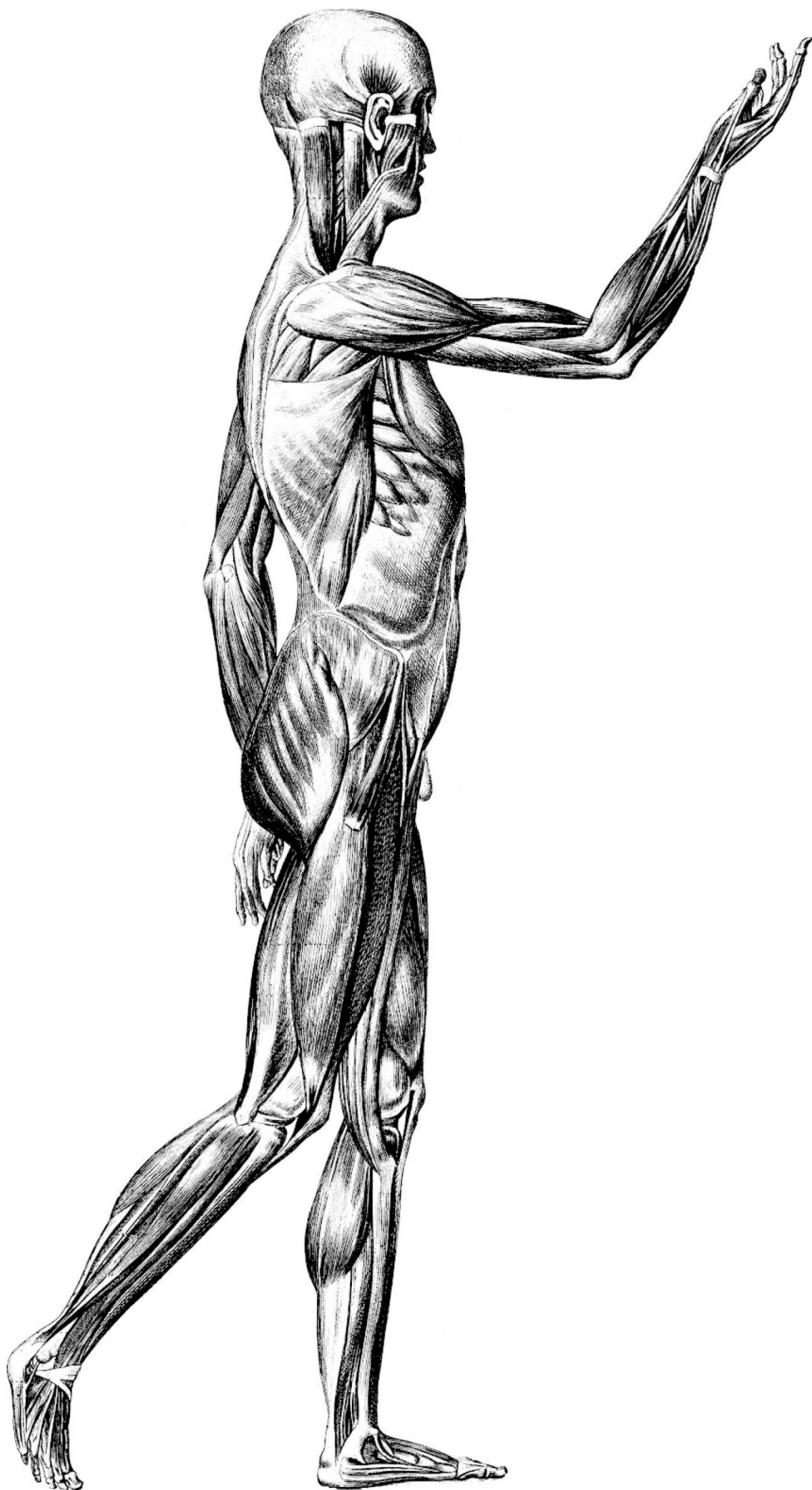




ANATOMIA Y FISIOLOGIA DEL SISTEMA NERVIOSO

AULA VIRTUAL
2º NIVEL



I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MORFOLOGÍA GENERAL DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.....	3
A.	MÉDULA ESPINAL Y RAÍCES RAQUÍDEAS.....	4
1.	Anatomía funcional	4
2.	Estructura externa	5
3.	Estructura interna.....	8
4.	Relaciones	16
B.	TRONCO DEL ENCÉFALO.....	19
1.	Situación.....	19
2.	Estructura externa.....	20
3.	Estructura interna.....	23
4.	Aspectos clínicos elementales.....	32
C.	CEREBELO.....	32
1.	Estructura externa	32
2.	Estructura interna.....	34
3.	Organización funcional	35
4.	Aspectos clínicos elementales.....	35
D.	CEREBRO.....	36
1.	Estructura externa.....	36
2.	Estructura interna del cerebro	38
III.	VASCULARIZACIÓN	49
A.	VASOS DEL ENCÉFALO	49
B.	SISTEMA DE LA CARÓTIDA INTERNA	50
1.	Arteria cerebral anterior.....	50
2.	Arteria cerebral media o silviana	51
3.	Arteria coroidea anterior	52
4.	Arteria comunicante posterior	52
C.	SISTEMA VERTEBROBASILAR	53
1.	Tronco basilar.....	53
2.	ARTERIAS CEREBRALES POSTERIORES	54
D.	VÍAS DE SUPLENCIA	54
1.	Polígono de Willis.....	55
2.	Anastomosis entre arteria carótida interna y carótida externa	57
3.	Anastomosis en la superficie de los hemisferios (Fig. 55 y 56)	57
E.	DRENAJE VENOSO	58
F.	VASCULARIZACIÓN DE LAS MEMBRANAS MENÍNGEAS	60
G.	COMPORTAMIENTO HEMODINÁMICO GENERAL DE LA CIRCULACIÓN CEREBRAL.....	61
1.	Función de las supleencias	61



2. Débito sanguíneo cerebral y sus variaciones	62
H. ASPECTOS CLÍNICOS GENERALES DE LAS ENFERMEDADES VASCULARES ENCEFÁLICAS	62
IV. ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL	63
A. RECEPTORES SENSORIALES.....	63
B. ARCOS REFLEJOS	64
1. Arcos conductores segmentarios	64
2. Arcos conductores suprasegmentarios.....	65
3. Arco conductor totalitario (Fig. 63).....	66
C. BASES MORFOLÓGICAS Y FUNCIONALES DE LA MOTRICIDAD	67
1. Áreas motoras de la corteza cerebral	68
2. Vías motoras centrales.....	71
3. Aspectos clínicos generales.....	74
D. CIRCUITO LÍMBICO E IMPULSOS PRIMITIVOS.....	75
1. Conexiones extrínsecas del circuito límbico	75
2. Esquema funcional general del circuito límbico	76
3. Respuestas emocionales: afectos y estados de ánimo	78
4. Bases morfofuncionales de los afectos.....	78
5. Bases morfofuncionales de los estados de ánimo.....	79
V. CONCIENCIA.....	81
A. EL SISTEMA DE ALERTA (O DE VIGILANCIA)	82
B. SISTEMA DE SUEÑO.....	83
1. Tipos de sueño.....	83
2. Separación de los trastornos del sueño y de la vigilancia	84
C. ELECTROENCEFALOGRAFÍA: ELECTROENCEFALOGRAMA NORMAL	85
VI. MEMORIA	86
A. CAPACIDAD PROYECTIVA.....	86
VII. FUNCIONES SUPERIORES	88
A. RELACIONES DEL NEOCÓRTEX Y DEL CEREBRO LÍMBICO.....	88
B. LATERALIZACIÓN FUNCIONAL Y PAPEL DEL CUERPO CALLOSO.....	90
C. EL LENGUAJE.....	92
1. Bases morfofuncionales del lenguaje hablado.....	92
2. Bases morfofuncionales de la lectura	95
3. Bases morfofuncionales de la escritura	96
VIII. FUNDAMENTOS MORFOLÓGICOS Y FUNCIONALES DEL DOLOR.....	97



A. RECEPTORES Y NEURONAS AFERENTES PRIMARIAS	97
1. Haz neoespinotalámico del dolor agudo	98
2. Vía paleoespinotalámica para el dolor sordo y crónico	100
B. ESTACIÓN SINÁPTICA TALÁMICA.....	100
C. CORTEZA CEREBRAL	101
D. PROCESOS DE SENSIBILIZACIÓN.....	101
E. ACCIÓN EFECTORA DE LOS NOCICEPTORES.....	102
F. ORGANIZACIÓN DEL FILTRO LOCAL ESPINAL.....	103
G. ORGANIZACIÓN DE LOS FILTROS SUPRAESPINALES O DESCENDENTES	105
IX. LAS VÍAS SENSITIVAS	107
A. SISTEMA LEMNISCAL	108
B. SISTEMA EXTRALEMNISCAL	109
C. INTERRELACIONES DE LOS DOS SISTEMAS	109
D. VÍA NEOESPINOTALÁMICA.....	110
E. VÍA ESPINORRETICULOTALÁMICA O PALEOESPINOTALÁMICA	111
X. VÍAS MOTRICES	113
A. LA UNIDAD MOTORA	113
B. REGULACIÓN SEGMENTARIA DE LA ACTIVACIÓN DE LAS UNIDADES MOTORAS.....	114
C. COORDINACIÓN DE LAS ACTIVIDADES SEGMENTARIAS POR LAS ESTRUCTURAS DEL TRONCO CEREBRAL.....	117
D. ELABORACIÓN DEL MOVIMIENTO EN LOS HEMISFERIOS CEREBRALES	119
E. LA FUNCIÓN DEL CEREBELO.....	122
XI. SISTEMAS DE CONTROL DEL DOLOR	125
A. GATE-CONTROL	125
B. ENCEFALINAS Y ENDORFINAS	126
1. Medular (segmentario).....	127
2. Tronco cerebral (suprasegmentario)	127
C. INTEGRACIÓN DEL DOLOR	128
XII. SISTEMA GAMMA.....	130
A. RECEPTORES MUSCULOTENDINOSOS	130
1. Husos neuromusculares	130
2. Papel de los receptores intrafusales y de golgi.....	132
3. Papel del músculo y de su inervación.....	133
B. BUCLE GAMMA (Γ)	134
1. Actividad gamma.....	134
2. Control de los músculos esqueléticos por la neurona motora superior.....	135



C. REFLEJOS MUSCULARES ESQUELÉTICOS	137
1. Reflejo monosináptico de estiramiento	137
2. Inervación recíproca y reflejo extensor cruzado	137
XIII. SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO	139
A. GENERALIDADES NERVIOS PERIFÉRICOS	139
1. Biología elemental	140
2. Degeneración y regeneración de las fibras nerviosas.....	142
B. NERVIOS CRANEALES.....	145
1. Nervio olfatorio (I par craneal)	146
2. Nervio óptico (II par craneal)	147
3. Nervios motores oculares (III, IV y VI pares)	150
4. Nervio trigémino (V par).....	153
5. nervio facial (VII par)	161
6. Nervio glosofaríngeo (IX par)	164
7. Nervio vago o neumogástrico (X par)	165
8. Nervio espinal o accesorio (XI par)	167
9. Nervio hipogloso (XII par).....	168
C. NERVIOS RAQUÍDEOS O ESPINALES.....	169
1. Ramos ventrales cervicales.....	172
2. Ramos ventrales torácicos.....	174
3. Ramos ventrales lumbares.....	174
4. Ramos ventrales sacros y coccígeos.....	175
D. NERVIOS DEL TRONCO	175
E. NERVIOS DEL PERINEO	176
F. INERVACIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR.....	176
1. Plexo braquial.....	176
2. Ramas terminales del plexo braquial.....	177
3. Valoración funcional de los principales nervios del miembro superior	181
G. INERVACIÓN DEL MIEMBRO INFERIOR.....	182
1. Ramas del plexo lumbar	182
2. Ramas del plexo sacro.....	184
XIV. SISTEMA NERVIOSO VEGETATIVO O AUTÓNOMO	188
A. RECEPTORES	189
B. VÍAS AFERENTES.....	189
C. CENTROS NERVIOSOS	190
D. VÍAS EFERENTES	190
1. Vías eferentes simpáticas.....	190
2. Vías eferentes parasimpáticas	194



E. EFECTOS DE LA INERVACIÓN VEGETATIVA	195
--	-----



ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL SISTEMA NERVIOSO

I. INTRODUCCIÓN

El sistema nervioso es el conjunto de órganos encargados de regir las relaciones del ser humano. Esto contempla el contacto con el mundo exterior, así como la conexión y coordinación de las actividades entre las distintas partes del organismo: células, tejidos, órganos, etc.

De la relación con el mundo exterior se encarga fundamentalmente el denominado sistema nervioso de relación. La conexión y la coordinación de las distintas partes del organismo se realizan a través del sistema nervioso vegetativo, en estrecha colaboración con el sistema endocrino. La complejidad de estas funciones pone en evidencia la enorme diversidad del estudio de esta materia.

El elemento estructural básico del sistema nervioso es la **neurona o célula nerviosa**, compuesta por un cuerpo celular del que emergen dos tipos de prolongaciones: las dendritas, generalmente múltiples y el cilindroeje o axón, siempre único. Los cuerpos neuronales se agrupan en distintas zonas del sistema nervioso constituyendo la sustancia gris y los axones o cilindroejes, envueltos en vainas de mielina y organizados en fascículos, constituyen la sustancia blanca y los diversos nervios periféricos. Las conexiones entre neuronas se realizan mediante «uniones funcionales» o sinapsis, en las que son liberadas diversas sustancias químicas que, en conjunto, se denominan neurotransmisores y cuya función es la transmisión del impulso nervioso.

Desde un punto de vista funcional, el mensaje nervioso puede esquematizarse en tres grandes fases:

- Adquisición de la información, que comprende la recepción y transmisión de la información hasta estructuras específicas.
- Integración de la información o interpretación del significado de los impulsos nerviosos recibidos.
- Fase efectora o de respuesta del sistema nervioso, en función del mensaje recibido.

Aunque existen diferencias estructurales y funcionales entre los distintos sectores del sistema nervioso, una disposición funcional general puede esquematizarse en tres tipos de estructuras:

- **Vías aferentes:** constituidas por nervios y las vías sensitivas. Se encargan de la adquisición o recogida de información en las diversas zonas del organismo y de su transmisión hasta las estructuras centrales, especialmente el encéfalo.
- **Órganos centrales:** se encargan de integrar procesar, unificar, archivar la información recibida y de elaborar las respuestas.
- **Vías eferentes:** conducen las respuestas desde las estructuras centrales hasta los órganos efectores: músculos, glándulas, etc.



Clásicamente, el sistema nervioso se divide en:

- Sistema nervioso central (SNC) o neuroeje, que consta de encéfalo y médula espinal.
- Sistema nervioso periférico (SNP), constituido por numerosos pares de nervios que se ramifican por todo el organismo.

A pesar de la alta diversidad funcional del sistema nervioso, la presencia de trastornos orgánicos o alteraciones funcionales se traduce en signos y síntomas concretos, expresión de la exaltación o depresión de las funciones nerviosas afectadas. El análisis de la combinación de estas manifestaciones clínicas permite conocer el lugar dónde se localiza la alteración, dato básico para un diagnóstico topográfico o del nivel lesionado.



II. MORFOLOGÍA GENERAL DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

El SNC se localiza en el interior de la cavidad craneal y del conducto raquídeo de la columna vertebral (Fig. 1).

La porción incluida dentro de la cavidad craneal es el encéfalo, que está formado por:

- Cerebro, dividido en dos hemisferios cerebrales izquierdo y derecho.
- Tronco del encéfalo, que consta de mesencéfalo, protuberancia y bulbo raquídeo.
- Cerebelo, situado dorsalmente respecto al tronco del encéfalo y en íntima conexión con él.

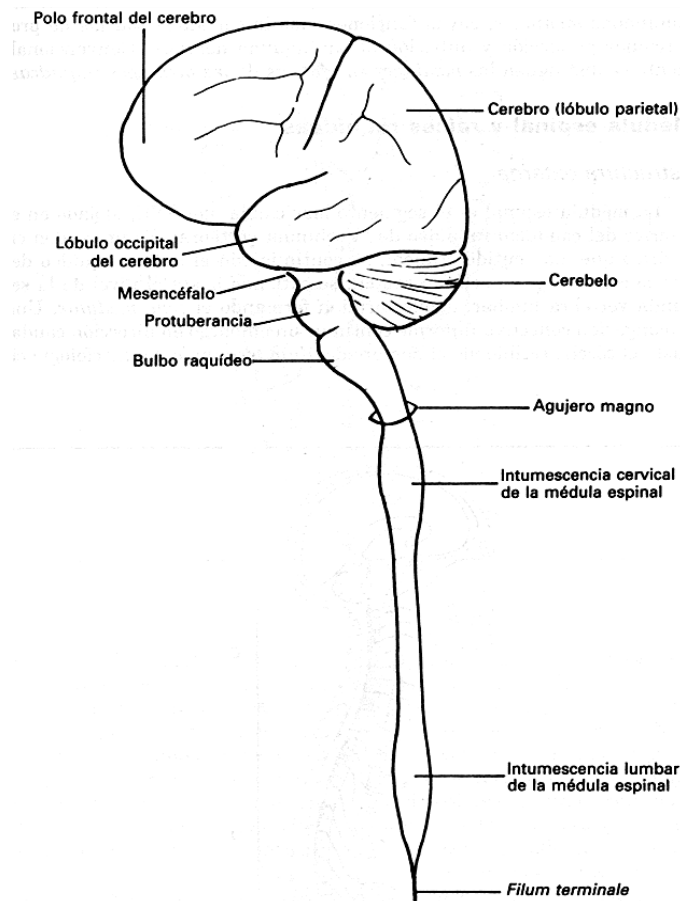


Ilustración 1. Neuroeje o SNC.

Embriológicamente¹, el encéfalo deriva de tres vesículas cerebrales primitivas, anterior, media y posterior, lo que permite otra clasificación de las estructuras encefálicas (Fig. 2):

- Prosencéfalo o cerebro anterior: se distinguen el telencéfalo, o parte más alejada de la médula espinal (que incluye la corteza cerebral, la sustancia blanca subyacente y algunos núcleos grises centrales) y el diencéfalo, con las regiones talámica y subtalámica.
- Mesencéfalo o cerebro medio: es la porción superior del tronco cerebral (pedúnculos cerebrales y tubérculos cuadrigéminos).
- Rombencéfalo o cerebro posterior: abarca las porciones media e inferior del tronco cerebral (protuberancia y bulbo raquídeo) y el cerebelo.

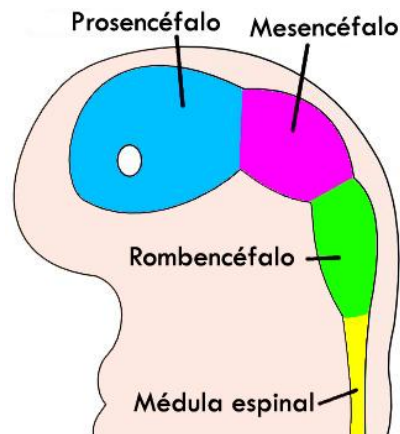


Ilustración 2. Esquema del encéfalo de un embrión de cuatro semanas.

El segmento del neuroeje que se localiza en el interior del conducto raquídeo es la médula espinal.

Todo el SNC se encuentra rodeado por una serie de membranas denominadas meninges. Sus funciones más importantes son las de proporcionar protección y nutrición al parénquima nervioso. Convencionalmente se distinguen las meninges encefálicas de las meninges raquídeas.

PARA SABER MÁS

Video de introducción a la Neuroanatomía

<http://cerebroextendido.blogspot.com.es/2008/09/breve-video-sobre-neuroanatoma-bsica.html>

A. MÉDULA ESPINAL Y RAÍCES RAQUÍDEAS

1. Anatomía funcional

La médula espinal es un órgano de aspecto poco llamativo que, como señal de su enorme importancia funcional, está protegido por una verdadera fortaleza ósea: los cuerpos y arcos

¹ Revisar los apuntes de Embriología del primer nivel.

vertebrales, discos y ligamentos intervertebrales, además de las cubiertas meníngeas. En conjunto, la médula espinal puede considerarse formada por dos unidades funcionales:

- Una unidad segmentaria local, el segmento medular o **mielómero**, que incluye fibras aferentes con información sensitiva de la región corporal correspondiente, neuronas de la sustancia gris o de axón corto, que controlan las funciones motoras y reflejas del segmento, y neuronas de axón largo, eferentes o motoras, destinadas a proporcionar inervación motora a los músculos correspondientes. Además, existen conexiones interneuronales con funciones asociativas, a través de las cuales se realiza una coordinación intersegmentaria.
- **Vías largas sensitivas y motoras**, que atraviesan la sustancia blanca y recorren los cordones medulares en sentido ascendente, conduciendo información hasta el encéfalo, o bien en sentido descendente, conduciendo las respuestas desde el cerebro hasta los órganos efectores.

La consecuencia clínica de una lesión en un nivel medular determinado es la interrupción de las vías ascendentes o de información y/o descendentes o motoras que produce, respectivamente, falta de sensibilidad y parálisis en las regiones situadas caudalmente en dicho nivel².

A pesar de conservar su morfología general desde el tercer trimestre de desarrollo embrionario hasta la edad adulta, la médula espinal modifica de modo drástico sus relaciones con el canal raquídeo. Hacia el final del primer trimestre del desarrollo intrauterino, la médula espinal, junto a sus envolturas meníngeas y los arcos vertebrales que la rodean, está completamente formada. Los nervios espinales forman un ángulo recto con la médula antes de pasar por los agujeros de conjunción; a medida que avanza el desarrollo del embrión, el crecimiento del canal raquídeo es mayor y más rápido que el de la médula espinal, los agujeros de conjunción se desplazan en dirección caudal y las raíces espinales de los niveles lumbares, sacros y coccígeos aumentan su longitud de manera considerable para formar la cola de caballo.

2. Estructura externa

La médula espinal es el segmento más caudal del SNC (Fig. 3), alojado en el interior del conducto raquídeo de la columna vertebral. Es un cordón cilíndrico que, en sentido craneal, se continúa con el bulbo raquídeo del tronco cerebral y, en sentido caudal, se extiende hasta el nivel de la segunda vértebra lumbar, donde termina formando el cono medular. Una prolongación conectiva filiforme continúa en dirección caudal hasta el cóccix, recibiendo el nombre de filum terminal. La morfología cilíndrica de la médula no es regular, sino que presenta dos engrosamientos o intumescencias: una cervical y otra lumbar.

² Caplan compara la situación a una vía pública de una pequeña ciudad: algunos coches participan en el comercio y en el tráfico local (central y periférico), otros simplemente pasan a su través en camino hacia las siguientes ciudades. Una lesión que afecte la médula espinal a cualquier nivel aislado, alterará tanto las funciones locales segmentarias e intersegmentarias como las vías largas que, en sentido ascendente o descendente, pasen por dicha zona.



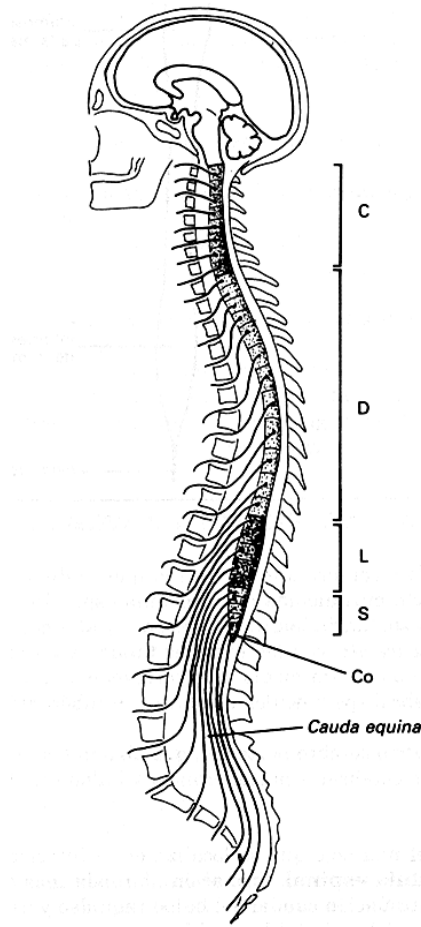


Ilustración 3. Neuroeje. Correspondencia entre los segmentos medulares y las vértebras.
C: segmentos cervicales; **D:** segmentos dorsales; **L:** segmentos lumbares; **S:** segmentos sacros;
Co: Segmento coccígeo.

A lo largo de toda la médula espinal nacen de su superficie diversas raíces raquídeas anteriores o ventrales y posteriores o dorsales. De la confluencia de ambas surgen a cada lado los nervios raquídeos o espinales que abandonan el conducto vertebral por los correspondientes agujeros de conjunción.

La porción sensitiva se distribuye por un territorio cutáneo determinado y la porción motora se encarga de proporcionar inervación a los grupos musculares correspondientes. El sector de médula espinal desde donde emerge un par de nervios raquídeos se llama **mielómero o segmento medular**, existiendo tantos segmentos como pares de nervios raquídeos. Hay 8 pares de segmentos cervicales, 12 pares dorsales, 5 lumbares, 5 sacros y 1 coccígeo. Este último par se sitúa en el vértice del cono medular, al nivel de L2; por lo tanto, las raíces nerviosas más caudales (lumbares y sacras) han de continuar descendiendo por el conducto vertebral para buscar sus correspondientes orificios de salida (agujeros de conjunción lumbares y agujeros sacros). El conjunto de esas raíces nerviosas recuerda la cola de un caballo y recibe precisamente el nombre de **cauda equina** (Fig. 4).

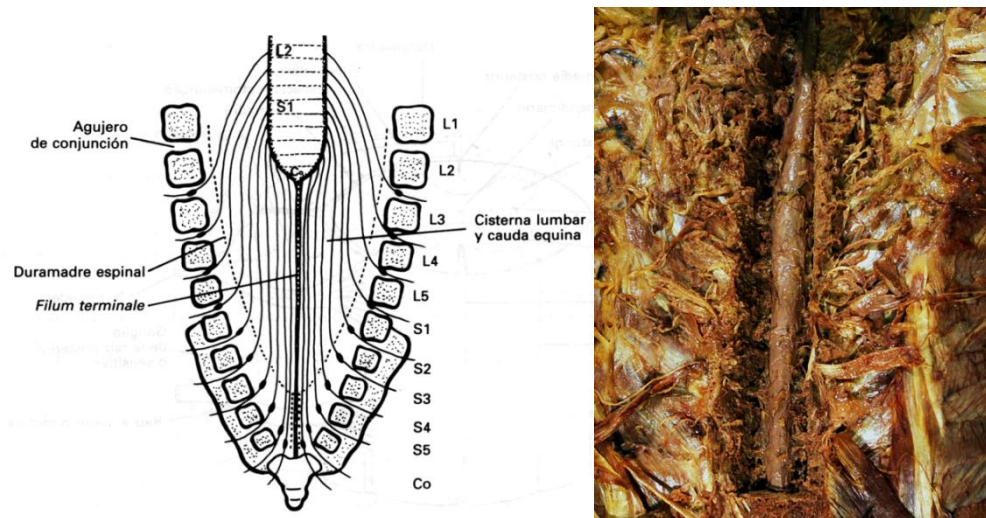


Ilustración 4. Esquema del tramo final de la médula espinal. El cono medular está situado al nivel de L2. Co: segmento coccígeo.

Conceptualmente, la médula espinal puede considerarse desde un punto de vista morfofuncional como la asociación de los diversos segmentos cilíndricos o mielómeros, ya que no existen límites anatómicos externos que marquen o delimiten las zonas intersegmentarias (Fig. 5).

Superficialmente, la médula espinal muestra un surco profundo longitudinal ventromedial, denominado **cisura anterior o ventral**, y otro menos marcado en la cara dorsal, la **cisura posterior o dorsal**. Las salidas de las raíces raquídeas anteriores y posteriores determinan también surcos a cada lado, muy poco definidos, denominados: **surcos laterales anterior y posterior** (Fig. 6,7 y 8).

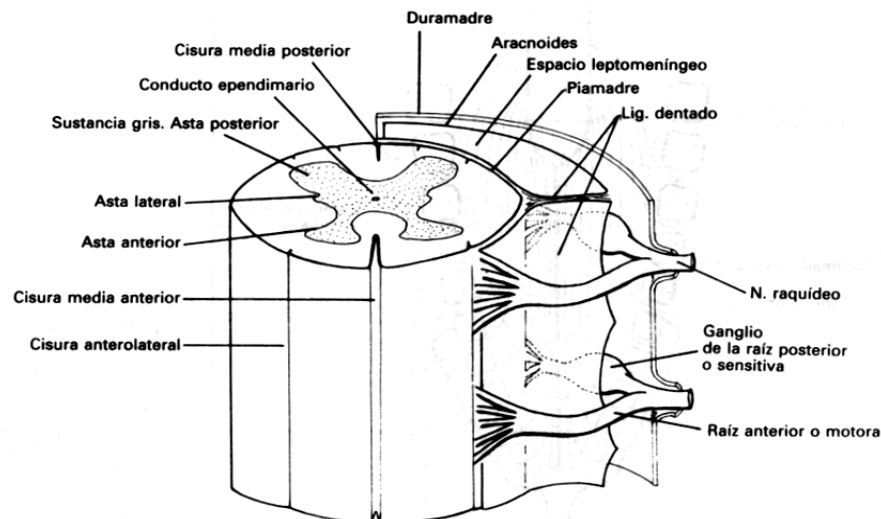


Ilustración 5. Fragmento de médula espinal que representa dos mielómeros. Sólo se han representado las raíces raquídeas de un lado y una parte de las cubiertas meníngeas.



Ilustración 6. La Médula a nivel lumbar.

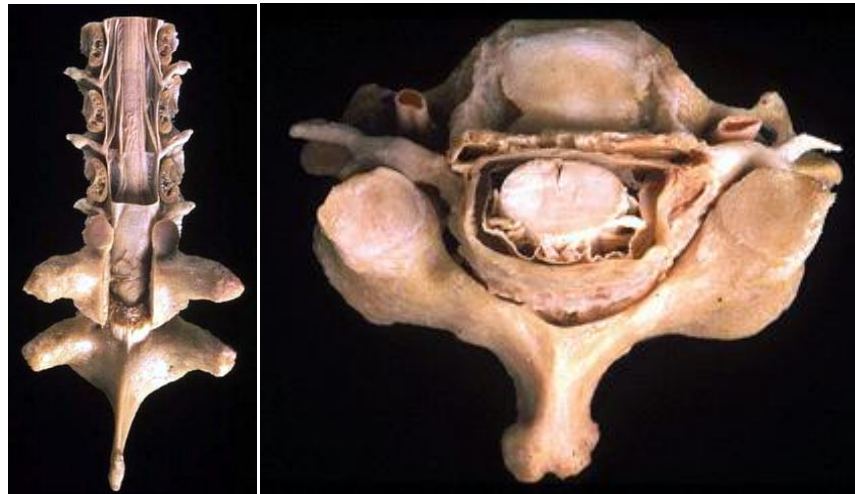


Ilustración 7 y 8. La médula a nivel cervical.

3. Estructura interna

Sustancia gris

Se distinguen en ella dos zonas verticales con los extremos anteriores engrosados que corresponden a las **astas anteriores**. Las neuronas aquí localizadas son las encargadas de inervar la musculatura estriada voluntaria a través de sus axones o cilindroejes que forman la **raíz anterior o motora** de cada nervio raquídeo. Los extremos posteriores de las zonas verticales se denominan **astas posteriores** de la sustancia gris, donde llegan y hacen sinapsis los axones que forman la **raíz posterior o sensitiva** del nervio raquídeo y conducen información sensitiva: táctil, termoalgésica, etc. Entre las astas anteriores y las posteriores existe, a cada lado, un abultamiento intermedio llamado **asta lateral** en la región dorsal (Fig. 9).

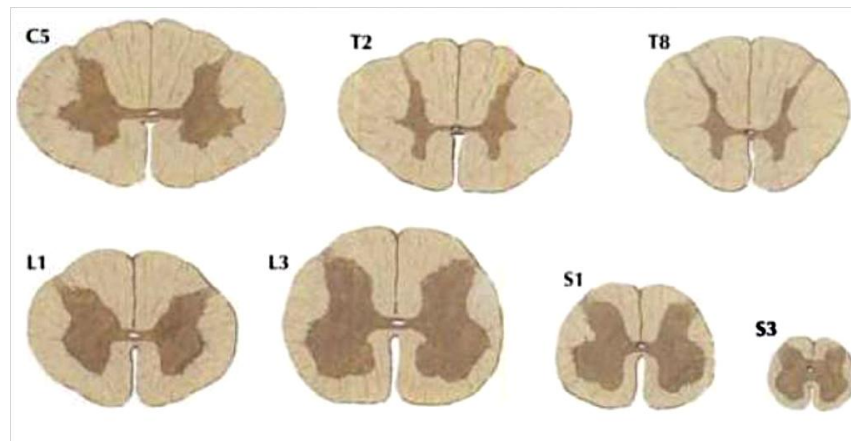


Ilustración 9. Secciones a través de la médula espinal a varios niveles.

Considerada histológicamente, la sustancia gris medular está constituida por:

- Cuerpos neuronales y sus prolongaciones.
- Neuroglía.
- Segmentos terminales de axones procedentes de otras regiones.
- Vasos nutricios.

Las neuronas que forman la sustancia gris de la médula pueden clasificarse en dos amplios grupos: neuronas de axón corto y largo³.

- Las **neuronas de axón corto** son aquellas cuyo cilindroeje se agota en la propia sustancia gris. Se encargan de realizar funciones de asociación y/o modulación de la actividad de otras neuronas próximas.
- Las **neuronas de axón largo** se caracterizan porque su cilindroeje abandona la sustancia gris para pasar a formar parte de la sustancia blanca y constituir los cordones medulares que transmiten información sensitivosensorial. En otros casos, los axones largos abandonan la médula por las raíces anteriores de los nervios raquídeos.

1) Laminación de la sustancia gris

La noción de agrupaciones celulares funcionales en la sustancia gris de la médula se ha ido sustituyendo progresivamente por la agrupación en láminas, más precisa. Rexed (Fig. 10) describe nueve láminas en el gato, cuya correspondencia con las formaciones clásicas puede ser:

- **Lámina I:** terminación de las fibras del cuerno posterior (capa zonal).
- **Lámina II:** sustancia gelatinosa.
- **Lámina III y IV:** núcleos de la cabeza.

³ Revisar los apuntes de Histología.

- **Lámina V:** núcleos reticulares. Esta lámina está marcada por el paso de las vías motrices cortico-espinales hacia los núcleos del cuerno anterior (Véase lámina IX).
- **Lámina VI:** neuronas de asociación medular, con origen del haz fundamental.
- **Lámina VII:** núcleo de Clarke y núcleos vegetativos del cuerno lateral. Esta lámina está desarrollada en la región torácica. Sus neuronas son motoneuronas y para el tono muscular o neuronas intercalares para los reflejos propioceptivos.
- **Lámina VIII:** terminación de las vías extrapiramidales. Desarrollada sobre todo en los niveles cervical y lumbar.
- **Lámina IX:** centros motores del cuerno anterior. Son motoneuronas de contracción rápida de los músculos esqueléticos.

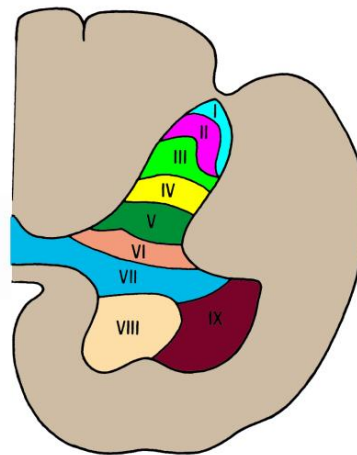


Ilustración 10. Laminación de la sustancia gris de la médula según Rexed.

Centros del cuerno anterior

Se conoce el significado funcional de las dos agrupaciones nucleares del cuerno anterior de la médula segmentaria tal como aparecen sobre los cortes horizontales. Los núcleos anteromediales envían sus axones a los músculos perivertebrales, los núcleos anterolaterales a los músculos parietales y a los miembros.

Sobre los cortes longitudinales de la médula, estos núcleos forman columnas, extendiéndose sobre varios segmentos medulares. Cada columna puede considerarse como el centro de inervación periférico de un músculo dado y cada músculo tiene sus centros escalonados sobre varios segmentos. Debido a su interés clínico, la situación de los centros correspondientes a los distintos grupos musculares del cuerpo es la siguiente (Fig. 11 y 12):

- Entre los segmentos C1 y C8 se escalonan los centros musculares de la nuca y cuello. Los músculos del tórax se disponen de C5 a D12. De las paredes abdominales y pélvicas, de D5 a la médula coxígea.
- Los centros de mando de los músculos del miembro superior se disponen en columnas organizadas en filas. Las columnas de los músculos del hombro se sitúan entre C4 y C7, las del brazo entre C5 y C8, del antebrazo entre C6 y C8 y de la mano entre C7 y D1.



- Los centros de los músculos del miembro inferior tienen una disposición similar dentro del abultamiento lumbar y hasta el cono terminal. Los centros de los músculos del compartimiento anterior del muslo (plexo lumbar) parten de L2 a L4, los de la nalga y de la cara posterior del muslo de L4 a S3.

