dos haces de axones, llamados **raíces**, unen cada nervio espinal con un segmento medular por medio de haces de axones incluso más peque-

Figura 13.1 Anatomía macroscópica de la médula espinal. Las meninges son evidentes en las partes (a) y (c).

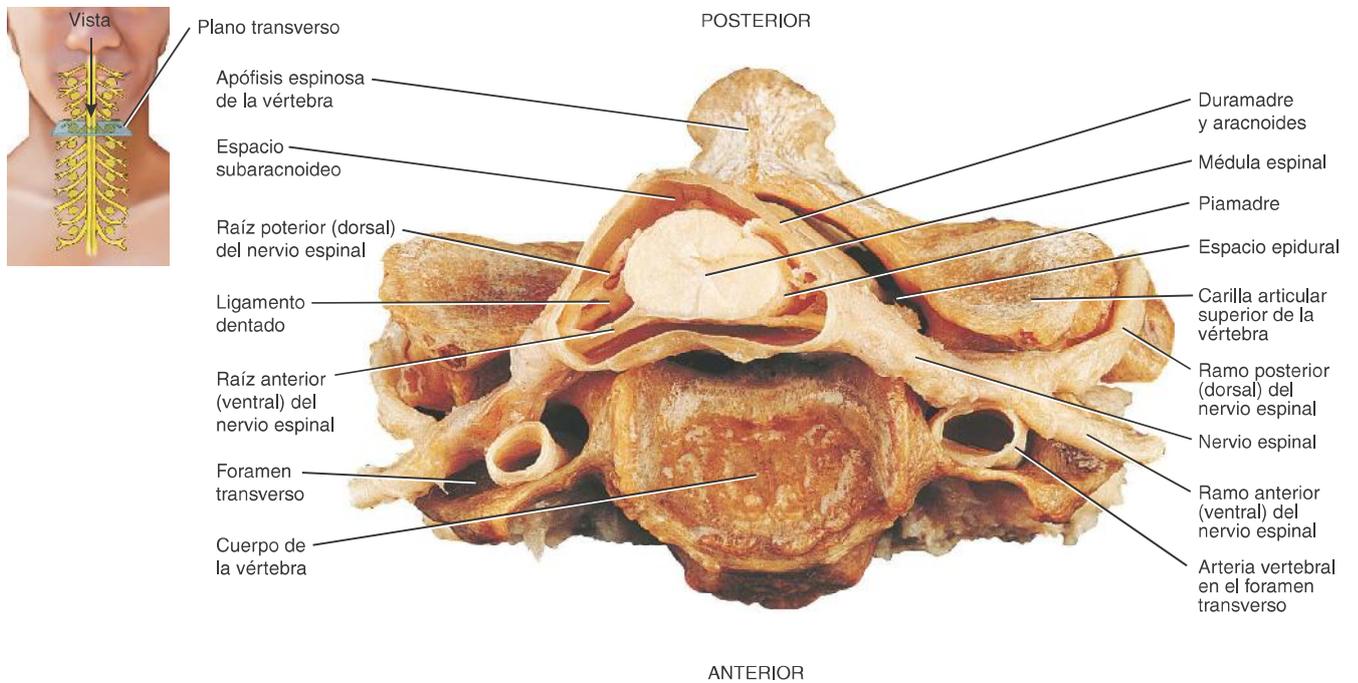
 Las meninges son envolturas de tejido conectivo que rodean la médula espinal y el encéfalo.



