



Médula espinal

ESTRUCTURA EXTERNA DE LA MEDULA ESPINAL

La médula espinal es la parte del SNC que se aloja en el canal vertebral desde el *foramen magnum* hasta el borde superior del cuerpo de la segunda vértebra lumbar (L2). Tiene forma cilíndrica y su aspecto externo es blanquecino debido a que superficialmente está compuesta de fibras nerviosas mielinizadas. Su longitud varía en los diferentes individuos, pero en general se observa un promedio de 45 cm. Su ancho va cambiando según la cantidad de fibras que lleven sus tractos. A nivel cervical, precisamente donde se originan las raíces que constituyen el plexo braquial, la médula espinal se encuentra notablemente aplanada en sentido anteroposterior formando un engrosamiento fusiforme, el mayor de la médula espinal: el **engrosamiento cervical** (C3-T2). Asimismo, a nivel torácico inferior y lumbar, en donde se origina el plexo lumbosacro, la médula espinal presenta el **engrosamiento lumbar** (L1-S3). El extremo inferior de la médula espinal termina en forma de cono: el **cono medular**. Una fina banda de tejido fibroso, el **filum terminale**, avanza en medio de la cauda equina hasta unirse al periostio del dorso del cóccix. El **filum terminale** es una prolongación de la piamadre que indica el camino de regresión de la médula espinal y tiene la función de fijar el extremo inferior la médula espinal. Bajo el cono medular y hasta la terminación del saco dural en el borde inferior de S2, el espacio subaracnoideo sólo contiene la cauda equina y el **filum terminale** flotando en LCR. Por tal razón, esta es la zona con menor riesgo para efectuar una punción lumbar. A las raicillas dorsales y ventrales correspondientes a los segmentos lumbares, sacro y coccígeo, que corren verticalmente bajo el cono medular, se les denomina **cauda equina** por su notable parecido a una "cola de caballo".

Al desprender las meninges que cubren la médula espinal, se observa en ella un tenue surco que recorre la línea media posterior (**surco mediano posterior**) y una fisura profunda que va por la línea media anterior (**fisura mediana anterior**). Ambos elementos dividen a la médula espinal en dos mitades relativamente simétricas. Los 31 pares de nervios espinales o raquídeos se unen a la médula espinal a través de sus raíces posteriores (sensitivas) y anteriores (motoras). Cada raíz consta de un grupo de raicillas que se van expandiendo a medida que se acercan a la médula, llegando a abarcar la totalidad de su segmento medular. El lugar donde las raicillas posteriores penetran a la médula espinal está indicado por un surco visible a simple vista, el **surco lateral posterior**. Por otra parte, las raicillas anteriores emergen en la cara ventral de la médula en un lugar que no forma un surco como el descrito anteriormente. Sin embargo algunos autores hacen referencia al surco lateral anterior. Con propósitos descriptivos, se ha dividido cada mitad de la médula espinal en tres columnas de sustancia blanca (columnas blancas, cordones o funículos) tomando como límites los diferentes surcos y fisuras. Estos son : (1) **Cordón Posterior**, entre el surco mediano posterior y el surco lateral posterior (2) **Cordón Lateral**, entre el surco lateral posterior y la salida de las raicillas anteriores de los nervios espinales (3) **Cordón Anterior**, entre la salida de las raicillas anteriores y la fisura mediana anterior. En los segmentos

medulares superiores cada cordón posterior está dividido por el **tabique intermedio posterior** que en la superficie está indicado por el tenue **surco intermedio posterior**.

Es sabido que durante la 12ª semana de vida intrauterina la médula espinal abarca todo el canal vertebral, pero debido al crecimiento diferente de la médula espinal y la columna vertebral, el extremo inferior de la médula va alcanzando niveles progresivamente más altos. Al momento del nacimiento, la médula espinal está a nivel de L3, pero como el crecimiento vertebral continúa unos años, finalmente la médula espinal alcanza el borde superior del cuerpo de L2 en los individuos adultos. Consecuencia de este crecimiento diferencial es que *los segmentos medulares no se corresponden con los segmentos vertebrales del mismo nombre*.

- A los segmentos vertebrales de C1 a C3 les corresponde los segmentos medulares de C1 a C3, respectivamente.
- A los segmentos vertebrales de C4 a C7 se les suma 1 y se obtiene el segmento medular correspondiente. Por ejemplo, a la vértebra C5 le corresponde el segmento medular C6.
- A las vértebras T1 a T6 se les agrega 2 y se obtiene el segmento medular. Por ejemplo, a la vértebra T2 le corresponde el segmento medular T4.
- A las vértebras T7 a T9 se les suma 3 y se obtiene el correspondiente segmento medula. Por ejemplo, a la vértebra T7 le corresponde el segmento medular T10.
- A las vértebras T10 a T12 les corresponde los segmentos medulares desde L1 hasta L5.
- A las vértebras L1 y borde superior de L2 les corresponde el segmento medular sacrococcígeo.

Los nervios espinales de cada segmento medular siempre salen por el respectivo agujero intervertebral. Si bien las raíces de los nervios cervicales corren horizontalmente, como consecuencia del crecimiento diferencial vertebromedular las raíces de los nervios espinales hacen su recorrido cada vez más vertical mientras más bajo es el segmento medular.

LAS MENINGES ESPINALES

La médula espinal, al igual que el encéfalo, está envuelta por las meninges: duramadre, aracnoides y piamadre.

La **duramadre** es una membrana fuerte, densa y fibrosa que envuelve la médula espinal y la cauda equina. Se continúa a través del **foramen magnum** con la duramadre que recubre el encéfalo. Se llama **saco dural** a la envoltura que forma la duramadre alrededor del extremo caudal de la médula espinal (cauda equina), se encuentra separado laxamente de las paredes del canal vertebral por el **espacio epidural** (también llamado espacio extradural o peridural). Este espacio es ocupado por tejido conjuntivo laxo y por el **plexo venoso vertebral interno**. Los ganglios de la raíz posterior se ubican dentro del agujero intervertebral, y justo por fuera de él se unen ambas raíces para formar un nervio raquídeo mixto. Cuando ambas raíces atraviesan la duramadre y la aracnoidea a nivel del agujero intervertebral, la duramadre se adhiere fuertemente a cada nervio formando una capa continua con el epineuro.

La **aracnoides** es una membrana delgada e impermeable que recubre totalmente la médula espinal. Se ubica entre la piamadre, más profunda, y la duramadre, más superficial. Entre la piamadre y la aracnoides existe un espacio bastante amplio: el **espacio subaracnoideo**. Este espacio rodea todo el encéfalo y prosigue inferiormente a través del **foramen magnum** hasta el borde inferior de S2, en donde la duramadre y la aracnoides se fusionan con el **filum terminale** no dejando espacio alguno. Su importancia radica en que contiene el **líquido cefalorraquídeo**. El espacio subaracnoideo es atravesado por finas **trabéculas aracnoideas** que se unen a la piamadre. Como la aracnoides se continúa con las raíces de los nervios espinales hasta su salida por el agujero intervertebral, se forman unas pequeñas extensiones laterales del espacio subaracnoideo.

La **piamadre** es una capa única y delgada de carácter vascular que se adosa íntimamente a la médula espinal. Por las caras laterales de la médula, a igual distancia entre las raíces posteriores y anteriores de los nervios espinales, unas 22 extensiones membranosas puntiformes de la piamadre van a insertarse firmemente a la cara interna de la duramadre y aracnoides: se trata de los **ligamentos dentados**. Ellos facilitan la fijación de la médula espinal en medio del saco dural. En tal función también participan: (1) la continuidad con el tronco encefálico (2) la presión ejercida por el LCR (3) y el *filum terminale*.