Los centros de los músculos flexores y aductores de un segmento de miembro se sitúan detrás de los de los músculos extensores y abductores.

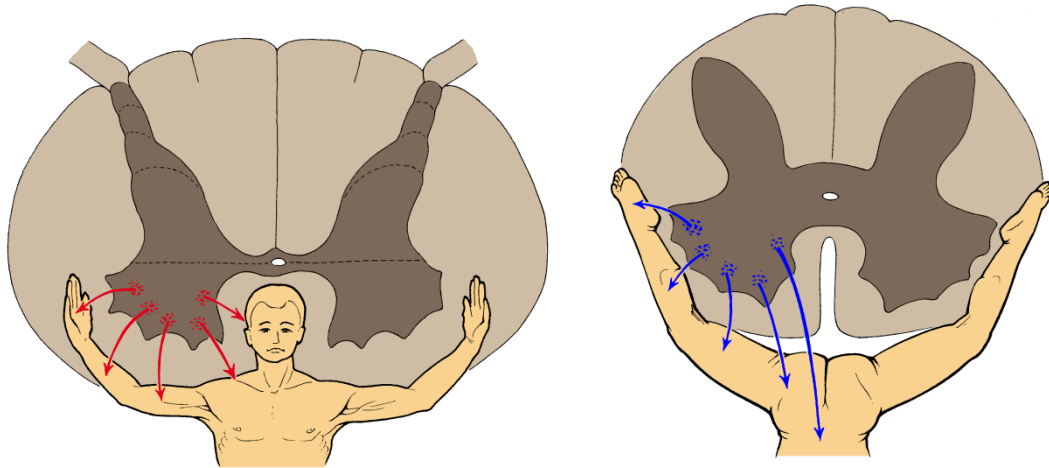


Ilustración 11. Zonas motrices del cuerno anterior a nivel cervical y lumbar.

Existe en el cuerno anterior de la médula cervical un centro motor absolutamente característico: la columna de origen del **nervio accesorio o nervio espinal medular (XI)**. Este nervio debe indudablemente describirse con los nervios raquídeos debido a su origen espinal y su terminación en dos músculos (trapecio y esternocleidomastoideo) que son los músculos de la pared cervical. Su trayecto extraaxial es complicado, al cual se asocia la parte inferior neumogástrica. Es un nervio específicamente cefalogiro, su constitución es única entre los nervios raquídeos. Su aparición, ventral respecto de las raíces posteriores de los nervios cervicales clásicos, es muy particular. Su trayecto es paradójico; cruza el nivel cerebeloso del cráneo antes de llegar a los músculos que inerva. Perfectamente individualizado en una columna continua, su núcleo de origen motor ocupa el lugar del núcleo anteroexterno en el cuerno anterior cervical y se extiende del primer hasta el sexto nervio cervical.

Contrariamente a lo que se pensaba desde Willis, el espinal es un nervio motor y también sensitivo. Laruelle comprobó que presentaba pequeños ganglios en la unión de las ramas radiculares con el tronco de su raíz medular. A éstas se añaden las fibras vegetativas nacidas de la región intermediolateral.

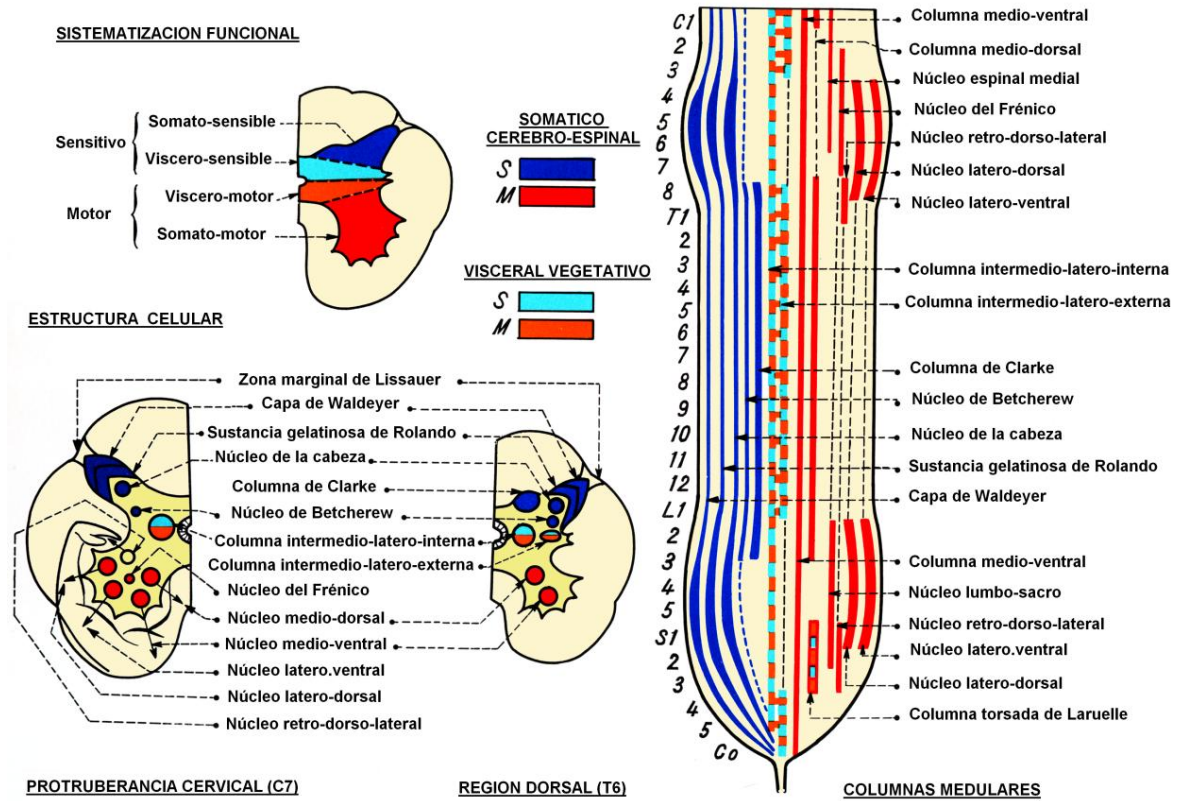


Ilustración 12. Núcleos de la médula espinal.

En definitiva, el espinal medular se comporta como un nervio medular cualquiera. Hace un rodeo por el nivel posterior del cráneo, mientras que las raíces motrices de los pares cervicales clásicos conservan la inervación de los músculos infrahioides.

Centros del cuerno posterior

La individualización de columnas grises somatosensibles plurisegmentarios en el cuerno posterior no se ha estudiado tanto como la de las columnas somatomotrices. No se sabe si su disposición en columnas longitudinales responde a la existencia de centros sensitivos plurisegmentarios.

No obstante, la columna de Clarke, que representa el primer relevo de la vía sensitiva propioceptiva inconsciente, se puede considerar por su topografía el centro propioceptivo del tronco (Fig. 13). Ha sido aislada gracias al relieve que existe en el cordón posterior (una estructura de células redondeadas o fusiformes grandes). Por sus límites longitudinales, ha podido ser definida solo entre C8 y L2. Son exactamente los límites entre los cuales se sitúa la información vegetativa en la columna intermediolateral.

No se sabe si esta columna de Clarke responde en algunos de sus segmentos a una sistematización fisiológica plurisegmentaria.

Los núcleos de Bechterew representan los centros propioceptivos de los miembros. Están situados en las dos extremidades, en la médula sacra y cervical.



No existe prácticamente arco reflejo simple (unisegmentario) puesto que cada protoneurona se bifurca en su entrada medular y su influjo está difundido por las fibras de asociación.

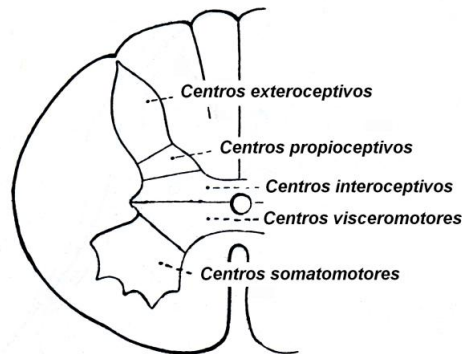


Ilustración 13. Centros de la sustancia gris medular.

Centros periependimarios vegetativos

En la sustancia gris periependimaria de la médula existe un territorio considerado vegetativo. Este territorio está dividido en una zona anterior visceromotriz y una zona posterior viscerosensitiva (Fig. 14 y 15).

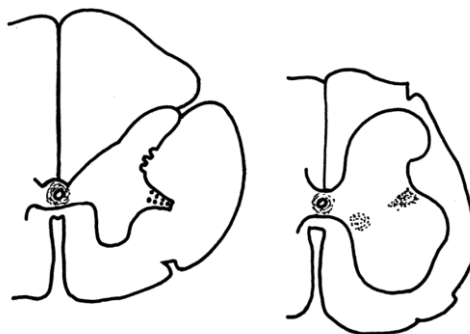


Ilustración 14. Los centros vegetativos de la médula torácica A y de la médula sacra B. En punteado: La zona periependimaria; el cuerno lateral, la columna intermedio-externa y la columna en espiral.

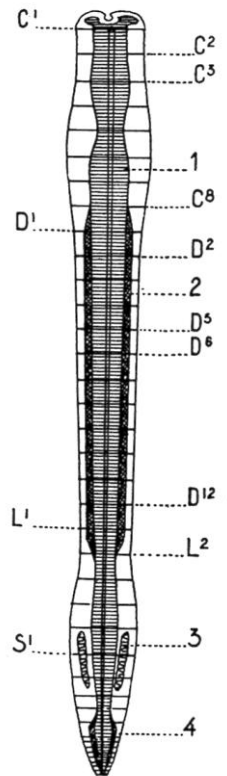


Ilustración 15. Centros vegetativos de la médula en un corte frontal. 1. Sustancia periependimaria. 2. Cuerno lateral. 3. Columna en espiral. 4. Columna intermedio-externa.

Sustancia blanca

Considerada histológicamente, la sustancia blanca está compuesta por asociaciones de axones mielinizados y presenta una vascularización más escasa que la existente en la sustancia gris. Los axones existentes en los cordones medulares se agrupan en diversos haces o tractos; unos ascendentes o de información y otros descendentes o motores (Fig. 16). Existen otros haces que pertenecen a otros sistemas motores o informativos que se comentarán en otros apartados.

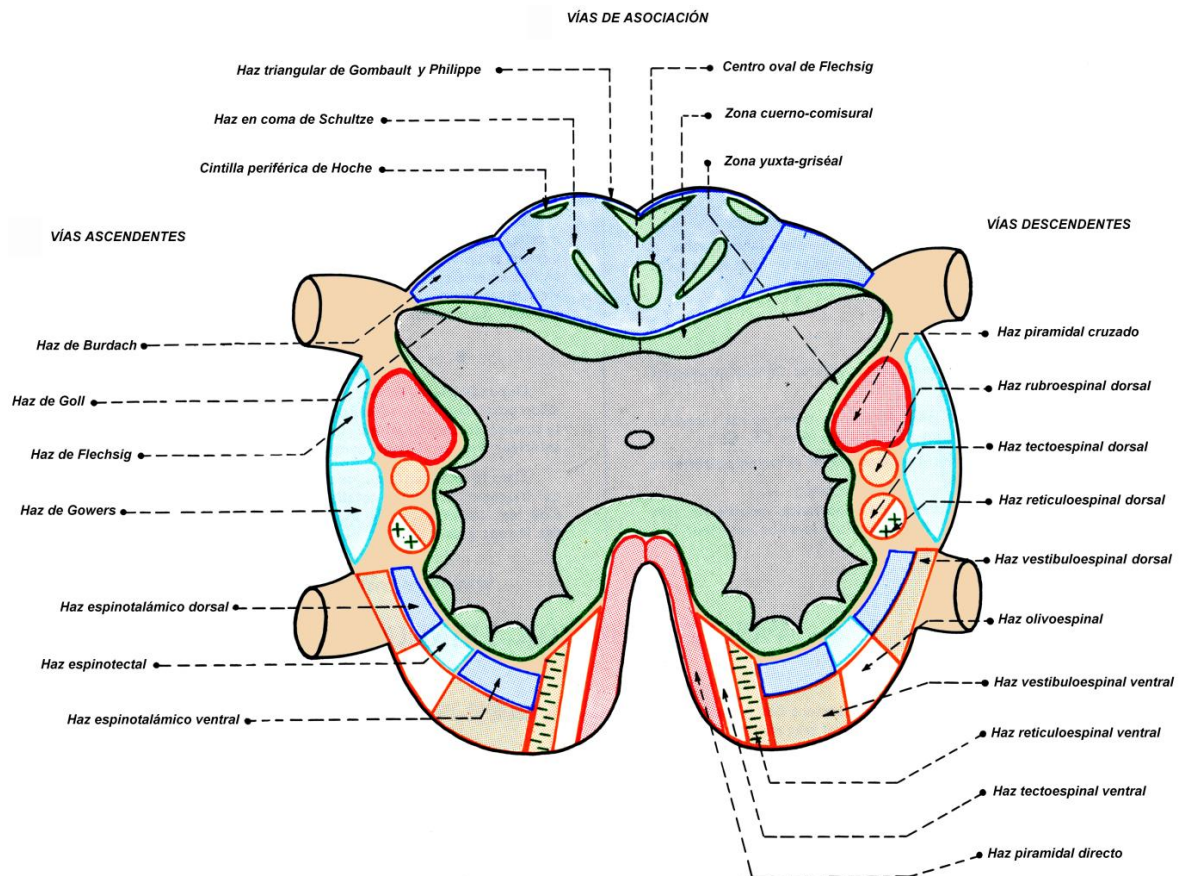


Ilustración 16. Corte esquemático de la médula espinal.

Se dispone en una gruesa capa rodeando a la sustancia gris. Se distingue a cada lado:

- **Un cordón anterior**, limitado externamente por la salida de los axones de las raíces anteriores. El cordón anterior de un lado se une con el lado opuesto por la comisura blanca anterior.

Está recorrido esencialmente por el haz corticoespinal directo, es decir, el componente del sistema motor piramidal que no se cruza en el bulbo y que desde la corteza cerebral desciende para ocupar el cordón anterior ipsilateral.

- **Un cordón lateral**, localizado entre la salida de los cilindroejes que forman la raíz anterior y la entrada de los axones de la raíz posterior o sensitiva.

Tiene una estructura más complicada que el posterior. Superficialmente contiene haces de cilindroejes encargados de transmitir información sensitiva de piel, músculos y articulaciones hasta el cerebelo (fascículo espinocerebeloso). Inmediatamente por dentro de éste se sitúa el haz espinotalámico, formado por los cilindroejes de neuronas localizadas en la sustancia gris del asta posterior contralateral, que cruzan de un lado a otro de la médula a través de la comisura gris (región periependimaria); una vez agrupados, ascienden por el cordón lateral constituyendo el sistema de información termoalgésico o protopático.

En la porción más posterior del estrato intermedio del cordón lateral desciende el importante haz corticoespinal cruzado. Corresponde a las vías motoras (sistema piramidal). Este fascículo está formado por cilindroejes de neuronas motoras de la corteza cerebral que, en la porción inferior del bulbo, se cruzan al otro lado y pasan a ocupar esta zona de la médula espinal. Una neurona cuyo cuerpo esté situado en el hemisferio cerebral derecho y siga esta vía, tendrá su axón en la médula formando parte del haz corticoespinal cruzado del lado izquierdo y viceversa.

- **Un cordón posterior**, situado en la región medular posterior, entre las dos raíces dorsales.

Está formado por fibras ascendentes que forman parte del sistema de información táctil fino o epicrítico (fascículos grácil y cuneiforme o de Goll y Burdach, respectivamente). Se constituye a partir de las prolongaciones centrales de las primeras neuronas sensitivas, cuyo cuerpo se encuentra en el ganglio raquídeo de la raíz posterior. Los axones de estas neuronas, a través de la raíz sensitiva, penetran en la médula y pasan a agruparse formando el cordón posterior ipsilateral.

4. Relaciones

Meninges espinales

La médula espinal, localizada en el interior del conducto raquídeo, está protegida por las cubiertas meníngeas. Son tres membranas que son de externo a interno: duramadre, aracnoides y piamadre (Fig. 17).



Ilustración 17. Las meninges medulares.

- La **duramadre** espinal, de naturaleza fibrosa, forma una funda continua alrededor de todo el neuroeje. Caudalmente, cubre el filum terminal hasta alcanzar el dorso del cóccix. El espacio que existe entre el conducto raquídeo y la duramadre se denomina espacio epidural o extradural y está ocupado por grasa y elementos vasculares.
- La **aracnoides** espinal, de naturaleza serosa, contigua a la duramadre, delimita el espacio subaracnoideo o leptomeníngeo, relleno de un fluido denominado líquido cefalorraquídeo (LCR). (Fig. 18). Termina en el conducto sacro, al nivel de S2.
- La **piamadre** espinal es la meninge más interna. Muy fina y vascularizada, está en estrecho contacto con la médula espinal, a la que recubre, prolongándose y acompañando a las raíces hasta los nervios raquídeos. Existen expansiones laterales de esta cubierta meníngea que contribuyen a la formación del ligamento dentado, uno de los medios de fijación de la médula espinal.

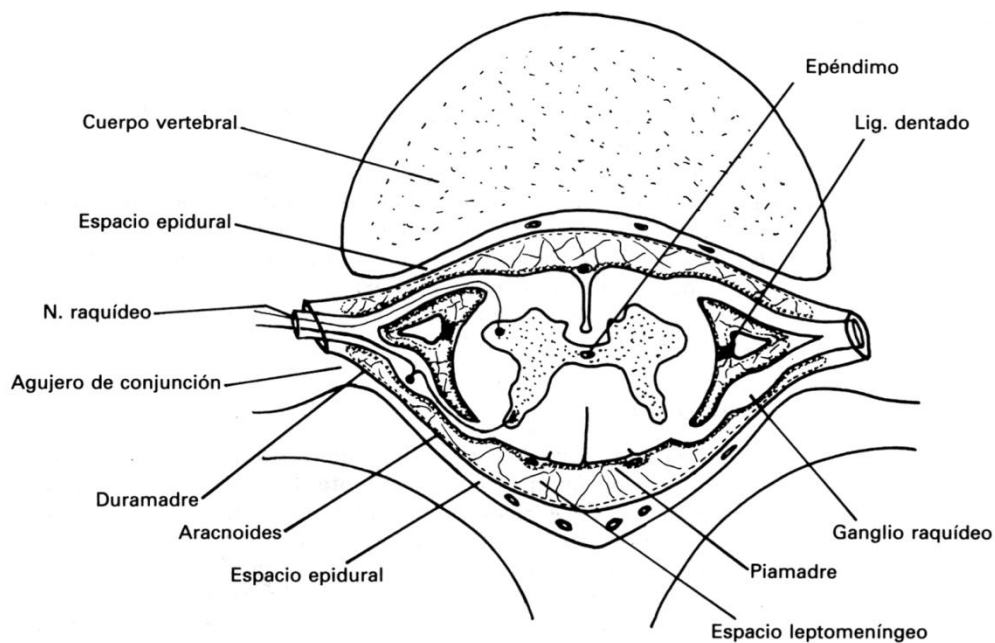


Ilustración 18. Corte transversal de la médula y del conducto vertebral.

El espacio subaracnoideo (limitado entre la aracnoides y la piamadre) se encuentra ampliado en la región lumbar, formando una cisterna ocupada únicamente por el LCR y las raíces espinales de la cola de caballo. Este ensanchamiento, con las características anatómicas antes referidas y la ausencia de médula espinal (que termina a la altura de L2), se convierte en un lugar idóneo para la realización de punciones lumbares (Fig. 19).

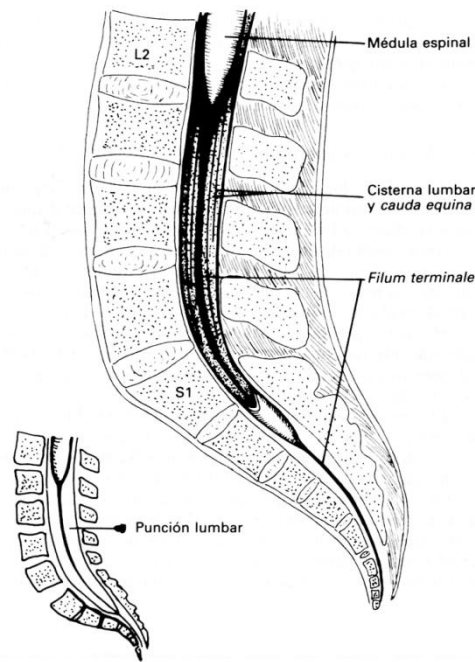


Ilustración 19. Cisterna lumbar y punción del espacio leptomeníngeo. Obsérvese que la médula espinal llega hasta la altura de L2, mientras que el saco leptomeníngeo alcanza S2-S3. Los nervios de la cauda equina se han cortado arbitrariamente.

Vascularización

Por cada agujero de conjunción penetra una rama arterial que acompaña al nervio raquídeo correspondiente. En la región cervical, proceden de las arterias vertebrales, en la región dorsal de las arterias intercostales posteriores y en la región lumbar de las arterias lumbares.

Cada rama arterial espinal se divide en dos, la arteria radicular anterior y la arteria radicular posterior que, al entrar en contacto con la médula espinal, constituyen un círculo arterial perimedular (Fig. 20). Además, una larga anastomosis longitudinal une por delante de la médula las arterias de diferentes niveles, formando la arteria espinal anterior, destinada a irrigar los 2/3 anteriores de la médula. El tercio posterior está irrigado por los ramos posteriores del círculo arterial perimedular, que dan origen a dos arterias anastomóticas longitudinales (arterias espinales posteriores).

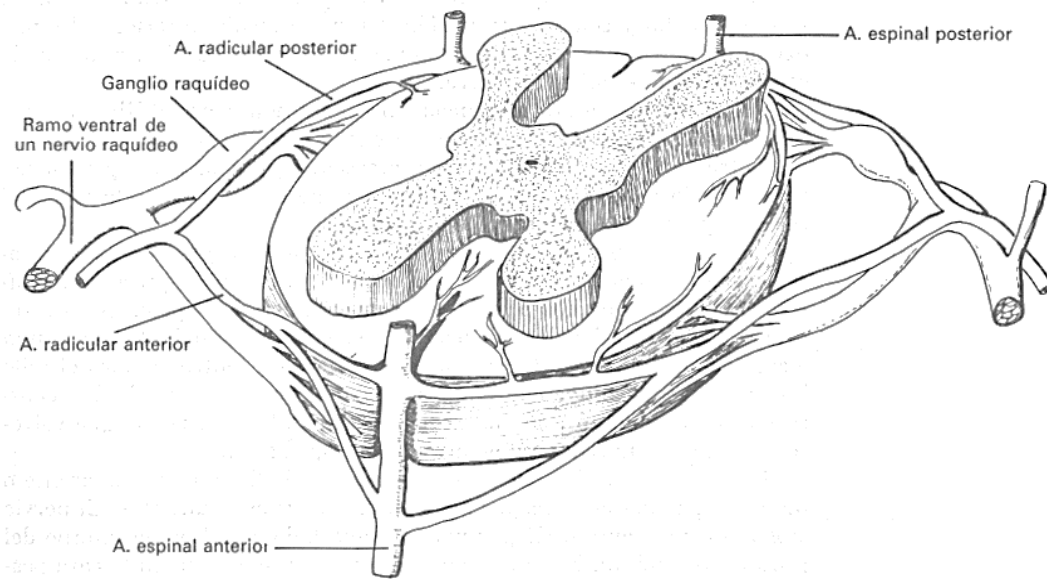


Ilustración 20. Vascularización de la médula espinal.

B. TRONCO DEL ENCÉFALO

1. Situación

El tronco cerebral se localiza en la fosa craneal posterior, apoyado ventralmente sobre el canal basilar occipital y extendiéndose desde el agujero magno hasta alcanzar la silla turca o fosa hipofisaria del esfenoides (Fig. 21 y 22).



Ilustración 21. El tronco cerebral en vista lateral.

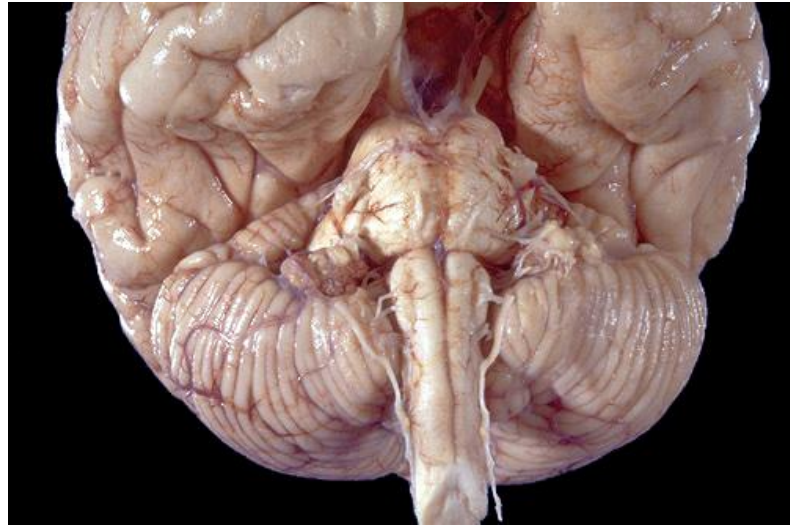


Ilustración 22. El tronco cerebral en vista anterior.

2. Estructura externa

En una visión ventral, el tronco encefálico se divide en tres partes. De caudal a craneal son:

- Bulbo Raquídeo (médula oblonga): con rodetes y surcos longitudinales.
- Protuberancia: prominente, con surcos transversales.
- Mesencéfalo: con los haces de fibras longitudinales de los pedúnculos cerebrales.

Los límites de este tronco encefálico y las regiones vecinas del SNC son menos netos:

- Caudal: continuación directa con la medula espinal sin límite neto. Ambos segmentos se separan de acuerdo con su situación. Todo lo que se encuentra en el conducto raquídeo pertenece a la medula espinal. Todo lo que se halla dentro del cráneo, al bulbo raquídeo.
- Dorsal: continuidad con el cerebelo. Los límites pueden trazarse más o menos arbitrariamente a través de los pedúnculos cerebelosos.
- Craneal: el límite entre el tronco encefálico y el diencéfalo es sinuoso. Los pedúnculos cerebrales pertenecen al mesencéfalo. El cuerpo mamilar, la cintilla óptica, los cuerpos geniculados y la epífisis al diencéfalo.

El bulbo raquídeo, la protuberancia y el cerebelo pertenecen al romboencéfalo.

Superficie del bulbo raquídeo

Se suceden de ventral a dorsal:

- Surco Medio Anterior
- Pirámide: rodete longitudinal de la vía piramidal. En el límite bulbomedular, la mayor parte de las fibras de la vía piramidal cruza hacia el lado contrario en la decusación piramidal, que destaca a simple vista en el surco medio anterior.



- Surco anterolateral o colateral anterior: con las fibras reticulares del Nervio Hipogloso (XII).
- Oliva Inferior: prominencia que contiene un territorio nuclear extrapiramidal.
- Surco posterolateral o colateral posterior: con el origen aparente del Nervio Glosofaríngeo, Vago y Accesorio o Espinal (IX, X y XI).
- Prominencias de los núcleos de los cordones posteriores, con los cuerpos de la segunda neurona de las vías de los cordones posteriores.
- Surco Medio Posterior.

Superficie de la protuberancia

Entre los rodetes piramidales longitudinales del bulbo raquídeo y los pedúnculos cerebrales, por delante del tronco del encéfalo aparece un tracto de fibras transversales que se continúa lateralmente en el pedúnculo cerebeloso medio. Las fibras transversales de la protuberancia unen al cerebro y cerebelo entre sí. Los axones largos de las vías motoras y sensoriales cerebrospinales pasan por la profundidad de la protuberancia.

Superficie del mesencéfalo

Por delante, por los pedúnculos cerebrales y por detrás, por la lámina cuadrigémina.

- Pedúnculos cerebrales: las partes anteriores se llaman también pies de los pedúnculos. Entre los pedúnculos cerebrales se sitúa la fosa interpeduncular.
- Lámina cuadrigémina: está cubierta por el cerebro y se ve solamente después de extirparlo. Hay dos tubérculos cuadrigéminos anteriores y dos posteriores. De cada tubérculo parte un “brazo”:
 - Brazo conjuntivo anterior: para el cuerpo geniculado externo del tálamo.
 - Brazo conjuntivo posterior: para el cuerpo geniculado interno del tálamo,

Pedúnculos cerebelosos

El cerebelo se une al tronco del encéfalo a través de tres pedúnculos (Fig. 23):

- Superior: para el mesencéfalo.
- Medio: para la protuberancia.
- Anterior: para el bulbo raquídeo.

Los pedúnculos cerebelosos contienen vías cerebelosas eferentes y aferentes. El cerebelo se puede extirpar después de seccionar los pedúnculos. Es cuando se puede ver el suelo del cuarto ventrículo.



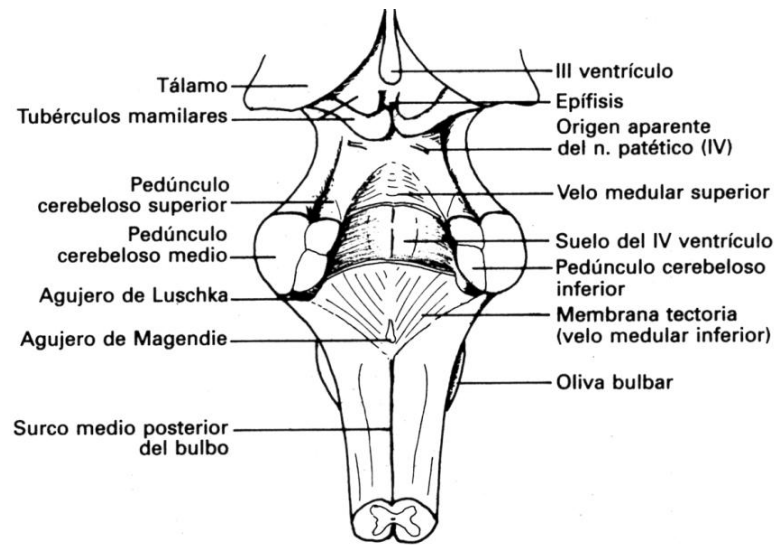


Ilustración 23. Cara posterior del tronco del encéfalo.

Cuarto ventrículo

Es una cavidad de forma piramidal y base romboide, rellena de LCR, que está limitada entre la cara posterior del tronco del encéfalo (suelo de la cavidad) y la cara anterior del cerebelo, de la cual está separada por dos membranas o velos medulares superior e inferior (techo del IV ventrículo) (Fig. 24).

Hacia craneal, esta cavidad se continúa con un conducto central, labrado en el espesor del mesencéfalo, el acueducto de Silvio. Caudalmente, se continúa con el conducto endimario por toda la médula espinal.

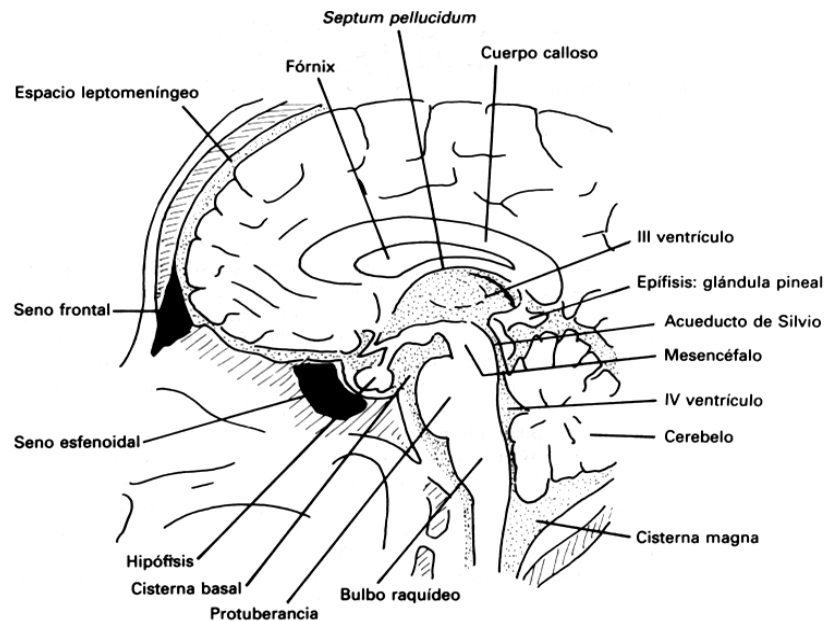


Ilustración 24. El tronco cerebral en corte sagital.

3. Estructura interna

Se diferencian tres partes:

- Sustancia gris (núcleos).
- Sustancia blanca (fascículos ascendentes, descendentes y de asociación).
- Formación reticular.

Su estudio requiere realizar cortes transversales, perpendiculares al eje longitudinal del tronco del encéfalo. Al observar la superficie de estos cortes, se comprueba que el tronco cerebral tiene una estructura interna diferente a la que se observa en la médula espinal. En ésta, la sustancia gris constituye una formación compacta, continua, central y rodeada de un manto de sustancia blanca; en cambio, el tronco del encéfalo está formado por una masa compacta de sustancia blanca salpicada de núcleos, más o menos voluminosos de sustancia gris, como si al ascender del nivel medular al tronco encefálico, la formación gris medular con forma de mariposa se hubiera fragmentado y dispersado en la sustancia blanca.

Entre los núcleos grises más llamativos del tronco cerebral hay que destacar:

- Los núcleos de origen real de los nervios craneales.
- Los núcleos propios del tronco del encéfalo.
- La formación reticular.

La sustancia blanca está constituida por:

- Haces ascendentes o informativos, que desde la médula espinal han de alcanzar el cerebro o el cerebelo.
- Haces descendentes, especialmente motores, que conducen las respuestas desde el cerebro hacia la médula espinal.
- Fibras de asociación, propias del tronco cerebral, que aseguran una acción sinérgica entre diversos núcleos y estructuras (Fig. 25).

Núcleos de origen de los pares craneales

En el tronco encefálico, los núcleos de los pares craneales se agrupan según la naturaleza de los diversos nervios a que dan origen. (Fig. 26)

- Los núcleos estriomotores forman dos filas claramente definidas: una dorsomedial y otra ventrolateral.
 - La fila dorsomedial se dispone a lo largo de la línea media, muy próxima al suelo del IV ventrículo o al acueducto de Silvio. Está constituida por los núcleos del nervio hipogloso, motor ocular externo, patético y motor ocular común.
 - El núcleo del hipogloso (XII par) ocupa el bulbo raquídeo, haciendo relieve en la fosa romboide del IV ventrículo. Los axones se dirigen hacia delante y afuera para emerger en la superficie ventral del bulbo por el surco preolivar.



- El núcleo del motor ocular externo (VI par) está situado en la región protuberancial. Sus axones se dirigen hacia delante para buscar el surco bulboprotuberancial, donde está su origen aparente.
- El núcleo del patético (IV par) se encuentra en el mesencéfalo, a la altura del tubérculo cuadrigémino inferior. Los axones se cruzan totalmente dentro del mesencéfalo y emergen por la superficie dorsal del tronco del encéfalo.
- El núcleo del motor ocular común (III par) es voluminoso, ocupa el mesencéfalo por delante de la sustancia gris periacueductal, a la altura de tubérculo cuadrigémino superior. Sus fibras se dirigen en sentido ventral, atravesando el núcleo rojo y el borde interno de la sustancia negra, para emerger por el borde interno del pedúnculo cerebral.
- La fila ventrolateral, alejada de la fosa romboide del IV ventrículo, está constituida por el núcleo ambiguo, el núcleo del nervio facial y el núcleo motor del trigémino.
- El núcleo ambiguo se extiende verticalmente por casi toda la altura del bulbo raquídeo. Los axones forman el componente estriomotor de los nervios glosofaríngeo (IX), vago (X) y espinal (XI).