(a) Vista anterior y corte transversal de la médula espinal



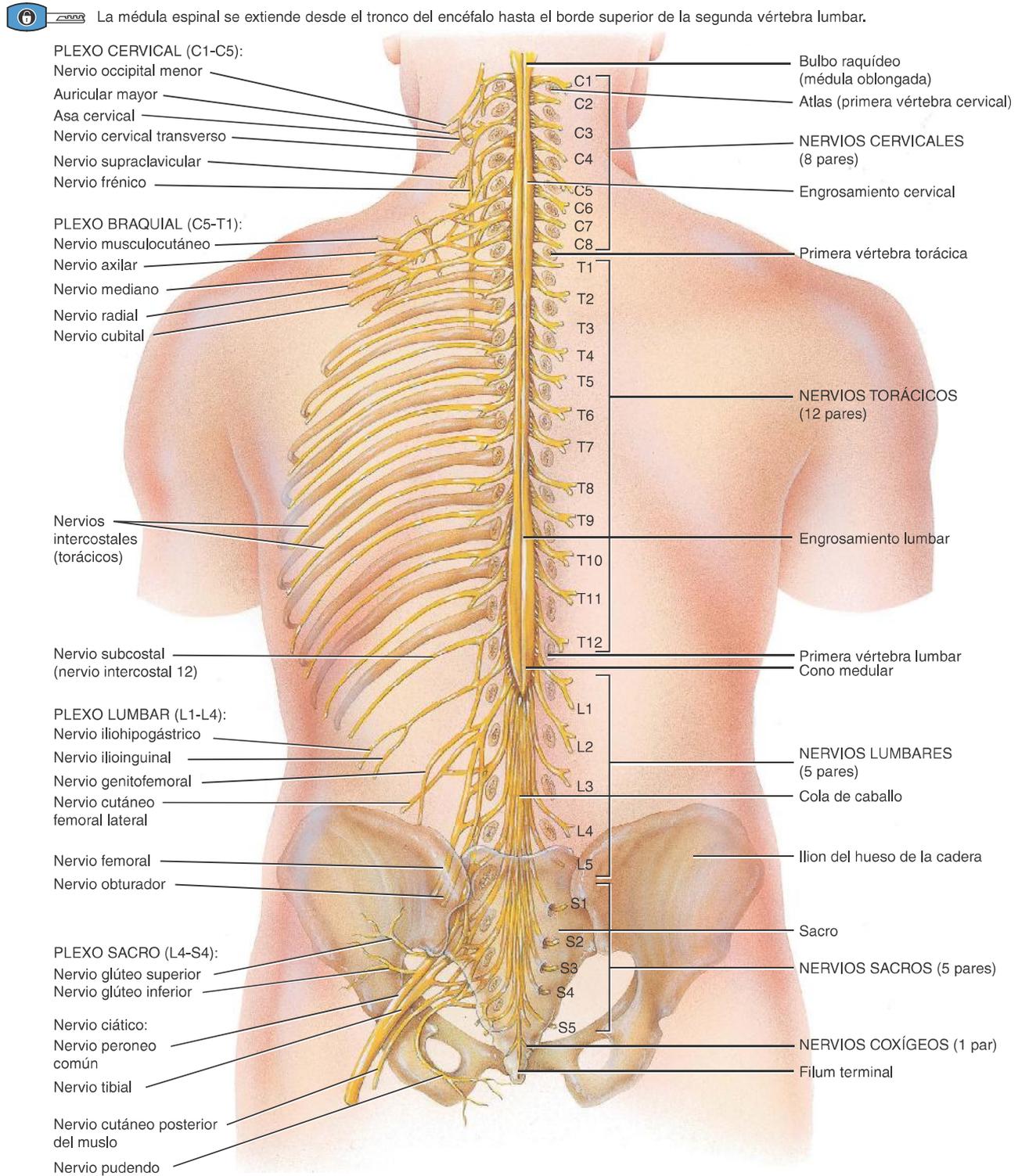
(b) Vista posterior de la región cervical de la médula espinal



(c) Corte transversal de la médula espinal dentro de una vértebra cervical

¿Cuáles son los límites superior e inferior de la duramadre espinal?

Figura 13.2 Anatomía externa de la médula espinal y de los nervios espinales.



Vista posterior de la totalidad de la médula espinal y porciones de los nervios espinales

¿Qué porción de la médula espinal está conectada con los nervios espinales correspondientes al miembro superior?