ESTRUCTURA INTERNA DE LA MEDULA ESPINAL

En un corte transversal se observa que la médula espinal consta de una región central con forma de H llamada **sustancia gris**, y una región periférica de aspecto blanquecino denominada **sustancia blanca**. Las prolongaciones posteriores relativamente delgadas que casi alcanzan el surco lateral posterior se denominan **astas posteriores**; las prolongaciones anteriores anchas y redondeadas se denominan **astas anteriores**. La disposición tridimensional de las astas anteriores y posteriores conforman verdaderas columnas que recorren la médula espinal para constituir las **columnas grises** anterior y posterior. Las astas posteriores, funcionalmente somatosensitivas, están formada por neuronas sensitivas que reciben los impulsos que llegan por las raíces posteriores. Las astas anteriores, funcionalmente somatomotoras, están constituidas por neuronas motoras cuyos axones salen por las raíces anteriores. En los segmentos torácicos y lumbares superiores existe una pequeña **asta lateral** que emerge de la unión del asta anterior con la posterior y contiene neuronas viscerales simpáticas. En la parte lateral de la base del asta posterior de los segmentos cervicales superiores es difícil distinguir el límite entre la sustancia gris de la blanca debido a que células y fibras nerviosas se encuentran mezcladas: es la **formación reticular** que se continúa superiormente como la formación reticular del tronco encefálico.

Las columnas grises anterior y posterior de cada lado se encuentran unidas por una banda transversal de sustancia gris: la **comisura gris**. Justo en medio de la comisura gris se encuentra un pequeño conducto lleno de LCR que recorre completamente a la médula espinal: el **canal central** de la médula espinal. Este conducto suele ser apenas visible o permanecer ocluido con el epitelio cilíndrico ciliado que lo recubre (**epéndimo**). Superiormente, se continúa con el canal central de la mitad caudal del bulbo raquídeo para luego abrirse paso a la cavidad del cuarto ventrículo. En el extremo inferior de la médula espinal puede formar una dilatación (**ventrículo terminal**). El canal central sirve de referencia para dividir la comisura gris en dos mitades en sentido anteroposterior: la **comisura gris anterior** y la **comisura gris posterior**. Entre la comisura gris anterior y la fisura mediana anterior existe una banda transversal de sustancia blanca que comunica ambos cordones anteriores, la **comisura blanca anterior**. Los cordones posteriores están totalmente separados por el **tabique mediano posterior** que va desde el surco mediano posterior hasta la comisura gris posterior.

La cantidad de sustancia gris presente en los diferentes niveles medulares depende de la cantidad de músculos inervados por ese nivel. Por tal motivo, en los segmentos torácicos las astas son delgadas y pequeñas, mientras que en los segmentos cervicales inferiores y lumbosacros las astas son gruesas ya que contienen las neuronas motoras y sensitivas asociadas a los plexos braquial y lumbosacro. En los vértices de las astas posteriores de estos últimos segmentos es posible observar un área de sustancia gris de apariencia gelatinosa denominada **sustancia gelatinosa**, que también está presente en segmentos torácicos pero menos aparente debido a su escasez.

Estructura de la Sustancia Gris

La sustancia gris de la médula espinal está formada por un conjunto de somas neuronales multipolares y células de glía. Las neuroglías se encargan de formar una intrincada red que nutre y soporta a las células nerviosas. Existe un número considerable de agrupaciones celulares muy bien definidas:

(1) NUCLEOS DE LAS ASTAS ANTERIORES: La mayoría de las neuronas de las columnas grises anteriores son multipolares, con grandes prolongaciones y abundantes cuerpos de Nissl. Sus **axones eferentes alfa** forman las *raíces anteriores de los nervios espinales* e inervan los músculos estriados. Por otra parte, los **axones eferentes gamma** son las prolongaciones de las neuronas multipolares más pequeñas del asta anterior e inervan las fibras intrafusales de los husos musculares.

Los grupos celulares más mediales de la columna gris anterior inervan la musculatura axial, mientras que los grupos laterales inervan las extremidades; esto explica la prominencia en la parte lateral del asta anterior en los segmentos que originan los plexos braquial y lumbosacro. Los grupos celulares que inervan la musculatura proximal de las extremidades se disponen medialmente, mientras los que inervan la musculatura distal están lateralmente. Esta es la razón que explica la existencia de lesiones que producen parálisis de un grupo muscular sin afectar a otro.

Existen descripciones citoarquitectónicas que nombran una infinidad de grupos columnares, pero ciertamente esto no es de validez ante una aproximación clínica. Es más práctico dividir la columna gris anterior en tres grupos: lateral, central y medial. (a) el *grupo lateral* está presente en los segmentos medulares cervicales y lumbosacros e inerva la musculatura de las extremidades superiores e inferiores. (b) el *grupo central* es el más pequeño y se encuentra en algunos segmentos cervicales y en los lumbosacros. En los segmentos medulares C3, C4 y C5 se encuentra el **núcleo frénico** que da la inervación del diafragma. En los cinco o seis segmentos cervicales superiores se forma el **núcleo accesorio**, el cual proporciona la inervación a los músculos esternocleidomastoideo y trapecio. Los axones de las neuronas que forman el núcleo accesorio originan la *raíz espinal del nervio accesorio* (XI). Entre los segmentos L2 y primeros sacros se encuentra el **núcleo lumbosacro**, cuyos axones tienen una distribución aún no conocida. (c) el *grupo medial* está presente en la mayoría de los segmentos medulares. Sus prolongaciones inervan los músculos del cuello y tronco, incluyendo los músculos intercostales y abdominales.

(2) NUCLEOS DE LAS ASTAS POSTERIORES: (a) la **sustancia gelatinosa** está formada de pequeñas neuronas Golgi tipo II. Recibe estímulos exteroceptivos que vienen por las raíces posteriores, entre ellos, de dolor y temperatura (estímulos termalgésicos). Se ubica en los vértices de las astas posteriores a lo largo de la médula espinal, constituyendo un componente notable en C1 y C2 que se denomina **núcleo espinal del trigémino**. Este núcleo recibe impulsos de las ramas sensitivas oftálmica, maxilar y mandibular del nervio trigémino. (b) anteriormente a la sustancia gelatinosa se ubica un importante grupo neuronal: el **núcleo propio**. Este núcleo recibe estímulos propioceptivos a través de fibras provenientes del cordón posterior (sensaciones de posición, movimiento, discriminación espacial y vibración). (c) en el centro del asta posterior se ubican algunas interneuronas y unas pequeñas neuronas receptoras de estímulos exteroceptivos. (d) en la porción medial de la base del asta posterior desde el segmento medular C8 hasta L3 o L4 se encuentra el **núcleo torácico**, también denominado *nucleus dorsalis* o Columna de Clark. Este núcleo recibe estímulos propioceptivos desde los husos musculares y tendinosos. (e) los **núcleos viscerales aferentes** están formados por pequeñas neuronas que se encuentran ubicadas lateralmente al núcleo torácico. Están presentes desde los segmentos torácicos hasta el segmento L3 conformando el asta lateral de la médula espinal. Se relacionan

con la recepción de información visceral aferente que llega por las raíces posteriores. Desde estos núcleos salen axones que acompañan a las fibras de las neuronas somatomotoras que constituyen la raíz anterior de la médula espinal.

Láminas de la sustancia gris

Basándose en la anatomía microscópica de la médula espinal, la sustancia gris se ha dividido en una serie de 10 láminas, denominadas *láminas de Rexed*. El asta posterior incluye las láminas I a VI, la zona intermedia corresponde a la lámina VII, y el asta anterior está constituida por las láminas VIII, IX y X. Cada lámina se relaciona con determinadas estructuras; por ejemplo, la sustancia gelatinosa se encuentra en la lámina II, el núcleo torácico se encuentra en la lámina VII, etc.

Estructura de la Sustancia Blanca

La sustancia blanca de la médula espinal está compuesta por una gran cantidad de fibras nerviosas, neuroglías y vasos sanguíneos. En un corte transversal se observa su disposición alrededor de la sustancia gris. Su color se debe a la presencia de una gran proporción de fibras mielínicas que corren longitudinalmente, aunque también existe cierta cantidad de fibras amielínicas. Las fibras nerviosas de la sustancia blanca se encargan de unir los segmentos medulares entre sí, y la médula espinal con el encéfalo. Aunque algunos tractos de la médula espinal se concentran en lugares específicos, se ha demostrado la existencia de áreas superpuestas.