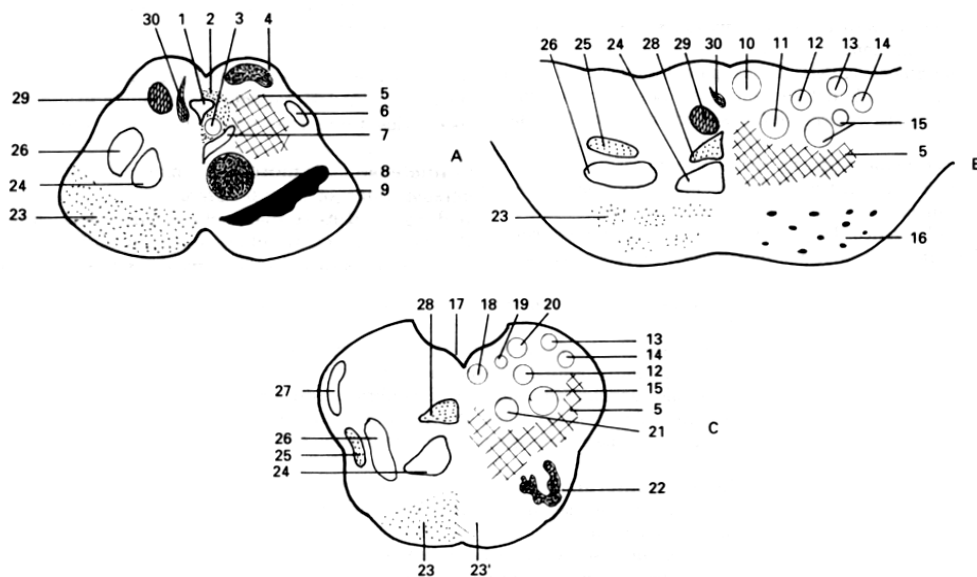


Ilustración 25. Cortes horizontales del tronco encefálico. A) Mesencéfalo. B) Protuberancia. C) Bulbo raquídeo. En la mitad derecha del esquema están representados los principales núcleos grises y en la mitad izquierda los fascículos más importantes. 1) Acueducto de Silvio. 2) Sustancia gris periacueductal. 3) Núcleo del nervio patético (IV par). 4) Tubérculo cuadrigémino superior. 5) Formación reticular. 6) Cuerpo geniculado externo. 7) Núcleo oculomotor (III par). 8) Núcleo rojo. 9) Substantia nigra. 10) Núcleo del motor ocular externo (VI). 11) Núcleo motor del facial (VII). 12) Núcleo solitario (IX, X, XI). 13) Núcleos vestibulares (VIII). 14) Núcleo coclear (VIII). 15) Núcleos del trigémino (V). 16) Núcleos del puente. 17) Suelo del IV ventrículo. 18) Núcleo del hipogloso (XII). 19) Núcleo salival inferior. 20) Núcleo dorsal del vago (X). 21) Núcleo ambiguo (IX, X, XII). 22) Oliva bulbar. 23) Vía piramidal. 23') Decusación bulbar de la vía piramidal. 24) Lemnisco medial. 25) Fascículo rubroespinal. 26) Fascículo espinotalámico. 27) Fascículo espinocerebeloso. 28) Fascículo tectoespinal. 29) Haz central de la calota. 30) Fascículo longitudinal posterior.

- Existen otros núcleos de nervios craneales de naturaleza visceromotora, como los núcleos salivales superior e inferior, núcleo cardioneumoentérico, etc.

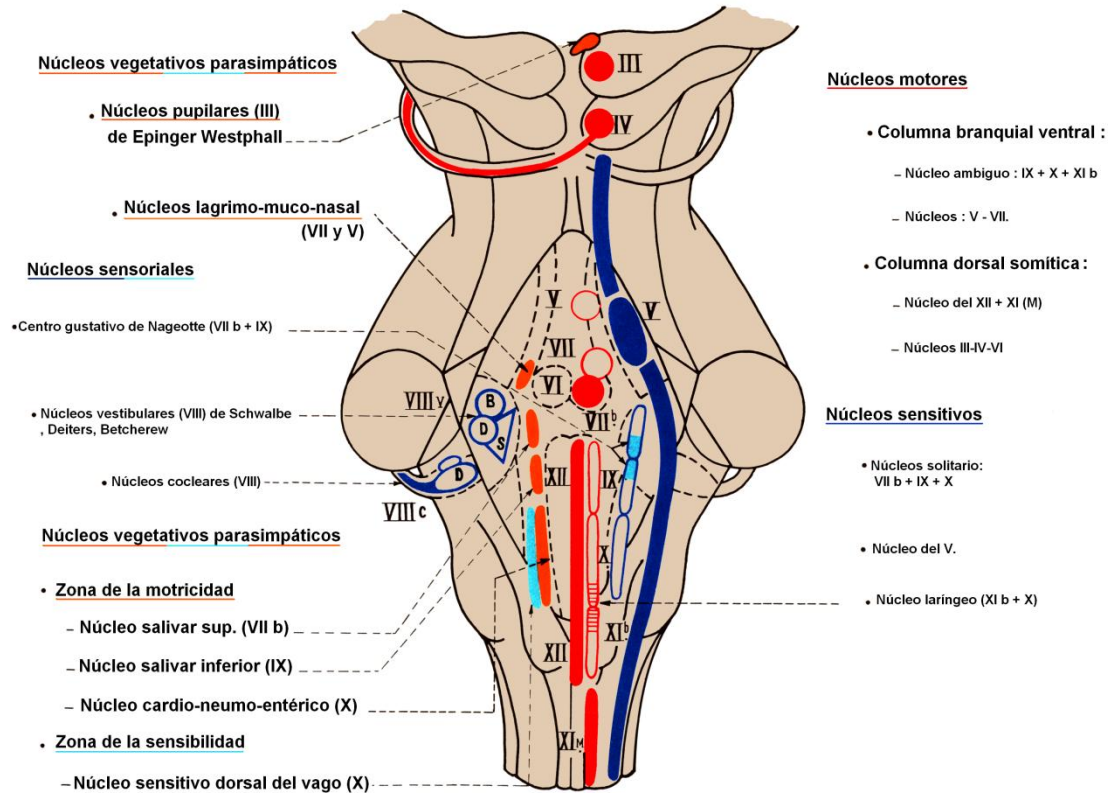


Ilustración 27. Núcleos de los nervios craneales.

Núcleos propios del tronco cerebral

Existen numerosos núcleos grises en el tronco cerebral. Destacan por su importancia:

- Núcleo rojo: ubicado en el mesencéfalo. Aparece como un círculo en un corte transversal, pero es una masa cilíndrica que se extiende desde el mesencéfalo hasta la porción basal del cerebro. Está situado dorsalmente respecto a la sustancia negra.
- La sustancia negra (Fig. 28): al corte tiene forma de medialuna y, considerada tridimensionalmente, forma una gruesa lámina alargada que se extiende por todo el mesencéfalo y se pierde en la base del cerebro. Su color es negro intenso y constituye un núcleo muy importante del sistema motor extrapiramidal. Es uno de los lugares más afectados en la enfermedad de Parkinson.

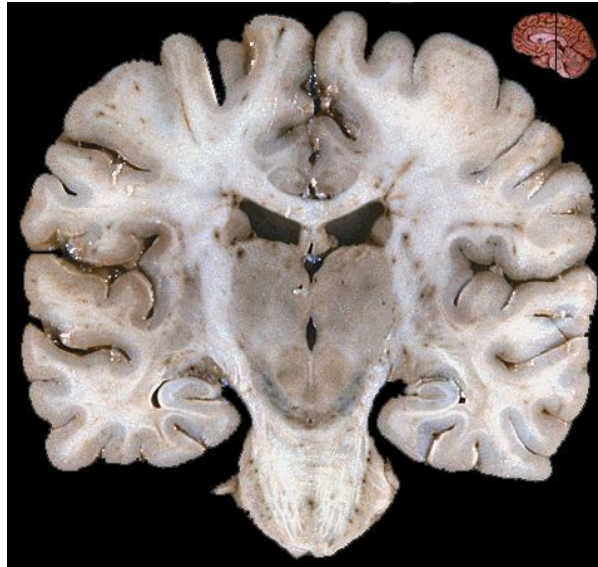


Ilustración 28. La sustancia negra.

- Los núcleos del puente: formados por fragmentos irregulares de sustancia gris, se encuentran distribuidos por el segmento ventral de la protuberancia, entre las diversas fibras motoras descendentes que forman el sistema motor piramidal.
- La oliva bulbar: ocupa la porción ventrolateral del bulbo raquídeo. Hace prominencia en su cara anterolateral. Suele ser comparada con un saco de paredes rugosas de sustancia gris, cuya cavidad de sustancia blanca está abierta hacia dentro y atrás. Los núcleos accesorios de la oliva bulbar se sitúan medial y dorsalmente respecto de la propia oliva.
- Los tubérculos cuadrigéminos: dos superiores y dos inferiores. Constituyen la lámina cuadrigémina (cara posterior de los pedúnculos cerebrales) y se relacionan con la vía óptica los superiores y con la vía acústica los inferiores.

Formación reticular

En los cortes transversales del tronco cerebral y teñidos con técnicas apropiadas se observa que, a lo largo de la región dorsal del tronco cerebral, existe un entramado o red tridimensional de haces y fibras nerviosas. En las mallas de esta red se encuentran núcleos neuronales más o menos definidos que dan origen a diversas fibras. Se denomina formación reticular al conjunto de estas neuronas y haces mezclados. Se extiende desde la médula espinal hasta zonas profundas de la base cerebral, ocupando siempre la región dorsal del tronco del encéfalo.

Los núcleos más importantes que forman el complejo reticular se dividen en tres grupos principales:

- Núcleos del rafe: formados por agrupaciones neuronales situadas junto a la línea media del tronco del encéfalo (núcleos pálido, oscuro, magno del rafe, etc.).
- Núcleos centrales: ocupan el sector central de la calota (núcleo central y reticular lateral bulbar, núcleo caudal pónico, etc.).

- Núcleos del suelo del IV ventrículo: como el núcleo reticular paramediano del bulbo y el locus coeruleus, situado en la parte alta de la protuberancia.

La formación reticular es una importante estación sináptica intercalada en múltiples arcos reflejos complejos. Además interviene en funciones tan esenciales como el mantenimiento del nivel de conciencia, el control del tono muscular, el aprendizaje y la regulación de los estados de ánimo. (Fig. 29).

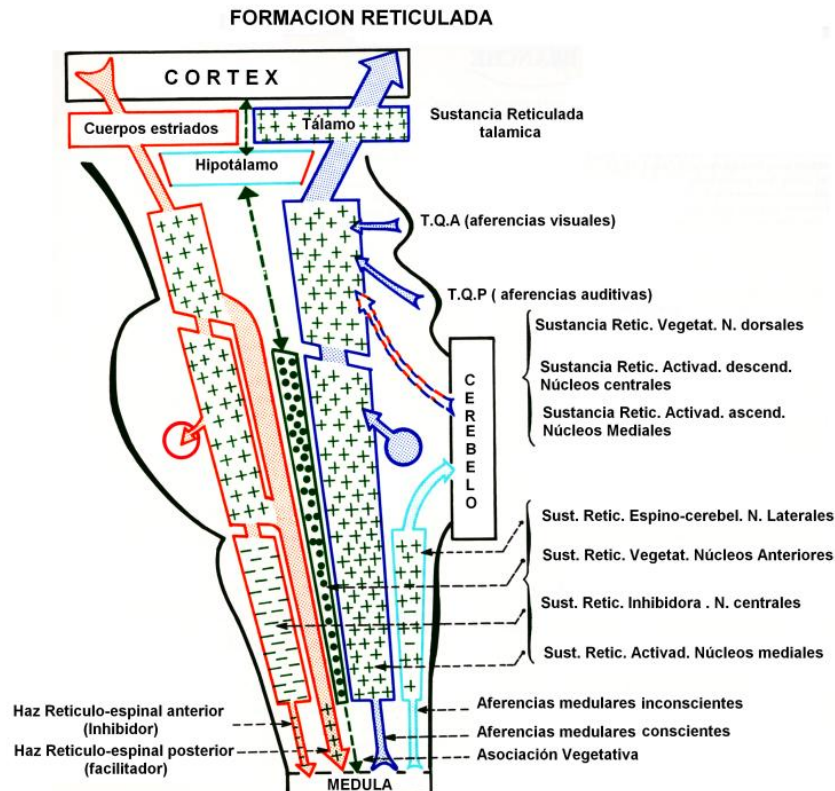


Ilustración 29. La sustancia reticulada.

Haces ascendentes o de información

Son fascículos sensitivosensoriales que se originan en los receptores periféricos. Ingresan en la médula espinal a través de las raíces raquídeas posteriores y conducen los diferentes tipos de sensibilidad hacia el cerebro. Las vías ascendentes troncoencefálicas son continuación de las que se localizan en los cordones medulares anterolaterales y posteriores.

- El haz espinotalámico anterior, transmisor de la sensibilidad táctil, tiene en el tronco cerebral una localización próxima a la línea media.
- El haz espinotalámico lateral, que conduce la sensibilidad termoalgésica, se ubica en la zona centrolateral del bulbo raquídeo. Al nivel de la protuberancia, ambos fascículos se unen para formar un solo haz sensitivo protopático.

- La sensibilidad profunda consciente alcanza el tronco del encéfalo desde los cordones medulares posteriores. En la región bulbar inferior (núcleos de Goll y Burdach, donde se encuentran las segundas neuronas de esta vía sensitiva), las fibras se decusan cruzando la línea media y forman el lemnisco medial o cinta de Reil interna que, próxima a la línea media, asciende hasta la estación sináptica talámica.
- La sensibilidad profunda no consciente se transmite por los dos fascículos espinocerebelosos.
 - El haz espinocerebeloso posterior, directo, asciende por la parte posterolateral del bulbo y alcanza el cerebelo a través del pedúnculo cerebeloso inferior.
 - El haz espinocerebeloso anterior, cruzado al nivel medular, asciende por delante del precedente hasta alcanzar la protuberancia y llega al cerebro a través del pedúnculo cerebeloso superior.

Haces descendentes o motores

Las vías motoras se inician en los hemisferios cerebrales y descienden por diferentes sectores del SNC hasta alcanzar la médula espinal. En el tronco del encéfalo, como zona de transición, se localizan fibras del sistema motor piramidal y extrapiramidal.

- **Vía piramidal:** está formada por los axones de grandes neuronas piramidales que tienen su cuerpo celular en la corteza cerebral, especialmente en la circunvolución frontal ascendente o área 4 de Brodman. En el mesencéfalo se sitúa en el pie o parte anterior del pedúnculo cerebral, limitada por detrás por la sustancia negra.

Es posible distinguir dos sectores funcionales (Fig. 30):

- Haz corticoespinal: situado en la parte media del pedúnculo cerebral correspondiente. Desciende por la zona anterior de la protuberancia, donde los núcleos del puente lo obligan a disociarse en diversos fascículos. De esta forma, en un corte horizontal, se observa la presencia de múltiples puntos grises (núcleos del puente) rodeados de fibras descendentes corticoespinales. Después continúan su trayecto vertical descendente, se agrupan de nuevo las fibras y ocupan la parte anterior del bulbo. Son estas fibras las que forman el relieve conocido como pirámides bulbares.

En la región inferior del bulbo, se separa en un haz piramidal directo, que continúa su descenso ocupando el cordón anterior medular ipsilateral y un haz piramidal cruzado, que atraviesa la línea media (decusación piramidal) y desciende a la hemimédula contralateral, ocupando el cordón medular lateral.

- Fibras corticonucleares o haz geniculado: constituyen el sector de la vía piramidal que proporciona inervación a los núcleos motores de los nervios craneales. Frente a cada núcleo motor se desprenden axones que atraviesan la línea media para inervar los núcleos correspondientes ipsilateral y controlateralmente. Así, excepto el núcleo del facial inferior, los núcleos motores de los pares craneales reciben inervación de ambos hemisferios cerebrales a través de los dos haces geniculados, asegurando los movimientos oculares, faciales, fonatorios, deglutorios, etc.



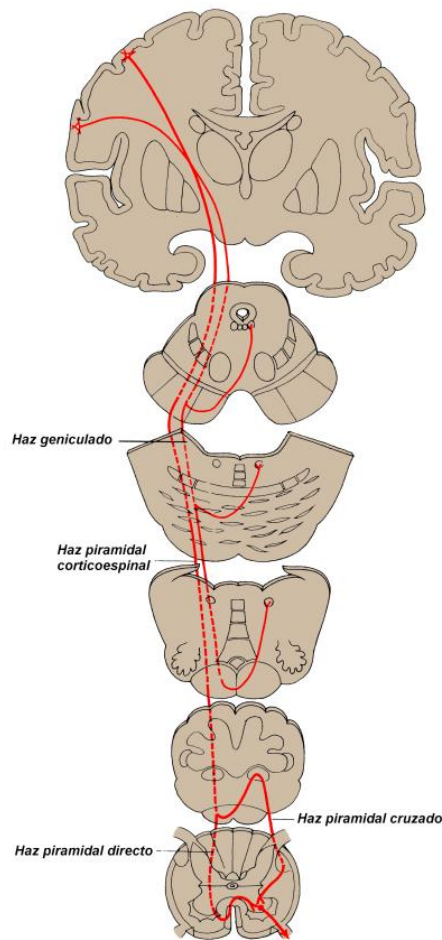


Ilustración 30. El haz corticoespinal.

- **Vía extrapiramidal** (Fig. 31): se considera integrada por eferencias del neocórtex que, formando diversos bucles, se dirigen primero al núcleo caudado. De éste salen eferencias hacia el pálido y, los axones que parten de éste, se proyectan a los núcleos propios del mesencéfalo (núcleo rojo, sustancia negra, etc.), la formación reticular, entre otras estructuras. Así, pueden distinguirse los haces rubroespinales y tectoespinales, que desde el núcleo rojo y la lámina cuadrigémina, respectivamente, descienden por el tronco del encéfalo para alcanzar la médula espinal.

Los haces vestibuloespinales y olivospinales se localizan en la parte inferior del tronco del encéfalo y, de la misma forma que los precedentes, descienden hasta la médula espinal. Contribuyen a la motricidad mediante el control y la coordinación motora necesaria para la realización precisa de cualquier movimiento, el mantenimiento de la postura y el equilibrio y los movimientos estereotipados que acompañan a otros de forma automática como, por ejemplo, bracear al caminar.

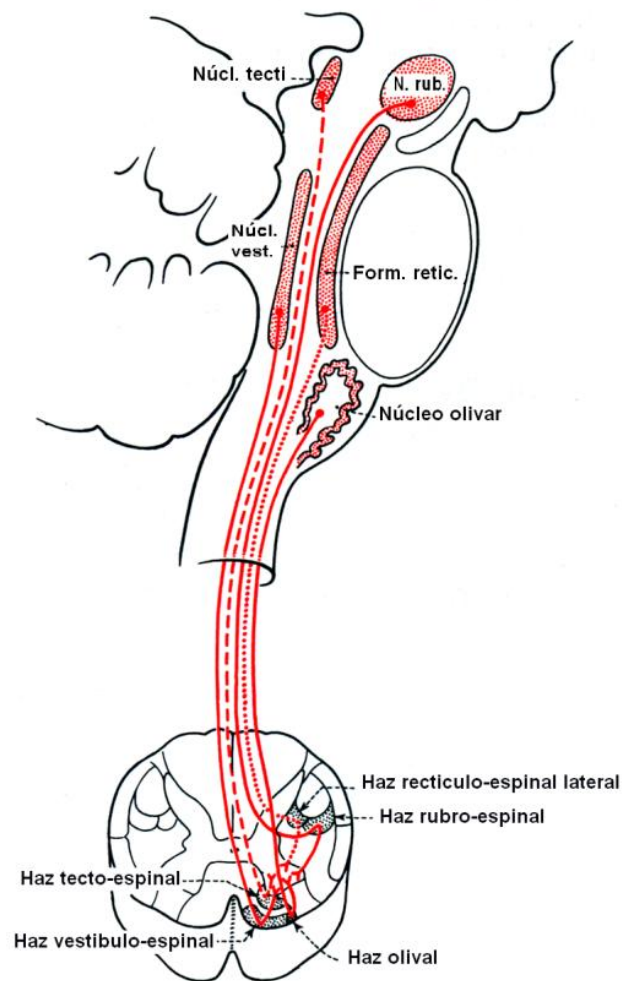


Ilustración 31. Las vías extrapiramidales.

Haces de asociación

Al igual que la médula espinal, el tronco del encéfalo es un centro reflejo y sistema de transmisión de información hacia niveles inferiores o superiores del sistema nervioso. Además dispone de estructuras importantes de autocontrol y regulación de las funciones vitales.

Para el establecimiento de las funciones reflejas, de transmisión de información y como aparato regulador, el tronco del encéfalo posee ciertos grupos de fibras de asociación que aseguran una sinergia entre los diversos núcleos y estructuras. Las fibras de asociación más importantes son:

- Haz central de la calota: se extiende desde el núcleo rojo mesencefálico hasta el complejo olivar bulbar. Interviene sinérgicamente en la motricidad.
- Fascículo longitudinal dorsal: situado en la parte posterior y paramedial del tronco cerebral. Interviene en la coordinación entre diferentes núcleos oculomotores.

4. Aspectos clínicos elementales

Todos los pares craneales, excepto los dos primeros, tienen su origen en el tronco del encéfalo, y las relaciones topográficas entre sus núcleos, los sistemas propios de asociación y las grandes vías sensitivas y motoras que atraviesan el tronco cerebral son muy íntimas. En un reducido espacio existe siempre una gran cantidad de elementos nerviosos, todos ellos de importante significación funcional. Por ello, las lesiones del tronco cerebral tienen siempre una gran expresión clínica y, con frecuencia, producen sintomatología bilateral.

En general, los pares craneales tienen su origen aparente en la superficie del tronco cerebral en el mismo lado en el que se encuentran sus núcleos de origen. Por el contrario, todas las vías largas sensitivas y motoras se cruzan controlateralmente, conduciendo información sensitiva y motora de la mitad contraria del cuerpo.

Este hecho anatómico determina la característica general de los síndromes del tronco cerebral: la existencia de parálisis alternas. La afectación de los nervios craneales es homolateral a la lesión, mientras que el déficit motor o sensitivo de las vías largas es contralateral.

El núcleo caudado y el pálido son estructuras grises situadas en espesor del cerebro y se estudian con éste.

C. CEREBELO

Es un órgano voluminoso situado dorsalmente respecto al tronco del encéfalo y caudal al extremo posterior de los lóbulos occipitales del cerebro, del que está separado por un tabique horizontal de duramadre llamado tentorio o tienda del cerebelo. Se aloja en la cara endocraneal del hueso occipital, en las denominadas fosas cerebelosas.

Funcionalmente, el cerebelo se encarga de regular el equilibrio, el tono muscular e interviene en la coordinación de la motilidad voluntaria.

1. Estructura externa

Se distinguen tres caras poco delimitadas: la cara superior se relaciona con la cara inferior de los lóbulos occipitales del cerebro, la cara inferior descansa en las fosas cerebelosas del occipital y la cara anterior (Fig. 32) se orienta hacia la superficie posterior del tronco del encéfalo, a la que está unida por los tres pares de pedúnculos cerebelosos (superiores, medios e inferiores). Representan las zonas donde las fibras nerviosas pasan del tronco cerebral al cerebelo, o de éste a aquel, y constituyen la única conexión del cerebelo con el resto del SNC.



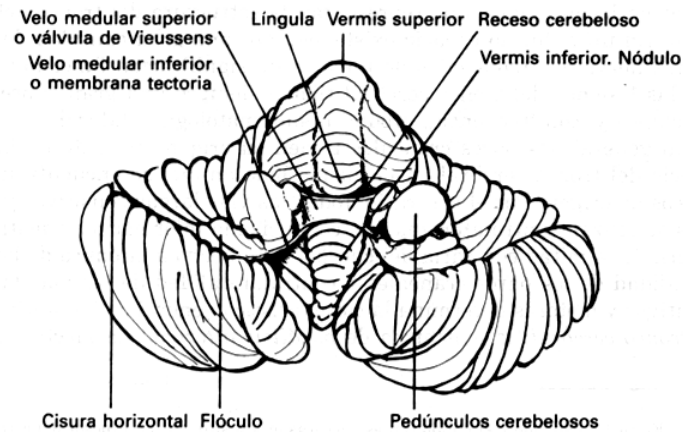


Ilustración 32. Vista anterior del cerebelo.

Entre las caras superior e inferior existe un borde limitante muy marcado o borde circunferencial. En la porción central de la cara superior resalta una formación alargada de delante atrás denominada vermis superior. En la cara inferior (Fig. 33), en el eje de simetría, existe una fosa profunda y ancha, alargada de delante atrás. En el fondo de esa fosa se localiza el vermis inferior, de dirección anteroposterior. A ambos lados se sitúan las caras inferiores de los hemisferios cerebelosos.

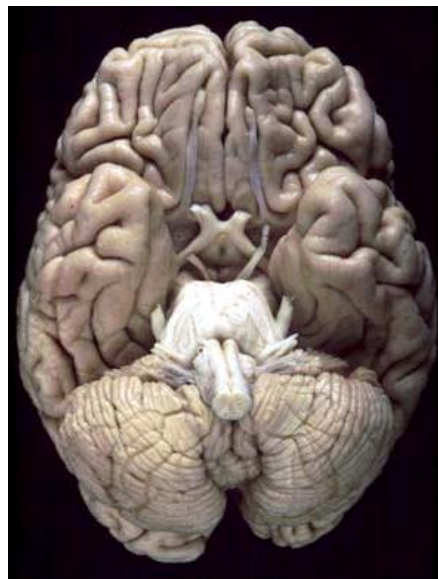


Ilustración 33. Vista inferior del cerebelo y del cerebro.

La cara anterior sólo es visible cuando se seccionan los pedúnculos cerebelosos, separando el cerebelo del tronco del encéfalo. En su parte central existe una depresión profunda o receso cerebeloso, que corresponde a parte del techo de IV ventrículo. En la parte inferior del plano de simetría se observa un saliente redondeado, el nódulo, que es el extremo anterior del vermis inferior. A cada lado se aprecia una prolongación alargada, el flóculo. El nódulo y los dos flóculos constituyen una unidad funcional y por ello se los denomina en conjunto sistema flóculo-nodular.

La división del cerebelo en sectores separados entre sí por las diversas cisuras es bastante compleja. Los lóbulos más importantes delimitados por las cisuras principales son:

- El lóbulo anterior, situado en la mitad anterior de la cara superior.
- El lóbulo medio, que se extiende por las caras superior e inferior.
- El lóbulo posterior, ubicado en la cara inferior.
- El sistema flóculo-nodular, que se sitúa horizontalmente en la zona inferior de la cara anterior.

2. Estructura interna

Macroscópicamente, el cerebelo está formado por un gran bloque central de sustancia blanca, recubierto en superficie por un manto continuo de sustancia gris, muy plegado, que constituye la corteza cerebelosa. Además, el bloque central de sustancia blanca contiene en su interior una serie de núcleos grises centrales.

Estos núcleos están localizados a ambos lados del plano sagital y, en dirección medial a lateral, son (Fig. 34):

- El núcleo del techo, muy próximo a su homónimo del lado opuesto. Tiene una forma redondeada, se sitúa craneal a la prolongación cerebelosa del IV ventrículo, que justifica su denominación de «núcleo del techo».
- El núcleo globoso, poco desarrollado, está formado por una pequeña hilera de zonas grises localizadas entre el núcleo emboliforme y el del techo.
- El núcleo emboliforme está constituido por una laminilla de sustancia gris, próxima al núcleo dentado.
- El núcleo dentado u oliva cerebelosa es el núcleo más desarrollado. Tiene forma de «C», de paredes rugosas. En su concavidad contiene sustancia blanca.

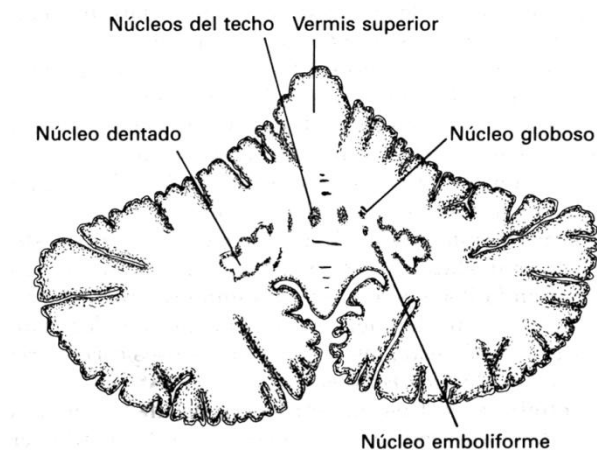


Ilustración 34. Esquema de un corte vertical de cerebelo.

3. Organización funcional

Desde un punto de vista funcional, se divide el cerebelo en sectores funcionales, atendiendo a criterios filogenéticos bien diferenciados y que se corresponden con actividades funcionales muy distintas.

Las aferencias o informaciones y las eferencias o respuestas de los diversos circuitos de control alcanzan o salen del cerebelo por los pedúnculos cerebelosos. En un esquema funcional general, las aferencias alcanzan a través de los pedúnculos la corteza cerebelosa; una neurona intermedia pone en relación la corteza con los núcleos centrales, y de éstos, por diversas vías, parten las respuestas que salen del cerebelo nuevamente a través de los pedúnculos para alcanzar al fin los diversos núcleos o estructuras efectoras.

- El **arquicerebelo** es el sector encargado del control del equilibrio. Recibe impulsos nerviosos informativos del órgano vestibulococlear, cuya misión principal consiste en informar de los cambios posturales.
Este sistema de información está formado por una cadena de neuronas: la primera neurona parte del órgano vestibulococlear y alcanza los núcleos vestibulares del tronco del encéfalo, donde hace sinapsis con una segunda neurona. Ésta, a través del pedúnculo cerebeloso inferior, alcanza la corteza del sistema floculonodular. Una tercera neurona parte la corteza para alcanzar el núcleo del techo del hemisferio cerebeloso homolateral. Establece sinapsis con las neuronas de los haces vestibuloespinales, que son los encargados, finalmente, de transmitir las respuestas correctoras de las posturas hasta las astas anteriores de la médula espinal.
- El **paleocerebelo** se encarga de regular el tono postural, especialmente en bipedestación. Cada vez que el peso inclina el cuerpo hacia un lado, los impulsos nerviosos provenientes de huesos, articulaciones y músculos (sensibilidad propioceptiva inconsciente) provocan la contracción de los grupos musculares antagonistas que restablecen la posición. Las neuronas encargadas de la sensibilidad profunda inconsciente forman los haces espinocerebelosos anterior y posterior.
- El **neocerebelo** constituye la estructura de más reciente aparición desde el punto de vista evolutivo y se encarga de la coordinación de los movimientos voluntarios. Para la realización de un movimiento voluntario, la orden parte de la circunvolución frontal ascendente del cerebro, pero para que el movimiento se realice de forma precisa necesita una serie de correcciones, independientes de la voluntad, controladas por el cerebelo.

4. Aspectos clínicos elementales

El conjunto de manifestaciones clínicas que aparecen como consecuencia de la lesión del cerebelo se denominan Síndrome Cerebeloso. Cuando la lesión asienta en el vermis, el trastorno afecta preferentemente el tronco, manifestándose en forma de dificultad para mantener la bipedestación y la marcha. Las lesiones en los hemisferios cerebelosos originan hipotonía e incoordinación motora en las extremidades homolaterales, ya que las conexiones son directas y, cuando sufren decusación, ésta es doble.

Las manifestaciones más características que integran los síndromes cerebelosos son las siguientes:



- Hipotonía o disminución del tono muscular, que se manifiesta especialmente al realizar movimientos pasivos de las diferentes articulaciones.
- Trastornos del equilibrio, que se ponen de manifiesto por la dificultad para mantenerse en pie. Este hecho obliga a aumentar la base de sustentación separando las piernas. Durante la marcha el paciente mantiene las piernas abiertas y los brazos separados y camina dando tumbos, zigzagueando como si estuviera borracho: marcha de ebrio.
- Los trastornos del desarrollo de otros movimientos por falta de cerebelosa se manifiestan por la dismetría o incapacidad para conseguir que el movimiento tenga la amplitud o medida deseada. Se demuestra en la prueba índice-nariz, porque el movimiento se queda corto o se pasa.
- La asinergia o incapacidad para realizar simultáneamente los movimientos sencillos que integran otro más complejo se comprueba cuando no hay flexión de rodillas al extender el tronco, lo que hace caer hacia atrás.
- La adiadococinesia es la imposibilidad de realizar con rapidez movimientos alternativos, como pronosupinaciones del antebrazo (prueba de las marionetas).
- El temblor intencional aparece al realizar un movimiento y adquiere mayor intensidad a medida que el movimiento se acerca a cumplir su objetivo final. Es el resultado del intento permanente y fallido de evitar que la acción motora no alcance el objetivo o bien lo sobrepase.

D. CEREBRO

1. Estructura externa

Está formado por dos grandes masas laterales o hemisferios cerebrales, unidos entre sí por formaciones mediales. Se continúa caudalmente con los pedúnculos cerebrales del mesencéfalo. (Fig. 35)



Ilustración 35. Cerebro en vista superior.



Es un órgano voluminoso, que tiene forma de gran óvalo, con el eje mayor anteroposterior (frontooccipital). Se distinguen una cara convexa, superior y lateral:

- En la **cara convexa** existe una profunda hendidura en la línea media, que se extiende desde el polo frontal al occipital, dividiendo al cerebro en dos grandes masas o hemisferios cerebrales. La hendidura recibe el nombre de cisura interhemisférica o cisura longitudinal, la cual llega, en los extremos anterior y posterior, desde la superficie convexa hasta la cara basal. Permite distinguir en la superficie convexa una cara externa y una cara interna, medial o interhemisférica. En la zona central del cerebro la cisura es interrumpida por el cuerpo calloso, una formación medial que mantiene unidos los dos hemisferios cerebrales.

En cada cara convexa (Fig. 36) de cada hemisferio se observan dos importantes surcos:

- Cisura de Silvio: avanza casi horizontalmente desde la cara basal hasta la cara externa. En el fondo de este surco se encuentra una zona de corteza conocida como lóbulo de la ínsula.
- Cisura de Rolando o cisura central: comienza en la cara interna o interhemisférica y, sobrepasando el borde superior, desciende casi verticalmente por la cara externa del hemisferio.

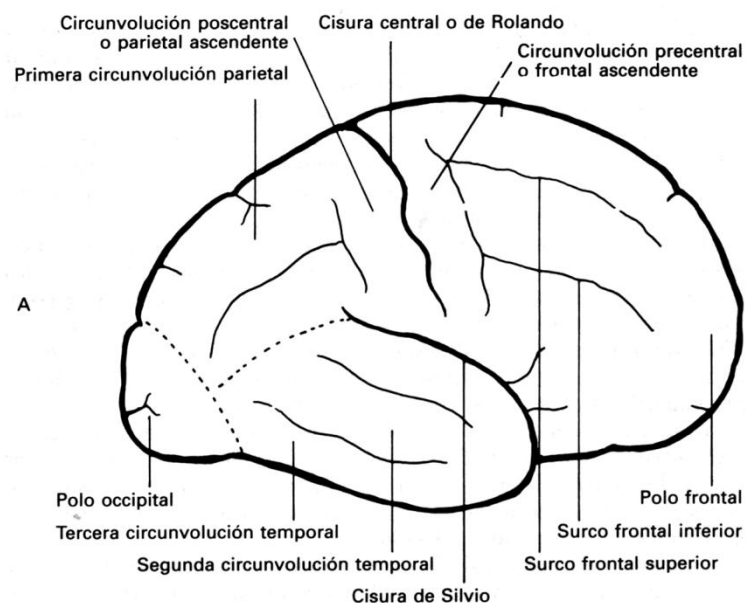


Ilustración 36. Surcos y circunvoluciones cerebrales. Cara convexa.

La región cerebral situada ventral al surco de Rolando se denomina lóbulo frontal y la zona dorsal es el lóbulo parietal. Caudal a la cisura de Silvio se localiza el lóbulo temporal. Los lóbulos parietal y temporal se continúan hacia atrás con el lóbulo occipital, que constituye el extremo posterior del hemisferio.

- La **corteza hemisférica de la cara interna** (Fig. 37), circunscrita externamente por los surcos colaterales y del cíngulo, es conocida como lóbulo límbico. Está formado por dos circunvoluciones:
 - La circunvolución del cíngulo, situada caudal al surco del cíngulo. Termina ventral y dorsal al cuerpo calloso en la zona septal, área que contiene una masa profunda de sustancia gris denominada núcleo septal.
 - La circunvolución de hipocampo, situada craneal al surco colateral. Dorsalmente, se continúa con la circunvolución del cíngulo y por delante termina en una zona denominada uncus (gancho). La corteza del uncus recubre un importante núcleo de sustancia gris que recibe el nombre de núcleo amigdalino.

La amplia zona cortical que queda por fuera de los surcos del cíngulo y colateral corresponde a la cara interna de los lóbulos frontal, parietal, temporal y occipital. En este último, aparece un surco importante denominado cisura calcarina, que junto con la cisura perpendicular delimitan una zona triangular: la cuña.

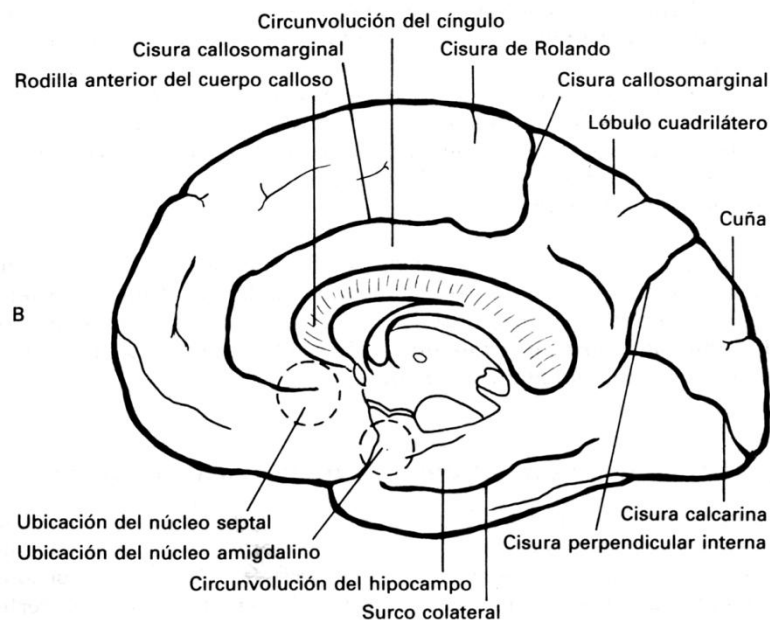


Ilustración 37. Surcos y circunvoluciones cerebrales. Cara interhemisférica.