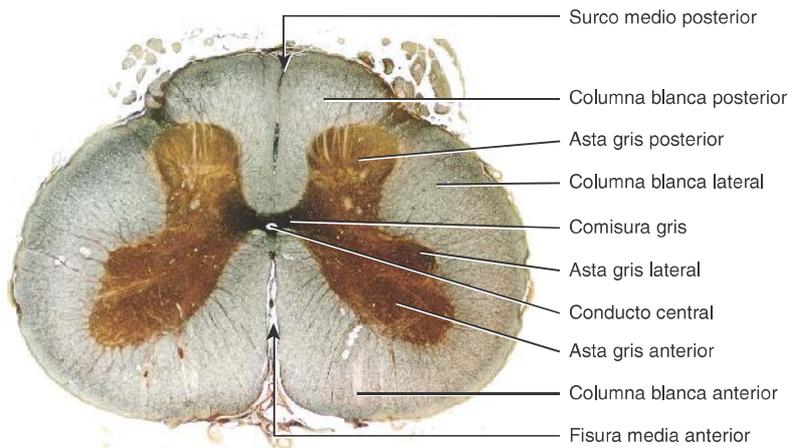
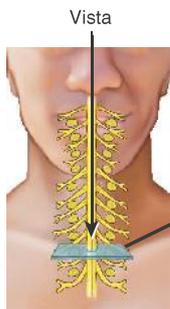
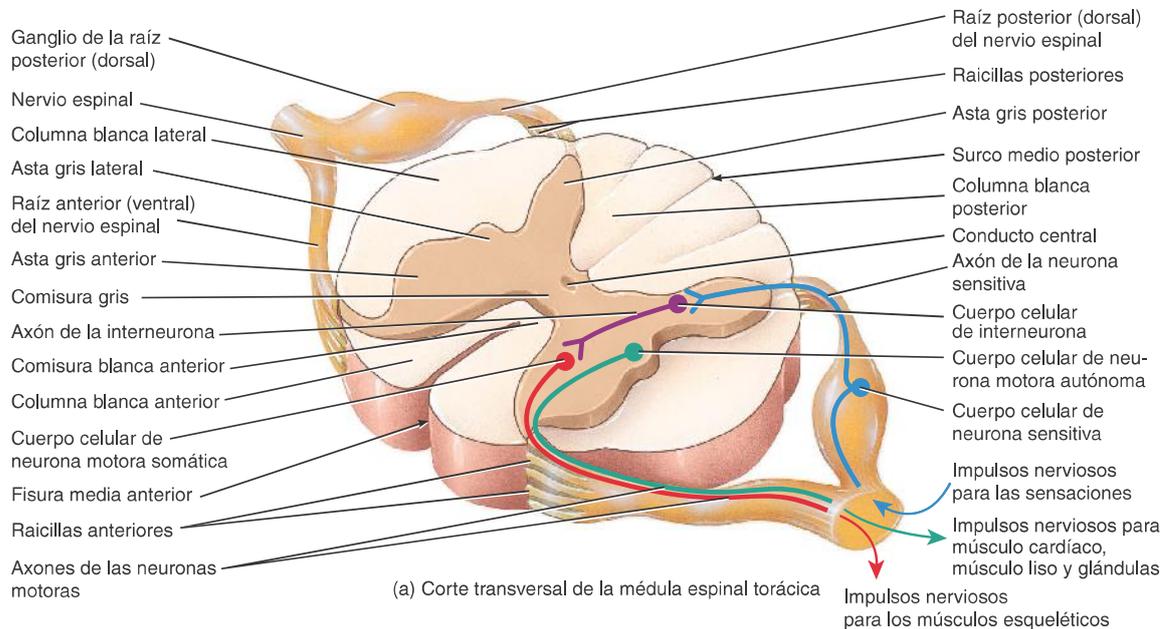
ños denominados **raicillas** (véase la **Figura 13.3a**). La **raíz posterior (dorsal)** y las raicillas contienen sólo axones sensitivos, que conducen impulsos desde los receptores localizados en la piel, músculos y órganos internos hacia el sistema nervioso central. Cada raíz posterior presenta un engrosamiento, el **ganglio de la raíz posterior (dorsal)**, que contiene los cuerpos de las neuronas sensitivas. La **raíz anterior (ventral)** contiene los axones de las neuronas motoras, que conducen impulsos nerviosos desde el SNC hacia los efectores (músculos y glándulas). A medida que los nervios se ramifican desde la médula espinal, se diri-