Las fibras de las raíces posteriores que llegan hasta el asta posterior presentan diferentes morfologías según el estímulo que ellas transmitan. Las fibras que transmiten aferencias exteroceptivas son de pequeño calibre y poco mielínicas, mientras que las que llevan impulsos propioceptivos son más gruesas y mielinizadas. Las neuronas que sinaptan con la sustancia gelatinosa son amielínicas. Las fibras de la raíz posterior pueden tomar contacto con las neuronas del asta anterior directamente o a través de interneuronas cuyos somas se encuentran en el asta posterior. Los axones de las interneuronas cruzan por la comisura blanca anterior y por la comisura gris para sinaptar con las motoneuronas del lado opuesto (base de los reflejos segmentarios cruzados)

En la médula espinal existen tres niveles fundamentales de organización: se reconoce una organización *segmentaria* base de las actividades reflejas segmentarias representadas por el reflejo patelar, una *intersegmentaria* que enlaza explica reflejos segmentarios como el de retirada a un estímulo doloroso., y una *suprasegmentaria* por la cual las actividades medulares son coordinadas por los centros nerviosos superiores.

Reflejos Medulares

El *reflejo* es la unidad fisiológica del sistema nervioso. Se define como una respuesta motriz de tipo involuntaria que ocurre inmediatamente después de aplicar un estímulo en particular, y que puede ser o no consciente. Si la respuesta no es inmediata no puede ser considerada un reflejo. Otra característica de la respuesta refleja es que parece presentarse y ejecutarse con un fin determinado, y la respuesta se coordina y adapta en vista de tal fin. Su base anatómica es el *arco reflejo*, cuyos componentes básicos son: (1) un órgano receptor (2) una neurona aferente (3) una neurona eferente (4) un órgano efector. Como este arco reflejo sólo involucra una sinapsis, se denomina *arco reflejo monosináptico*; por ello, el tiempo entre la aplicación del estímulo y la ejecución del reflejo es muy pequeño (período latente breve), como sucede en los reflejos patelar y corneal. Los arcos reflejos cumplen importantes funciones, entre ellas, la mantención del tono muscular y, por ende, la postura corporal. De hecho, el movimiento puede considerarse como una expresión motora de un conjunto de respuestas reflejas influenciadas por el encéfalo.

Los reflejos tienen una localización perfecta y estricta, o sea, originan siempre una respuesta que ocurre siempre en el mismo sitio. Se ha demostrado que luego de la descarga normal de la neurona eferente sobre el órgano efector viene un período prolongado de descarga asincrónica. Este suceso se explica por la presencia de colaterales del axón de la neurona aferente que sinaptan con interneuronas que vuelven a sinaptar con la neurona eferente, produciendo una descarga prolongada luego del impulso inicial. Luego de ocurrido el reflejo, viene un período refractario en el cual no es posible una respuesta refleja ante un estímulo. Los centros reflejos son muy susceptibles a la hipoxia y a ciertos fármacos, y es por ello que la ausencia o cualquier alteración de la actividad refleja juega un papel preponderante en el diagnóstico clínico.

Existen dos propiedades de los reflejos medulares que deben considerarse: (1) la **ley de la inervación recíproca** indica que los reflejos extensor y flexor de un mismo miembro no pueden realizarse simultáneamente. Se sabe que la neurona aferente que llega al músculo flexor envía colaterales al músculo extensor para inhibirlo (2) el **reflejo de extensión cruzado**: Al provocar el reflejo de flexión en el miembro inferior de un lado, el miembro del otro lado se hiperextiende. Si se estimula alternativamente la planta de un pie y del otro se produce un movimiento de pedaleo. Estas respuestas también han sido observadas en el miembro superior, pero son menos frecuentes.

Los reflejos segmentarios son fuertemente influenciados por centros neuronales superiores a través de los tractos descendentes largos. Así, la sección transversal de la médula espinal involucra la pérdida de estas influencias y causa un estado de depresión funcional de toda la región corporal que depende de los segmentos medulares bajo la sección. Esta respuesta se caracteriza por una parálisis flácida, gran vasodilatación e hipotensión arterial, incontinencia urinaria y fecal y ausencia de reflejos (arreflexia). Esta etapa transitoria de *shock espinal* evoluciona hacia una **rigidez de decerebración**, caracterizada por la aparición de los reflejos segmentarios y aumento del tono muscular debido a una hiperactividad de las fibras eferentes gamma sobre los husos musculares, descontroladas porque no tienen control de los centros superiores (automatismo medular). Se admite corrientemente que la acción de la corteza motora y la vía piramidal inhiben el tono muscular. Es por ello que en la rigidez de decerebración por lesión de la vía corticoespinal se observa una marcada hipertonía. Algunos investigadores afirman que en realidad la corteza motora es una gran potencializadora del tono muscular y que es el área premotora (porción anterior al giro precentral) la que genera los impulsos inhibitorios. La lesión de las vías piramidales y la corteza motora no produce hipertonía si no se lesiona al mismo tiempo el área premotora o las vías extrapiramidales. De este modo, se ha llegado a la conclusión de que la hipertonía es en realidad extrapiramidal y no piramidal.

Un corte incompleto de la médula espinal que involucre todos los tractos excepto el vestibuloespinal, produce un dominio marcado del incremento del tono en los músculos extensores más que en los flexores (**paraplejía en extensión**). La sección de todos los tractos produce una flexión como respuesta a reflejos y una disminución del tono de los músculos extensores (**paraplejía en flexión**).

Cuando las motoneuronas inferiores van atravesando la sustancia blanca camino a formar las raíces anteriores de los nervios espinales, emiten colaterales que hacen sinapsis con unas neuronas colinérgicas denominadas **células de Renshaw**. Estas interneuronas vuelven a hacer sinapsis con motoneuronas inferiores cercanas, formando un circuito reverberante que inhibe la actividad de estas últimas. Por ello, la estimulación de cada motoneurona tiende a inhibir las neuronas motoras circundantes. Este sistema de inhibición recurrente muestra que el sistema motor hace uso del *principio de la inhibición lateral* para permitir la transmisión de la señal primaria sin que disminuya su intensidad, al mismo tiempo que suprime la tendencia a diseminarse por las neuronas adyacentes.

Las fibras de las raíces posteriores no sólo terminan en su segmento medular. Una considerable parte de ellas se bifurcan al penetrar a la médula y se dividen en ramas ascendentes y descendentes que emiten colaterales hacia el asta posterior hasta que ellas mismas terminan en la sustancia gris de segmentos superiores o inferiores. Muchas ramas descendentes se agrupan formando tractos que corren en la columna blanca posterior y establecen *conexiones intersegmentarias*. Las interneuronas del asta posterior extienden sus axones a la sustancia blanca cerca de la sustancia gris, constituyendo los *fascículos propios*. Su interrupción produce trastornos en los reflejos intersegmentarios. Son muy importantes en funciones reguladoras automáticas medulares como los que controlan la micción en segmentos lumbosacros o los que intervienen en el control sinérgico de los músculos respiratorios en la porción superior de la médula espinal.

La *organización suprasegmentaria* comprende los tractos ascendentes largos que llevan impulsos aferentes a centros encefálicos, y los tractos descendentes largos por los cuales estos centros neuronales superiores influyen en las motoneuronas inferiores.

TRACTOS ASCENDENTES LARGOS

Los tractos ascendentes son paquetes de fibras nerviosas sensitivas de diferentes tipos y funciones que transcurren por la sustancia blanca de la médula espinal, estableciendo comunicación entre segmentos medulares o con centros neuronales superiores. Se encargan de conducir información sensitiva que puede ser o no consciente.