2. Estructura interna del cerebro

Es bastante compleja. Comprende estructuras de sustancia gris localizadas en dos zonas. Una de ellas es la corteza cerebral o córtex, que forma la superficie externa de los hemisferios cerebrales y recubre enteramente las masas de sustancia blanca (llamadas en conjunto y por su forma centro oval). La otra zona de sustancia gris está formada por varios núcleos grises centrales o profundos, que se encuentran incrustados en el interior de la sustancia blanca hemisférica. Además, en el

interior del cerebro hay diversas cavidades o ventrículos, comunicados entre sí y llenos de líquido cefalorraquídeo (LCR).

Córtex

La corteza cerebral se dispone como un manto de 2-5 mm de espesor que se muestra fuertemente plegado. Cubre las circunvoluciones y se hunde a lo largo de las cisuras y surcos, lo que contribuye a aumentar su superficie total (Fig. 38).

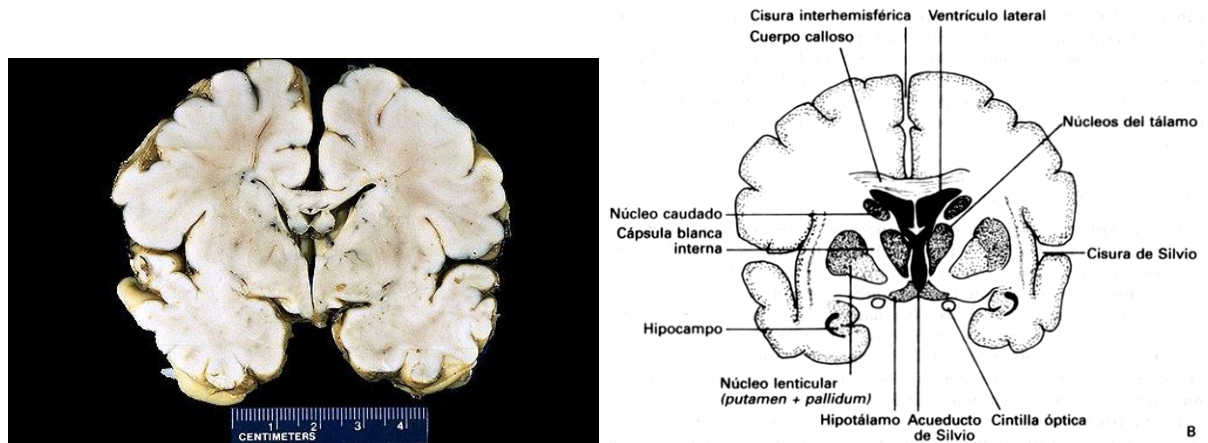


Ilustración 38. Corte frontal del cerebro.

Núcleos

En el centro oval se pueden identificar tres grupos importantes de núcleos grises centrales: el tálamo óptico, el núcleo caudado y el núcleo lenticular, y tres grandes cavidades: dos ventrículos laterales y una cavidad central o III ventrículo.

El **tálamo óptico** es un núcleo gris central con forma ovoide, cuyo eje es oblicuo hacia delante y adentro. Existe uno para cada hemisferio cerebral y se encuentran localizados a ambos lados de la cavidad media o III ventrículo, recubriendo la parte externa de sus paredes laterales. El tálamo no es homogéneo desde un punto de vista estructural; su espesor está recorrido por laminillas de sustancia blanca que lo dividen en sectores denominados núcleos del tálamo.

El **núcleo caudado** (Fig. 38) es un agregado alargado de sustancia gris, con forma de anillo abierto por delante. Está situado a cada lado, concéntrico al borde cóncavo del correspondiente ventrículo lateral. Por su parte inferior se relaciona con la zona superior del tálamo.

El **núcleo lenticular**, doble como los anteriores, es una masa gris en forma de cono o pirámide, de base externa y vértice inferointerno. Se sitúa entre la pared inferolateral del tálamo y la cola del núcleo caudado.

El núcleo lenticular y el caudado están funcionalmente muy relacionados y el conjunto se denomina cuerpo estriado.

Ventrículos cerebrales

Son tres cavidades labradas en el interior del cerebro, relacionadas entre sí y ocupadas por LCR (Fig. 39).

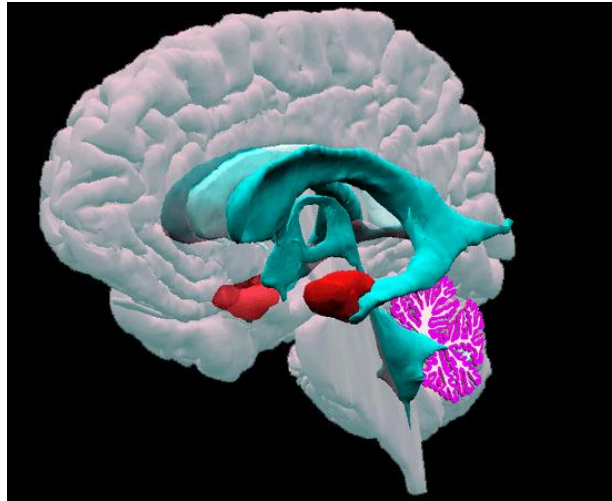


Ilustración 39. Los ventrículos cerebrales.

El **III ventrículo** es una pequeña cavidad aplastada lateralmente, situada en sentido sagital en el centro del cerebro (cerebro medio o diencefalo). Por su parte más inferior se continúa con el acueducto de Silvio, el cual lo relaciona con el IV ventrículo, situado entre el tronco del encéfalo y el cerebelo. La pared inferior del III ventrículo, tapizada por una fina lámina de tejido nervioso, es una zona denominada hipotálamo, que se encuentra delimitado por dos depresiones: una anterior o receso supraóptico, dirigida hacia el quiasma óptico, y otra posterior o receso infundibular, que se proyecta hacia el tallo hipofisario.

Los **ventrículos laterales derecho e izquierdo** (I y II ventrículos, respectivamente) son dos cavidades localizadas en el interior de cada hemisferio, con forma de medialuna, que semejan una gran «C», cuya concavidad mira hacia el polo frontal del cerebro. El borde cóncavo de la medialuna ventricular se dispone casi concéntricamente respecto del núcleo caudado. Cranealmente, los dos ventrículos se hallan muy próximos, sólo separados por un fino tabique o septum pellucidum. Por delante, se prolongan hacia el polo frontal en las astas anteriores; sus zonas media y posterior se dirigen hacia atrás formando las astas posteriores o prolongación occipital. En su base, las cavidades ventriculares se alejan una de otra constituyendo las astas inferiores o prolongación temporal de los ventrículos laterales.

Cada ventrículo lateral se comunica con el III ventrículo mediante los agujeros interventriculares o agujeros de Monro, que desde la región anteroinferior de las astas frontales alcanzan una y otra cara anteroexterna del III ventrículo.

Sustancia blanca

Está formada por todos los fascículos axonales situados entre los ventrículos y los núcleos grises centrales. Inmediatamente por debajo de la corteza cerebral, la sustancia blanca ocupa extensas



zonas. Su conjunto forma, en cada hemisferio cerebral, el denominado centro oval. La acumulación de los diversos fascículos de sustancia blanca dispuestos entre los núcleos grises centrales constituyen principalmente las cápsulas interna y externa, importantes zonas o corredores por donde pasan los haces de conexión entre el cerebro y las estructuras nerviosas inferiores (tronco del encéfalo y médula espinal), así como haces o fibras de asociación interhemisféricas: cuerpo calloso, trígono cerebral y comisura blanca anterior. (Fig. 40).

El **cuerpo calloso** es una gruesa lámina de sustancia blanca, cóncava hacia abajo, que une entre sí los hemisferios cerebrales. Presenta un ensanchamiento anterior o rodilla, que se afila hacia delante y abajo apoyándose en la pared anterior del III ventrículo (lámina terminal), una zona media o tronco y un engrosamiento posterior o rodete.

El **trígono cerebral o fórnix**, llamado también «bóveda de los cuatro pilares», es otra importante conexión entre los hemisferios cerebrales, aunque menos voluminosa que el cuerpo calloso. Está constituido por un cuerpo impar y medio, situado en la concavidad del cuerpo calloso y separado de éste por el septum pellucidum, y por cuatro pilares, dos anteriores y dos posteriores. Los pilares anteriores se dirigen hacia delante recorriendo las paredes laterales del III ventrículo. Hacia atrás, el cuerpo del trígono se divide en otros dos pilares que, rodeando las zonas posteriores del tálamo, se separan y se internan en los polos temporales de los hemisferios cerebrales.

Por último, la **comisura blanca anterior** es una fina laminilla que conecta los polos temporales formando una estructura cóncava hacia atrás, que abarca el extremo anteroinferior del III ventrículo.

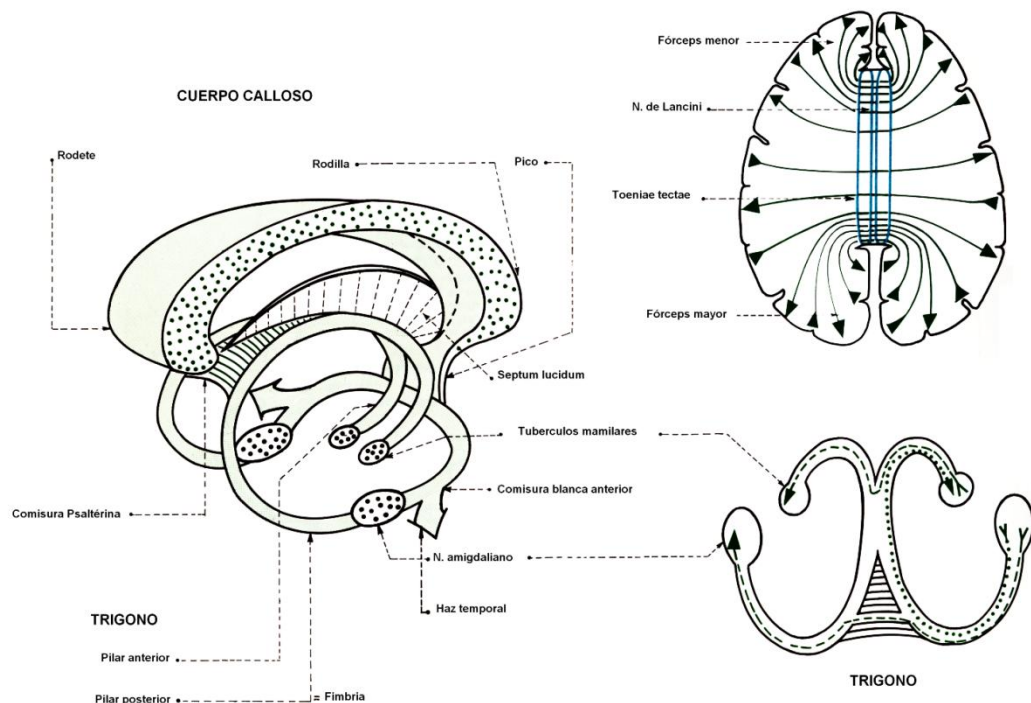


Ilustración 40. Las comisuras de la sustancia blanca del cerebro

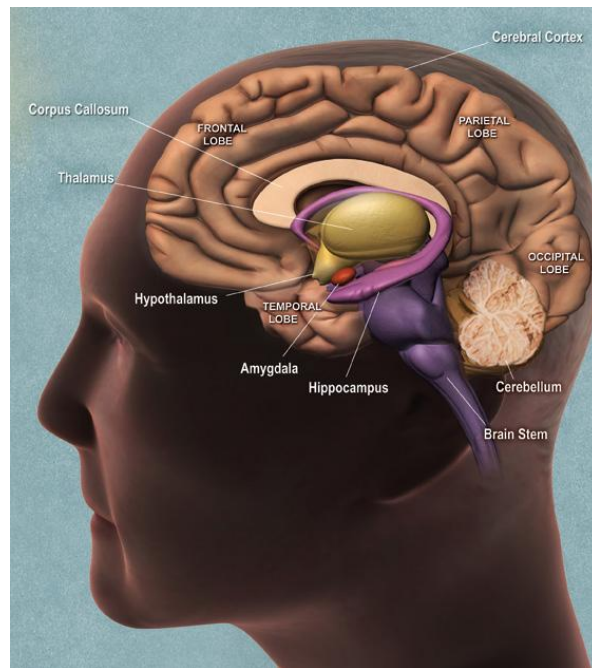


Ilustración 41. Relaciones de las estructuras cerebrales

Membranas meníngeas del encéfalo

El encéfalo, contenido en el interior de la cavidad craneal, está cubierto por las meninges, membranas que corresponden a las tres capas descritas en el estudio de la médula espinal, es decir, desde la superficie hacia dentro: duramadre, aracnoides y piamadre (Fig. 42 y 43).

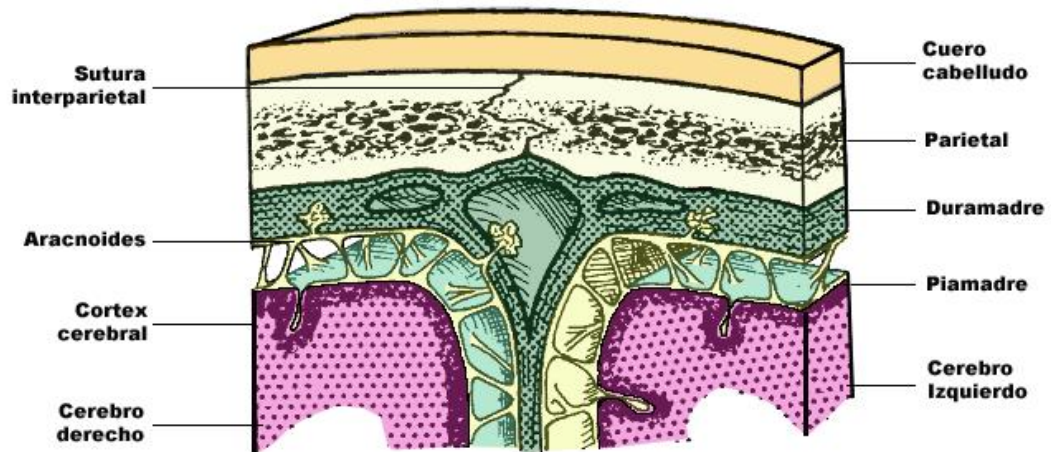


Ilustración 42. Meninges cerebrales

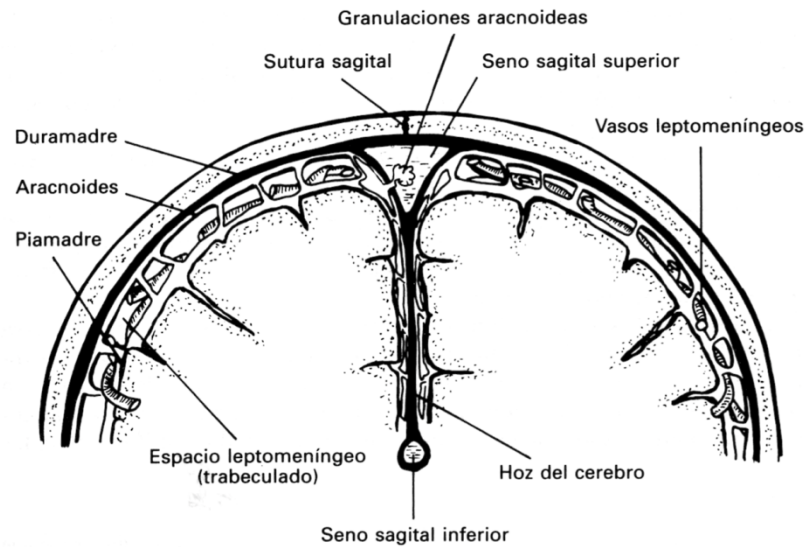


Ilustración 43. Corte esquemático frontal de la cabeza que permite ver la disposición de las meninges.

1) Descripción

La **duramadre encefálica o paquimeninge** es una gruesa cubierta conjuntivo-fibrosa que tapiza la pared interna de los huesos del cráneo y, a través del agujero magno del occipital, se continúa con la duramadre espinal. En ella se pueden distinguir una serie de pliegues o desdoblamientos que forman la mayor parte de los senos venosos del endocráneo y las expansiones o tabiques que dividen a éste en compartimentos, como el tentorio o tienda del cerebelo y la hoz del cerebro (Fig. 44).

La tienda del cerebelo es, por tanto, un tabique de duramadre que se extiende horizontalmente sobre la cara superior del cerebelo, separando a éste de los lóbulos occipitales del cerebro. Se une por delante a las apófisis clinoides posteriores del esfenoides, el borde superior de los peñascos de los huesos temporales y los dos senos sigmoideos. Este contorno es el borde adherente de la tienda del cerebelo y constituye la gran circunferencia de Vicq d'Azyr. Concéntricamente a ésta, el borde libre del tentorio dibuja una pequeña circunferencia, un anillo abierto hacia delante cuyos extremos se fijan en las apófisis clinoides anteriores delimitando el agujero oval de Pacchioni, por el que pasa el tronco cerebral para continuarse hacia arriba con el cerebro.

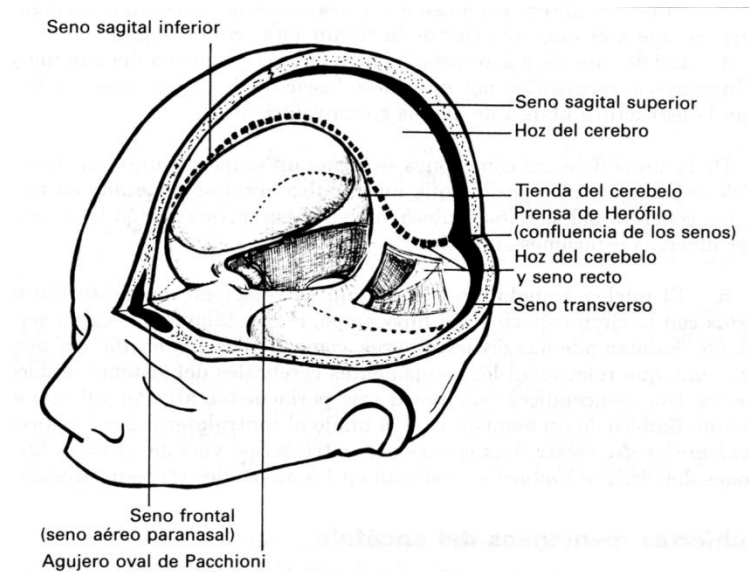


Ilustración 44. Representación de las formaciones fibrosas y algunos senos venosos de la duramadre. Se ha abierto una ventana en la tienda del cerebelo para poder ver la hoz del cerebro.

La hoz del cerebro es otro tabique de duramadre dispuesto en un plano sagital entre los dos hemisferios cerebrales. Por su periferia, el borde fijo se inserta, de delante atrás, en la crista galli del etmoides, la línea media de la bóveda craneal y la tienda del cerebelo. En su trayecto por la calota se desdobla para formar un conducto venoso o seno sagital superior, que deja su huella en el endocráneo. El borde libre, inferior, se relaciona con la cara superior del cuerpo caloso, envolviendo en un repliegue al seno sagital inferior.

Otra expansión de la duramadre encefálica rodea la silla turca esfenoidal. En ella se distinguen una porción horizontal, que contribuye a formar el techo de la silla turca o tienda de la hipófisis, y las porciones laterales, que delimitan los senos cavernosos, conductos venosos situados a ambos lados de la fosa hipofisaria relacionados con la arteria carótida interna y varios nervios craneales.



Ilustración 45. Hoz del cerebro y tienda del cerebelo.

La **aracnoides encefálica o meninge media** se aplica sobre la cara interna de la duramadre, delimitando por debajo de ella el espacio subaracnoideo o leptomeníngeo, cavidad ocupada por LCR, donde se aprecian innumerables trabéculas laxas que unen la aracnoides con la meninge interna o piamadre. Este espacio tiene un espesor variable en función de los relieves periféricos del encéfalo: donde existen depresiones profundas (surcos, fosas, etc.) el LCR es abundante, especialmente en determinados espacios subaracnoideos conocidos con el nombre de cisternas⁴.

Entre las cisternas subaracnoideas más importantes merece la pena mencionar las siguientes:

- **Cisterna magna o cerebelobulbar**, delimitada entre la cara inferior del cerebelo y la cara posterior del tronco del encéfalo.
- **Cisterna ambiens**, situada por debajo del rodete del cuerpo calloso, entre la parte anterosuperior del cerebelo y la superficie dorsal del mesencéfalo.
- Las **cisternas basales** son varios espacios situados en la cara basal del encéfalo, pero las más llamativas son las cisternas quiasmática, interpeduncular y pónica, formadas por los relieves o accidentes anatómicos de estas estructuras.

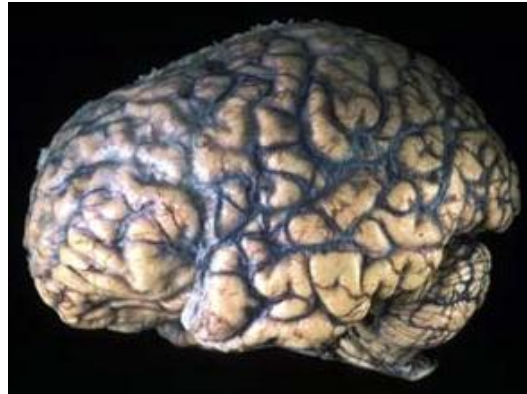


Ilustración 46. La piamadre.

La **piamadre encefálica** (Fig. 46) es una fina membrana que tapiza toda la superficie del encéfalo, hundiéndose en los surcos, cisuras o cualquier otro accidente anatómico.

Las tres meninges encefálicas se continúan a través del agujero magno con su homónimas espinales. La duramadre encefálica, a diferencia de la espinal, que presenta un espacio epidural entre las paredes óseas del conducto raquídeo y la meninge externa, está íntimamente pegada a la superficie interna de los huesos del cráneo, excepto en la región temporoparietooccipital, donde se forma el «espacio despegable de Marchand», recorrido por la arteria meníngea media. Es precisamente esta zona el lugar donde se localizan habitualmente los hematomas epidurales o extradurales cuando se producen traumatismos craneoencefálicos que rompen la mencionada arteria.

⁴ Es habitual denominar leptomeninge al conjunto de aracnoides y piamadre, por lo que el término «espacio subaracnoideo» es sinónimo de «espacio leptomeníngeo».

Otro detalle importante de la paquimeninge es la existencia de desdoblamientos que aprovechan su fijación al endocráneo para formar conductos venosos o senos de la duramadre, encargados de drenar la sangre meníngea y encefálica hacia la vena yugular interna. A través de las paredes durales de los senos venosos penetran en su interior formaciones aracnoideas denominadas granulaciones de Pacchioni. Si son de tamaño microscópico se denominan vellosidades aracnoideas y están encargadas del drenaje del LCR.

Funcionalmente las meninges en conjunto ofrecen protección a neuroeje. La duramadre, además, tiene cierta función osteogénica o formadora de hueso y constituye y alberga los senos venosos. La leptomeninge se comporta como una estructura portavasos para el SNC, conteniendo entre sus dos hojas (aracnoides y piamadre) el espacio leptomeníngeo, ocupado por LCR.

2) Sistema ventricular y dinámica funcional del lcr: origen, circulación y drenaje

El sistema ventricular está formado por el conjunto de cavidades ventriculares localizadas en el interior del neuroeje (Fig. 47). Los dos ventrículos hemisféricos o telencefálicos (I y II ventrículos) se comunican con el III ventrículo a través de los agujeros de Monro. De este ventrículo medio o diencefálico parte un fino conducto, el acueducto de Silvio, que recorre el mesencéfalo hasta el IV ventrículo, el cual se continúa caudalmente con el conducto endimario, que recorre la médula espinal.

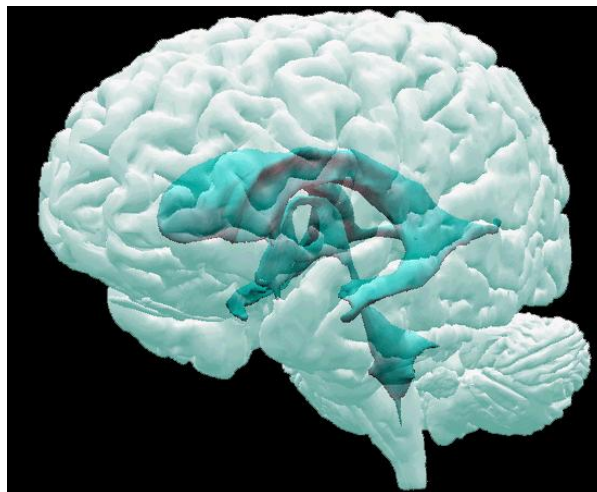


Ilustración 47. Los ventrículos cerebrales.

El sistema ventricular (Fig. 48) se comunica con el espacio leptomeníngeo o subaracnoideo a través de los agujeros de Luschka y de Magendie, localizados en la pared posterior o techo del IV ventrículo. Todo este sistema cavitario está tapizado por un epitelio endimario, que en algunos puntos de los diversos ventrículos se invagina hacia la cavidad ventricular empujado por un eje conectivo vascular procedente de la leptomeninge (membrana portavasos). Se constituyen así los plexos coroideos, estructuras donde se produce la mayor parte del LCR mediante mecanismos de secreción activa que justifican las diferencias cuantitativas entre la composición del LCR y la del plasma sanguíneo.

La producción de LCR es lenta y continua, aproximadamente de 0,3 ml por minuto; circula por los diferentes ventrículos encefálicos para pasar a la cisterna magna a través de los agujeros de Luschka y Magendie. Accede así al espacio leptomeníngeo, por donde circula libremente llenando las diversas cisternas encefálicas y la cisterna lumbar que ya fue descrita al comentar las meninges espinales. Desde el espacio subaracnoideo el LCR alcanza los senos venosos de la duramadre a través de las vellosidades aracnoideas y granulaciones de Pacchioni. Se produce así el drenaje o retorno del LCR a la circulación sanguínea. Otras vías de drenaje, menos importantes, son las venas leptomeníngeas y los capilares linfáticos próximos a los fondos de saco leptomeníngeos, al nivel de las raíces espinales.

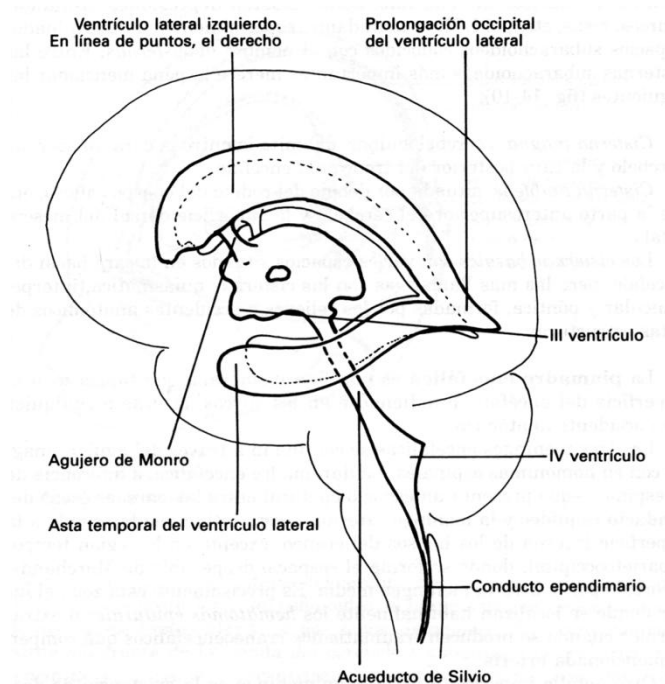


Ilustración 48. Sistema ventricular encefálico.

El drenaje se realiza por diversos mecanismos, debidos principalmente a las diferencias de presión hidrostática y coloidsmótica existentes entre el LCR y la sangre venosa. Probablemente intervienen también sistemas de transporte activo.

Las funciones del LCR son complejas y, en parte, desconocidas. En primer lugar ofrece protección física al neuroeje al formar una «almohadilla líquida» que evita o atenúa el efecto de los traumatismos. Además, disminuye los efectos de la gravitación al tener un peso específico similar al de la sustancia nerviosa. Por último, actúa regulando o manteniendo constante la presión intracraneal.

El efecto antigravitatorio se pone en evidencia ante cualquier proceso que disminuya la presión de LCR; por ejemplo, después de realizar una punción lumbar para extraer una muestra de LCR, aparece dolor con la bipedestación debido al estiramiento que sufren los vasos y tabiques meníngeos que tienen que soportar el aumento de peso relativo de la masa nerviosa. Para evitar esta cefalea por hipopresión licuoral, el paciente debe permanecer en decúbito supino hasta que la presión del LCR vuelva a ser normal.

El papel regulador de la presión intracraneal por parte del LCR es de sobra conocido: el volumen sanguíneo, el licuoral y el de la sustancia nerviosa deben mantenerse en equilibrio ya que son elementos encerrados en el estuche rígido, inextensible, que representa la cavidad craneal. El incremento de uno de estos elementos debe ser compensado con la disminución de los otros para evitar que la presión intracraneal se eleve. Por ejemplo, si por cualquier proceso, generalmente un tumor, se incrementa el volumen de la sustancia nerviosa, parte del LCR de la cavidad craneal es derivada hacia el espacio leptomeníngeo espinal, más distensible, como mecanismo compensador que intenta evitar una elevación de la presión intracraneal.

Por último, la íntima relación existente entre las cubiertas meníngeas y el LCR ofrece posibilidades diagnósticas importantes, por ejemplo, un caso de infección e inflamación de las meninges (meningitis), se producen alteraciones en el LCR cuyo análisis permite conocer, en la mayoría de las ocasiones, el tipo y la causa de la afectación meníngea.



III. VASCULARIZACIÓN

A. VASOS DEL ENCÉFALO

El encéfalo está irrigado por dos sistemas arteriales:

- El sistema de la carótida interna por delante.
- El sistema vertebrobasilar por detrás.

Estos dos sistemas tienen anastomosis en la base del cerebro para formar el círculo de Willis (Fig. 49).

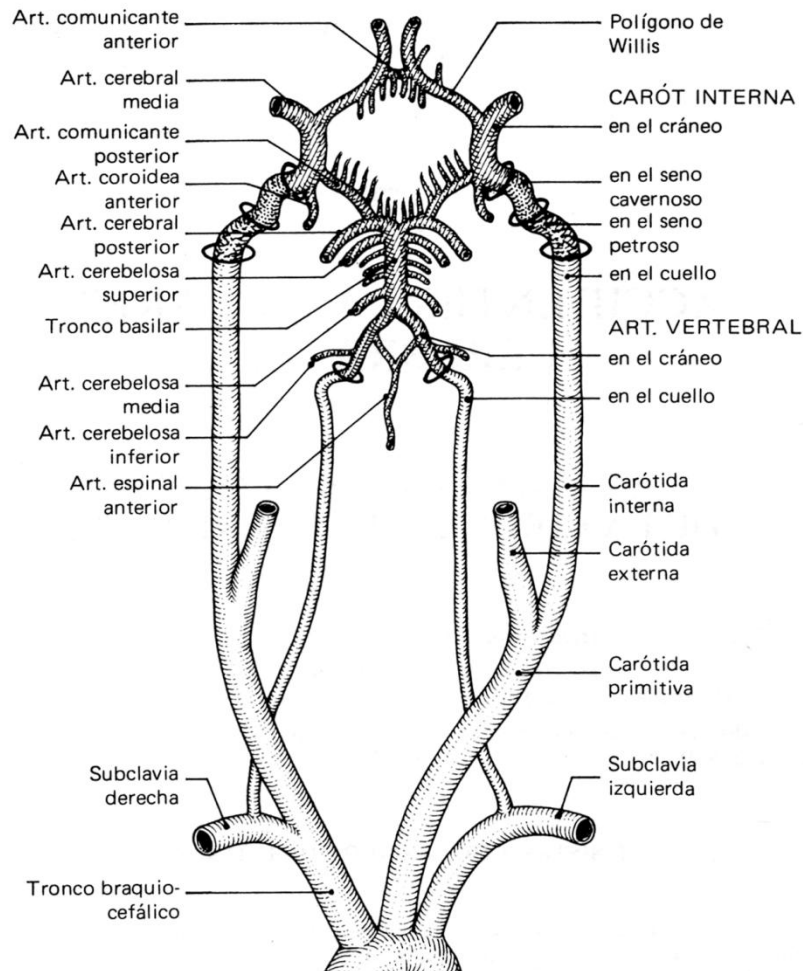


Ilustración 49. Diagrama de las arterias del cerebro: los cuatro grandes ejes o pilares.

Como el sistema nervioso no es un órgano de depósito de sustancias metabólicas, el encéfalo, para su correcto funcionamiento, depende por completo del aporte continuo de nutrientes (especialmente glucosa y oxígeno) a través del torrente sanguíneo o flujo sanguíneo cerebral, que recibe por cuatro importantes troncos arteriales: las arterias carótidas y las vertebrales. Así, cuando por cualquier causa el aporte sanguíneo disminuye hasta el punto de no poder satisfacer las demandas metabólicas de las células del tejido nervioso, el fracaso de sus funciones es prácticamente inmediato.

La masa encefálica, con un peso medio de 1.200 g, representa el 2 % del peso corporal total y, sin embargo, necesita recibir el 20 % del gasto cardíaco, ya que consume aproximadamente el 20 % del oxígeno y el 65 % de la glucosa del organismo. Estas necesidades metabólicas se han calculado experimentalmente mediante mediciones del flujo sanguíneo cerebral, conociéndose en la actualidad que el encéfalo, para su normal funcionamiento, requieren un flujo de 0,5 ml/g/min, es decir, entre 600 y 700 l de sangre por día.

Las alteraciones funcionales aparecen cuando el flujo sanguíneo cerebral desciende por debajo de 0,15 ml/g/min, puesto que las neuronas, desde el punto de vista metabólico, son especialmente sensibles al déficit de glucosa y oxígeno.

Para evitar las alteraciones nerviosas derivadas de un aporte deficiente de sangre son necesarias, antes que nada, la correcta función de la bomba cardíaca y el mantenimiento de las constantes hemodinámicas. Incluso en condiciones normales, ocurren de manera habitual en nuestro organismo pequeñas variaciones fisiológicas, como descensos de la presión arterial con los cambios de posición, que el sistema nervioso debe corregir para procurar mayor estabilidad y constancia en la presión de perfusión que recibe. Para ello dispone de mecanismos de autorregulación vascular que, mediante modificaciones del calibre de los vasos, consiguen ese objetivo. Si el aporte sanguíneo desciende por debajo del valor umbral crítico (0,15 ml/g/min), las alteraciones funcionales derivadas son reversibles siempre que el aporte se restablezca rápidamente. Si el flujo se mantiene bajo o sigue descendiendo, comienzan a aparecer fallos energéticos importantes en el metabolismo neuronal que inducen un fracaso o alteración en la membrana celular de las neuronas y la necrosis isquémica e irreversible del tejido nervioso.

B. SISTEMA DE LA CARÓTIDA INTERNA

Cada una de las dos carótidas internas nace de la bifurcación de la carótida primitiva, en la región lateral del cuello, un poco caudal al ángulo de la mandíbula. Alcanza la base del cráneo y permanece relativamente superficial, bajo el borde anterior del esternocleidomastoideo (aquí es accesible clínica y quirúrgicamente). La carótida interna penetra seguidamente en el cráneo, atraviesa el peñasco y alcanza el seno cavernoso.

Después de haber perforado el techo de éste penetra en el espacio subaracnoideo; da entonces la arteria oftálmica, destinada al globo ocular, y termina en cuatro ramas divergentes: cerebral anterior, silviana, coroidea anterior y comunicante posterior.

1. Arteria cerebral anterior

Se dirige adelante y hacia dentro. Alcanza la cara interna del lóbulo frontal. Las dos cerebrales anteriores están muy próximas y se unen por un canal transversal: la arteria comunicante



anterior. La cerebral anterior camina seguidamente en la cara interna del hemisferio y describe una curva de concavidad posterior, amoldada sobre el cuerpo calloso; hacia el tercio posterior de éste se adosa en la cisura callosomarginal y alcanza el borde superior del cerebro.

La cerebral anterior irriga:

- Un territorio subcortical que comprende:
 - La cara interna de los lóbulos frontales y parietales.
 - El borde superior y una delgada franja de la cara externa de los hemisferios.
 - La parte interna de la cara inferior del lóbulo frontal.
 - Los 4/5 anteriores del cuerpo calloso, el septum lucidum, los pilares anteriores del trígono, la comisura blanca anterior.
- Un territorio profundo. Por la arteria de Heubner, que nace de su segmento inicial, la cerebral anterior irriga:
 - La cabeza del núcleo caudado.
 - La parte anterior del núcleo lenticular.
 - La mitad inferior del brazo anterior de la cápsula interna.
 - El hipotálamo anterior.