gen hacia afuera para abandonar el conducto raquídeo, a través de los forámenes intervertebrales entre vértebras adyacentes. Sin embargo, puesto que la médula espinal es más corta que la columna vertebral, los nervios que emergen de aquélla en las regiones lumbar, sacra y coxígea no abandonan la columna vertebral a la misma altura en que salen de la médula espinal. Las raíces de estos nervios espinales inferiores presentan una angulación inferior a lo largo del filum terminale, en el conducto raquídeo, a modo de mechones de cabello. Por ello, la denominación colectiva de estos nervios es la de “cola de caballo” (**Figura 13.2**).

Figura 13.3 Anatomía interna de la médula espinal: organización de la sustancia gris y la sustancia blanca. Para mayor simplicidad, las dendritas no se muestran en esta figura ni en otras ilustraciones en las que se represente un corte transversal de la médula espinal. Las flechas azules, rojas y verdes indican la dirección en la que se propagan los impulsos nerviosos.



El asta gris posterior contiene axones de neuronas sensitivas y cuerpos celulares de interneuronas; el asta gris lateral contiene cuerpos celulares de neuronas motoras autónomas y el asta gris anterior contiene cuerpos celulares de neuronas motoras somáticas.



MO 5x

¿Cuál es la diferencia entre un asta y un cordón en la médula espinal?

Anatomía interna de la médula espinal

Un corte transversal de la médula espinal pone en evidencia regiones de sustancia blanca que rodean a un centro de sustancia gris (Figura 13.3). La sustancia blanca de la médula espinal consiste, fundamentalmente, en haces de axones mielínicos de neuronas. Dos surcos se introducen en la sustancia blanca de la médula espinal y la dividen en dos sectores, uno derecho y otro izquierdo. La **fisura media anterior** es una hendidura ancha en la zona anterior (ventral). El **surco medio posterior** es una depresión superficial, que se encuentra en la zona posterior (dorsal). La sustancia gris de la médula espinal tiene la forma de una letra H o de mariposa; está formada por dendritas y cuerpos neuronales, axones amielínicos y neuroglia. La **comisura gris** forma la barra transversal de la H. En el centro de la comisura gris, se encuentra un pequeño espacio denominado **conducto central**, que se extiende a lo largo de toda la médula y está lleno de líquido cefalorraquídeo. En su extremo superior, el conducto central se continúa con el cuarto ventrículo (un espacio que contiene líquido cefalorraquídeo) del bulbo raquídeo. Anterior a la comisura gris, se encuentra la **comisura blanca anterior (ventral)**, que conecta la sustancia blanca de los sectores izquierdo y derecho de la médula espinal.

En la sustancia gris de la médula y del encéfalo, agrupamientos de cuerpos neuronales forman grupos funcionales conocidos como **núcleos**. Los **núcleos sensitivos** reciben información de los receptores correspondientes por medio de las neuronas sensitivas, y los **núcleos motores** envían información a los tejidos efectores a través de las neuronas motoras. La sustancia gris a cada lado de la médula espinal se encuentra subdividida en regiones llamadas **astas** (Figura 13.3). Las **astas grises posteriores (dorsales)** contienen cuerpos celulares y axones de interneuronas, y también axones de neuronas sensitivas aferentes. Recuerde que los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas se localizan en el ganglio de la raíz posterior (dorsal) de un nervio espinal. Las **astas grises anteriores (ventrales)** contienen los **núcleos motores somáticos**; son conjuntos de cuerpos celulares de neuronas motoras somáticas que generan impulsos nerviosos para la contracción de los músculos esqueléticos. Entre las astas anteriores y posteriores se hallan las **astas grises laterales**, que sólo están presentes en los segmentos torácicos y lumbares superiores de la médula espinal. Las astas grises laterales contienen los **núcleos motores autónomos**, conjuntos de cuerpos celulares de neuronas motoras autónomas que regulan la actividad de los músculos lisos, el músculo cardíaco y las glándulas.