La base anatómica de una vía ascendente que trae información desde los receptores periféricos consta de tres neuronas. La **neurona de primer orden** tiene su soma en un ganglio de la raíz posterior; desde allí, la prolongación periférica (la dendrita) hace contacto con el receptor periférico y la prolongación central (el axón) penetra a la médula espinal formando parte de la raíz posterior hasta sinaptar con la **neurona de segundo orden**. El axón de esta neurona puede decusarse o seguir ipsilateralmente hasta un centro superior del SNC. En este centro, que es el tálamo, se encuentra la **neurona de tercer orden** cuyo axón llega hasta el área sensitiva de la corteza cerebral. Debe considerar que esta es sólo una descripción general de los tractos ascendentes que no estipula los accidentes anatómicos específicos de cada tracto. Por ejemplo, hay vías que involucran más de tres neuronas, u otras que no llegan a las áreas corticales sensitivas.

La información sensitiva que llevan estos tractos puede ser clasificada en: (1) Propiocepción: respuesta a estímulos internos relacionados con el control consciente e inconsciente de la postura corporal y tono muscular. (2) Exterocepción: respuestas a estímulos ambientales como dolor, temperatura o tacto (3) Interocepción, respuesta a estímulos que se originan en el territorio visceral.

PROPIOCEPCION

La propiocepción se produce por estimulación de los diversos receptores ubicados en los músculos, tendones y articulaciones (husos musculares y órganos tendinosos de Golgi). Estos impulsos se transmiten por fibras Ia y Ib y es principalmente propioceptiva conciente, aunque también existen aferencias exteroceptivas de tacto discriminativo. Los impulsos propioceptivos inconcientes van al cerebelo para la coordinación automática de los movimientos. Ellos transcurren por los tractos espinocerebelosos anterior y posterior del cordón lateral de la médula espinal.. Los estímulos propioceptivos que van a la corteza cerebral intervienen en el control cortical de los movimientos, ellos originan impresiones conscientes. Estos ascienden por el cordón posterior de la médula espinal (fascículos gracilis y cuneatus).

Tractos espinocerebelosos: Estos tractos se originan en las células nerviosas del asta posterior que forman el núcleo torácico. Estos impulsos propioceptivos viajan a través de la raíz posterior, sinaptando en las astas posteriores. Las neuronas allí contactadas originan axones que recorren la parte más superficial del cordón lateral formando los tractos espinocerebelosos posterior y anterior. El tracto espinocerebeloso posterior lleva impulsos del mismo lado del cuerpo, mientras que el anterior transmite impulsos contralaterales y del mismo lado. Su destrucción conduce a la incoordinación muscular y trastornos del tono muscular. Existe cierta superposición en las conexiones terminales de las fibras de ambos tractos.

Tracto espinocerebeloso posterior

La neurona de primer orden tiene su soma en el ganglio de la raíz posterior y su axón sinapta con la segunda neurona en la base del asta posterior de la médula espinal torácica. Es en este lugar donde las neuronas de segundo orden constituyen el núcleo torácico. Los axones ascienden por la región posterolateral del cordón lateral ipsilateral y penetran por el pedúnculo cerebeloso inferior para finalmente alcanzar la corteza cerebelosa. Como el núcleo torácico está presente sólo desde el octavo segmento cervical hasta el tercero o cuarto lumbar, los axones que transportan propiocepción de las regiones lumbar baja y sacra ascienden por el cordón posterior hasta llegar al segmento medular más inferior que contenga este núcleo.

El tracto espinocerebeloso posterior transporta información propioceptiva proveniente de los husos musculares, órganos tendinosos y receptores articulares de las extremidades y del tronco referente a tensión tendinosa y movimientos articulares y musculares. Toda esta información es integrada por la corteza cerebelosa para luego coordinar los movimientos y mantener la postura corporal.

Tracto espinocerebeloso anterior

El axón de la primera neurona sinapta en el núcleo torácico. La mayoría de los axones de la segunda neurona se decusan y ascienden por el cordón lateral contralateral; una pequeña cantidad de fibras lo hace por el mismo lado. Luego de ascender por el bulbo raquídeo y puente, las fibras penetran al cerebelo por el pedúnculo cerebeloso superior y terminan en la corteza cerebelosa. El tracto espinocerebeloso anterior transmite información propioceptiva desde husos musculares, órganos tendinosos y articulaciones del tronco y extremidades. Es posible también que lleve al cerebelo información de la piel y fascia superficial de estas regiones.

Tractos del Cordón posterior: Los axones del cordón posterior no provienen de neuronas del asta posterior, sino que son la continuación directa e ininterrumpida de fibras propioceptivas de la raíz posterior homolateral, por lo tanto las neuronas de primer orden están localizadas en los ganglios espinales de las raíces posteriores de la médula espinal. Estos axones penetran a diferentes niveles de la médula y ascienden sin decusarse hasta el bulbo raquídeo. Una vez dentro de la médula, estas fibras ascendentes largas pueden dar colaterales descendentes cortas que sinaptan con neuronas del asta posterior, interneuronas y neuronas del asta anterior a distintos niveles medulares; se cree que estas conexiones participan en reflejos intersegmentarios. La mayoría de las fibras ascendentes continúan hacia el bulbo raquídeo sin hacer sinapsis en la médula espinal. Conforme van entrando, las fibras de niveles inferiores son desplazadas a la línea media por las que ingresan a niveles más altos. De esta manera, en el extremo medular superior las fibras de los segmentos sacros se ubican medialmente y las de los segmentos cervicales están lateralmente. Las fibras de la mitad medial de cada cordón posterior ubicadas entre el tabique intermedio posterior y el tabique mediano posterior forman *fascículo gracilis* (de Goll). Este tracto está presente a lo largo de toda la médula y contiene las fibras ascendentes largas de los segmentos sacros, lumbares y seis últimos torácicos que llevan impulsos propioceptivos de las extremidades inferiores y la mitad inferior del tronco. Las fibras de la mitad lateral de cada cordón posterior entre el tabique intermedio posterior y el surco

lateral posterior constituyen el *fascículo cuneatus* (de Burdach). Este tracto está presente desde el sexto segmento torácico hacia cervical, contiene las fibras ascendentes largas de los segmentos cervicales y seis primeros torácicos que llevan impulsos propioceptivos de la parte superior del tronco y del miembro superior.

Las fibras de ambos tractos sinaptan con la neurona de segundo orden a nivel del bulbo raquídeo en los *núcleos gracilis y cuneatus*. Los axones de la neurona de segundo orden (*fibras arqueadas internas*) se dirigen anteromedialmente y cruzan la línea media formando la *decusación sensitiva*. Luego, las fibras ascienden formando un paquete compacto que cruza el tronco encefálico: el *lemnisco medial*. Las fibras de este lemnisco sinaptan con la neurona de tercer orden en el núcleo ventral posterolateral del tálamo. Luego de cruzar el brazo posterior de la cápsula interna y la corona radiada, los axones de esta tercera neurona terminan en el giro postcentral de la corteza cerebral (somatosensorial). En esta zona cortical, se interpretan las sensaciones de la mitad contralateral en forma invertida (cabeza en zona inferior, pierna en zona superior)

Estos tractos transmiten impulsos de percepción fina de los estímulos táctiles, incluyendo sensación táctil con elemento espacial. Su daño provoca que el paciente no precise el sitio del estímulo táctil ya sea de tipo único o doble simultáneo. Además, gracias a los impulsos propioceptivos transmitidos por estos tractos es posible reconocer conscientemente sensaciones vibratorias, movimientos activos o pasivos y la posición de las partes del cuerpo en el espacio. Si se destruyen los tractos de la columna blanca posterior, sería imposible determinar en qué posición están los pies o los dedos a menos que el paciente los vea, y se pierde la sensación de movimiento y posición de los miembros inferiores. Si se les pide a estos pacientes que junten sus pies, se observa en ellos un movimiento de bamboleo.