2. Arteria cerebral media o silviana

Se coloca muy al principio transversalmente hacia fuera, dando arterias perforantes y alcanzando la flexura de paso frontotemporal, al polo de la ínsula. Remonta después, profundamente encerrada en la cisura de Silvio, hasta el pliegue curvo, donde termina (arteria del pliegue curvo).

La arteria silviana irriga (Fig. 50):

- Un territorio corticosubcortical que comprende:
 - La mayor parte de la cara externa del hemisferio, a excepción de la extremidad anterior y del borde superior (cerebral anterior), del polo posterior, de la arteria temporal y de las siguientes (cerebral posterior).
 - La parte externa de la cara inferior del lóbulo frontal.
 - El lóbulo de la ínsula.
 - La sustancia blanca subyacente y, principalmente, una parte de las radiaciones ópticas.
- Un territorio profundo:
 - La mayor parte de los núcleos estriados (putamen, parte externa del pálido, cabeza y cuerpo del núcleo caudado).
 - La cápsula interna (parte superior de los brazos anterior y posterior).
 - La cápsula externa y el antemuro.



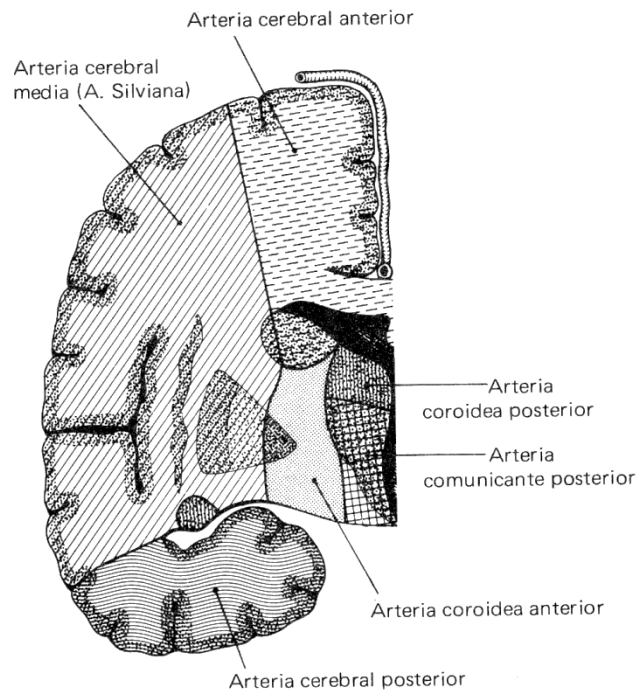


Ilustración 50. Representación esquemática de los territorios arteriales del cerebro.

3. Arteria coroidea anterior

Larga y de pequeño calibre, la arteria coroidea anterior se dirige hacia atrás y contornea el pedúnculo cerebral, siguiendo la cintilla óptica hasta el cuerpo geniculado externo.

Irriga:

- La cintilla óptica, el cuerpo geniculado externo.
- A nivel de los núcleos grises: la parte interna del pallidum, la cola del núcleo caudado y el núcleo amigdalino.
- La parte anterior de la corteza hipocámpica adyacente.
- El brazo posterior de la cápsula interna (en su parte inferior) y el segmento retrolenticular de ésta.
- Algunas ramas van a los plexos coroideos e inconstantemente a los pedúnculos cerebrales.

4. Arteria comunicante posterior

Muy corto, este vaso une la carótida interna y la cerebral posterior.

La arteria comunicante posterior da ramas:

- Al tálamo.
- Al hipotálamo (región infundibulotuberiana).

- Al brazo posterior de la cápsula interna.
- A la región del cuerpo de Luys y del pie del pedúnculo.

C. SISTEMA VERTEBROBASILAR

Cada arteria vertebral nace en la base del cuello de la arteria subclavia. Después de un corto trayecto (relativamente accesible) en la región supra y retropleural, se introduce en un canal óseo, formado en las apófisis transversas de las vértebras cervicales (entonces puede ser comprimida en el curso de los movimientos de rotación de la cabeza). La arteria vertebral contornea seguidamente las masas laterales del atlas, atraviesa el agujero occipital y camina sobre la cara anterior del bulbo hasta el surco protuberancial, donde se une con su homóloga para formar el tronco basilar (Fig. 51)

En el curso de su trayecto intracraneal da:

- La arteria espinal anterior, e irriga los dos tercios anteriores de la parte superior de la médula cervical.
- Ramos perforantes que se distribuyen en el bulbo raquídeo.
- La arteria cerebelosa inferior destinada a la cara lateral del bulbo y a la cara inferior del cerebelo.



Ilustración 51. El tronco basilar.

1. Tronco basilar

Nacido de la unión de las dos arterias vertebrales, el tronco basilar sube en la cara anterior de la protuberancia y termina a nivel del surco pontopeduncular y se bifurca en dos arterias cerebrales posteriores.

Da:

- Arterias destinadas al bulbo y a la protuberancia, de donde la arteria de la fosita lateral del bulbo.
- La arteria cerebelosa media, que irriga el flóculo y da con gran frecuencia la arteria auditiva interna.
- La arteria cerebelosa superior, que irriga la cara superior del cerebelo.

2. ARTERIAS CEREBRALES POSTERIORES

Cada arteria cerebral posterior rodea el pie y la cara externa del pedúnculo cerebral, alcanza la cara inferior del lóbulo temporooccipital y se coloca por detrás hasta la cisura calcarina, donde termina (arteria calcarina).

En el curso de esta trayectoria recibe la arteria comunicante posterior y da:

- Ramas colaterales, que están destinadas al mesencéfalo y al tálamo: pedículos talamoperforado y talamogeniculado, arterias cuadrigéminas; al hipotálamo posterior.
- La coroidea posterior.
- Ramas terminales que irrigan la cara interna del lóbulo occipital (cisura calcarina), el esplenium del cuerpo calloso, el cuerpo geniculado externo en parte, las 3ª, 4ª y 5ª circunvoluciones temporales, etc.

En total, el territorio vertebrobasilar comprende:

- La parte superior de la médula cervical.
- La totalidad del tronco cerebral y del cerebelo.
- Los tercios posteriores de los hemisferios.

Cualquiera que sea el nivel considerado, la vascularización del tronco cerebral se hace por un triple dispositivo arterial:

- Arterias paramedianas, que son perforantes cortas, que irrigan el territorio mediano y paramediano.
- Arterias circunferenciales cortas, que son también perforantes, pero más largas y que irrigan el territorio lateral (la arteria de la fosita lateral del bulbo).
- Arterias circunferenciales largas, que irrigan el territorio posterior (arterias cerebelosas y arterias cuadrigéminas).

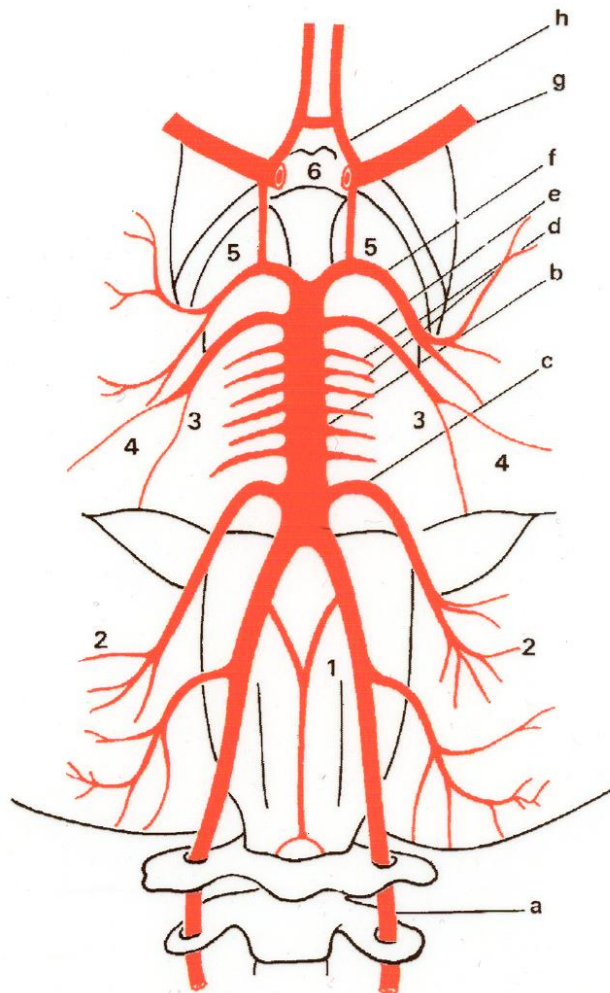
D. VÍAS DE SUPLENCIA

Las arterias del cerebro son arterias terminales cuya obstrucción provoca una isquemia en su trayecto. Sin embargo, el dispositivo arterial es tal que cierta adaptación circulatoria es posible gracias a vías de suplencia. Existen tres principales:



1. Polígono de Willis

Está compuesto de dos cerebrales anteriores, unidas por la comunicante anterior, y dos comunicantes posteriores que unen las carótidas internas a las ramas de bifurcación del tronco basilar; es decir, a las arterias cerebrales posteriores (Fig. 52).



- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| a) Arteria vertebral izquierda. | 1. Bulbo raquídeo. |
| b) Tronco basilar. | 2. Hemisferios cerebelosos. |
| c) Arteria cerebelosa anteroinferior. | 3. Protuberancia anular. |
| d) Arterias protuberenciales. | 4. Cerebelo. |
| e) Arteria cerebelosa superior. | 5. Pedúnculos cerebrales. |
| f) Arteria cerebral posterior. | 6. Quiasma óptico. |
| g) Arteria carótidea interna. | |
| h) Arteria cerebral anterior. | |

Ilustración 52. Las arterias del polígono de Willis.

Ofrece así un paso a la circulación a ambos lados y permite a los sistemas carotídeo y vertebrobasilar suplirse. Sin embargo, esta pieza maestra de los dispositivos anastomóticos de la circulación cerebral es, a menudo, localización de variaciones anatómicas que reducen su eficacia: comunicante anterior delgada, las dos cerebrales anteriores nacen de la misma carótida; comunicante posterior filiforme, una o dos cerebrales posteriores nacen del sistema carotídeo.

Cada arteria carotídea interna se anastomosa (Fig. 53):

- Con su homóloga por la arteria comunicante anterior, cuyo valor funcional es variable, pero raramente nulo.
- Con la arteria carótida externa: la arteria nasal, rama de la arteria oftálmica, se anastomosa con la arteria angular, terminación de la arteria facial. Además otras ramas de la arteria oftálmica se anastomosan con ramas de la arteria maxilar interna.
- Con el sistema vertebrobasilar por la arteria comunicante posterior y por anastomosis meníngeas que unen ramas de la arteria cerebral posterior con ramas de la arteria cerebral anterior y de la arteria cerebral media.

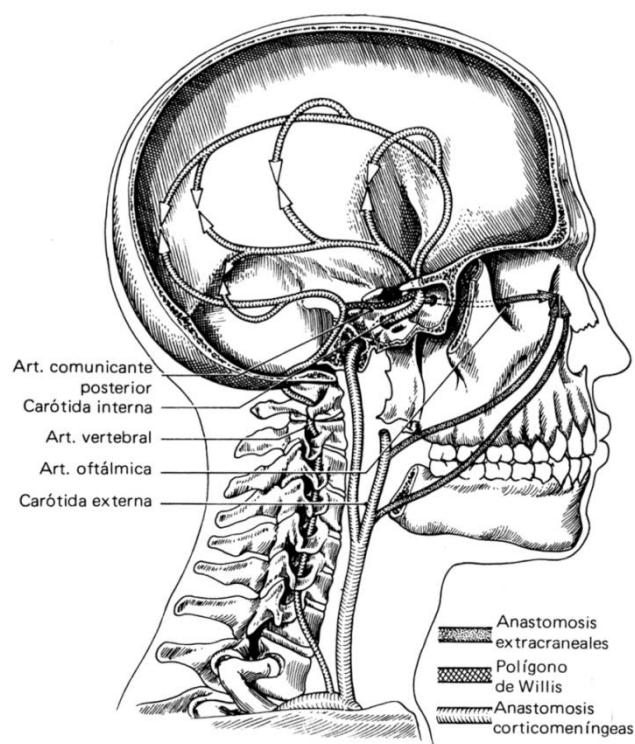


Ilustración 53. Las anastomosis del sistema carotídeo.



Ilustración 54. Áreas de vascularización del cerebro. Vistas lateral externa (A), media) (B) y basal (C). Punteado denso: territorio de la arteria cerebral posterior. Punteado ligero: arteria cerebral media. Sin punteado: arteria cerebral anterior.

2. Anastomosis entre arteria carótida interna y carótida externa

En la órbita, un sistema de anastomosis une la arteria oftálmica, nacida de la carótida interna, con ramas de las arterias maxilar interna y, sobre todo, facial, nacidas de la carótida externa.

3. Anastomosis en la superficie de los hemisferios (Fig. 55 y 56)

En la convexidad del cerebro, los diferentes territorios arteriales están unidos por anastomosis. Éstas se constituyen «cabo a cabo» o por ramificaciones «en candelabro» entre ramas que como mecanismo de seguridad para mantener el aporte sanguíneo cerebral y, para que éste se distribuya de manera homogénea, existen en el interior del cráneo importantes troncos anastomóticos que se localizan en la base del cerebro. Estas anastomosis se producen en las cisternas basales leptomeníngeas, rodeando en conjunto el denominado «rombo hipotalámico».

Del contorno posterior de cada carótida interna, justo en el momento de dar sus ramos terminales, emerge un vaso que se dirige hacia atrás para anastomosarse con la arteria cerebral posterior homolateral. Este vaso es la arteria comunicante posterior. El interés de esta comunicación es enorme, ya que pone en contacto la sangre arterial del sistema carotideo interno con la del sistema vertebrobasilar del mismo lado.



Ilustración 55. Arterias de la cara externa del cerebro

Además, entre las arterias cerebrales anteriores izquierda y derecha existe otro puente anastomótico que recibe el nombre de arteria comunicante anterior. Ésta permite el paso de sangre arterial del sistema carotideo interno de un lado al del lado opuesto.

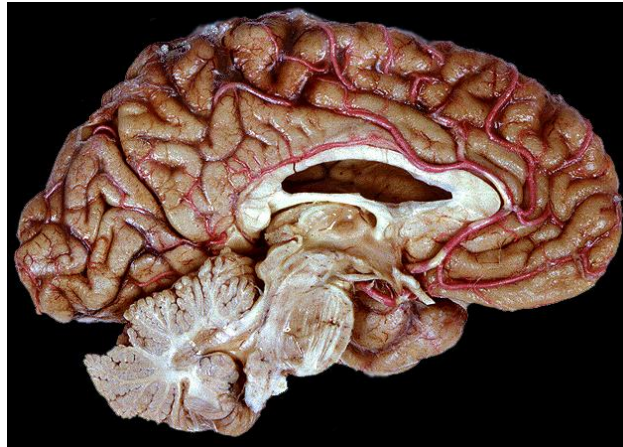


Ilustración 56. Arterias de la cara interna del cerebro

Además del polígono de Willis, existen otras anastomosis arteriales, tanto profundas como superficiales, pero de escaso valor funcional, por lo que la vascularización profunda del encéfalo debe considerarse de tipo terminal. Este hecho explica la gravedad de las enfermedades que se producen por oclusión vascular, como sucede, por ejemplo, con las embolias cerebrales. Otras vías anastomóticas de supuesta suplencia ponen en contacto territorios arteriales del sistema carotideo externo con el carotideo interno, como ocurre con las conexiones periféricas en el ángulo interno del ojo entre la arteria facial y la arteria oftálmica.

E. DRENAJE VENOSO

Las diversas venas encefálicas terminan en los repliegues de la duramadre hacia los senos venosos duros que, en último extremo, drenan su contenido al sistema venoso yugular interno. (Fig. 57 y 58).

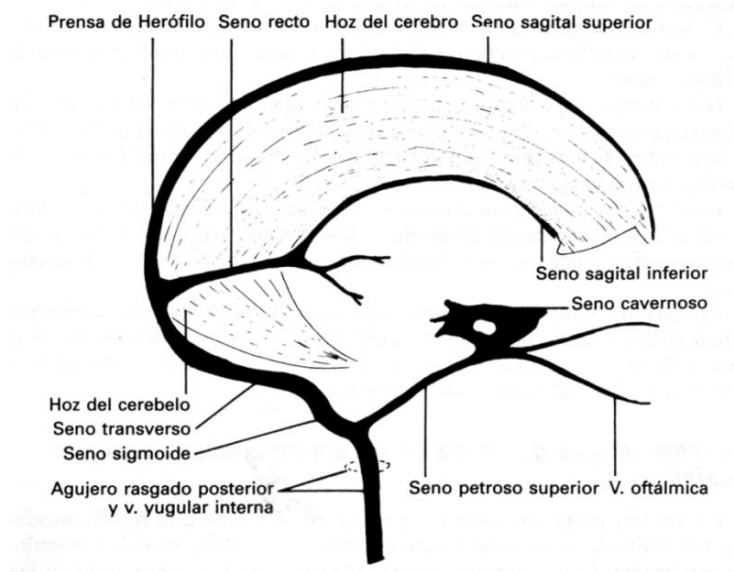


Ilustración 57. Senos venosos de la duramadre.

- Los senos venosos transversos izquierdo y derecho se originan frente a la protuberancia occipital interna, lugar donde se localiza la confluencia de varios senos y que recibe el nombre de prensa de Herófilo. Cada uno de los senos transversos recorre en sentido horizontal la fosa craneal posterior para continuarse directamente, en el peñasco del temporal, con el seno sigmoide. Éste, a través del agujero rasgado posterior, drena su contenido en la vena yugular interna. A veces se denomina seno lateral al conjunto de los senos transverso y sigmoide de cada lado, ya que ambos se continúan, sin que existan accidentes anatómicos importantes que los delimiten.
- El seno sagital superior o longitudinal superior se extiende desde la apófisis crista galli del etmoides hasta la prensa de Herófilo, siguiendo la línea media de la bóveda craneana y la cisura interhemisférica o, si se prefiere, el borde fijo o superior de la hoz del cerebro.

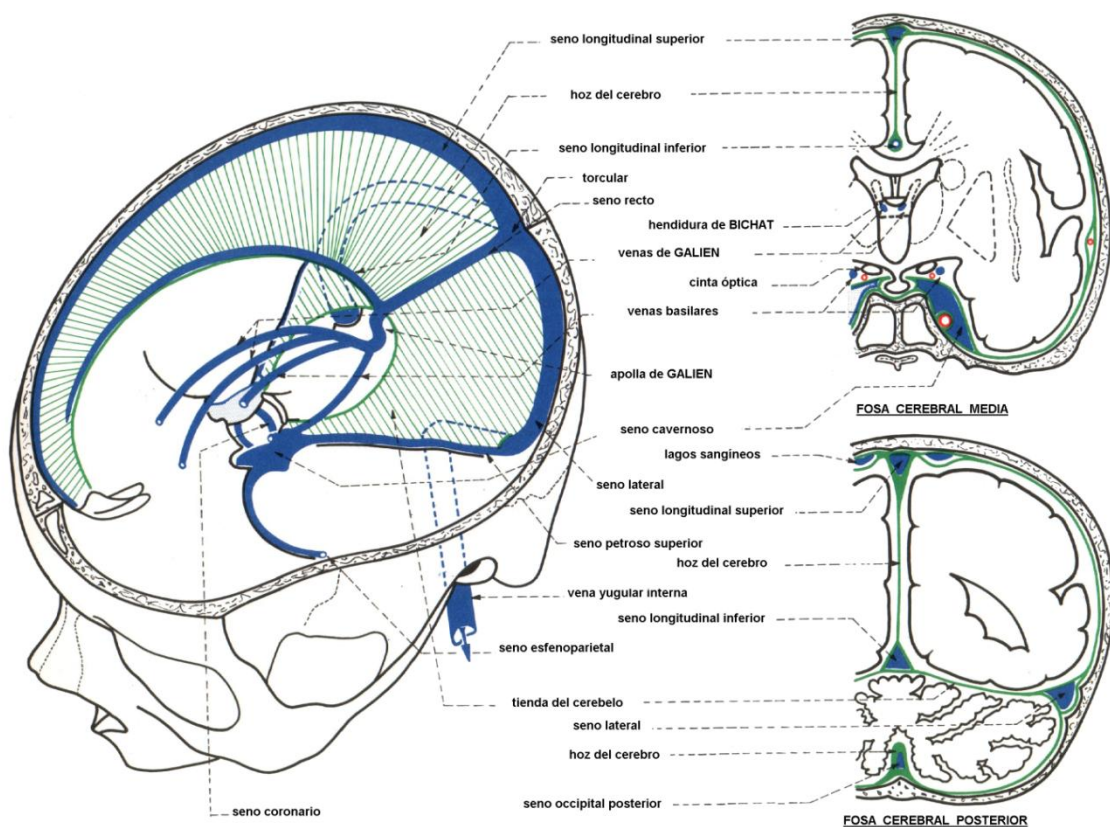


Ilustración 58. Los vasos venosos del cráneo.

- El seno sagital o longitudinal inferior, paralelo al anterior recorre el borde libre o inferior de la hoz del cerebro, por encima del cuerpo calloso.
- El seno recto se origina en la zona de confluencia de la hoz del cerebro con la tienda del cerebelo y, como si continuara el seno sagital inferior, se dirige hacia atrás para alcanzar la prensa de Herófilo.
- Los senos cavernosos están formados por repliegues de la duramadre a un lado y a otro del cuerpo del esfenoides y se relacionan con otros senos menos importantes. Su interior

está atravesado por la arteria carótida interna antes de terminar en el polígono de Willis, y su pared externa es recorrida por los nervios craneales oculomotores y primera rama del nervio trigémino.

F. VASCULARIZACIÓN DE LAS MEMBRANAS MENÍNGEAS

Las arterias y venas meníngicas están localizadas en la porción externa de la duramadre, con su lecho labrado en la tabla interna de la bóveda craneal. Irrigan y drenan la duramadre y el hueso adyacente constituyendo pequeñas anastomosis entre el endocráneo, el exocráneo y las arterias cerebrales.

La arteria meníngica media (Fig. 59) se origina de la maxilar interna, uno de los ramos terminales de la carótida externa, y penetra en la cavidad craneal a través del agujero redondo menor (foramen espinoso) formando un surco en la tabla interna de la escama del temporal y hueso parietal, al que confiere su característico aspecto de «hoja de higuera». Se divide en ramas que irrigan la superficie externa de la duramadre, desde la convexidad frontoparietal hasta la región occipital. Es la mayor de las arterias meníngicas y el principal sistema de aporte sanguíneo para la meninge externa.



Ilustración 59. Arteria meníngica media.

La arteria meníngica accesoria puede originarse de la maxilar interna o de la meníngica media. Penetra en el cráneo por el agujero oval y riega el ganglio de Gasser (del nervio trigémino) y la duramadre adyacente.

El hueso y la dura de la fosa posterior están irrigados por ramos meníngicos de la arteria faríngea ascendente y occipital (ambas ramas de la carótida externa).

Del sistema carotídeo interno se origina el tronco arterial meningohipofisario, con sus tres ramas principales (tentorial, dorsal e inferior). Irriga la tienda del cerebelo, el dorso de la silla turca, el canal basilar y la pared del seno cavernoso.

Las arterias meníngicas anteriores se encargan de aportar vascularización a la duramadre del suelo de la fosa craneal anterior y los ramos meníngicos de las arterias vertebrales, la mayor parte de la fosa posterior.

El sistema venoso meníngeo está formado por pequeñas venas que siguen el trayecto de las arterias, localizándose entre la duramadre y el cráneo. Se comunican con las venas emisarias, diploicas y cerebrales y terminan en los distintos senos venosos del cráneo.

Finalmente, la sangre venosa intracraneal es conducida por los dos senos laterales, que dan nacimiento a las venas yugulares internas derecha e izquierda.

G. COMPORTAMIENTO HEMODINÁMICO GENERAL DE LA CIRCULACIÓN CEREBRAL

1. Función de las suplencias

Los vasos que intercambian entre ellos las anastomosis del polígono de Willis son de dimensiones suficientes para que sean localización de idéntica presión arterial, si bien en condiciones habituales el aporte circulatorio de cada uno de los ejes vasculares permanece individualizado y asegura la irrigación de una región bien definida del sistema nervioso.

Así, en el curso de una arteriografía carotídea, la sustancia opaca inyectada en la carótida interna se distribuye exclusivamente en el dominio de la cerebral anterior y de la silviana homolaterales. La arteriografía vertebral visualiza los vasos de la fosa posterior y las cerebrales posteriores; también es posible que la distribución de la sustancia opaca esté limitada a la mitad de la fosa posterior correspondiente a la vertebral inyectada.

La función de las anastomosis del polígono de Willis, como sistema de suplencia, es observada a menudo en condiciones patológicas. La arteriografía contralateral de las trombosis de la carótida interna muestra casi siempre la irrigación, más o menos completa, del territorio de la carótida obstruida por la carótida que permanece permeable.

Las anastomosis que existen entre oftálmica y ramas de la facial no desempeñan papel alguno en estado normal. En cambio, cuando existe una trombosis de origen en la carótida interna, permiten a menudo una muy buena reinyección a contracorriente de la oftálmica, y por ésta, de una parte del territorio carotídeo interno (a partir de la carótida externa).

En el sujeto normal parece también que no entran en función las anastomosis de la piamadre, que unen entre ellas los territorios de irrigación de las principales ramas arteriales corticales. En cambio, su importancia es considerable cuando el débito de una de estas arterias se encuentra reducido. Estas anastomosis pueden dar lugar a una suplencia bastante eficaz para asegurar un aporte circulatorio a contracorriente hasta en el tronco arterial principal. Las diversas regiones de la corteza cerebral se benefician de manera desigual de estas suplencias. Las regiones situadas en la frontera de los territorios de irrigación de dos arterias principales están relativamente protegidas de las consecuencias de una reducción del débito de una de estas arterias, puesto que las anastomosis aseguran eficazmente su función. Estas mismas regiones estarán, en cambio, selectivamente afectadas en caso de reducción del débito, tocando simultáneamente los dos territorios arteriales vecinos.



En total, la circulación, haciéndose de un modo relativamente fijo en condiciones normales, está dotada, gracias a las redes anastomóticas, de una pronunciada flexibilidad de adaptación.

2. Débito sanguíneo cerebral y sus variaciones

El cerebro está muy vascularizado. El débito sanguíneo cerebral (es decir, la cantidad de sangre que atraviesa el cerebro en cada minuto) es, en efecto, de 750 ml/min, casi el 15 por ciento del débito cardíaco. Los resultados son a menudo dados por 100 g de tejido nervioso; o sea, 52 ml/min.

Diferentes técnicas aplican al cerebro el principio de Fick y permiten medir el débito sanguíneo cerebral. Algunos utilizan la inhalación en circuito cerrado de un gas inerte difusible, tal como el protóxido de nitrógeno o sobre todo el criptón 85. El débito sanguíneo se evalúa comparando las curvas de los niveles arteriales (medidos a nivel de la femoral) y venosos (yugular interna) hasta saturación completa del sistema nervioso. Las diferentes tomas arteriales y venosas permiten también medir el consumo del cerebro en glucosa o en oxígeno (3,34 m/100 g/min).

Mientras los métodos precedentes miden el débito sanguíneo cerebral global, el método con el xenón 133 permite valorar el débito sanguíneo en una región más o menos limitada del cerebro. En efecto, el xenón 133 es suficientemente radiactivo para poder ser detectado por contadores colocados sobre el cuero cabelludo. Se puede así comparar uno y otro lado y tener una valoración del débito sanguíneo regional.

H. ASPECTOS CLÍNICOS GENERALES DE LAS ENFERMEDADES VASCULARES ENCEFÁLICAS

La existencia de una alteración en la irrigación de una región encefálica determinada es la base fisiopatológica de las enfermedades vasculares cerebrales. Conocidas las necesidades metabólicas neuronales y las consecuencias de una disminución del flujo sanguíneo cerebral, estas enfermedades tienen como característica común su brusca instauración. Si la disminución del aporte sanguíneo se mantiene en el tiempo, el territorio de la arteria afectada sufre primero isquemia y luego necrosis y, como consecuencia, aparecen signos y síntomas neurológicos focales que afectan el lado contrario de la lesión. Las manifestaciones clínicas más frecuentes son las hemiparesias, con trastornos sensitivos, del lenguaje, etc., asociados o sin ellos.

La distribución territorial de las diferentes ramas arteriales es prácticamente constante y el análisis de las manifestaciones clínicas producidas permite identificar la zona lesionada y la arteria responsable de la lesión, ya que los cuadros clínicos son tan característicos que se conoce el síndrome neurovascular que se puede producir en la afectación de cada una de las arterias.



IV. ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

Los diversos elementos estructurales del tejido nervioso se asocian entre sí para formar arcos conductores que constituyen las verdaderas unidades funcionales del sistema nervioso. En efecto, las neuronas aisladas no constituyen una unidad funcional capaz de elaborar respuestas provistas de sentido para la totalidad del organismo. Para que se produzca una auténtica función nerviosa es necesario que, al menos, dos neuronas se relacionen entre sí, por medio de una sinapsis, de forma que se estructure un arco conductor que, comenzando en los receptores periféricos encargados de transformar los diversos estímulos en impulsos nerviosos, conduzcan la información hasta los elementos nerviosos facultados para el procesamiento y la emisión de respuestas que han de ser descargadas sobre los efectores (músculo, glándulas, etc.).

A. RECEPTORES SENSORIALES⁵

Los receptores sensoriales (RS) son terminaciones nerviosas especializadas en mayor o menor grado, ubicadas en los órganos sensoriales como son la lengua, la piel, la nariz, etc., así como en otras partes de nuestro organismo como son los órganos internos. Proporcionan al individuo la capacidad de obtener información de las condiciones ambientales que lo rodean. Esta información es procesada posteriormente en el sistema nervioso central para generar una respuesta apropiada. Es decir que los RS, que son células nerviosas especializadas, se encargan de transformar señales fisicoquímicas a señales eléctricas, que son transportadas hacia el Sistema Nervioso Central y relacionadas con cada área dentro de la corteza cerebral.

Las características fisicoquímicas comprenden:

- **Excitabilidad:** Capacidad de reaccionar ante un estímulo nervioso, al relacionar un área específica del cerebro con una reacción tanto corporal o emocional.
- **Especificidad:** Reacción nerviosa ante un estímulo determinado.
- **Adaptación:** Persistencia ante un estímulo en donde el receptor disminuye la reacción nerviosa.
- **Codificación:** si hay mayor intensidad en el estímulo, el receptor envía mayor número de impulsos nerviosos por unidad de tiempo
- **Selectividad:** los receptores son específicos para los diferentes estímulos.

Los receptores cutáneos o exteroceptores se denominan así porque al origen de las vías exteroceptivas, son sensibles a excitantes de origen exterior: táctil, térmico, doloroso o de presión. Se escalonan en el espesor de la piel.

La epidermis (Fig. 60) contiene fibras arborizadas de extremidades libres, consideradas como los órganos del dolor. Junto a ellas, otras en forma de discos (discos de Merkel) son sensibles al tacto

⁵ Ver en Apuntes de Histología de la página 169-174.



ligero. Otros órganos del tacto, los corpúsculos de Meissner tienen fibras helicoidales, rodeadas con una cápsula. Siguen la deformación de la papila. Aparecen en mayor proporción en la palma de las manos, la planta de los pies, en los órganos genitales y el pezón.

En la dermis se ubican receptores sensibles a excitaciones térmicas: los corpúsculos de Ruffini (calor) y los corpúsculos de Krause (frío).

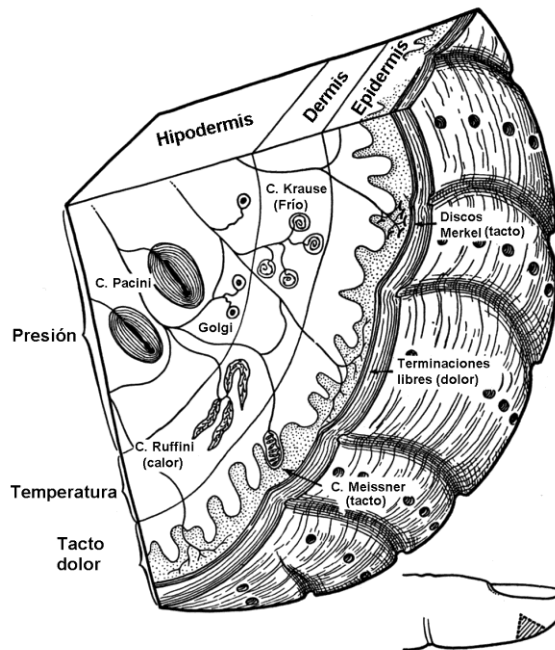


Ilustración 60. Corte esquemático de la piel del dedo.

B. ARCOS REFLEJOS

Funcionalmente, excitan arcos conductores de acción que tienen como misión principal la realización de una actividad determinada y arcos conductores de control que sirven para “controlar” las actividades de los anteriores o bien para realizar el ajuste de múltiples funciones orgánicas autónomas que necesitan una corrección continua para ser fisiológicamente útiles al organismo. La existencia de arcos conductores de acción y de control demuestra que el SNC es una auténtica unidad funcional en su totalidad, ya que los diversos tipos de arcos conductores se influyen mutuamente y, sobre todo, existe entre ellos una verdadera jerarquía funcional. Así, los arcos segmentarios y suprasegmentarios están sometidos al influjo de los arcos totalizadores.

1. Arcos conductores segmentarios

Constituyen la base morfológica y funcional de la actividad segmentaria, caracterizada por su relativa sencillez. El ejemplo más clásico es el del tono muscular o contracción muscular sostenida que, sin producir desplazamientos osteoarticulares, otorga al músculo su característica consistencia, tensión o dureza (Fig. 61).

La actividad segmentaria se realiza por intermedio de un solo segmento medular o mielómero o de su equivalente en el tronco encefálico. El arco conductor segmentario comienza por un receptor sobre el que inciden las terminaciones nerviosas que configuran el huso neuromuscular. Estas terminaciones nerviosas son las prolongaciones periféricas o centrífugas de una neurona en «T» cuyo cuerpo está situado en un ganglio raquídeo posterior. La prolongación central o centrípeta de esta neurona ingresa en la médula espinal por la raíz raquídea posterior.

El grado de tensión del huso neuromuscular captado por el receptor es transformado en impulsos nerviosos que discurren por las prolongaciones de la neurona sensitiva para alcanzar su correspondiente mielómero. Todo ello constituye el brazo aferente del arco conductor. En la médula o en el correspondiente centro reflejo del tronco del encéfalo está la neurona motora (motoneurona), cuyo cilindroeje forma el brazo eferente del arco conductor. Este cilindroeje se dirige de nuevo al músculo, donde, a través de una sinapsis especial (placa motora), contacta con las fibras musculares responsables de la contracción muscular y que representan el órgano efector. Es decir, los impulsos nerviosos del centro reflejo recorren el brazo eferente y excitan al músculo para obtener una tensión adecuada.

Los arcos conductores segmentarios son estructuralmente muy sencillos ya que están formados, en síntesis, por una cadena de dos neuronas que comienzan en la periferia y retornan de nuevo a ella.

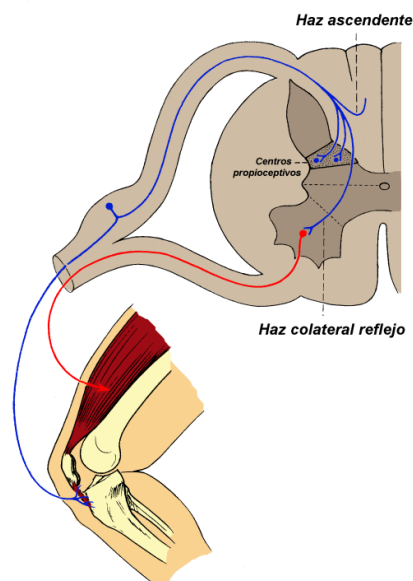


Ilustración 61. Arco reflejo monosináptico.

2. Arcos conductores suprasegmentarios

Constituyen la base funcional suprasegmentaria o multisegmentaria más compleja que la anterior, disponiendo para su servicio de varios segmentos medulares o troncoencefálicos integrados entre sí por medio de neuronas conocidas como intercalares o de asociación. La mayoría de las actividades medulares y troncoencefálicas son de carácter suprasegmentario, perteneciendo a esta categoría casi todos los reflejos que se estudian en fisiología.



Entre ellos, se incluye la reacción de apoyo positiva (Fig. 62). Cuando a un animal de experimentación se le descerebra y se le mantiene suspendido, las patas posteriores adoptan una postura en flexión. Si se les acerca un plano duro, el suelo, etc., tan pronto como la porción distal de sus extremidades toca la superficie de apoyo, se produce una reacción refleja de estiramiento o extensión de los miembros inferiores para intentar sostener el peso del cuerpo. En este caso, los receptores periféricos, localizados en los pequeños músculos de los dedos de los pies, transforman el estímulo del roce o presión en impulsos nerviosos que alcanzan el neuroeje por el brazo aferente (cilindroeje de la neurona sensitiva) de un segmento medular lumbar. Una vez que el impulso alcanza la región lumbar de la médula espinal, informa a las neuronas de asociación existentes. Los cilindroejes de estas últimas difunden la excitación a varios segmentos medulares lumbares estimulando a las motoneuronas del asta anterior, cuyos axones salen por las raíces anteriores formando parte de varios nervios motores que inducen la contracción de los músculos de las extremidades posteriores, especialmente aquellos cuya acción tiene un efecto antigravitatorio.