La sustancia blanca, al igual que la sustancia gris, está organizada en regiones. Las astas grises anteriores y posteriores dividen la sustancia blanca de cada lado en tres áreas anchas denominadas **columnas**: 1) **columnas blancas anteriores (ventrales)**, 2) **columnas blancas posteriores (dorsales)**, y 3) **columnas blancas laterales** (Figura 13.3). Cada columna, por su parte, contiene fascículos de axones que tienen un origen o un destino común y que llevan información similar. Pueden extenderse a distancia hacia arriba o hacia abajo en la médula espinal, y se denominan **tractos**. Recuerde que los tractos son axones en el SNC, en tanto que los nervios son haces de axones en el SNP. Los **tractos sensoriales (ascendentes)** consisten en axones que conducen los impulsos nerviosos hacia el encéfalo. Los tractos que envían impulsos nerviosos desde el encéfalo se denominan **tractos motores (descendentes)**. Los tractos motores y sensitivos de la médula espinal se continúan con los tractos motores y sensitivos del encéfalo.

La organización interna de la médula espinal le permite procesar las aferencias sensitivas y las eferencias motoras de la siguiente forma (Figura 13.4):

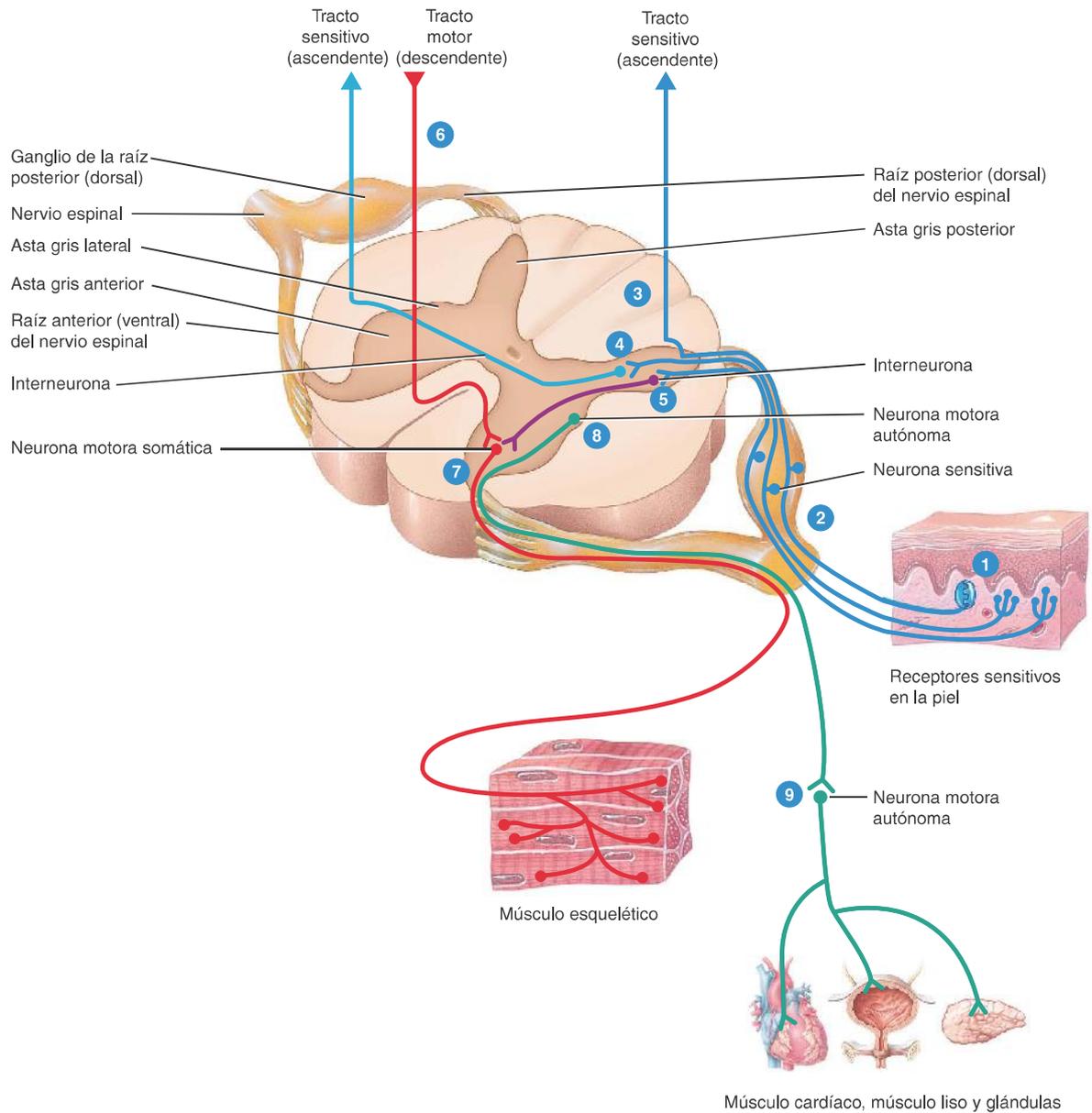
- 1 Los receptores sensitivos detectan un estímulo sensitivo.
- 2 Las neuronas sensitivas transmiten este estímulo sensitivo en forma de impulsos nerviosos a lo largo de sus axones, que se extienden desde receptores sensitivos hacia el nervio espinal y luego hacia la raíz posterior. Desde la raíz posterior, los axones de las neuronas sensitivas pueden proseguir a lo largo de tres vías posibles (véanse los pasos 3, 4 y 5).
- 3 Los axones de las neuronas sensitivas pueden extenderse hacia la sustancia blanca de la médula espinal y ascender hasta el encéfalo como parte de un tracto sensitivo.
- 4 Los axones de las neuronas sensitivas pueden ingresar en el asta gris posterior y hacer sinapsis con interneuronas cuyos axones se extienden en la sustancia blanca de la médula espinal y luego ascienden hasta el encéfalo como parte de un tracto sensitivo.