Se sabe que información propioceptiva de los músculos del cuello es enviada también a cerebelo a través del pedúnculo cerebeloso inferior ipsilateral. Esta vía es el denominado *tracto cuneocerebelar* y sus fibras constituyen las *fibras arqueadas externas posteriores* penetran por pedúnculo cerebeloso inferior al paleocerebelo.

EXTEROCEPCION

Se relaciona con las sensaciones de calor, frío, dolor y también con aferencias táctiles. La sustancia gelatinosa se relaciona en parte con la recepción de impulsos dolorosos a través de fibras amielínicas y poco mielinizadas que constituyen el *tracto posterolateral* (de Lissauer) ubicado entre el vértice del asta posterior y la superficie de la médula espinal cercano a las raíces posteriores. Todas las células de la columna gris posterior que reciben impulsos exteroceptivos originan axones que se decusan pasando por la comisura blanca anterior al lado opuesto, en donde se separan en dos tractos ascendentes: Los tractos espinotalámicos lateral y anterior.

Tracto espinotalámico lateral

Las sensaciones de dolor y temperatura captadas por las terminaciones nerviosas libres de la piel son llevadas a la médula espinal a través de dos tipos de fibras: (1) fibras de conducción lenta de tipo C (2) fibras de conducción rápida de tipo delta A. Las fibras de conducción rápida se encargan de dar la alerta ante un estímulo de dolor agudo. Las fibras de conducción lenta son las responsables del prolongado dolor de las quemaduras. Por otra parte, las sensaciones térmicas también son transmitidas tanto por fibras de tipo C y A delta.

Los axones que transportan información termalgésica penetran en la zona posterior de la médula proyectándose como fibras ascendentes, dos a tres segmentos medulares formando el *tracto posterolateral*. Estas fibras de la neurona de primer orden terminan sinaptando en neuronas de la sustancia gelatinosa de las astas posteriores. El neurotransmisor involucrado en la sinapsis de las

fibras de tipo C es la **sustancia P**. Este neuropéptido se fabrica con lentitud en las sinapsis y además se degrada lentamente. Por ello, es posible que su concentración en la sinapsis aumente considerablemente al menos durante unos segundos luego de haber comenzado la estimulación dolorosa. Una vez finalizada la estimulación de dolor, la sustancia P persiste durante algunos segundos o incluso minutos. Esto podría explicar el aumento progresivo de la intensidad del dolor lento crónico con el pasar del tiempo y la persistencia del dolor aunque ya haya cesado el estímulo que lo causa.

Las fibras de segundo orden *se decusan* a través de las comisuras blanca anterior y terminan constituyendo el tracto espinotalámico lateral en la porción anterior de la columna blanca lateral, medialmente al tracto espinocerebeloso anterior. Las nuevas fibras que se incorporan al tracto lo hacen por su aspecto posteromedial, lo que trae consigo que en la región medular cervical las fibras sacrococcígeas se ubica anterolateralmente y las fibras de segmentos cervicales posteromedialmente. Conforme asciende, el tracto se hace más lateral hasta quedar muy cerca de la superficie medular en la región cervical. La cordotomía, procedimiento quirúrgico que permite interrumpir este tracto unilateralmente, elimina los impulsos dolorosos de la mitad opuesta del cuerpo por debajo del nivel del corte. Este procedimiento quirúrgico se ha utilizado para abolir el dolor intratable farmacológicamente.

En el bulbo raquídeo, el tracto espinotalámico lateral se ubica muy cercano a la superficie entre el núcleo olivar inferior y el núcleo del tracto espinal del trigémino. Además se localiza cercano con el tracto espinotalámico anterior. En este nivel algunos autores los denominan **lemnisco espinal**. El axón de la neurona de segundo orden prosigue ascendiendo por la región posterior del puente y por el tegmento mesencefálico hasta sinaptar con la neurona de tercer orden en el núcleo ventral posterolateral del tálamo. Es posible que en esta estructura se interpreten algunas sensaciones de dolor y temperatura y que comience la respuesta emocional ante ellos.

Las fibras de tercer orden ascienden a través del brazo posterior de la cápsula interna y luego por la corona radiada hasta alcanzar el área somestésica (giro postcentral de la corteza cerebral). En esta región, la mitad contralateral del cuerpo se representa de forma invertida. La información es interpretada conscientemente y posteriormente es enviada a áreas de asociación parietal.

El tracto espinotalámico lateral presenta una organización somatotópica. Esta se pone de manifiesto ante la presencia de un tumor extramedular, por ejemplo: la presión del tumor sobre la cara lateral de la médula espinal cervical puede interrumpir las fibras de dolor y temperatura de la región sacra contralateral y, conforme crece el tumor, se comprometen las regiones lumbar, torácica y cervical.

Las sensaciones iniciales de dolor punzante y agudo suelen terminar en el área somestésica tal como se ha descrito en el párrafo anterior. Sin embargo, se ha demostrado que las fibras que transmiten sensaciones de dolor por quemaduras sinaptan en la formación reticular para estimular a gran parte del sistema nervioso. A pesar de que la localización del sitio de la lesión es poco precisa, la respuesta generalizada que se provoca actúa como un aviso urgente al organismo.

Que cada persona pueda responder al dolor de distinta manera es debido a que este tipo de sensaciones depende en gran medida de una capacidad encefálica de controlar el grado de señales dolorosas de entrada mediante la activación de un complicado sistema de control del dolor denominado **sistema de analgesia**. Este complejo bloquea o reduce considerablemente sensaciones de dolor, ya sea del tipo agudo o quemante. El sistema de analgesia consta de tres componentes fundamentales: (1) sustancia gris periacueductal del mesencéfalo y la parte superior del puente que rodea el acueducto cerebral (2) región periventricular del diencéfalo (3) los núcleos de la línea media del tronco encefálico (4) algunas fibras del tracto reticuloespinal

que sinaptan con células relacionadas con sensación de dolor en las astas posteriores de la médula espinal y que forman un complejo inhibitorio. Es posible que mediante estas vías de comunicación el sistema analgésico module atenuando las sensaciones de dolor.

Se ha demostrado la existencia de sustancias neurotransmisoras que están relacionadas con el sistema de analgesia y que se encargan de inhibir la liberación de sustancia P a nivel de las astas posteriores: se trata de las *endorfinas* y *encefalinas*.

Se piensa que en el lugar donde las fibras de dolor penetran al SNC puede ocurrir una inhibición por parte de fibras aferentes mielínicas que llevan impulsos de tacto y presión que han sido sobreestimuladas. Los excesivos impulsos de sensación no dolorosa de tacto "cierran la puerta" al dolor, por otra parte, el cese de la sobreestimulación "abre la puerta" al dolor. Esta es la denominada *teoría de la compuerta* (The Gate Theory), que explicaría en parte el cese del dolor con terapias de masaje, aplicación de luz o ultrasonido, acupuntura u otras técnicas. Es posible que mientras el dolor se inhiba de esta manera, el sistema de analgesia se encuentre activamente secretando encefalinas y endorfinas en las astas posteriores y contribuya al control del dolor.

Tracto espinotalámico anterior

Al igual que en el tracto espinotalámico lateral, los axones que provienen de las raíces posteriores penetran a las astas posteriores y se dividen en ramas ascendentes que viajan uno o dos segmentos medulares para formar parte del tracto posterolateral. Es posible que estas fibras sinapten con células de la sustancia gelatinosa. La neurona de segundo orden cruza la línea media a través de la comisura blanca anterior de varios segmentos hasta la columna blanca lateral del lado opuesto. Las fibras que se adhieren al tracto lo hacen por su aspecto medial, y es por ello que en los segmentos medulares superiores las fibras ubicadas lateralmente llevan impulsos de segmentos sacros y las más mediales son fibras provenientes de segmentos cervicales.