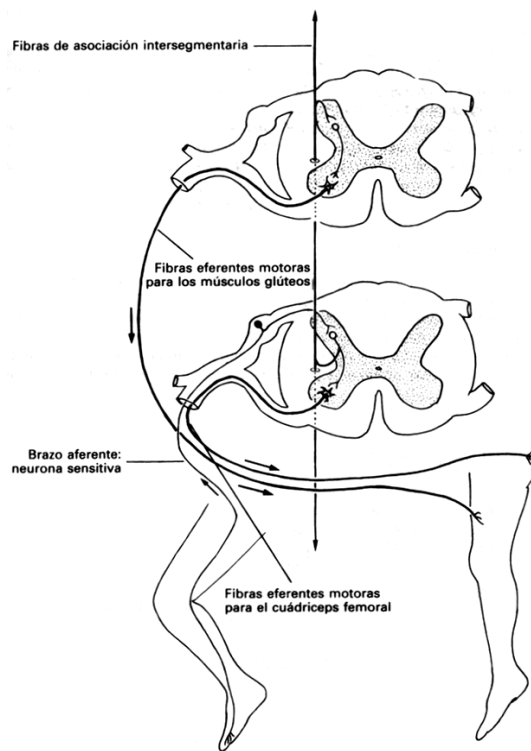


Ilustración 62. Arco reflejo suprasegmentario. Reflejo de apoyo.

Es decir, los arcos suprasegmentarios se caracterizan funcionalmente porque disponen de una cadena de neuronas vinculadas entre sí a partir del centro reflejo, formando redes o circuitos neuronales autorizados para una respuesta múltiple que implica a varios segmentos medulares o troncoencefálicos.

3. Arco conductor totalitario (Fig. 63)

Representa la base estructural de las actividades totalitarias o corticales que afectan todo el organismo ya que una de las estructuras principales que intervienen en su ejecución es la corteza

cerebral, en estrecha relación con los núcleos grises centrales, el hipotálamo, etc., con los que forma una verdadera unidad funcional. Los ejemplos más ilustrativos de estas acciones totalitarias o corticales están representados por la conducta voluntaria y la conducta emocional, cuyas actividades afectan todo el organismo.

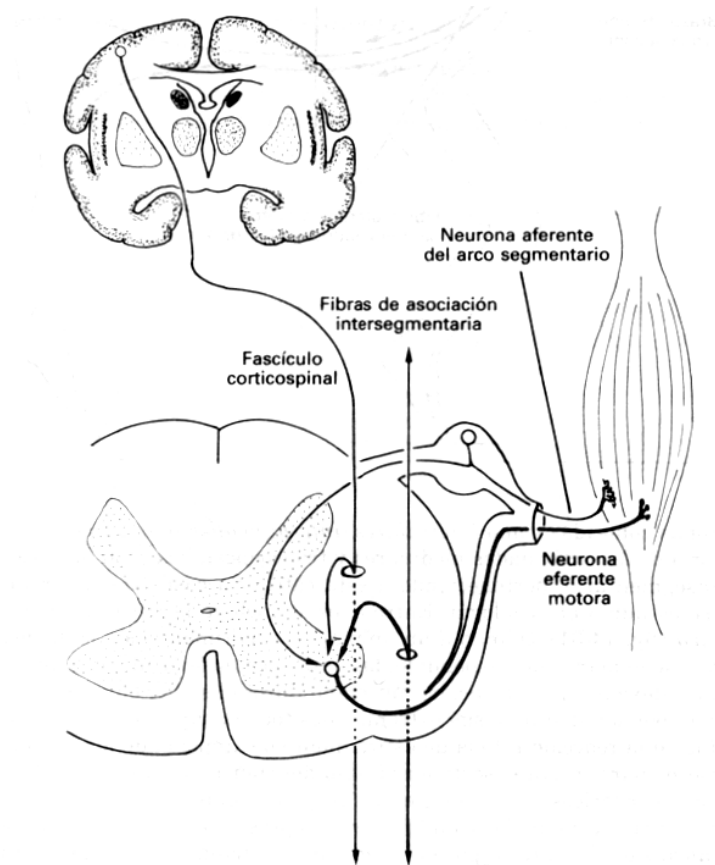


Ilustración 63. Arco reflejo totalitario. La neurona motora recibe influencias de los arcos segmentarios, suprasegmentarios y de la corteza.

C. BASES MORFOLÓGICAS Y FUNCIONALES DE LA MOTRICIDAD

La motricidad está vinculada al funcionamiento del neocórtex y a las restantes estructuras nerviosas que constituyen las bases anátomo-fisiológicas de la actividad voluntaria, entendiendo como tal aquella que habitual y conscientemente se realiza en cada uno de los momentos de la vida cotidiana, resultado de la voluntad de efectuar una actividad concreta.

Para realizar un acto motor destinado a producir modificaciones del medio externo es necesaria inicialmente la intención o voluntad de realizar un movimiento y la activación del sistema motoren el componente somático. La programación o realización final de un acto motor concreto es plenamente consciente, como lo demuestra la dificultad que representa su ejecución cuando se lleva a cabo por primera vez y, más o menos inconsciente, cuando la ejecución motora es aprendida por la repetición y, por ello, automatizada. El ejemplo más ilustrativo puede ser la

dificultad inicial existente al aprender a conducir: en determinados momentos es necesario pisar los pedales para reducir la velocidad, accionar el intermitente y, casi simultáneamente, girar el volante para dirigir el coche en la dirección deseada. Sin embargo, cuando se adquiere la destreza aprendida por la repetición, los actos motores con un orden temporal y que se suceden en un espacio muy corto de tiempo son realizados de forma automática mientras se mantiene una conversación con el acompañante.

Globalmente, el sistema motor está constituido por áreas motoras cerebrales, vías motoras centrales, fibras motoras de los nervios periféricos y elementos del sistema muscular estriado o voluntario.

1. Áreas motoras de la corteza cerebral

Son las zonas de la corteza donde se inician los impulsos nerviosos que, a través de las vías motoras y los nervios periféricos, terminan actuando sobre el sistema muscular voluntario.

Las áreas motoras se encuentran ampliamente distribuidas por todo el neocórtex, coincidiendo en gran parte con las áreas corticales receptoras, mencionadas en apartados anteriores. La coincidencia topográfica de áreas motoras y receptoras (primarias y secundarias), además de poner en evidencia un ejemplo claro de que el SNC funciona como “conjunto”, representa un importante factor para la ejecución y el control del acto motor. Para llevar a cabo un acto motor, en primer lugar hay que conocer qué posiciones ocupan en el espacio las diversas partes del cuerpo, luego imaginar el tipo de movimiento que se desea realizar y, finalmente, guiar el movimiento con los diversos sistemas de información visual, táctil, etc.

Para su correcta ejecución, los actos motores requieren los siguientes aspectos funcionales: dinamización, coordinación, ajuste espacial, ajuste temporal y programación motora global.

La dinamización consiste esencialmente en la “preparación” de los músculos voluntarios del aparato locomotor que intervendrán en un acto motor.

La coordinación es la “colaboración” que debe existir entre los músculos o entre las diversas partes corporales que participaban en el movimiento.

El ajuste espacial del acto motor consiste en adaptar los movimientos que se realizan al sistema de coordenadas espaciales, con el fin de que el acto motor se realice en la dirección y el sentido deseados.

El ajuste temporal se basa en la creación de una secuencia de los movimientos elementales que componen el acto motor, de forma que este aspecto temporal de la motricidad hace que los movimientos elementales se sucedan en un orden adecuado mediante excitaciones e inhibiciones musculares sucesivas.

Por último, la programación motora global es plenamente consciente cuando se realiza un acto motor nuevo y, más o menos inconsciente, cuando la acción motora es aprendida por la repetición o automatizada.

Todos y cada uno de los componentes funcionales de la psicomotricidad anteriores tienen una localización topográfica en áreas corticales cerebrales más o menos específicas. (Fig. 64)



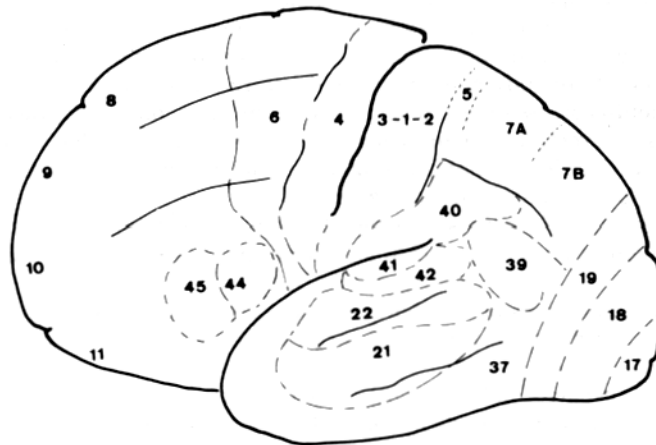


Ilustración 64. Principales áreas corticales.

El **área 4** o circunvolución frontal ascendente representa la puerta principal de salida de los impulsos nerviosos motores destinados a activar y dinamizar el sistema muscular que participa en el movimiento.

En la corteza del lóbulo parietal, las **áreas 3-1-2** o circunvolución parietal ascendente, las **áreas 5 y 7a** o circunvolución parietal superior y el **área 40** o circunvolución parietal inferior representan la amplia zona cortical encargada de la coordinación, ya que gracias a la función sensorio-perceptiva de estas zonas corticales conocemos interiormente nuestro cuerpo, así como la posición que sus diversas partes ocupan en el espacio.

El área de ajuste espacial del movimiento se localiza principalmente en la corteza de la zona de transición entre los lóbulos parietotemporoccipital (**áreas 7b, 39, 37 y 19**), ya que corresponde a la región cortical que interviene en las percepciones visuales y permite guiar visualmente los movimientos así como orientarlos en el espacio.

Las circunvoluciones frontales superior, media e inferior en sus 2/3 posteriores se corresponden con las **áreas 6, 44 y 45** y se encargan del ajuste temporal del acto motor. Por delante, en la zona frontal más anterior, se localiza la región cortical de la programación motora o elaboración de programas de acción (**áreas 8, 9, 10 y 11**).

La estructuración morfofuncional de las áreas corticales motoras, especialmente en el área 4, se caracteriza por controlar los movimientos de la mitad contraria del cuerpo debido a que la vía motora piramidal originada sobre todo (no exclusivamente) en el área 4 se cruza en la parte inferior del bulbo y activa el sistema neuromuscular del lado opuesto del organismo.

La aplicación de estímulos en diferentes puntos del área 4 ha permitido conocer las porciones concretas de dicha corteza que corresponden a las diversas partes del organismo (organización somatotópica) y de cuya representación gráfica resulta un «homúnculo», figura humana deformada en función de la extensión que cada zona del cuerpo ocupa en la corteza motora. Cuando el estímulo se aplica en la zona superointerna del área 4, se producen movimientos en la extremidad inferior contralateral. Si el estímulo se aplica en la zona superior de la circunvolución frontal ascendente (cara convexa), los movimientos se producen en el tronco. En la zona próxima a la cisura de Silvio se encuentra representada la extremidad superior, por lo que su estimulación

origina movimientos en el miembro superior contralateral. Cuando los estímulos se aplican en la parte más inferior del área 4, se desencadenan movimientos de la musculatura masticadora, de la mímica lingual y faringolaríngea.

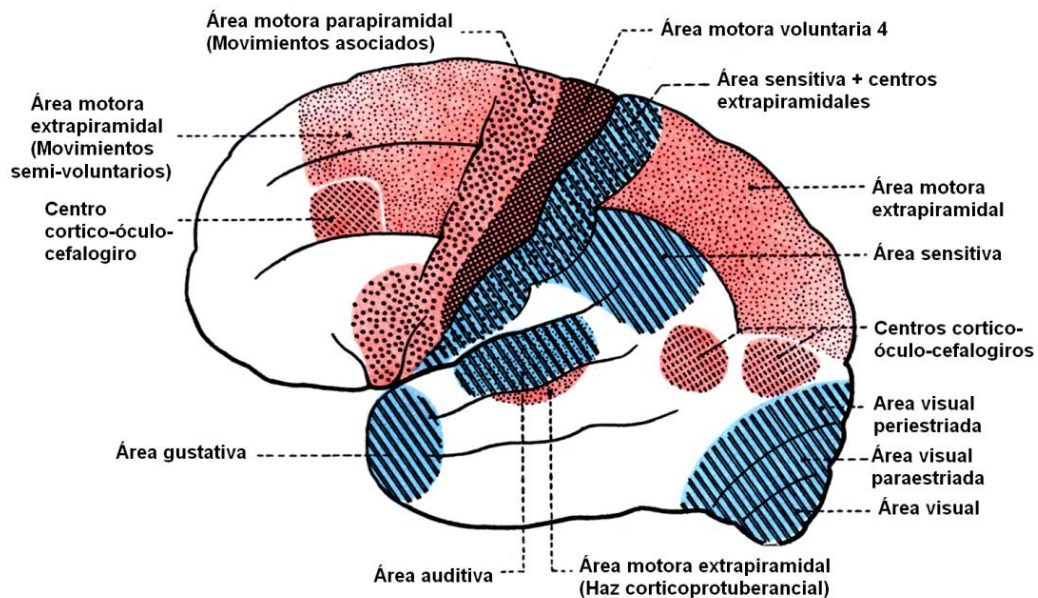


Ilustración 65. Las áreas corticales de la cara externa del cerebro.

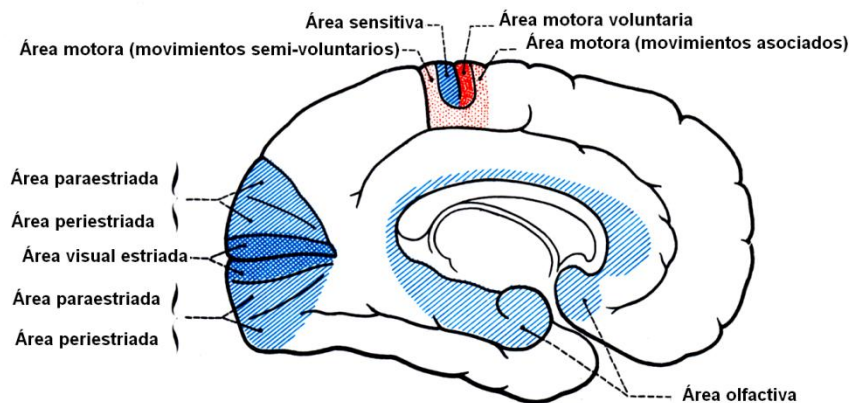


Ilustración 66. Las áreas corticales de la cara interna del cerebro.

En resumen, en el **área 4** hay una representación del cuerpo similar a la existente en las regiones corticales sensorio-perceptivas. Las zonas que representa cada región corporal son tanto más extensas cuanto más finos y diferenciados son los movimientos realizados por una parte del organismo, como lo demuestra el hecho de que la zona cortical, donde están representados la mano y los dedos, es mucho más extensa que el área motora, donde se representa el tronco. (Fig. 67).

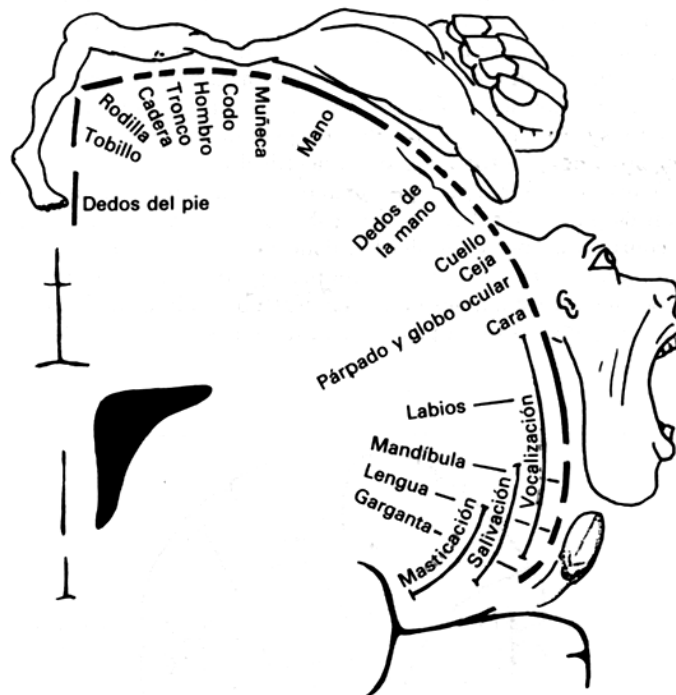


Ilustración 67. Representación somatotópica en la corteza motora, área 4 de Brodmann según Penfield y Rasmussen.

2. Vías motoras centrales

Los impulsos nerviosos motores originados en la corteza cerebral deben recorrer las vías y los nervios motores para activar los diversos grupos musculares voluntarios que intervienen en el acto motor.

Las vías motoras centrales están formadas por los cilindroejes que nacen en las neuronas motoras de la corteza cerebral. Se agrupan formando haces o fascículos y descienden por la sustancia blanca del cerebro, recorren en sentido craneocaudal el tronco del encéfalo y terminan en los diversos núcleos motores o en las astas anteriores de la médula espinal.

Los axones de las células que forman los núcleos motores y las astas anteriores espinales abandonan el neuroeje formando los nervios craneales y las raíces y nervios raquídeos, que alcanzan los músculos estriados estableciéndose un tipo especial de sinapsis denominada unión neuromuscular, cuyo neurotransmisor es la acetilcolina.

La mayoría de los axones que forman las vías motoras se cruzan en los diferentes puntos del SNC y, por esta circunstancia, cada hemisferio cerebral controla la motilidad del hemicuerpo contralateral.

La vía piramidal

La vía motora piramidal se origina principalmente en el área 4 y está formada por los largos axones de las células piramidales de la corteza cerebral, que llegan sin interrupción hasta los núcleos motores de los pares (Fig. 68).

Es una vía monosináptica de conducción muy rápida capaz de poner en marcha movimientos sencillos y bien diferenciados.

Los axones de las neuronas piramidales de un hemisferio cerebral que forman la vía piramidal correspondiente se van agrupando en el seno de la sustancia blanca o centro oval y juntos atraviesan un estrecho corredor conocido con el nombre de cápsula interna, desde donde descienden por el tronco del encéfalo estableciendo sinapsis con los núcleos motores de los pares craneales.

En la parte inferior del bulbo raquídeo, la vía piramidal se cruza en un 90 % y, una vez cruzada la línea media, se coloca en el cordón lateral de la hemimédula contralateral. En la médula, la vía piramidal va desgajando axones en cada segmento, estableciendo sinapsis con las neuronas motoras localizadas en el asta anterior.

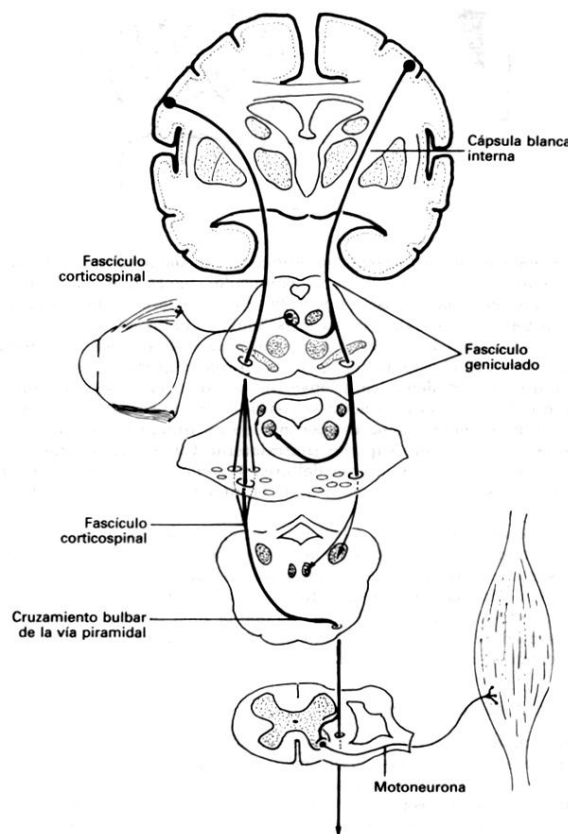


Ilustración 68. Vía piramidal. El fascículo corticoespinal hace sinapsis en motoneuronas del asta anterior de la médula tras cruzarse en un 90 % al nivel bulbar. El fascículo geniculado está destinado a los núcleos motores del tronco cerebral. En el esquema se ha representado una sinapsis en el núcleo oculomotor.

Los axones de las motoneuronas espinales forman primero la raíz anterior y luego los nervios raquídeos, los cuales, a través de los diversos nervios motores periféricos, alcanzan las unidades musculares estriadas o voluntarias.

La vía extrapiramidal

Es una vía motora más compleja, multisináptica porque tiene intercalados numerosos núcleos grises, como el núcleo caudado, el núcleo lenticular, el núcleo rojo, la sustancia negra, etc. Esta característica se traduce, desde el punto de vista neurofisiológico, en una conducción lenta de los impulsos nerviosos motores. La función de estos impulsos extrapiramidales incluye el control de los movimientos complejos que afectan de forma global el tronco y las extremidades, contribuyendo a la personalidad motora individual, en gran parte por constituir la vía de salida de los movimientos automatizados, asociados y expresivos que realizamos habitualmente y que caracterizan a cada persona (Fig. 69).

Este complejo sistema motor está formado por diversos circuitos de retroacción; por ejemplo, de los núcleos caudado y lenticular, que reciben fibras corticales, se desprenden axones que, tras establecer sinapsis en el tálamo, retornan a la corteza cerebral formando un circuito «cortico-núcleo-cortical» cuya finalidad funcional es el autocontrol de la actividad motora cortical. Se pretende así impedir la aparición de movimientos parásitos que influirían negativamente en el normal desarrollo de los actos motores.

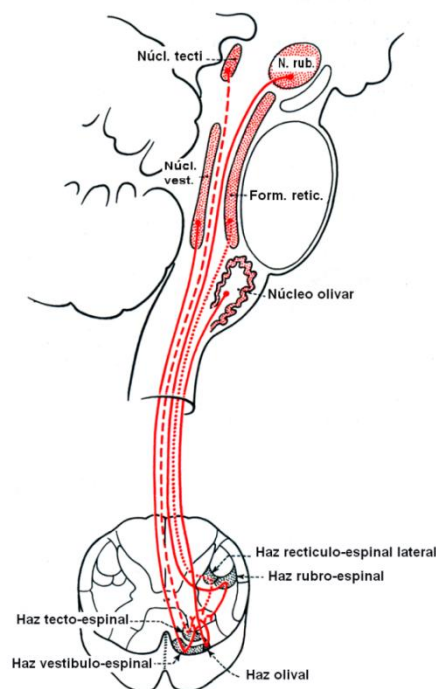


Ilustración 69. Vías extrapiramidales.

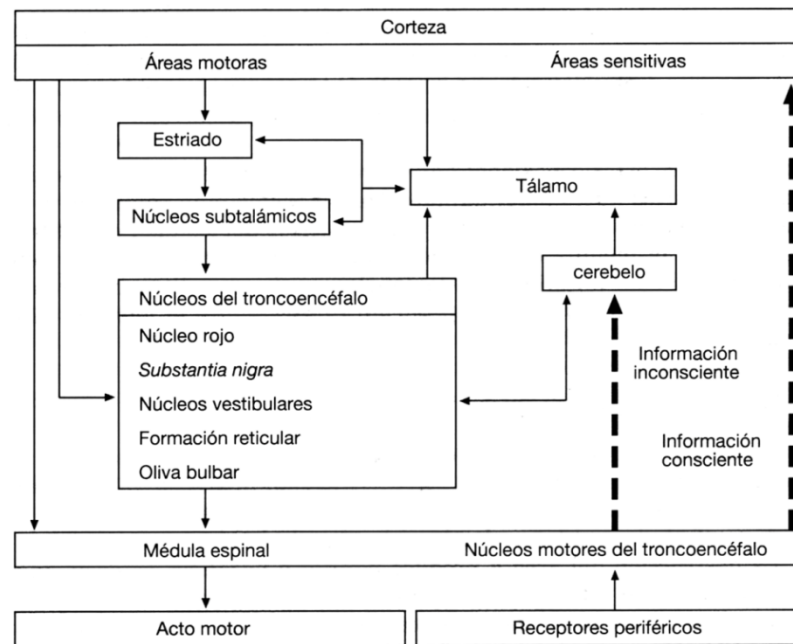


Ilustración 70. Esquema general de las vías aferentes y eferentes. En trazo grueso, vía piramidal (haz corticoespinal). En trazo fino, principales conexiones extrapiramidales. En trazo discontinuo, vías de información (haz espinocerebeloso y haz espinotalámico).

Además de estas conexiones entre circuitos, el sistema extrapiramidal consta de varios haces longitudinales descendentes muy complejos y variados, que ponen en contacto uno o más núcleos del sistema con el troncoencefalo y la médula espinal, actuando en definitiva sobre las motoneuronas del asta anterior o de los núcleos motores del tronco cerebral. Los más representativos son el fascículo rubrospinal y el haz central de la calota.

3. Aspectos clínicos generales

Cuando por alguna causa se produce una lesión que afecta las estructuras que intervienen en la psicomotricidad, aparecen variadas manifestaciones clínicas cuyo análisis permite sospechar y conocer la estructura afectada y el lugar donde se localiza la lesión.

La **destrucción del área 4** produce paresia o parálisis, es decir, incapacidad parcial o total, respectivamente, para activar los músculos correspondientes del hemicuerpo contralateral (hemiparesia o hemiplejía) ya que la lesión cortical anula la función dinamizadora que debía recorrer las vías motoras descendentes.

Las **lesiones en las restantes áreas motoras** producen una desorganización de los actos motores que se denomina apraxia. Los pacientes con apraxia no presentan ningún tipo de parálisis, pero sus movimientos, por fallar parte de los aspectos funcionales, son torpes, carecen de soltura y no se ajustan a la finalidad deseada por el paciente.

La **destrucción de la vía motora piramidal al nivel del hemisferio cerebral** produce una hemiparesia o hemiplejía que afecta la musculatura del hemicuerpo contralateral. Si la lesión de la

vía piramidal se localiza en el tronco cerebral (antes de la decusación), se afectarán los pares craneales del lado de la lesión y la musculatura del hemicuerpo contralateral produciéndose un síndrome alterno. Si la vía piramidal se lesiona en la médula espinal, es decir, por debajo del cruce o decusación, la paresia afectará los músculos del hemicuerpo ipsilateral, y los pares craneales serán normales.

Las **lesiones que afectan la vía extrapiramidal** causan manifestaciones clínicas muy variadas; sin embargo, la enfermedad de Parkinson constituye el ejemplo clínico más típico. En esta enfermedad existe una lesión degenerativa en la sustancia negra, afectándose el desarrollo de los movimientos complejos, sin parálisis, que se traduce en rigidez muscular generalizada, acinesia o lentitud para iniciar los actos motores y temblor como movimiento involuntario sin finalidad. Además, de forma característica se comprueba la ausencia o el empobrecimiento de movimientos asociados, automáticos, etc., que se traducen por una ausencia del movimiento de balanceo de los brazos al caminar, cara amímica o en máscara, etc. La actitud en flexión del tronco y las extremidades pegadas al cuerpo con una marcha anormal, con pasos cortos y rápidos, son otros signos característicos.

D. CIRCUITO LÍMBICO E IMPULSOS PRIMITIVOS

Las conductas reflexivas o voluntarias se inician con la intención subjetiva y consciente de realizar modificaciones del medio externo, con el deseo de satisfacer ciertas necesidades orgánicas y anímicas. Esta impulsividad incluye pulsiones primitivas vitales, entre las que se encuentran necesidades biológicas como el hambre, la sed y la necesidad sexual, destinadas al mantenimiento de la especie y la supervivencia individual, herencia de nuestra ascendencia animal e intereses anímicos característicos de la persona.

La impulsividad primitiva se relaciona con las estructuras nerviosas que en conjunto constituyen el sistema límbico y que describimos anteriormente. Sin embargo, las pulsiones anímicas no tienen una localización concreta y definida en el cerebro.

El circuito límbico, funcionalmente relacionado con las pulsiones primitivas, interviene además en la modulación cerebral de las reacciones emocionales y en las fases de fijación y evocación de la memoria. Desde un punto de vista morfológico está formado por diversos núcleos grises o estaciones sinápticas y varios fascículos o elementos de asociación intralímbicos.

A continuación, se hace referencia a las diversas conexiones extrínsecas o vías de salida de los circuitos destinados a satisfacer necesidades orgánicas, con un breve y simple comentario sobre el funcionamiento general del sistema límbico.

1. Conexiones extrínsecas del circuito límbico

A través de diversas conexiones, el circuito límbico se relaciona con la corteza cerebral, la hipófisis y estructuras localizadas en el tronco del encéfalo y la médula espinal. Por estas conexiones el circuito límbico recibe informaciones y emite impulsos nerviosos capaces de modificar el funcionamiento de todas las estructuras que forman el neuroeje. Por ser estas conexiones funcionalmente «dobles», constituyen vías de salida y entrada del sistema límbico.



El circuito recibe conexiones de ciertos sectores corticales especialmente localizados en la región orbitaria del lóbulo frontal, zona anterior del lóbulo temporal, y envía fibras nerviosas de retorno al neocórtex a través de las cuales se relaciona con las vías motoras, de forma que las activaciones del sistema límbico pueden repercutir sobre el sistema muscular estriado o voluntario. Esta relación funcional neocórtex-circuito límbico-neocórtex se conoce con el nombre de salida neocortical.

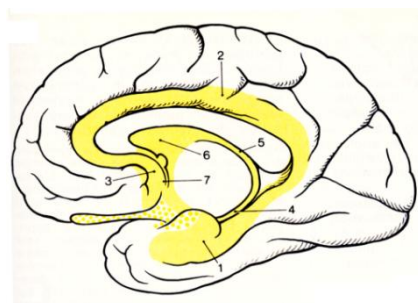
La salida medular y troncoencefálica se localiza en el área mesencefálica del circuito, desde donde se desprenden haces nerviosos descendentes que conducen impulsos nerviosos eferentes desde el sistema límbico hasta grupos neuronales ubicados en la sustancia gris del tronco del encéfalo y de la médula espinal. De estos grupos neuronales parten axones que, a través de los nervios vegetativos o autónomos, alcanzan las vísceras y los vasos y los inervan.

La salida hormonal se produce a partir del hipotálamo, donde se elaboran hormonas importantes como la oxitocina y la hormona antidiurética (ADH), que son almacenadas en el lóbulo posterior de la hipófisis o neurohipófisis. Estas hormonas son secretadas al sistema circulatorio, a través del cual llegan sus órganos diana, que son, en el primer caso, el útero grávido, provocando las contracciones del parto, y en el segundo, el riñón, regulando la eliminación de agua.

En el hipotálamo, además, se elaboran otras sustancias hormonales que, siguiendo el sistema venoso porta hipotálamo-hipofisario, alcanzan el lóbulo anterior o adenohipófisis estimulando la producción de hormonas tropas hipofisarias. Éstas se encargan de regular la actividad de otras glándulas endocrinas o de secreción interna, como las glándulas tiroides, suprarrenales y gonadales. Por esta vía de salida, el circuito límbico actúa especialmente sobre la glándula tiroides incrementándose la secreción de tiroxina, sobre las cápsulas suprarrenales aumentando la secreción de cortisol y sobre el componente endocrino del testículo y ovario.

2. Esquema funcional general del circuito límbico

Entre las estructuras encefálicas que forman el circuito límbico (Fig. 71) existen grupos neuronales cuya estimulación es vivenciada en forma de una necesidad vital. Contrariamente existen otros grupos de núcleos neuronales que, cuando son estimulados, inhiben esta necesidad vital provocando la sensación de saciedad. El ejemplo más concreto e ilustrativo que demuestra la relación funcional entre el circuito límbico y la impulsividad está representado por el control cerebral del hambre o la sed.



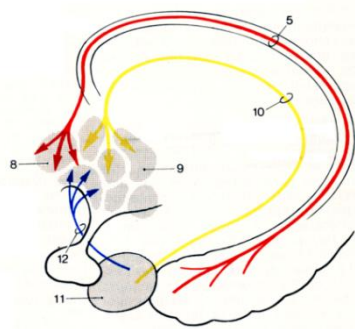
REGIONES CORTICALES DEL SISTEMA LIMBICO

- 1 - Circunvolución del parahipocámpico
- 2 - Circunvolución del cíngulo
- 3 - Área subcallosa
- 4 - Hipocampo
- 5 - Fórnix
- 6 - Región septal
- 7 - Circunvolución paraterminal

Ilustración 71. Sistema límbico.

En el hipotálamo, el centro del hambre se localiza en el denominado núcleo lateral hipotalámico. El centro de la saciedad se localiza en el núcleo ventromediano hipotalámico.

El núcleo lateral y ventromediano del hipotálamo (Fig. 72) están funcionalmente relacionados y se inhiben mutuamente; además, utilizando las vías de salida descritas antes provocan las reacciones corporales vinculadas al hambre y a la saciedad. Por ejemplo, la excitación del núcleo hipotalámico lateral produce sensación de hambre y provoca contracciones gástricas e intranquilidad por excitación general del sistema motor. Al contrario, la estimulación del núcleo hipotalámico ventromediano se acompaña de sensación de plenitud, relajación y pereza motora, tan característica de los periodos postprandiales.



CONEXIONES ENTRE SISTEMA LÍMBICO E HIPOTÁLAMO

- 5 - Fórnix.
- 8 - Núcleo pre-óptico
- 9 - Tuber Cinereum
- 10 - Estria terminal
- 11 - Cuerpo amigdalino
- 12 - Fibras ventrales amigdalofugas

Ilustración 72. Conexiones entre hipotálamo y sistema límbico.

La excitación de un núcleo y la inhibición del otro ocurre fisiológicamente de acuerdo con un ritmo biológico autónomo que es influido por estímulos excitadores o inhibitorios de carácter humoral, como la cantidad de glucosa en sangre, e interoceptivos ligados especialmente a la distensión gástrica por una comida copiosa. Por ejemplo, la disminución de la cantidad de glucosa en sangre es el estímulo humoral que excita el centro del hambre e inhibe el centro de la saciedad, impulsando al individuo a comer.

La elevación de la cifra de glucosa, como estímulo humoral, y la distensión gástrica, estímulo interoceptivo consecuente a la ingestión de alimentos, estimulan el centro de la saciedad e inhiben el del hambre, provocando en la persona la sensación de plenitud después de una comida apetitosa.

Sin embargo, en la corteza existen grupos neuronales activadores del hambre y grupos responsables de la saciedad, cuya función principal es regular el hambre en relación con normas de comportamiento, adaptando el ritmo biológico hipotalámico a las normas y circunstancias que la sociedad poco a poco va imponiendo a los individuos.

Un esquema funcional similar rige el resto de las pulsiones primitivas como la sed, la necesidad sexual, etc., aunque lógicamente los centros nerviosos que las rigen son diferentes y topográficamente se ubican en otras zonas o regiones del SNC.

En resumen, existen estructuras intralímbicas cuya excitación o inhibición es vivida como una necesidad orgánica primitiva o como una sensación de saciedad. Estas excitaciones o inhibiciones suelen ser biológicamente rítmicas y están influidas por diversos estímulos, existiendo centros

neocorticales que regulan estas estructuras intralímbicas con el fin de que las pulsiones primitivas sean satisfechas en los momentos, lugares y circunstancias que las normas sociales imponen.

3. Respuestas emocionales: afectos y estados de ánimo

Los afectos y los estados de ánimo constituyen dos tipos de conductas emocionales. Los afectos son crisis emotivas, de duración limitada, que se acompañan de importantes manifestaciones expresivas somáticas, como sucede en la alegría, la cólera, etc. Sin embargo, el temple anímico o los estados de ánimo (optimismo, pesimismo, etc.) son persistentes en el tiempo y las manifestaciones somáticas son menos llamativas.

En conjunto, los afectos y los estados de ánimo, que oscilan entre dos extremos opuestos (depresión-exaltación), no tienen representación cerebral concreta.

4. Bases morfofuncionales de los afectos

Las regiones encefálicas relacionadas con los afectos y su somatización se localizan en el circuito límbico. Actualmente se desconocen cuáles son los procesos neurofisiológicos concretos que, desarrollándose en el sistema límbico, son los equivalentes cerebrales de los fenómenos psíquicos que suceden en el interior del individuo durante la crisis afectiva. Los procesos neurofisiológicos alcanzan las diversas estructuras corporales periféricas que hacen posible la expresión externa o somatización de los afectos.

Inicialmente los impulsos nerviosos desencadenados en determinadas zonas del circuito límbico alcanzan las áreas corticales motoras y, a través de las vías motoras (piramidal y extrapiramidal), llegan a los músculos voluntarios produciéndose el gesto y la mímica emocional tan característica de los estados de alegría, cólera, agresividad, etc.

Asimismo, la actividad cortical alcanza el hipotálamo por diversos haces córtico-hipotalámicos que forman parte del circuito. Los impulsos nerviosos que alcanzan el hipotálamo a través de diversas vías actúan sobre las vísceras, produciéndose respuestas características que, en conjunto, constituyen la participación visceral de los afectos.