- 5 Los axones de las neuronas sensitivas pueden ingresar en el asta gris posterior y hacer sinapsis con interneuronas que, a su vez, hacen sinapsis con neuronas motoras somáticas que participan en las vías reflejas espinales. Los reflejos de la médula espinal se describen con mayor detalle más adelante.
- 6 Las aferencias motoras, desde la médula espinal hacia los músculos esqueléticos, involucran neuronas motoras somáticas del asta gris anterior. Muchas neuronas motoras somáticas son reguladas por el encéfalo. Los axones que provienen de los centros encefálicos superiores forman tractos motores, que descienden desde el encéfalo hacia la sustancia blanca de la médula espinal. Allí, hacen sinapsis con neuronas motoras somáticas, ya sea directa o indirectamente haciendo sinapsis primero con interneuronas que, a su vez, hacen sinapsis con neuronas motoras somáticas.
- 7 Cuando las neuronas motoras somáticas son activadas, transmiten aferencias motoras en forma de impulsos nerviosos a lo largo de sus axones; secuencialmente atraviesan el asta gris anterior y la raíz anterior para ingresar en el nervio espinal. Desde el nervio espinal, los axones de las neuronas motoras somáticas se extienden hasta los músculos esqueléticos del cuerpo.
- 8 Las aferencias motoras provenientes de la médula espinal hacia el músculo cardíaco, el músculo liso y las glándulas involucran neuronas motoras autónomas del asta gris lateral. Cuando son activadas, las neuronas motoras autónomas transmiten aferencias motoras en forma de impulsos nerviosos a lo largo de sus axones; secuencialmente atraviesan el asta gris lateral, el asta gris anterior y la raíz anterior para ingresar en el nervio espinal.
- 9 Desde el nervio espinal, los axones de las neuronas motoras autónomas provenientes de la médula espinal hacen sinapsis con otro grupo de neuronas motoras autónomas localizadas en el sistema nervioso periférico (SNP). Los axones de este segundo grupo de neuronas motoras autónomas, a su vez, hacen sinapsis con el músculo cardíaco, el músculo liso y las glándulas. Aprenderá más sobre las neuronas motoras autónomas cuando se describa el sistema nervioso autónomo, en el Capítulo 15.