En el bulbo raquídeo, los tractos espinotalámico anterior y lateral y el tracto espinotectal ascienden asociados en una colección de fibras denominadas *lemnisco espinal*, ubicadas posteriormente al núcleo olivar e íntimamente relacionadas al lemnisco medial. En el puente, el lemnisco espinal asciende por la región posterior para luego atravesar el tegmento del mesencéfalo. La neurona de tercer orden del tracto espinotalámico anterior tiene su soma en el núcleo ventral posterolateral del tálamo. Es posible que aquí se interpreten algunas sensaciones de tacto y presión.

Los axones de esta tercera neurona prosiguen por la cápsula interna y la corona radiada hasta el área somestésica de la corteza parietal (giro postcentral). Allí se representa, de forma invertida, la mitad contralateral del cuerpo.

El tracto espinotalámico anterior transmite impulsos de presión y sensación táctil no referidos a discriminación espacial.

La lesión de los tractos espinotalámicos de un lado provoca la pérdida de la sensibilidad del lado opuesto del cuerpo por debajo del nivel de la lesión. La destrucción de la comisura blanca anterior provoca la pérdida de los impulsos exteroceptivos de ambos lados y provoca la pérdida de las sensaciones de temperatura y dolor bilateralmente a nivel de la lesión. El tacto no se afecta ya que también es transmitido por los tractos del cordón posterior. Un ejemplo de este tipo de lesión es la siringomielia.

Tracto espinotectal

Los tractos espinotalámicos ascienden por el tallo cerebral hasta el tálamo, pero a nivel del mesencéfalo muchas fibras abandonan los tractos y sinaptan con neuronas del colículo superior. Estas fibras constituyen el tracto espinotectal. Se cree que esta vía que se relaciona con actividades reflejas mesencefálicas, reflejos espinovisuales y los movimientos de ojos y cabeza

hacia la fuente de estimulación. El tracto espinotectal es indistinguible de los espinotalámicos en la médula espinal

Tracto espinorreticular

Las fibras de la neurona de primer orden penetran por la raíz posterior y sinaptan con neuronas de la sustancia gris de la médula espinal que no se han precisado. Los axones de estas neuronas ascienden homolateralmente por el cordón lateral constituyendo el tracto espinorreticular entremezcladas con las fibras del tracto espinotalámico lateral. Terminan sinaptando con neuronas de la formación reticular del tronco encefálico. Este tracto juega un papel importante en el procesamiento de la información dolorosa y las respuestas emocionales asociadas .

Tracto espino-olivar

Las fibras de la neurona de primer orden penetran por las raíces posteriores y sinaptan con neuronas aún no identificadas de la sustancia gris de la médula espinal. Los axones de estas neuronas constituyen el tracto espino-olivar justo en el límite entre los cordones anterior y lateral. Estas fibras terminan sinaptando con el núcleo olivar inferior del bulbo raquídeo; los axones de las neuronas de este núcleo se decusan en la línea media y luego penetran al cerebelo por el pedúnculo cerebeloso inferior. Este tracto transmite impulsos cutáneos y propioceptivos hacia el cerebelo.

INTEROCEPCION

El *dolor visceral* es un tipo de dolor periférico proveniente de las vísceras toracoabdominales que se localiza sobre los tejidos que recubren el órgano que lo origina, en especial sobre la piel del tórax y del abdomen, o a una distancia próxima al sitio donde se produce. Esto último es lo que se designa como ***dolor referido o heterotópico***, ya que se refiere de una víscera que lo produce a una región parietal próxima en conexión fisiológica con ella. En realidad, el dolor referirá al dermatoma que originó el órgano en el desarrollo embrionario (regla de los dermatomas). Por ejemplo, el dolor cardíaco es referido a la porción anterior del brazo izquierdo, lo que se explica por el hecho que el corazón y el brazo tienen el mismo origen segmentario. El dolor proveniente de las vísceras toracoabdominales se ha constituido en un elemento importante en el establecimiento del diagnóstico de las patologías que afectan a estos órganos.

A diferencia del dolor superficial, el dolor visceral provocado por lesiones muy localizadas rara vez es intenso, pero si se provoca una estimulación difusa de los receptores de dolor en una extensa área de la víscera el dolor puede ser muy intenso como ocurre en las isquemias, por ejemplo.

Los dolores viscerales suelen ser causados por distensión excesiva, espasmos de la musculatura lisa de una víscera hueca, daño químico o isquemia y son transmitidos hasta la médula espinal por neuronas cuyos somas se encuentran ubicados en un ganglio de la raíz posterior. La dendrita de estas neuronas contacta en la víscera con receptores de dolor y estiramiento; por otra parte, el axón penetra por la raíz posterior y sinapta con neuronas del asta lateral. Las fibras provenientes de estas neuronas ascienden junto a los tractos espinotalámicos, posiblemente a través del tracto espinorreticular, hasta contactar un núcleo del tálamo asociado a aferencias viscerales. Posiblemente, de aquí los axones se dirigen a áreas de la corteza cerebral relacionadas , como la corteza insular y corteza cingulada.

Se ha sugerido que el dolor visceral referido se produce de la siguiente manera: Las fibras de tipo C que llevan dolor visceral a un determinado segmento de la médula espinal junto a las fibras que llevan dolor desde la piel pueden sinaptar en una misma neurona de segundo orden de las astas posteriores. Por lo tanto, es posible que algunas de las sensaciones viscerales dolorosas sean conducidas por algunas de estas neuronas en común para ambas vías y que el paciente

sienta como si el dolor de la víscera se estuviese produciendo en una determinada región de la piel.

TRACTOS DESCENDENTES LARGOS

Existen diferentes niveles funcionales encefálicos que son capaces de influir en la actividad de las neuronas motoras inferiores de la médula espinal. El sistema piramidal (tractos corticoespinales) y extrapiramidal (tractos rubroespinal, vestibuloespinal, reticuloespinal, tectoespinal, olivoespinal.) forman parte de estos niveles.

Tractos corticoespinales o piramidales

Son los tractos motores más importantes de la médula espinal, ya que conducen impulsos que Inician y controlan los movimientos voluntarios. Debido a que esta vía eferente agrega rapidez y agilidad a los *movimientos* voluntarios, principalmente actúa en la realización de movimientos rápidos y hábiles; es posible que los movimientos voluntarios más simples estén mediados por otros tractos descendentes. Las neuronas que constituyen los tractos corticoespinales se denominan neuronas motoras superiores. Sus fibras se originan en las células piramidales de la capa V de la corteza cerebral motora, aunque no exclusivamente. Las proporciones son las siguientes: un tercio de las fibras se origina en la corteza motora primaria, un tercio en la corteza motora secundaria y un tercio en el giro postcentral. Este último origen no controla la actividad motora precisamente, sino que envía impulsos sensitivos que modulan este tipo de respuestas.

Desde la corteza, alrededor de un millón de fibras pasa a formar parte de la corona radiada para luego penetrar en el brazo posterior de la cápsula interna. En este sitio, las fibras correspondientes a las regiones faciales (haz córtico nuclear) están en la rodilla (genu) y las extremidades inferiores se sitúan en un aspecto más posterior de la cápsula interna. Las fibras continúan su camino constituyendo las 3/5 partes de la porción medial de cada pie del pedúnculo cerebral. Las fibras correspondientes a la región cervical se ubican medialmente y las fibras de las extremidades inferiores lateralmente. En el puente, las fibras pontocerebelosas transversas separan el tracto en varios haces bien definidos. Al penetrar al bulbo raquídeo, las fibras vuelen a reagruparse para constituir las *pirámides* en la porción anterior de esta región. En la unión bulbomedular, las fibras se decusan parcialmente (*decusación de las pirámides*): La mayoría de las fibras (90%) pasan al lado opuesto y descienden en el cordón lateral como el *tracto corticoespinal lateral*, mientras una pequeña proporción no se decusa y desciende en el cordón anterior del mismo lado como el *tracto corticoespinal anterior o directo*. A medida que estos tractos descienden por la médula, se hacen progresivamente más delgados debido a que sus fibras van haciendo conexiones con las motoneuronas de asta anterior en sucesivos niveles ya sea directa o indirectamente a través de interneuronas. Si bien las fibras del tracto piramidal directo no se decusan a nivel bulbar, sí lo hacen en la médula espinal a través de la comisura blanca anterior para así alcanzar el asta anterior del lado opuesto. Las fibras del tracto corticoespinal lateral, ya decusadas a nivel bulbar, terminan en las astas anteriores de todos los segmentos medulares. A fin de cuentas, cada hemisferio cerebral se relaciona funcionalmente con el lado opuesto del cuerpo.