La respuesta vagoinsulínica, caracterizada por la activación general del sector parasimpático, origina bradicardia, incremento de la motilidad intestinal, etc., manifestaciones que acompañan a ciertas conductas emocionales de naturaleza placentera, estados de abatimiento, etc.

En la respuesta simpática adrenérgica se produce una activación del sector simpático que provoca taquicardia, aumento de la sudoración, piloerección, etc., por incremento en la secreción de catecolaminas de la médula suprarrenal (adrenalina y noradrenalina). Son efectos característicos de las reacciones afectivas de agresividad, furia, etc.

La respuesta hipofisocorticosuprarrenal se caracteriza por la secreción hipotalámica de factores liberadores que alcanzan la adenohipófisis a través del sistema porta hipofisario, induciendo la secreción de ACTH. Esta hormona actúa sobre la corteza suprarrenal provocando un incremento de la secreción de glucocorticoides, inductores de innumerables cambios metabólicos en todo el organismo. Este tipo de respuesta se produce paralelamente a los efectos simpáticos adrenérgicos, en particular en reacciones de tipo colérico o agresivo.



Las reacciones afectivas de miedo y ansiedad se caracterizan por respuestas simultáneas de actividad simpática y parasimpática, apareciendo una mezcla de síntomas que pertenecen a manifestaciones de ambos sectores del sistema nervioso autónomo o vegetativo.

En resumen, los fenómenos que se desarrollan internamente durante las crisis afectivas excitan la corteza del circuito límbico, donde se generan impulsos nerviosos que se dirigen a la periferia, alcanzando la musculatura estriada, las vísceras, los vasos y las glándulas endocrinas.

Al proceso iniciado en el sistema nervioso y que termina en las diversas estructuras periféricas se le denomina somatización o repercusión corporal de las emociones, cuya expresión más visible está representada por los gestos y la mímica.

5. Bases morfofuncionales de los estados de ánimo

Normalmente las personas se mantienen con un temple anímico o humor básico estable y más o menos duradero a lo largo de la vida, que puede oscilar entre dos extremos contrapuestos, que son la exaltación, por exceso, y la depresión, por defecto.

La exaltación, clínicamente denominada manía, se caracteriza por sobrevaloración excesiva, optimismo exagerado, hiperactividad motora, logorrea, etc.

La situación contraria o depresión se caracteriza por inhibición psicomotriz, desánimo, tristeza, infravaloración de la propia persona, ideas de suicidio, etc. La base patológica de estas alteraciones es de carácter fundamentalmente bioquímico, apareciendo por disfunciones de diversos grupos neuronales troncoencefálicos encargados de sintetizar aminas biógenas, especialmente serotonina, dopamina y acetilcolina, principales moduladores bioquímicos de las funciones del circuito límbico.

A lo largo del tronco del encéfalo existen grupos de neuronas que pertenecen a la formación reticular. Estas neuronas, mediante axones ascendentes, establecen sinapsis con neuronas corticales del circuito límbico, ganglios basales e hipotálamo. Emiten también axones descendentes, que hacen sinapsis con neuronas localizadas en la sustancia gris de la médula espinal. Las aminas biógenas elaboradas en las células de la formación reticular son transportadas por los axones ascendentes y descendentes para ser liberadas en las uniones sinápticas, regulando así y modulando la actividad de las estructuras nerviosas con las que establecen la sinapsis. (Fig. 73).



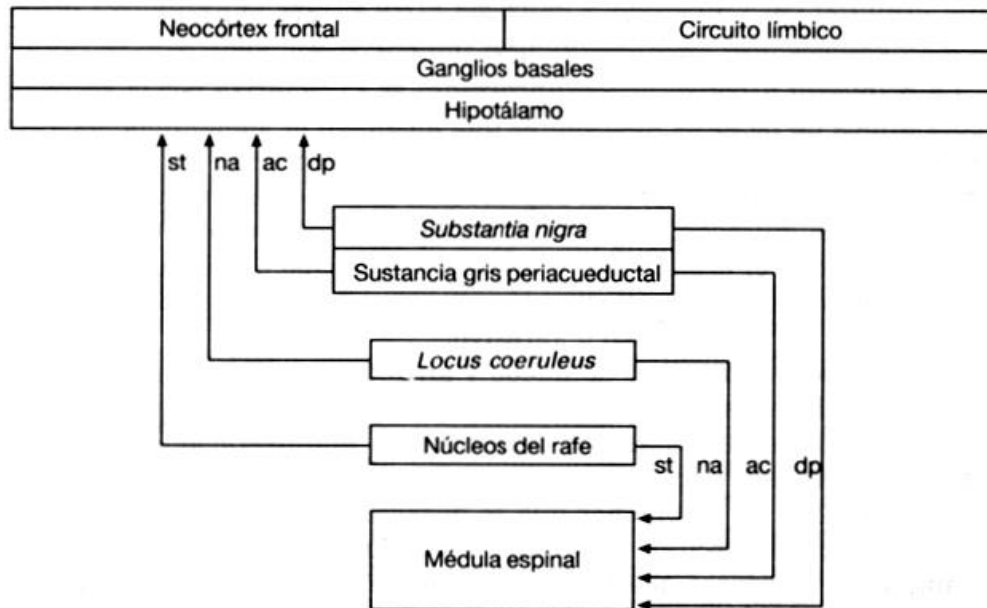


Ilustración 73. Conexiones extralímbicas y sus neurotransmisores. ST: serotonina; NA: noradrenalina; AC: acetilcolina; DP: dopamina.

Las neuronas productoras de serotonina forman parte de los núcleos del rafe; las encargadas de la producción de noradrenalina se localizan en el locus coeruleus, próximo a la superficie del IV ventrículo, al nivel de la protuberancia; las neuronas dopaminérgicas se ubican en la sustancia negra del pedúnculo cerebral y los grupos neuronales productores de acetilcolina se encuentran en el mesencéfalo, en la proximidad del acueducto de Silvio.

En condiciones normales, las personas viven con un temple anímico estable, duradero y equilibrado gracias al normal funcionamiento neuronal de la formación reticular, que asegura un equilibrio entre las diversas aminas biógenas.

La disminución de serotonina y noradrenalina inhibe funcionalmente el núcleo amigdalino, los núcleos de la región septal, parte anterior del hipocampo y parte de la corteza frontal anterior (neocórtex), todas ellas estructuras que forman parte del sistema conocido como “gratificante”. Por otra parte, el déficit de estas aminas biógenas lleva a una hiperactividad funcional del sistema “aversivo”, poco conocido y mal definido anatómicamente. En consecuencia, la disminución de serotonina y noradrenalina conduce a un estado depresivo.

Por el contrario, el exceso de noradrenalina induce la hiperactividad del sistema “gratificante” y el consecuente estado de euforia característico de las fases maníacas de algunas enfermedades psiquiátricas (psicosis maníaco-depresiva).

V. CONCIENCIA

Se denomina así a la capacidad de conocer directamente los objetos que constituyen el entorno inmediato y nuestro propio organismo o, más simplemente, la capacidad para conocer el medio ambiente y la propia persona. Esta capacidad oscila cíclicamente entre dos estados contrapuestos: velar y dormir con una periodicidad denominada ritmo vigilia-sueño o ritmo nictemeral.

La conciencia es una función compleja, es la combinación de gran número de actividades del sistema nervioso que permiten a éste dar una significación, y, por tanto, suministrar una respuesta apropiada a estimulaciones variadas, visuales, auditivas o táctiles.

Existe una estratificación jerárquica de los estados de conciencia, y un aspecto elemental es el examen neurológico. Este examen es fundamental, y la investigación de un trastorno de la conciencia constituye el paso previo a todo examen neurológico, la carencia de cooperación del enfermo impide ciertas exploraciones, pero da a otras una gran importancia.

En la regulación y modulación de los estados de activación-sueño interviene la formación reticular del tronco cerebral, sobre todo los núcleos cuyas neuronas producen serotonina y noradrenalina.

La vigilia se considera el estado durante el cual existe activación de los sistemas informantes y de las vías motoras. Esta activación se debe a la acción excitadora noradrenérgica que sobre la corteza cerebral y sobre las vías eferentes de información ejercen los axones de las neuronas que forman el locus coeruleus, situado en la región superolateral de la protuberancia, en la proximidad del IV ventrículo.

El sueño se considera el estado en el que existe un bloqueo de las vías aferentes y la corteza cerebral por la acción inhibitoria de la serotonina, liberada de los axones que nacen de neuronas situadas en la porción superior o mesencefálica de los núcleos del rafe.

En resumen, el locus coeruleus y los núcleos del rafe se influyen mutuamente en sentido contrario: el locus coeruleus inhibe funcionalmente a los núcleos de rafe y viceversa. La noradrenalina tiene acción activadora y es fundamental para mantener el estado de vigilia. La serotonina tiene una acción esencialmente inhibitoria induciendo la iniciación y el mantenimiento del sueño.

Por otra parte, el locus coeruleus y los núcleos del rafe reciben conexiones de la corteza cerebral y de los sistemas de información, de modo que el funcionamiento rítmico está modulado por neuronas corticales y de los núcleos sensitivos de las vías de información.

Estas circunstancias explican por qué el ritmo nictemeral es sólo relativamente autónomo y que, según las circunstancias, puede modificarse fácilmente.

El ciclo velar-dormir puede ser modificado por estímulos externos o internos. Los ambientes donde predominan los estímulos como luz, ruidos, etc. o la existencia de un dolor intenso dificultan el sueño, ya que la actividad de las vías de información y de la corteza cerebral alcanza y activa el locus coeruleus.



Las estructuras que permiten mantener el estado de vigilia forman parte del sistema reticular activador ascendente (SRAA), que se extiende desde la región posterior bulbopontina, con sus núcleos reticulares, hasta el mesencéfalo y parte posterior del diencefalo, desde donde se proyecta difusamente hacia la corteza cerebral. Por este motivo, las lesiones que afectan las estructuras del SRAA y las lesiones difusas que afectan ambos hemisferios cerebrales producen un estado clínico denominado coma, caracterizado porque el paciente está inconsciente, con desconocimiento del medio ambiente y de sí mismo y no puede responder adecuadamente a los estímulos externos.

Los datos actuales permiten separar los mecanismos responsables de la vigilia y los responsables del sueño, que descansan sobre sistemas de organización diferentes.

A. EL SISTEMA DE ALERTA (O DE VIGILANCIA)

Este sistema corresponde a la formación reticular activadora ascendente (SRAA) situada en toda la altura del tronco cerebral (Fig. 74).

Esta formación está prolongada anatómicamente y fisiológicamente por ciertos núcleos talámicos (núcleos intralaminares, centro mediano, núcleo reticular, etc.) y por los núcleos dorsales del hipotálamo. La existencia de un segundo sistema activador, situado en la región límbica, es discutida. La sustancia reticulada está caracterizada, esencialmente, por sus proyecciones difusas; influye por este hecho al conjunto del sistema nervioso; en efecto, es a la vez responsable de la activación del encéfalo, de la electrogénesis cortical y del índice de eficiencia a nivel de la médula.

Está constituida por gran número de neuronas, habiendo muchas conexiones entre ellas que reciben múltiples aferencias; todas las vías sensitivas y sensoriales, principalmente, le envían colaterales. Su actividad está constantemente mantenida por numerosos estímulos. Esta verdadera «vía final común» de las informaciones sensoriales es responsable de la reacción de alerta y del mantenimiento del estado de vigilia por un bombardeo continuo de la corteza cerebral. Sin embargo, la sustancia reticulada ascendente activadora no es un todo homogéneo y las secciones experimentales del tronco cerebral producen efectos diferentes según su nivel. Así, las lesiones bulbares y de la parte caudal de la protuberancia no producen trastornos de la conciencia. A la inversa, las lesiones de la parte alta del tronco cerebral y, principalmente, las que se sitúan en la unión del mesencéfalo y del diencefalo producen trastornos severos de la conciencia. Esta heterogeneidad de la SRAA hace comprender la existencia de estados disociados entre la actividad del comportamiento, la electrogénesis cortical, la actividad medular.



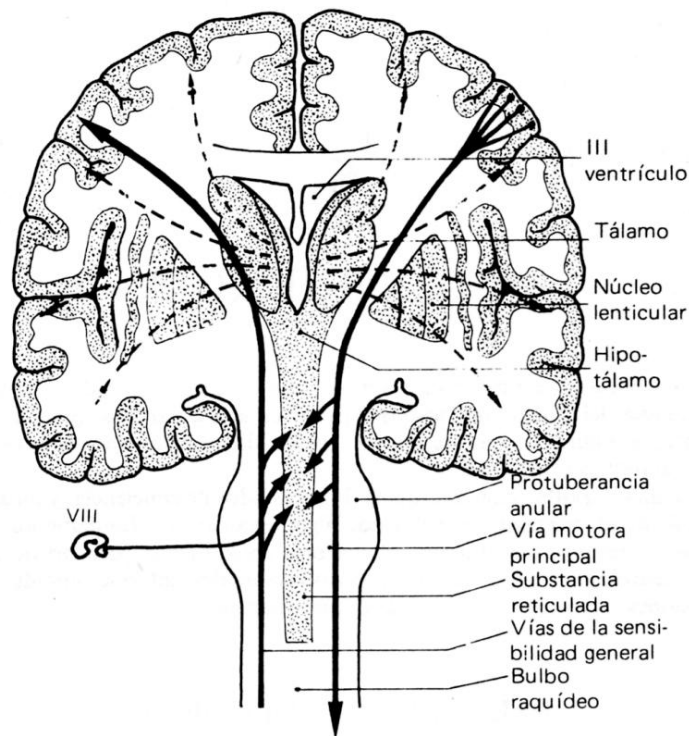


Ilustración 74. La formación reticular del tronco cerebral. Obsérvense las proyecciones corticales difusas.

La SRAA constituye el sistema de alerta; los estados creados por las lesiones de este sistema no deben ser asimilados al sueño, sino a la privación de vigilia (avigilia).

B. SISTEMA DE SUEÑO

El estado de vigilia está interrumpido de manera cíclica por el sueño. El sueño es un proceso activo, que corresponde a una suspensión de actividad a nivel de la duración del sueño comportamental. Es de instalación progresiva en minutos, repitiéndose periódicamente.

1. Tipos de sueño

El sueño de ondas lentas

Constituye el 70 a 80 por ciento a una fase de sueño lento. En el EEG se registra una actividad cortical, diencefálica y mesencefálica rápida y de bajo voltaje. Esta actividad contrasta con una total atonía muscular. Además, esta fase está marcada por la aparición de movimientos rápidos de los ojos. Corresponde a los períodos de ensueño; este sueño paradójico es una función primordial de la que no puede privarse más de algunos días.



El mecanismo íntimo y la función respectiva de estos dos tipos de sueño están todavía mal dilucidados. Sin embargo, es probable que dependan de la función de estructuras anatómicas diferentes.

Los trabajos de la escuela de Jouvét han llamado la atención sobre la función de un sistema de sincronización situado en la sustancia reticulada bulbopontina (núcleos de rafe medio).

Estas estructuras hipnógenas actuarían por intermedio de mecanismos neurohumorales. Los cuerpos celulares de las neuronas del rafe son particularmente ricos en serotonina, por otra parte, que la depleción de estas neuronas por inhibidores de la síntesis de la serotonina ocasiona un insomnio. Sin embargo, la corteza cerebral no puede ser ajena de los procesos de adormecimiento; es de comprobación frecuente que las estimulaciones soporíferas son ineficaces en sujetos fuertemente movidos a permanecer despiertos. Esta noción de receptividad cortical es importante tenerla en cuenta.

La existencia de un control cortical de la actividad reticular ha sido demostrada experimentalmente. Este bucle corticoreticulocortical (circuito de repercusión) permite proponer el siguiente esquema: la activación de las estructuras hipnógenas bulbopontinas, por intermedio de una modulación neuroquímica, produce la sincronización cortical según el estado de receptividad de éste. Proyecciones corticofugas inhibitorias deprimen la SRAA, lo que da lugar a que las influencias hipnógenas sean eficaces en el plano del comportamiento.

Sueño de actividad rápida

Corresponde del 20 al 30 por ciento. La característica más específica de este estado de sueño es la aparición de ondas lentas en el EEG, primero intermitentes y agrupadas en husos, después confluentes y de alto voltaje (sincronización). Esta actividad lenta puede ser registrada a nivel cortical y a nivel subcortical.

La fase paradójica sería debida a la función periódica, en el curso del sueño, de neuronas situadas a nivel de la formación reticulada pónica (la lesión selectiva de la parte dorsolateral del tegmentum pónico ocasiona la supresión del sueño paradójico). En este centro de desencadenamiento del sueño rápido, los cuerpos celulares de las neuronas son particularmente ricos en catecolaminas.

Así, a los dos tipos de sueño parecen corresponder estructuras anatómicas y mecanismos neurohumorales diferentes.

2. Separación de los trastornos del sueño y de la vigilancia

Este recuerdo fisiológico, permite separar los trastornos de la vigilancia, de los trastornos del sueño.

El coma no es una exageración de los mecanismos normales del sueño. Corresponde a la ausencia de actividad o a la actividad perturbada del sistema de alerta.

Los trastornos del sueño no son más que la sustitución de una actividad por otra organización funcional, cuyo mayor criterio es su reversibilidad en todo momento.



C. ELECTROENCEFALOGRAFÍA: ELECTROENCEFALOGRAMA NORMAL

El trazado EEG de un sujeto normal, adulto, despierto, en reposo sensorial con los ojos cerrados, se caracteriza por el ritmo alfa que ocupa los dos tercios posteriores del cráneo; se registran ritmos beta en las regiones frontales y rolándicas y ritmos teta en las regiones temporales.

El registro confirma la reactividad del trazado: suspensión del ritmo alfa reemplazado por ritmos rápidos al abrir los ojos; influencia de la estimulación luminosa intermitente que suspende la actividad alfa. A veces, cuando la estimulación es a una frecuencia diferente de la normal, por influencia de la hiperpnea por ejemplo, se puede influenciar en el niño y en un menor grado en el adulto, a producir actividades EEG más lentas, más amplias y más regulares.

El estudio semiológico del sueño y de los trastornos de la conciencia lleva a conocer las relaciones que existen entre las variaciones de la vigilancia y algunas modificaciones del trazado EEG. Estas relaciones se conocen bien por los trazados del sueño:

- Estado I (adormecimiento): corresponde a la desaparición del ritmo alfa y a la generalización de una actividad rápida que demuestra la desincronización del trazado.
- Estado II (sueño ligero): se caracteriza por el desarrollo de una actividad lenta, de 4 a 6 c/s.
- Estado III: esta actividad es más lenta y más generalizada. En los estados II y III brotes rítmicos a 14 c/s (husos del sueño) y figuras complejas de comienzo paroxístico (complejos K) vienen a sumarse al trazado.
- Estado IV: caracterizado por una lentificación más marcada del trazado, no aparecen estos accidentes intermitentes. Estos diversos aspectos del sueño lento, deben distinguirse de los periodos de activación difusa que caracterizan los periodos de sueño rápido o de sueño paradójico en los que se han mostrado las relaciones con los movimientos oculares y la actividad onírica.

En el curso del desarrollo, la maduración de las estructuras encefálicas va a la par con una modificación progresiva del EEG: en el prematuro se registran actividades rápidas, poco amplias y no sincronizadas. En el niño recién nacido, la actividad EEG es amplia, lenta e inestable. Durante la primera infancia hasta los 2 ó 3 años, el EEG se acelera y tiende a organizarse en forma de un ritmo de 4 ó 5 c/s. El ritmo alfa aparece hacia la edad de 5 años. Después la evolución prosigue hasta la edad adulta.



VI. MEMORIA

Se designa con este término, el complejo fenómeno neurológico de evocar las percepciones unitarias grabadas con anterioridad en las unidades gnósticas de la corteza cerebral y retener las nuevas.

Las fases más importantes de la memoria son: fijación o adquisición de las percepciones, conservación o retención, reproducción o reactivación de las percepciones conservadas y reconocimiento de las impresiones que produjeron. Sin embargo, desde un punto de vista clínico, es habitual distinguir una memoria de corto plazo o fijación y una memoria de largo plazo o retención.

La memoria a corto plazo es parte de la actividad espontánea que se produce gracias a que las neuronas corticales son excitadas por el circuito límbico a través de colaterales que, desde la sustancia blanca del hemisferio cerebral, alcanzan áreas neocorticales receptoras primarias y secundarias. La circulación repetitiva de impulsos nerviosos entre los complejos neuronales constituye un elemento imprescindible en la fijación de la información.

Las lesiones que afectan el circuito límbico (tubérculos mamilares, hipocampo, circunvolución del cíngulo, etc.) cursan clínicamente con alteraciones de la memoria caracterizadas por la imposibilidad de formar nuevos recuerdos, mientras que la memoria de los hechos antiguos, ya grabados, está conservada. Esta situación se produce en el alcoholismo crónico y forma parte de las manifestaciones del síndrome de Wernicke-Korsakoff.

En la retención a largo plazo, el mantenimiento de la actividad neocortical por parte del circuito límbico va produciendo la consolidación de conexiones neuronales intracorticales que terminan formando circuitos. Estos circuitos son el sustrato morfológico del almacenamiento de la información. Hipotéticamente, la retención puede deberse a uno o dos fenómenos: cambios morfofisiológicos de la sinapsis que unen entre sí las neuronas implicadas en las redes o circuitos y/o formación de proteínas que distinguen bioquímicamente las neuronas de un circuito determinado.

En resumen, la formación de conexiones neuronales intracorticales por actividad permanente del circuito límbico y/o la formación de proteínas específicas para cada recuerdo son los aspectos parciales conocidos que parecen intervenir en la retención o memoria a largo plazo.

A. CAPACIDAD PROYECTIVA

La capacidad proyectiva o futurizante de las personas está representada por la facultad de poder predecir, proponer o proyectar estrategias intelectualmente destinadas a resolver problemas mediante la creación de proyectos de acción y orientación hacia el futuro.

El sector más anterior de los lóbulos frontales, situado por delante de las áreas motoras y sensitivas, y conocido como lóbulo prefrontal, se relaciona con la capacidad de las personas para analizar las consecuencias y los resultados de una acción antes de que se produzca. Es un aspecto fundamental de las funciones intelectuales superiores.



Funcionalmente, la corteza prefrontal se relaciona mediante fascículos de asociación con el resto del lóbulo frontal, con los lóbulos parietal y occipital (fascículo longitudinal superior) y con el lóbulo temporal mediante el fascículo frontotemporal y el haz uncinado. Además, el lóbulo prefrontal mantiene conexiones con diversas estructuras del circuito límbico, como el hipotálamo, el núcleo amigdalino, núcleos septales, etc.

Estas conexiones funcionales entre el neocórtex y el paleocórtex establecen la relación entre las conductas emocionales e impulsivas y la vida racional de la persona.

Estos hechos son especialmente evidentes en la organización del actomotor por parte de la corteza prefrontal que, como ya comentamos, se encarga de la elaboración de dicho acto motor o del esquema general de acción que lleva implícita la capacidad proyectiva o de futurización. Cuando por cualquier causa se lesionan los lóbulos prefrontales, aparecen una serie de manifestaciones clínicas que, en conjunto, se denominan síndrome frontal anterior.

De forma característica en este síndrome no existen alteraciones motoras ni sensitivas deficitarias, siendo muy evidentes las alteraciones intelectuales con falta de iniciativa y espontaneidad, así como cambios importantes de la personalidad.



VII. FUNCIONES SUPERIORES

Para organizar la sensación en forma de conocimiento y someter la acción a un plan determinado, se necesita la capacidad de integrar las diversas aportaciones sensoriales, conservar todas experiencias sucesivas y resumir los esquemas sensoriomotores en una síntesis siempre renovada. Esta capacidad tiene lugar en la red de neuronas que constituyen la corteza cerebral. La función de los dispositivos inscritos en la corteza, se encarga también de la capacidad de prever, de imaginar, de representarse un objeto visto anteriormente y una acción ficticia. Y por último también hace posible el desarrollo del lenguaje, medio de expresión y de comunicación y soporte privilegiado del pensamiento.

La neuropsicología trata de las funciones superiores en sus relaciones con las estructuras cerebrales. Recibe de la psicología su lenguaje, pues la semiología se valora en términos de comportamiento. De la neurología, toma referencia constante de la lesión o de la desorganización fisiológica que es responsable de los trastornos.

La descripción de la afasia, de la apraxia y de las agnosias ha demostrado la especialización de ciertas regiones de la corteza y la dominancia de un hemisferio para las formas más elaboradas de la actividad cerebral del hombre. Si lesiones limitadas de la corteza cerebral dan lugar a la realización de estas actividades, en cambio, el lenguaje, la actividad gestual, el conocimiento del cuerpo o la del mundo exterior, precisan del funcionamiento cerebral en su conjunto.

A. RELACIONES DEL NEOCÓRTEX Y DEL CEREBRO LÍMBICO

El cerebro primitivo donde están inscritos los comportamientos necesarios para la supervivencia de la especie es la fuente de las emociones y de las reacciones afectivas. El ajuste recíproco de las pulsiones que en él tienen lugar y los tipos de conducta que la experiencia y la educación han inscrito en el neocórtex determinan la personalidad y motivan el comportamiento del hombre.

El sistema límbico tiene bajo su dependencia la motivación, la atención selectiva, las reacciones emotivas y la selección de las respuestas que caracterizan el aprendizaje. Un dispositivo elaborado somete su funcionamiento a la dialéctica de la recompensa y del castigo.

La destrucción bilateral del hipocampo y del núcleo amigdalino determina en el mono una docilidad no habitual, una exacerbación del comportamiento sexual y una exploración compulsiva de objetos por el tacto u oralmente, mientras no sean comestibles (síndrome de Klüver y Buey). La corteza límbica, principalmente la corteza orbitoinsular y el gyrus cingular, constituye la unión entre el cerebro primitivo y el neocórtex. Mediante su función el neocórtex somete los comportamientos instintivos a las reglas de la educación. Por el contrario, las mismas vías mantienen la dimensión afectiva que personaliza la experiencia y que motiva la acción.

Especialización funcional en los hemisferios cerebrales

El área somestésica situada por detrás de la cisura de Rolando, el área auditiva situada en la cara superior del lóbulo temporal (circunvolución de Heschl) y el área visual situada en la cara interna del lóbulo occipital (cisura calcarina) reciben las informaciones procedentes de los núcleos específicos del tálamo (Fig. 75).



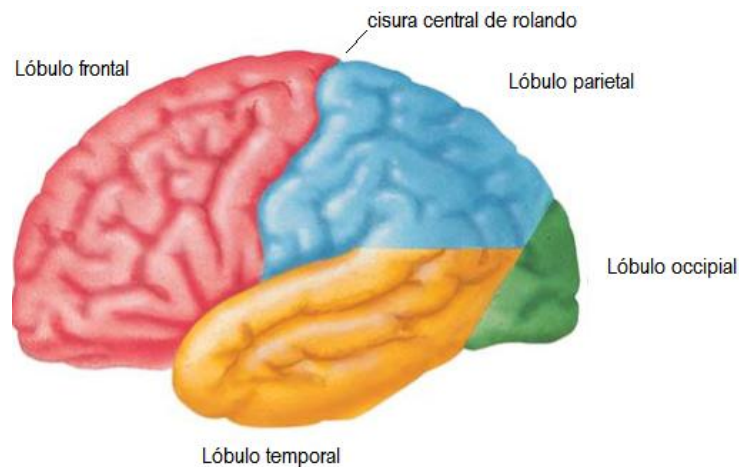


Ilustración 75. Representación gráfica de los lóbulos cerebrales.

Entre estas áreas de proyección primaria, la mayor parte del lóbulo parietal, del lóbulo occipital y del lóbulo temporal constituyen la corteza asociativa. La corteza asociativa se conecta con las áreas de proyección primaria; pero también recibe aferencias talámicas procedentes de los núcleos de convergencia; por último, numerosas vías unen las diferentes regiones asociativas. La corteza asociativa es el lugar donde se constituyen las uniones sinápticas y de las convergencias polisensoriales que hacen posible la identificación cognoscitiva. Igualmente, conserva los esquemas sensoriomotores que presiden la realización del gesto o de la expresión.

El lóbulo parietal interviene de manera preferente para el conocimiento del cuerpo, el dominio de las informaciones espaciales y el control del gesto. El lóbulo occipital y su prolongación subtemporal, están especializados en el conocimiento visual. La función del lóbulo temporal está orientada hacia las informaciones auditivas y las actividades del lenguaje (Fig. 76).

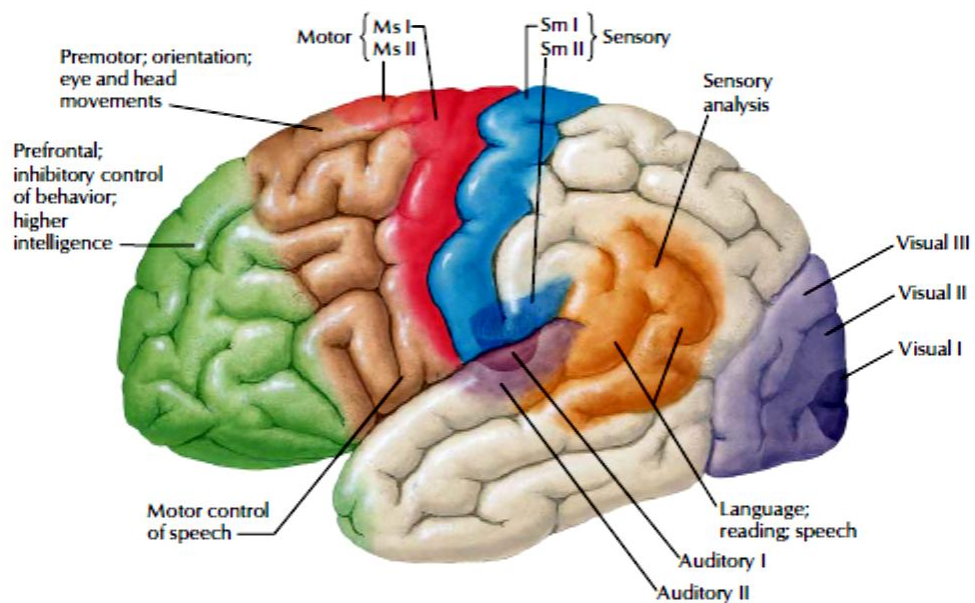


Ilustración 76. Representación gráfica de las áreas de control en los lóbulos cerebrales.

Mediador del primitivo y del nuevo cerebro, el lóbulo frontal somete a su control las conductas instintivas. Simultáneamente, ejerce sobre el resto del encéfalo una influencia que favorece la acción y la intención y se opone a una sujeción de los esquemas perceptivo-motores elementales. Las consecuencias de una lesión frontal son: la inhibición de las actividades gestuales y del lenguaje, las estereotipias verbales y gestuales y la incapacidad de una actividad programada.

El lóbulo frontal proporciona al cerebro del hombre el medio de superarse y de acceder al dominio de la inteligencia creativa; es el soporte de la atención selectiva, de la motivación y el organizador de la memoria.

B. LATERALIZACIÓN FUNCIONAL Y PAPEL DEL CUERPO CALLOSO

El hemisferio izquierdo del individuo diestro interviene de manera predominante en el lenguaje y en el control de la actividad gestual proposicional. Por el contrario, el hemisferio derecho se encarga de los datos visuoespaciales, las actividades musicales y del reconocimiento de los rostros.

El estudio de las secciones del cuerpo calloso ha permitido conocer mejor la naturaleza de esta especialización hemisférica (Fig. 77).



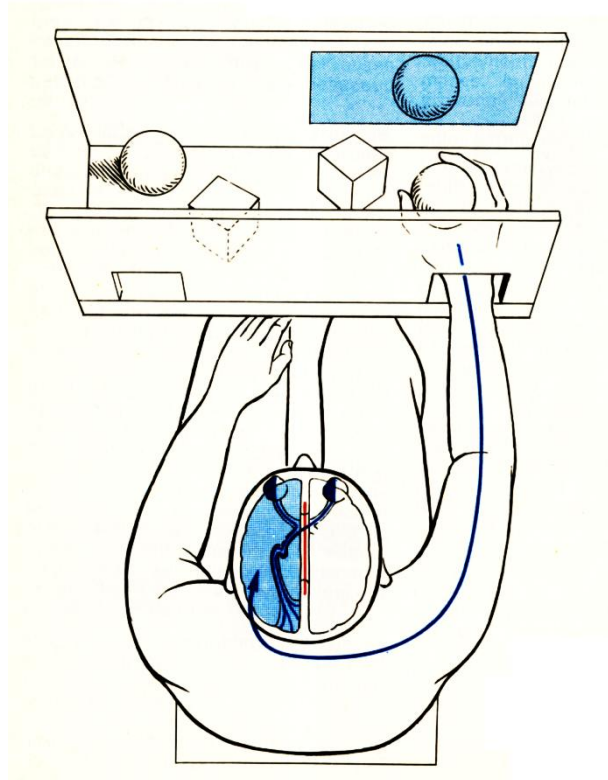


Ilustración 77. La lateralidad cerebral.

En un animal en el que se ha seccionado el quiasma óptico, los estímulos visuales procedentes de un ojo alcanzan exclusivamente la corteza occipital homolateral. Tapando sucesivamente cada uno de los ojos, es posible en cada hemisferio conocer una mancha discriminativa visual diferente. Normalmente, la capacidad adquirida por un hemisferio es transferida al otro sin que sea necesario realizar un aprendizaje. Esta transmisión no se produce si el cuerpo calloso ha sido seccionado. Por un aprendizaje táctil se han hecho constataciones análogas.

La pérdida de transferencia interhemisférica de las informaciones ha sido confirmada en sujetos que han sufrido una sección del cuerpo calloso para el tratamiento de una epilepsia.

En ausencia de control visual, el sujeto no puede indicar el punto del hemicuerpo contralateral que ha sido estimulado, no puede escoger en un conjunto un objeto idéntico al que se le ha colocado en la otra mano. La lateralización del lenguaje aumenta en el hombre las consecuencias de la sección.

Después de la sección del cuerpo calloso un objeto colocado en la mano derecha o proyectado de tal forma que sea visto por el hemisferio izquierdo, es inmediata y correctamente nombrado; colocado en la mano izquierda o percibido en el campo izquierdo, no puede ser nombrado aunque ha sido identificado, puesto que puede ser seleccionado entre otros por la mano izquierda; los dispositivos del hemisferio derecho son capaces de identificar los objetos, de clasificarlos según su forma y de reunirlos en función de su uso, permitiendo al paciente relacionar el nombre escrito de un objeto con la imagen de este objeto; pero todas estas operaciones se desarrollan sin que el nombre del objeto o la palabra escrita pueden ser formulados oralmente.

Las nociones de especialización hemisférica y de dominancia no deben hacernos olvidar que, en el cerebro normal, los dos hemisferios cerebrales participan conjuntamente en la percepción y en la acción. Los mecanismos que mantienen en cada instante la activación de uno y otro hemisferio intervienen de forma determinante en el desarrollo normal y patológico de las actividades superiores.

C. EL LENGUAJE

El lenguaje, rasgo específico del ser humano, implica el funcionamiento individual y la colaboración de diferentes áreas cerebrales motoras perceptivas, constituyéndose una auténtica unidad funcional. Tanto la evolución general como individual permiten distinguir dos fases o aspectos del lenguaje: el lenguaje hablado, el primero que utilizó la humanidad y el primero que emplea el ser humano en sus primeros años de vida y el lenguaje escrito, que se elabora y aprende más tarde.

El lenguaje se relaciona estrechamente con diversas áreas corticales que, en el 95 % de las personas, se sitúan en el hemisferio cerebral izquierdo, denominado también dominante en función de esta circunstancia.

1. Bases morfofuncionales del lenguaje hablado

Los sonidos emitidos con el habla son recogidos por el caracol y transformados en impulsos nerviosos que, a través de la vía acústica, alcanzan las áreas receptoras auditivas primarias (áreas 41 y 42) ubicadas en el labio inferior de la cisura de Silvio, en el lóbulo temporal. En estas áreas los impulsos nerviosos son transformados en sensaciones auditivas de voces humanas. Para su interpretación, las sensaciones auditivas son difundidas hacia las áreas receptoras secundarias del lóbulo temporal (áreas 21 y 22) del hemisferio cerebral dominante y que se conoce con el nombre de área de Wernicke.

Para la difusión de las sensaciones auditivas (áreas 41 y 42) al área auditiva o centro de Wernicke (áreas 21 y 22) existen conexiones interzonales (intrahemisféricas). Los haces procedentes de las áreas 41 y 42 del hemisferio cerebral no dominante alcanzan el área de Wernicke a través de fibras interhemisféricas que pasan por el cuerpo calloso.

En el área de Wernicke se llevan a cabo el análisis de las unidades fónicas elementales y la integración de los fonemas en unidades superiores que constituyen sílabas y palabras, haciendo posible su interpretación o asociación de las palabras con un contenido significativo, gracias a las conexiones o relaciones funcionales existentes entre el centro de Wernicke y las restantes áreas de la corteza cerebral.