Los distintos segmentos de la médula espinal varían en tamaño, forma, cantidad relativa de sustancia gris y blanca, y la distribución y la forma de la sustancia gris. Por ejemplo, la cantidad de sustancia gris es máxima en los segmentos cervicales y lumbares de la médula espinal porque estos segmentos son responsables de la inervación sensitiva y motora de las extremidades. Además, se presentan más tractos sensitivos y motores en los segmentos superiores de la médula espinal que en los inferiores. Por lo tanto, la cantidad de sustancia blanca de la médula espinal disminuye desde los segmentos cervicales a los sacros. Existen dos razones principales para esta variación en la sus-



Figura 13.4 Procesamiento de las aferencias sensitivas y de las aferencias motoras por la médula espinal.

Las aferencias sensitivas son transmitidas desde receptores sensitivos hasta las astas grises posteriores de la médula espinal, mientras que las aferencias motoras son transmitidas desde las astas grises anteriores y laterales de la médula espinal hasta los efectores (músculos y glándulas).



¿En qué segmentos se encuentran las astas grises laterales?

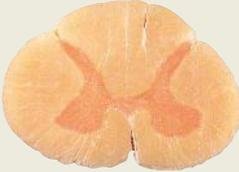
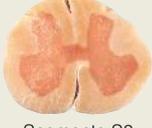
tancia blanca de la médula espinal: 1) a medida que la médula espinal asciende, desde los segmentos sacros hacia los cervicales, se agregan más axones ascendentes a la sustancia blanca para formar más tractos sensitivos. 2) A medida que la médula espinal desciende, desde los segmentos cervicales hacia los sacros, los tractos motores disminuyen en espesor a medida que más axones descendentes abandonan los tractos motores para hacer sinapsis con neuronas en la sustancia gris de la médula espinal. El Cuadro 13.1 resume las variaciones en los segmentos de la médula espinal.

✓ PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Dónde se localizan las meninges espinales? ¿Dónde se encuentran los espacios epidural, subdural y subaracnoideo?
2. ¿Cuáles son los engrosamientos o intumescencias cervical y lumbar?
3. Definir cono medular, filum terminale y cola de caballo. ¿Qué es un segmento espinal? ¿Cómo está dividida parcialmente la médula en los sectores derecho e izquierdo?
4. ¿Qué significa cada uno de los siguientes términos: comisura gris, conducto central, asta gris anterior, asta gris lateral, asta gris posterior, cordón anterior, cordón lateral, cordón posterior, tracto ascendente y tracto descendente?

CUADRO 13.1

Comparación de los diferentes segmentos espinales

SEGMENTO	CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS
Cervical  Segmento C6	Diámetro relativamente grande, con cantidades apreciables de sustancia blanca, de forma oval: en los segmentos cervicales superiores (C1-C4), el asta gris posterior es grande, mientras que el asta gris anterior es relativamente pequeña; en los segmentos cervicales inferiores (de C5 en adelante), las astas grises posteriores están agrandadas y las astas grises anteriores están bien desarrolladas.
Torácico  Segmento T5	Su diámetro es pequeño por las cantidades relativamente menores de sustancia gris; con excepción del primer segmento torácico, las astas grises anteriores y posteriores son relativamente pequeñas; también presenta una pequeña asta gris lateral.
Lumbar  Segmento L4	De forma casi circular; las astas grises anteriores y posteriores son de gran tamaño; se presenta una pequeña asta gris lateral en los segmentos superiores; la cantidad de sustancia blanca es relativamente menor que en los segmentos cervicales.
Sacro  Segmento S3	Relativamente pequeño, pero con abundante cantidad de sustancia gris; la sustancia blanca es escasa; las astas grises anteriores y posteriores son grandes y gruesas.
Coxígeo	Se asemeja a los segmentos espinales sacros inferiores, pero es de menor tamaño.