La mayoría de las fibras corticoespinales sinapta con una interneurona, y es ésta la que se comunica con varias motoneuronas gamma, incluso con la de segmentos medulares adyacentes amplificando así la respuesta; sólo las fibras corticoespinales más gruesas son las que sinaptan directamente con las motoneuronas del asta anterior.

Existen colaterales de las fibras corticoespinales que nacen apenas empiezan a descender y que ascienden para inhibir la función de las neuronas motoras de las regiones corticales adyacentes. Otras ramas sinaptan con los núcleos caudado, lentiforme, rojos, olivares y reticulares, con la función de mantener cierto flujo de información acerca de la actividad de la corteza motora.

Estas regiones subcorticales podrían ejercer otras funciones reguladoras sobre las neuronas motoras inferiores a través de otras vías descendentes. Se sabe también de un componente cortico nuclear que se dirige al tronco encefálico para contactar con los núcleos de los pares craneales III, IV, V, VI, VII, IX, X, XI y XII.

Sistema extrapiramidal

Se ocupa el término de *sistema extrapiramidal* para referirse a todos los tractos descendentes que no sean los corticoespinales y que influyen en la actividad somatomotora de los músculos estriados. Este sistema constituye una especie de enlace *indirecto* de las áreas motoras corticales con las motoneuronas inferiores de los nervios craneales y espinales. Actualmente se ha abandonado la idea de un sistema piramidal y otro extrapiramidal ya que es muy bien conocida la estrecha relación funcional entre ambos.

Tractos Corticorrubral y Rubroespinal

Ambos forman la *vía corticorrubroespinal*. El tracto corticorrubral se origina en la corteza premotora (área 6) y termina en el núcleo rojo (mesencéfalo). Las fibras del tracto rubroespinal se originan en la porción magnocelular del núcleo rojo y transmiten impulsos provenientes de: (1) el mismo núcleo rojo (2) cerebelo (3) cuerpo estriado. Las fibras se decusan a la misma altura del núcleo rojo y continúan por el tronco encefálico hasta el cordón lateral de la médula espinal, vecino al tracto corticoespinal lateral, para finalmente hacer sinapsis con las interneuronas de las astas anteriores. Se cree que es una importante vía indirecta por la cual el cerebelo y la corteza cerebral pueden influir sobre las motoneuronas inferiores alfa y gamma, facilitando la actividad de los músculos flexores e inhibiendo la actividad de los extensores. A medida que se asciende en la escala evolutiva, se observa una relación inversamente proporcional entre el desarrollo del tracto rubroespinal y los tractos piramidales: conforme los tractos piramidales se agrandan, el rubroespinal se adelgaza considerablemente. Esta es otra muestra más de la proscencefalización de las funciones, en donde los niveles funcionales superiores priman ante los inferiores. Todo lo antedicho explica porqué en el hombre el tracto rubroespinal es pequeño y de significación funcional menor.

Tracto vestibuloespinal

Este tracto se presenta difusamente y mezclado con otros tractos en la periferia del cordón anterior de la médula espinal hasta sinaptar con interneuronas del asta anterior. Sus fibras, en mayoría homolaterales, se originan en el núcleo vestibular lateral del bulbo raquídeo, el cual recibe aferencias que provienen del sistema de canales semicirculares a través del nervio vestibular y del arquicerebelo o cerebelo vestibular. Las fibras terminan sinaptando en el asta anterior con interneuronas y selectivamente con motoneuronas de los músculos extensores. A través de este tracto, el oído interno y el cerebelo se encargan de facilitar la actividad de los músculos extensores e inhibir a los flexores, relacionándose así con la mantención del tono muscular y las posturas antigravitatorias (por ejemplo, la posición erecta). Además, interviene en los ajustes posturales del cuerpo relacionados con los movimientos de la cabeza.

Tracto Tectoespinal

Este tracto es mero remanente de una vía que controlaba las motoneuronas inferiores desde los centros de reflejos visuales mesencefálicos. Sus fibras se originan en el colículo superior del mesencéfalo y se decusan inmediatamente para descender por el tronco encefálico en una región cercana al fascículo longitudinal medial. En la columna vertebral este tracto desciende a través del cordón anterior por delante del tracto reticuloespinal anterior cercano a la fisura mediana anterior. Sus fibras terminan sinaptando con interneuronas de los segmentos cervicales

superiores. Se relaciona funcionalmente con los movimientos posturales reflejos producidos en respuesta a estímulos visuales.

Tractos Corticorreticular y Reticuloespinales

Los tractos corticorreticular y reticuloespinales conforman la *vía corticorreticuloespinal*. Las fibras corticorreticulares se originan en el área premotora de la corteza cerebral (área 6), descienden junto al tracto corticoespinal y terminan en los núcleos reticulares del puente y bulbo raquídeo.

Los tractos reticuloespinales son importantes vías que llevan impulsos desde el mesencéfalo y rombencéfalo relacionadas con el control del tono muscular. Se originan en los difusos grupos de núcleos reticulares de la formación reticular del tronco encefálico.

- Los axones de los núcleos reticulares del puente descienden por el cordón anterior homolateral de la médula espinal formando el ***tracto reticuloespinal medial o pontino***.

- Los axones del núcleo reticular gigantocelular del bulbo descienden por el cordón lateral formando el ***tracto reticuloespinal lateral o bulbar***.

Gracias a su capacidad de inhibir las neuronas motoras inferiores alfa y gama de la columna gris anterior de todos los niveles medulares, estos tractos participan en las siguientes funciones (1) control del tono muscular y actividad esfinteriana de los sistemas gastrointestinal y urinario (2) ajuste de la respuesta cardiovascular por medio de neuronas del SNA (3) regulación de los movimientos respiratorios. Debido a su ubicación difusa en el tronco encefálico, ha sido difícil obtener resultados experimentales que comprueben sus funciones.

Fascículo Longitudinal Medial (FLM)

Es un fascículo mixto de fibras ubicadas en el tronco encefálico y médula espinal. Tiene un componente ascendente y descendente. Este último va desde el mesencéfalo a la médula espinal, interrelaciona los núcleos vestibulares, motores oculares y espinal del accesorio.

Tracto Olivoespinal

Las fibras de este tracto se originan en el núcleo olivar inferior y descienden por el cordón lateral de la médula espinal. Se relaciona con el control de la actividad de la motoneurona inferior. Sólo está presente en los segmentos cervicales superiores, sin embargo, ciertos autores refutan su existencia.

Vía rafespinal

Neuronas serotoninérgicas del núcleo del rafe magno, otros núcleos del rafe y formación reticular del troncoencefalo envían sus axones por el cordón posterior de la médula espinal hasta sinaptar en las láminas I, II, V y neuronas de la lámina VII. Es una vía refleja de feedback relacionada con la modulación del dolor.

Vía locus ceruleus espinal

Las neuronas noradrenérgicas del *locus ceruleus* envían algunos de sus axones a través del cordón lateral de la médula espinal hasta las láminas I, II, V, VII y IX. Esta vía influye en la actividad simpática, facilitación de motoneuronas inferiores y modulación de actividades relacionadas con expresiones de estados emocionales, entre otras funciones.