13.2 NERVIOS ESPINALES

■ OBJETIVOS

- Describir los componentes, los revestimientos de tejido conectivo y las ramificaciones de los nervios raquídeos o espinales.
- Definir un plexo e identificar la distribución de los nervios de los plexos cervical, braquial, lumbar y sacro.
- Describir la importancia clínica de los dermatomas.

Los **nervios espinales** se relacionan con la médula espinal y, al igual que todos los nervios del sistema nervioso periférico (SNP), son haces paralelos de axones y células neurogliales asociadas envueltas en varias capas de tejido conectivo. Los nervios espinales conectan el SNC con los receptores sensitivos, los músculos y las glándulas de todo el cuerpo. Los 31 pares de nervios espinales se designan y se enumeran, de acuerdo con la región y el nivel de la columna vertebral de donde emergen (véase la Figura 13.2). No todos los segmentos de la médula espinal se encuentran alineados con su vértebra correspondiente, ya que la médula espinal finaliza a nivel del borde superior de la segunda vértebra lumbar, y las raíces de los nervios lumbares, sacros y coxígeos descienden con cierta angulación para alcanzar sus forámenes respectivos antes de salir de la columna vertebral. Este tipo de disposición constituye la cola de caballo.

El primer par cervical surge entre el atlas (primera vértebra cervical o C1) y el hueso occipital. Todos los demás nervios espinales emergen de la columna vertebral, a través del foramen intervertebral entre vértebras adyacentes. Los nervios espinales C1-C7 abandonan el *conducto raquídeo* por debajo de las vértebras correspondientes. Desde la médula espinal, las raíces de los nervios espinales sacros (S1-S5) y los nervios espinales coxígeos (Co1) ingresan en el conducto sacro, la porción del conducto raquídeo que se encuentra en el sacro (véase la Figura 7.21). A continuación, los nervios espinales S1-S4 abandonan el conducto sacro, a través de cuatro pares de forámenes sacros anteriores y posteriores, y los nervios espinales S5 y Co1 salen del conducto sacro, a través del hiato sacro.

Como se dijo anteriormente, un **nervio espinal** típico presenta dos conexiones con la médula: una raíz posterior y una raíz anterior (véase la Figura 13.3a). Las raíces anterior y posterior se unen para formar el nervio espinal en el foramen intervertebral. Como la raíz posterior contiene los axones de las neuronas sensitivas, y la raíz anterior contiene los axones de las neuronas motoras, un nervio espinal se clasifica como un **nervio mixto**. La raíz posterior contiene el ganglio en el cual se localizan los cuerpos de las neuronas sensitivas.

Revestimientos conectivos de los nervios espinales

Cada nervio espinal y cada nervio craneal está formado por axones y se halla rodeado por capas de tejido conectivo (Figura 13.5). Los axones individuales en cada nervio, sea mielínico o amielínico, están recubiertos por **endoneuro** (*endo-*, dentro o interno; y *-neurium*, nervio), la capa más interna. El endoneuro consiste en una malla de fibras colágenas, fibroblastos y macrófagos. Los grupos de axones y su endoneuro respectivo se unen en **fascículos**, cada uno de los cuales se halla cubierto por el **perineuro** (*peri-*, alrededor), la capa media. El perineuro es una capa más gruesa de tejido conectivo. Presenta hasta 15 capas de fibroblastos dentro de una red de fibras colágenas. La envoltura más externa de todo el nervio es el **epineuro** (*epi-*, sobre). Está formada por fibroblastos y fibras gruesas de colágeno. El epineuro también llena los espacios entre los fascículos. La duramadre de las