IRRIGACION DE LA MEDULA ESPINAL

El patrón básico de irrigación arterial de la médula espinal involucra tres vasos que corren longitudinalmente a lo largo de ella: una ***arteria espinal anterior*** y dos ***arterias espinales posteriores***. La arteria espinal anterior nace de la unión de dos ramas de la arteria vertebral que se unen a nivel de la decusación de las pirámides para luego descender por la superficie anterior

de la médula espinal en relación con la fisura mediana anterior para irrigar parte del bulbo raquídeo, el nervio hipogloso y los dos tercios anteriores de la sustancia medular; por otra parte, las arterias espinales posteriores nacen directamente de las arterias vertebrales o indirectamente de las arterias cerebelosas inferiores posteriores para luego descender por la superficie posterolateral de la médula espinal cercanas a las raíces posteriores e irrigar el tercio posterior de la sustancia medular.

El sistema longitudinal es reforzado por una serie muy variable de vasos tributarios transversales que penetran al canal medular por los agujeros intervertebrales junto a los nervios y raíces espinales. Las anastomosis entre los vasos longitudinales y los vasos segmentarios se producen en la superficie de la médula espinal.

De los 31 pares de vasos segmentarios que penetran con los nervios raquídeos, la gran mayoría no termina en la médula espinal. Entre ellos existen diferentes tipos:

(1) **arterias radicales** propiamente tales: es decir, aquellas arterias que irrigan las raíces nerviosas y el ganglio sensitivo solamente. No alcanzan la médula espinal.

(2) **arterias radículo - piales**: son aquellas que llegan sólo hasta la piamadre.

(3) **arterias radículo - medulares**: son un grupo de 8 a 10 arterias que alcanzan la médula espinal, anastomosándose con el sistema longitudinal. Generalmente ingresan por un solo lado de la médula espinal y frecuentemente se dividen en dos ramas, una anterior y otra posterior, las que acompañan a las respectivas raíces nerviosas.

Con fines descriptivos, la médula espinal se divide en tres territorios según la vascularización que reciban:

(1) *Superior o cérvico-torácico*: comprende todos los segmentos cervicales hasta el segundo o tercer segmento torácico. Dentro de la gran variabilidad de la irrigación de este segmento, es más o menos frecuente encontrar el siguiente patrón: La primera porción de la médula espinal es irrigada sólo por el sistema de vasos longitudinales; existe una arteria radicular rama de la arteria vertebral que acompaña a la raíz C3, una rama de la arteria cervical profunda que penetra con la raíz C6, y una rama de la arteria intercostal superior que acompaña la raíz C8. Para asegurar la circulación de este territorio se producen una serie de anastomosis entre los distintos vasos del cuello, principalmente a través de la arteria cervical profunda y arteria cervical ascendente. Por tanto, frente a una obstrucción en la región del engrosamiento cervical, el déficit puede ser suplido por alguna de las numerosas colaterales.

(2) *Intermedio*: este territorio se extiende entre los segmentos T4 y T8. Generalmente, existe una sola rama del sistema segmentario a nivel de T7 aproximadamente, la cual proviene de una arteria intercostal rama de la arteria aorta. Este territorio es el más pobremente irrigado, por tanto, es el más lábil de los tres segmentos ante una obstrucción vascular. La arteria espinal anterior puede estar extremadamente disminuida a este nivel.

(3) *Inferior*: El territorio medular inferior va desde los últimos segmentos torácicos hasta el cono medular. Depende en gran parte de una arteria radículo-medular llamada **arteria radicular mayor** (de Adamkiewicz) que es la de mayor diámetro de todas las arterias radículo-medulares. Es rama de las primeras lumbares provenientes de la aorta, llega a la médula con mayor frecuencia por una de las raíces del lado izquierdo entre los segmentos T12 y L4 (85% de los casos), y emite una rama radicular anterior gruesa y una radicular posterior menor que terminan por irrigar el engrosamiento lumbar y constituirse en el mayor aporte nutricional para los dos tercios inferiores de la médula espinal. La cauda equina es irrigada por una o dos ramas de las arterias lumbar, iliolumbar y sacras lateral y media. Estas ramas también ascienden hasta el cono medular para formar una amplia red anastomótica llamada **asa del cono medular** al cual también contribuyen ramas de las tres arterias espinales y una rama descendente de calibre relativamente

grueso que proviene de la arteria de Adamkiewicz. La región caudal de la médula espinal es un territorio con muy buena vascularización.

Sistema arterial intramedular: El sistema arterial intramedular está formado por las arterias centrales y por el plexo perimedular.

Las **arterias centrales** nacen en ángulo recto de la arteria espiral anterior, penetran la fisura mediana anterior hasta alcanzar la comisura blanca anterior y emiten una rama para cada lado de la médula espinal. Se pueden encontrar varias por centímetro, siendo menos numerosas y de menor calibre en el territorio medular intermedio (torácico medio). Irrigan la parte más profunda de la sustancia blanca y la sustancia gris, exceptuando las puntas de las astas posteriores. Son funcionalmente arterias terminales.

El **plexo perimedular** está formado por varias arteriolas anastomóticas provenientes de las arterias espinales anterior, posteriores y radículo-piales. Desde este plexo pial nacen numerosos vasos que penetran en forma radial a la médula, constituyendo así la *corona radiada*.

Las arterias espinales posteriores y sus ramos penetrantes irrigan las puntas de las astas posteriores y el cordón posterior. Estas últimas, al igual que las arterias centrales, son vasos funcionalmente terminales, sin embargo, hay una zona más o menos circular a la médula en que se pueden superponer ambos sistemas.

Sistema Venoso

A lo largo de la columna vertebral se extienden dos grandes plexos: los plexos vertebrales interno y externo, los cuales forman anillos definidos en torno a cada nivel vertebral. Existe libre comunicación entre ambos. Algunas ramas provenientes de las vértebras, ligamentos y médula espinal llegan a conformar el plexo. Son importantes las variaciones de presión del LCR o de la cavidad torácica, ya que estas venas son relativamente pobres en válvulas, por lo tanto son posibles grandes variaciones en el volumen sanguíneo de ellas.

Plexo vertebral interno: Es una red anastomótica de venas que se entremezcla con el tejido conjuntivo laxo del espacio epidural. Se observan venas que corren longitudinalmente por la superficie posterior de los cuerpos vertebrales y discos intervertebrales a cada lado del ligamento longitudinal posterior. Entre este ligamento y el cuerpo vertebral existen ramas que reciben la sangre proveniente de las arterias basivertebrales. El aspecto posterior del plexo se apoya sobre las láminas vertebrales y el ligamento amarillo y suele ser menos desarrollado que en la región anterior. Existe un conjunto de pequeñas venas que perforan los ligamentos y comunican el plexo vertebral interno con el externo.

Plexo vertebral externo: Está formado por un conjunto de venas que corren longitudinalmente por la superficie externa de los cuerpos y láminas vertebrales. Tiene una porción anterior que se comunica con las venas basivertebrales. La porción posterior forma una red en torno a las apófisis espinosas, transversas y articulares y se comunica con las venas occipitales, cervicales profundas y vertebrales. A veces es posible que algunas ramas lleguen a los senos duros de la fosa craneal posterior.

La configuración del sistema venoso medular es muy similar al arterial. Sin embargo, se diferencian en que las venas centrales son menos numerosas que las arterias y drenan un territorio más reducido (la parte más anterior de la sustancia gris y de la sustancia blanca). Las venas penetrantes, por lo tanto, drenan la mayor parte de la sustancia gris y blanca y terminan en el plexo perimedular que conecta a las venas espinales anterior y posteriores.

La vena espinal anterior, más superficial que la arteria, recibe la sangre del territorio de las arterias centrales y de la porción anterior del plexo perimedular. Se vacía en las venas radicales anteriores que se encuentran cada dos o tres segmentos.

Por último, las venas radicales anterior y posterior se anastomosan con las venas de los plexos vertebrales y conforman las venas intervertebrales. Estas venas drenan la mayor parte de la sangre de la médula espinal y de los plexos vertebrales externo e interno hacia las venas intervertebrales, intercostal posterior, lumbar y sacra lateral, dependiendo de qué territorio se trate.