La pronunciación requiere la evocación de las palabras, por lo que intervienen el área de Wernicke y otras áreas perceptivomotoras que controlan los elementos integrantes del aparato fonoarticular, es decir, músculos espiratorios, musculatura laringofaríngea, palatina y linguolabial, ya que inicialmente se forma un sonido laríngeo básico que necesita ser articulado en las cavidades faríngea y bucal para formar fonemas, sílabas y palabras.

En la función y el control del sistema fonatorio intervienen las zonas corticales motoras donde están representadas las estructuras que participan en la fonación y la articulación del lenguaje y



que se corresponden con la porción más inferior del área 4 de ambos hemisferios cerebrales, encargada de dinamizar los sistemas musculares contralaterales; es decir, el área izquierda moviliza la musculatura fonatoria del lado derecho y viceversa.

La porción posterior de la circunvolución frontal inferior (áreas 44 y 45) o centro de Broca, junto con la zona inferior de la circunvolución parietal (áreas 3-1-2 y 40) del hemisferio dominante, se encargan de crear las melodías cinéticas y coordinar los diferentes músculos que intervienen en la fonación. La conexión entre las diferentes áreas de un hemisferio y las del hemisferio contralateral se realiza a través de fibras de conexión interhemisféricas que pasan por el cuerpo calloso.

La historia del lenguaje establece dos principios fundamentales:

- La actividad del lenguaje hace que intervenga todo el encéfalo, desde dispositivos elementales del tronco cerebral a las redes sinápticas infinitamente elaboradas de la corteza cerebral.
- La actividad del lenguaje está a todos los niveles en una relación establecida entre la expresión y la percepción. Esta relación encuentra su cima en el neocórtex asociativo.

Los dos polos alrededor de los cuales se organizan los dispositivos corticales del lenguaje son el área de Broca y la zona de Heschl (Fig. 78).

El área de Broca es la zona motora que asegura el control fonético de la expresión. La zona de Heschl es la zona receptiva donde el mensaje es codificado en función de sus constituyentes fonéticos y fonémicos. Alrededor de estas dos zonas, la corteza se organiza para constituir dos sistemas.

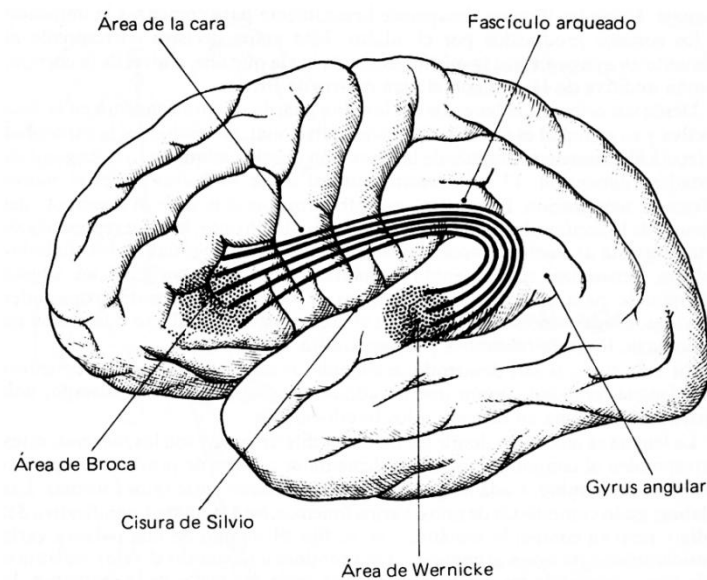


Ilustración 78. Áreas anatómicas del lenguaje (Según N. Geschwind).

El sistema posterior rodea la zona de Heschl. Ocupa la parte vecina de las circunvoluciones temporales superiores y se prolonga por el pliegue curvo hacia las circunvoluciones parietales inferiores. Este sistema asegura la retención inmediata del mensaje auditivo. Inscribe las relaciones entre los esquemas perceptivomotores del lenguaje y los esquemas análogos que han organizado el conocimiento de los objetos y del espacio. Las conexiones con las regiones vecinas de la corteza temporal, de la corteza parietal y de la corteza occipital son el soporte de estas adquisiciones.

El sistema anterior es el nivel más elevado de los mecanismos que controlan la vocalización. Como el área motriz suplementaria, pertenece al lóbulo frontal. En su función está involucrada la expresión. En el lóbulo frontal radica la iniciación verbal.

Mantiene una jerarquía de los esquemas, oponiéndose a las perseveraciones fonémicas o verbales, a los deslizamientos e imprecisiones semánticas, para asegurar la coherencia de la frase y su fidelidad a la intención.

Entre el sistema posterior, perceptivo, que administra el material verbal que constituye el substrato táctico de la lengua y el sistema anterior, expresivo, dedicado a la estrategia de la comunicación, las relaciones son incesantes.

El modelo interno que sirve de plan para el desenvolvimiento fonémico, verbal, sintáctico de la frase en curso, igual que el lenguaje interior, que da su forma al pensamiento, no pertenece de manera exclusiva a la expresión o a la percepción. Uno y otro se apoya en los dispositivos que mantienen al ajuste recíproco de los aspectos intencional y atencional del lenguaje. Estos dispositivos movilizan las vías de asociación que unen entre ellos las diversas regiones de la corteza.

Intervienen también las estructuras subcorticales: numerosos datos clínicos y experimentales han demostrado la función de los núcleos grises centrales (núcleo caudado, putamen y tálamo) en el funcionamiento del lenguaje.

Los dos hemisferios cerebrales no participan igualmente en esta. La dominancia del hemisferio izquierdo para el lenguaje está programada genéticamente como la preferencia manual. Se inscribe desde el nacimiento bajo la forma de una superficie más extensa del plano temporal (región de las circunvoluciones temporales superiores que rodean la zona de Heschl) (Fig. 79).



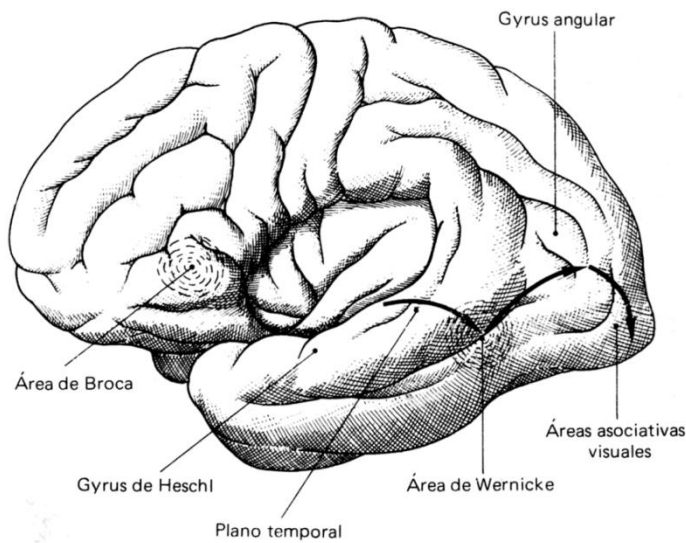


Ilustración 79. La cara externa del lóbulo temporal está reclinada visualizándose la cara superior (según N. Geschwind).

La semiología del lenguaje patológico tiene un interés diagnóstico y pronóstico. Además tiene la ventaja de descubrir algunos de los secretos de la vida del cerebro normal.

PARA SABER MÁS

¿Quieres saber más sobre la patología del lenguaje? Consulta la carpeta de patología del SNC.

2. Bases morfofuncionales de la lectura

Para la lectura, los estímulos recogidos en la retina son transformados en impulsos nerviosos. Por vía óptica, alcanzan las áreas visuales receptoras primarias (áreas 17, 18 y 19) de ambos hemisferios cerebrales, donde se producen las sensaciones visuales de los trazos o rasgos elementales que forman un escrito. La transformación de las sensaciones visuales elementales en percepciones escriturales (letras, sílabas, palabras, etc.) se realiza en el área 39 o centro de Déjérine. Los impulsos nerviosos que alcanzan las áreas receptoras visuales primarias llegan al área 39 a través de conexiones intrahemisféricas; las procedentes del hemisferio contralateral lo hacen a través del cuerpo caloso.

El centro de Déjérine es el encargado de interpretar los diferentes signos gracias a la relación funcional que mantiene con los centros de Broca y Wernicke. Además, el área 39 es imprescindible para poder recordar los grafemas utilizados en la escritura (Fig. 80).



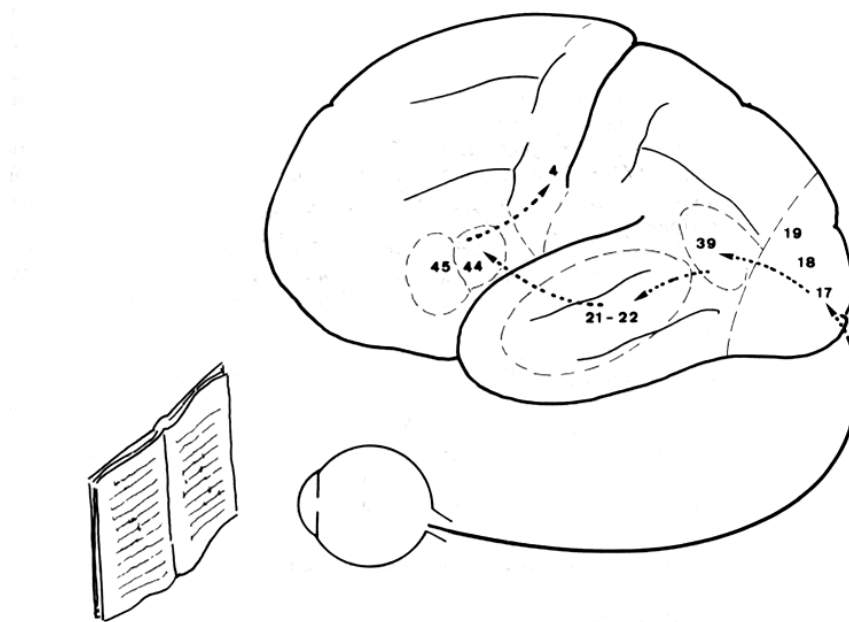


Ilustración 80. Principales áreas cerebrales que intervienen en la lectura de un texto.

3. Bases morfofuncionales de la escritura

La escritura requiere la evocación de ideas o palabras que han de ser codificadas con diferentes grafismos, lo que inicialmente implica la activación de los centros de Wernicke, Broca y Déjérine. A continuación deben activarse las áreas encargadas de organizar la motricidad de la mano y los dedos.

La dinamización de este sistema muscular manodigital es realizada por el hemisferio dominante en las áreas sensitivomotoras, donde están representadas la mano y los dedos (área 4). La organización de los movimientos de estos grupos musculares es llevada a cabo por la segunda circunvolución frontal (área 6 o centro de Exner), zona central del lóbulo parietal (áreas 3-1-2 y 40) y el área 39 o centro de Déjérine.

El centro de Exner se encarga de crear las melodías cinéticas; la zona cortical parietal coordina y armoniza el sistema muscular que interviene en la escritura, y el centro de Déjérine lleva a cabo la guía y el control visual en la construcción de los rasgos aislados de los grafemas y la correcta utilización del espacio disponible para la escritura.

VIII. FUNDAMENTOS MORFOLÓGICOS Y FUNCIONALES DEL DOLOR

El dolor es un síntoma complejo y multidimensional, determinado no sólo por el daño tisular y la nocicepción, sino también por las creencias y experiencias personales previas, la personalidad, el afecto, las motivaciones, el medio ambiente y las relaciones interpersonales.

La experiencia dolorosa y su interpretación por parte del terapeuta manual en la práctica clínica, es uno de los elementos determinantes para la toma de decisiones relativas a la exploración y al tratamiento. Para desarrollar este proceso de razonamiento es necesario comprender los mecanismos neurofisiológicos y fisiopatológicos asociados al dolor.

En general, el dolor puede considerarse una consecuencia inevitable de la vida cuyo papel inicial y fundamental, como reacción biológica adaptativa, es la protección física del organismo ante una agresión o una enfermedad.

Para evaluar y tratar correctamente el dolor, éste debe considerarse como un fenómeno biopsicosocial, es decir, compuesto por múltiples dimensiones que interactúan en la persona que padece dolor. A continuación enumeramos las distintas dimensiones:

- Dimensión fisiológica. Hace referencia a la causa orgánica del dolor. Sus componentes incluyen: localización, inicio, duración y tipo.
- Dimensión sensorial. Se entiende como aquello que siente quien padece dolor. Sus componentes son intensidad, cualidad y características.
- Dimensión afectiva. El dolor se traduce en sufrimiento y altera el estado emocional del individuo, asociándose al temor, la ansiedad y la depresión.
- Dimensión cognitiva. Se basa en el significado del dolor y los procesos de pensamiento relacionados con él. Incorpora elementos como opiniones, actitudes y creencias.
- Dimensión conductual. La experiencia dolorosa se relaciona con la expresión conductual del dolor.
- Dimensión sociocultural. Comprende los aspectos etnoculturales, demográficos, espirituales, sociales y ambientales.

La transmisión de la sensibilidad dolorosa o nociceptiva se realiza a través de las vías sensitivas protopáticas que se inician en receptores ampliamente distribuidos por el organismo y terminan difusamente en la corteza cerebral. El esquema general es semejante al descrito para la sensibilidad general: una cadena de tres neuronas lleva el estímulo desde los receptores a la corteza.

A. RECEPTORES Y NEURONAS AFERENTES PRIMARIAS

La aplicación de un estímulo nocivo desencadena en ciertas neuronas sensoriales primarias una serie de impulsos nerviosos que, a través de diferentes estaciones sinápticas, alcanzan estructuras nerviosas centrales, como el asta posterior de la médula espinal, el tálamo y la corteza cerebral.



El cuerpo de la primera neurona aferente se encuentra localizado en los ganglios raquídeos de las raíces dorsales medulares. Los axones que de ellos parten son fibras de pequeño diámetro, mielinizadas (fibras A δ) y amielínicas (fibras C) que se distribuyen hacia la periferia (prolongación axonal periférica) (Tabla 1). Las prolongaciones centrales de estas neuronas, a través de la correspondiente raíz dorsal, se dirigen hacia la sustancia gris del asta posterior de la médula. La prolongación axonal periférica de la neurona aferente primaria se ramifica ampliamente por las diferentes estructuras internas que, en forma de terminaciones libres, se sitúan entre las células epidérmicas constituyendo los receptores del dolor.

TIPO	VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN (M/S)	DIÁMETRO (μ M)	FUNCIONES	MIELINA
Fibras A:				
Alfa (α)	70 – 120	12 – 20	Motoras, músculo esquelético	Sí
Beta (β)	40 – 70	5 – 12	Sensitivas, tacto, presión, vibración	Sí
Gamma (γ)	10 – 50	3 – 6	Huso muscular	Sí
Delta (δ)	6 – 30	2 – 5	Dolor (agudo, localizado), temperatura, tacto	Sí
Fibras B	3 – 15	< 3	Autónomas preganglionares	Sí
Fibras C	0,5 – 2	0,4 – 1,2	Dolor (difuso, profundo), temperatura, autónomas postganglionares	No

Tabla 1: Clasificación de las fibras nerviosas.

Debido a este doble sistema de inervación para el dolor, un estímulo doloroso brusco origina con frecuencia una “doble” sensación de dolor: un dolor rápido y agudo que se transmite al cerebro por medio de las fibras A δ , seguido (un segundo después aproximadamente) por un dolor lento conducido por la vía de las fibras C. El dolor agudo avisa rápidamente a la persona de la existencia de un elemento lesivo y, por tanto, de la conveniencia de reaccionar de inmediato y alejarse del estímulo. El dolor lento tiende a acentuarse con el tiempo; el resultado final consiste en el sufrimiento intolerable de un dolor muy prolongado que obliga al sujeto a buscar alivio del dolor.

Después de penetrar en la médula espinal por las raíces dorsales, las fibras del dolor terminan en las neuronas de las astas dorsales. También aquí existen dos sistemas que procesan las señales dolorosas que se dirigen hacia el encéfalo.

1. Haz neoespinotalámico del dolor agudo

Las fibras dolorosas rápidas de tipo A delta (δ) transmiten, sobre todo, el dolor mecánico y el dolor térmico agudo. Estas fibras terminan principalmente en la lámina I (lámina marginal) de las astas dorsales de la médula, donde excitan a las neuronas de segundo orden del haz neoespinotalámico. De ellas parten fibras largas que cruzan inmediatamente al lado opuesto de la médula por las comisuras anteriores y luego ascienden en dirección al tronco encefálico por las columnas anterolaterales (Figura 81).



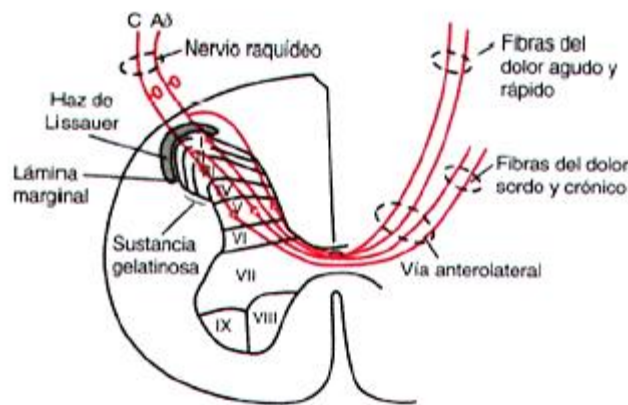


Ilustración 81. Transmisión de los dos tipos de impulsos del dolor (agudo y rápido, sordo y crónico).

Una vez en el tronco encefálico, algunas fibras del haz neoespinotalámico acaban en la formación reticular del tronco encefálico, pero la mayoría llega hasta el tálamo y termina en el complejo ventrobasal junto con la vía de la columna dorsal-lemnisco medial que conduce las sensaciones táctiles. Algunas fibras terminan también en el grupo nuclear posterior del tálamo. Desde estas áreas talámicas se transmiten los impulsos hacia otras áreas basales del cerebro y a la corteza somatosensitiva (Figura 82).

El neurotransmisor empleado en la sinapsis medular en esta vía es el Glutamato. Es de corta duración, unos milisegundos, siendo el encargado del dolor rápido y agudo.

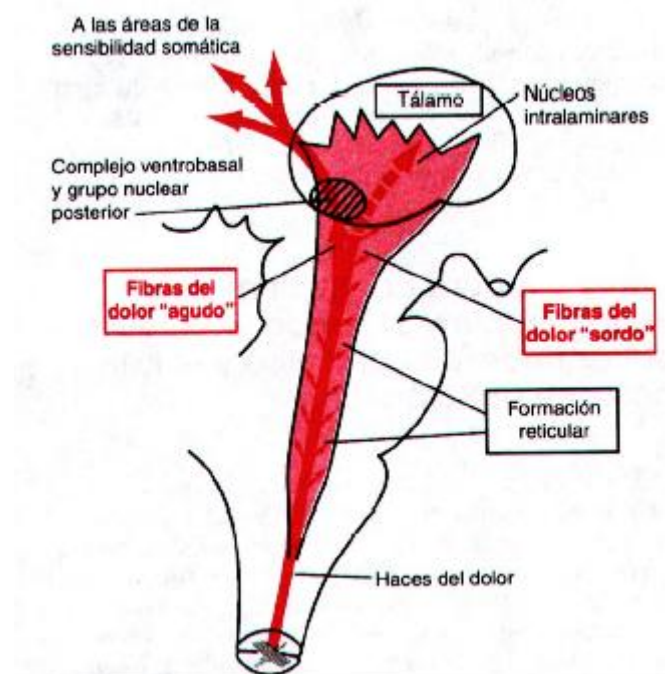


Ilustración 82. Transmisión de las señales del dolor hasta el tronco encefálico, el tálamo y la corteza cerebral de ambas vías dolorosas.

2. Vía paleoespinotalámica para el dolor sordo y crónico

Esta vía es un sistema más antiguo y conduce el dolor sordo y crónico a partir, sobre todo, de las fibras de tipo C, aunque también transmite algunas señales procedentes de las fibras de tipo A δ . Las fibras periféricas de esta vía terminan en las láminas II y III de las astas dorsales que, en conjunto, se denominan sustancia gelatinosa. Después, la mayoría de las señales atraviesa una o más neuronas adicionales de axón corto del interior de las astas dorsales antes de penetrar en la lámina V, situada también en las astas dorsales. Aquí, la última neurona de la serie emite axones largos que, en su mayoría, se unen a las fibras de la vía rápida, atravesando primero la comisura anterior hasta el lado contrario de la médula y ascendiendo, seguidamente, hasta el encéfalo por esa misma vía anterolateral.

Una vez en el tronco encefálico, la vía paleoespinotalámica termina en una extensa zona del tronco encefálico. Sólo de una décima a una cuarta parte de las fibras llegan hasta el tálamo, mientras que las demás terminan principalmente en tres áreas:

- Los núcleos reticulares del bulbo, la protuberancia y el mesencéfalo.
- El techo del mesencéfalo, en la profundidad de los tubérculos cuadrigéminos superior e inferior.
- O en la sustancia gris que rodea el acueducto de Silvio.

Estas regiones inferiores del encéfalo ayudan a distinguir los diversos tipos de dolor, porque los animales cuyo cerebro se secciona por encima del mesencéfalo para impedir el acceso de los impulsos dolorosos al cerebro siguen mostrando signos evidentes de sufrimiento cuando se induce un traumatismo en alguna parte del cuerpo.

Desde las neuronas de las áreas de dolor del tronco encefálico parten muchas fibras cortas que conducen los impulsos dolorosos hasta los núcleos intralaminares y ventrolateral del tálamo y hasta algunas partes del hipotálamo y otras regiones vecinas de la base del encéfalo.

En esta vía el neurotransmisor predominante es la Sustancia P, la cual se libera con mayor lentitud que el glutamato y su concentración se eleva en un plazo de segundos o incluso minutos. Por lo tanto, el hecho de que perdure esta sustancia favorece que la sensación sea más larga en el tiempo.

B. ESTACIÓN SINÁPTICA TALÁMICA

El tálamo es la estación terminal de las neuronas aferentes secundarias y el origen de las neuronas terciarias o terminales de las vías nociceptivas. La mayoría de las fibras que forman el fascículo espinotalámico terminan en el núcleo ventroposterolateral talámico, así como en otras regiones talámicas que, en conjunto, se denominan grupo posterior de núcleos talámicos.

Los axones de las neuronas aferentes terciarias son enviados difusamente hacia la corteza cerebral formando las proyecciones talamocorticales de las vías nociceptivas (Fig. 83).



C. CORTEZA CEREBRAL

Cuando las terceras neuronas de la sensibilidad termoalgésica alcanzan la corteza se produce una activación generalizada del neocórtex y del cerebro límbico, sin que exista un área cortical concreta del dolor. La excitación del neocórtex nos permite tomar conciencia del dolor y conocer groseramente el lugar del organismo donde se ha producido el estímulo nociceptivo. La activación del circuito límbico es la responsable de las reacciones emocionales que acompañan a las experiencias dolorosas.

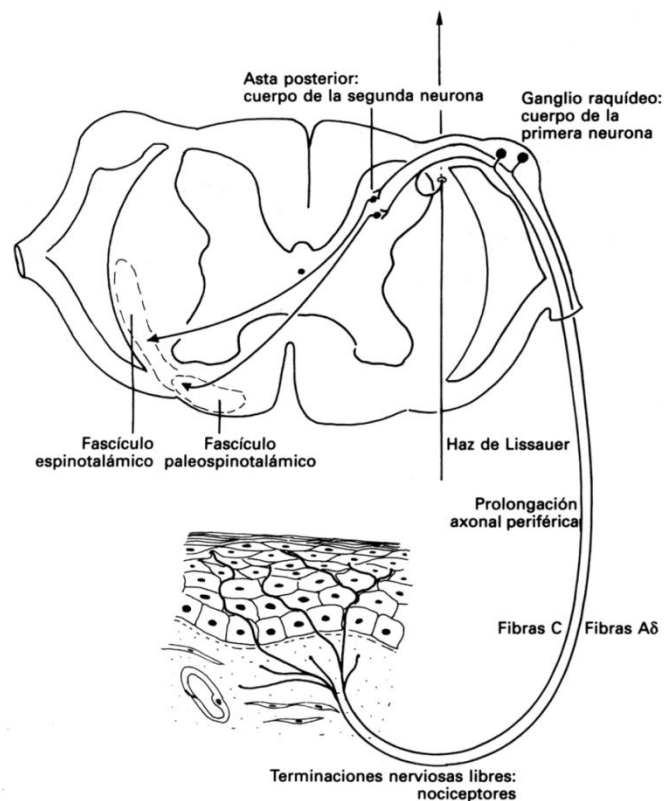


Ilustración 83. Vías nociceptivas. Están representadas las dos primeras neuronas de la vía. El fascículo espinotalámico llevará el axón de la segunda neurona hasta los núcleos talámicos. A δ: fibras aferentes mielínicas; C: fibras aferentes amielínicas.

D. PROCESOS DE SENSIBILIZACIÓN

En la actualidad, se sabe que la inflamación tisular y/o la lesión del nervio periférico aumentan la sensibilidad y reducen el umbral de los nociceptores periféricos (fibras Aδ y C), lo que produce hiperalgesia primaria (alrededor del lugar de la lesión), térmica y mecánica. Este mecanismo, llamado **Sensibilización periférica**, puede conducir a una cascada de fenómenos en el asta posterior de la médula que determinan que las neuronas nociceptivas de segundo orden entren en un estado de hiperexcitabilidad, aumentando su eficacia sináptica y modificando su comportamiento basal. Este complejo mecanismo se conoce como **Sensibilización central**.

Se piensa que la sensibilización central es el mecanismo responsable de los fenómenos de hiperalgesia secundaria (localizada lejos de la lesión) y alodinia.

En los tejidos inervados no todos los nociceptores están funcionalmente activos, muchos de ellos son silentes y cuando se activan lo hacen de forma intensa y secundaria a la liberación de mediadores químicos. Estos mediadores son liberados como consecuencia de la lesión tisular y promueven la sensibilización de los nociceptores periféricos. Entre estos mediadores químicos destacan la bradicinina, la serotonina, la histamina, los iones de potasio, el adenosintrifosfato, los protones, las prostaglandinas, el óxido nítrico, los leucotrienos, las citoquinas y los factores de crecimiento nervioso.

En condiciones inflamatorias aumenta la proporción de fibras nociceptivas Aδ y C que emiten descargas en condiciones de reposo, así como la frecuencia de descarga; además se produce una notable disminución del umbral de sensibilidad de las fibras C y la activación de receptores silentes.

La alteración del pH en el entorno del nociceptor polimodal es un factor especialmente importante en la inducción de la sensibilización mecánica y en la aparición del dolor isquémico. La acción combinada de los mediadores químicos de la inflamación y la disminución del pH parece tener mayor eficacia para inducir sensibilización periférica, si se compara con la acción aislada de los mediadores químicos.

La sensibilización central, que puede estar causada por aferencias periféricas nociceptivas, también puede estar condicionada y mantenida por la actividad de los sistemas encefálicos descendentes de modulación del dolor. Estos potentes mecanismos moduladores (facilitadores e inhibidores) del dolor están fuertemente relacionados e influidos por estructuras del prosencéfalo. La actividad de las estructuras prosencefálicas, que está relacionada con la cognición y la emoción, podría conducir a un desequilibrio de los sistemas moduladores descendentes. Es posible que condiciones clínicas de hiperalgesia difusa y amplificación persistente del dolor se deban, en parte, a este desequilibrio.

Los circuitos de control central incluyen sistemas neuronales que controlan intensamente la transmisión del impulso doloroso en la médula espinal. Estos sistemas endógenos de control neuronal están representados en el tronco cerebral (sustancia gris periacueductal y núcleo mayor del rafe) y se encuentran bajo la influencia del cerebro anterior (corteza cerebral y sistema límbico). Pueden atenuar o aumentar la transmisión del impulso nociceptivo, produciendo analgesia o hiperalgesia respectivamente y se encuentran estrechamente relacionados con otros sistemas de control, como son la regulación de la temperatura corporal, la regulación de las funciones sexuales y la regulación de las conductas de defensa. Tanto los factores cognitivos y emocionales como el estado de atención de la persona pueden influir de forma importante en el equilibrio existente entre los mecanismos de modulación descendentes (facilitadores o inhibidores) del dolor.

E. ACCIÓN EFECTORA DE LOS NOCICEPTORES

Los cuerpos neuronales de las neuronas nociceptivas localizadas en los ganglios de la raíz dorsal son responsables de la síntesis de algunos neuropéptidos, como la sustancia P y el péptido relacionado con el gen de la calcitonina (PRGC), cuya actividad tisular desempeña un importante



papel en el proceso inflamatorio. Estos neuropéptidos, una vez liberados en el tejido, actúan provocando vasodilatación precapilar y vasoconstricción postcapilar asociadas a extravasación de plasma, activación y liberación de histaminas por desgranulación de mastocitos. La histamina favorece la vasodilatación, atracción y proliferación de leucocitos, y puede irritar aún más las fibras aferentes primarias, lo que inicia la liberación de otros mediadores de la inflamación. También se ha descrito un posible efecto quimiotáctico que favorece la migración de leucocitos al tejido afectado y la activación de células epidérmicas que participan en los mecanismos de reparación en la piel dañada. La sustancia P además estimula a macrófagos y monocitos para aumentar la fagocitosis y liberar sustancias proinflamatorias. Estas respuestas, que pueden modificar las condiciones tisulares, forman parte de la denominada **inflamación neurógena** y no sólo intervienen en lo que concierne directamente al dolor.

Estos mecanismos se producen por la irritación directa de los nociceptores y/o por los efectos de la actividad antidrómica en las fibras nociceptivas primarias como consecuencia del reflejo axonal, del reflejo del ganglio de la raíz dorsal o por la generación de descargas ectópicas que sigan un sentido antidrómico. La actividad antidrómica que interviene en las respuestas efectoras también puede originarse en la médula espinal. Cervero et al. proponen que los reflejos de la raíz dorsal también pueden explicar la hiperalgesia secundaria; según esta hipótesis los potenciales de acción iniciados en las fibras aferentes primarias se propagan periféricamente para producir eritema y centralmente para provocar dolor.

Los fenómenos asociados a la inflamación neurógena, que implican interacciones neurales-inmunitarias, producen un estado de sensibilización periférica en los nociceptores aferentes primarios.

F. ORGANIZACIÓN DEL FILTRO LOCAL ESPINAL

En las laminillas II y III de la sustancia gris del asta posterior medular, zona conocida como sustancia gelatinosa de Rolando, se ubican las neuronas inhibitoras que controlan el paso de impulsos nerviosos por el sistema sensitivo nociceptivo.

La prolongación axonal central de la primera neurona da colaterales que hacen sinapsis con los cuerpos de las neuronas inhibitoras rolándicas y, a través de esta relación sináptica, reciben información sobre el grado de excitación del sistema sensitivo nociceptivo. Si la excitación sobrepasa un nivel crítico, las neuronas rolándicas inhiben presinápticamente las neuronas sensitivas secundarias de este sistema, disminuyendo con este mecanismo la frecuencia de impulsos nerviosos que transitan por esta vía sensitiva (Fig. 84).



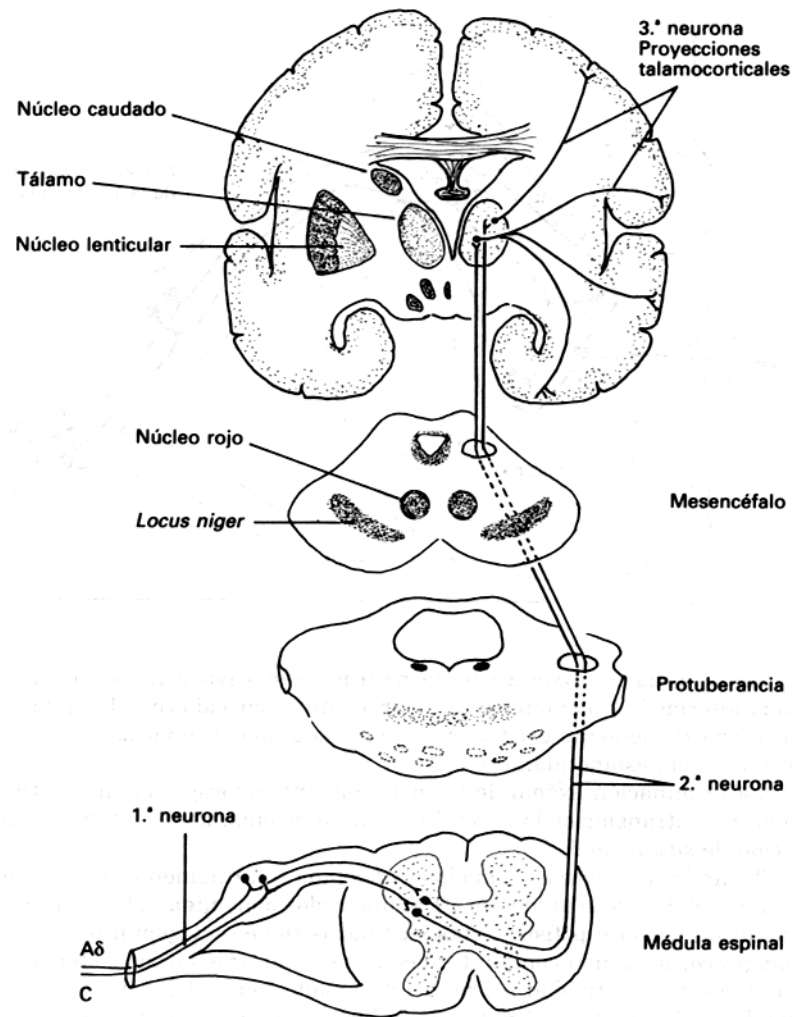


Ilustración 84. Vías nociceptivas. Esquema general.

La terminación axónica de la neurona sensitiva primaria contiene como intermediario sináptico un neuropéptido conocido con el nombre de sustancia P, elemento excitador entre las neuronas primarias y secundarias de la vía paleoespinal-talámica.

La terminación axonal de las neuronas inhibitorias rolandicas utiliza como neurotransmisor la encefalina que, funcionalmente, inhibe la liberación de sustancia P.

Tanto las encefalinas como las endorfinas son fragmentos de una molécula proteica constituida por 91 aminoácidos denominada β -lipotropina, producida por la hipófisis.

Estas sustancias tienen en común una acción analgésica, actuando como intermediarios sinápticos en los sistemas inhibidores de la actividad nerviosa relacionada con el dolor. La morfina y sus derivados actúan estimulando la liberación de encefalinas y endorfinas en las zonas donde se localizan los filtros del dolor.

G. ORGANIZACIÓN DE LOS FILTROS SUPRAESPINALES O DESCENDENTES

Cuando la corteza cerebral recibe un exceso de información dolorosa pone en marcha, como mecanismo defensivo, tres sistemas inhibidores que actúan sobre las aferencias espinotalámicas, preferentemente en la primera estación sináptica.

- El primer sistema inhibidor supraespinal está relacionado con la vía motora piramidal que, además de las fibras motoras, contiene fibras que controlan la entrada de información en el asta posterior de la médula espinal y núcleos sensitivos troncoencefálicos.
- El segundo sistema inhibidor supraespinal está integrado por la vía motora extrapiramidal, siendo el núcleo caudado el lugar donde se generan los impulsos nerviosos inhibidores que actúan sobre diversas partes del cerebro, además de controlar la llegada de información nociceptiva a la médula espinal y al tronco encefálico.
- El tercer sistema inhibidor supraespinal se relaciona con la corteza cerebral que forma parte del circuito límbico. Los impulsos inhibidores que de ella parten pasan por la sustancia gris periventricular, en la zona hipotalámica del III ventrículo, sustancia gris periacueductal y núcleos dorsal y magno del rafe, para terminar sobre la primera estación sináptica del sistema espinotalámico, inhibiendo o modulando la información nociceptiva que recorre esta vía.

La acción antiálgica de este tercer sistema utiliza como neurotransmisores la serotonina y la endorfina (Figs. 85 y 86).

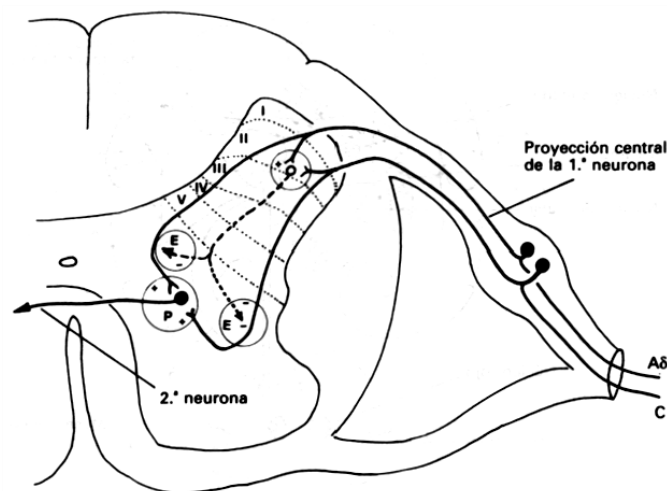


Ilustración 85. Vías nociceptivas: filtros inhibidores locales. A& fibras aferentes mielínicas; C: fibras aferentes amielínicas. La vía nociceptiva utiliza como neurotransmisor la sustancia P (P, en el esquema) que estimula (+) las segundas neuronas. En línea de puntos se indica la presencia de una neurona rolándica que inhibe (-) la transmisión utilizando encefalina (E) como mediador.

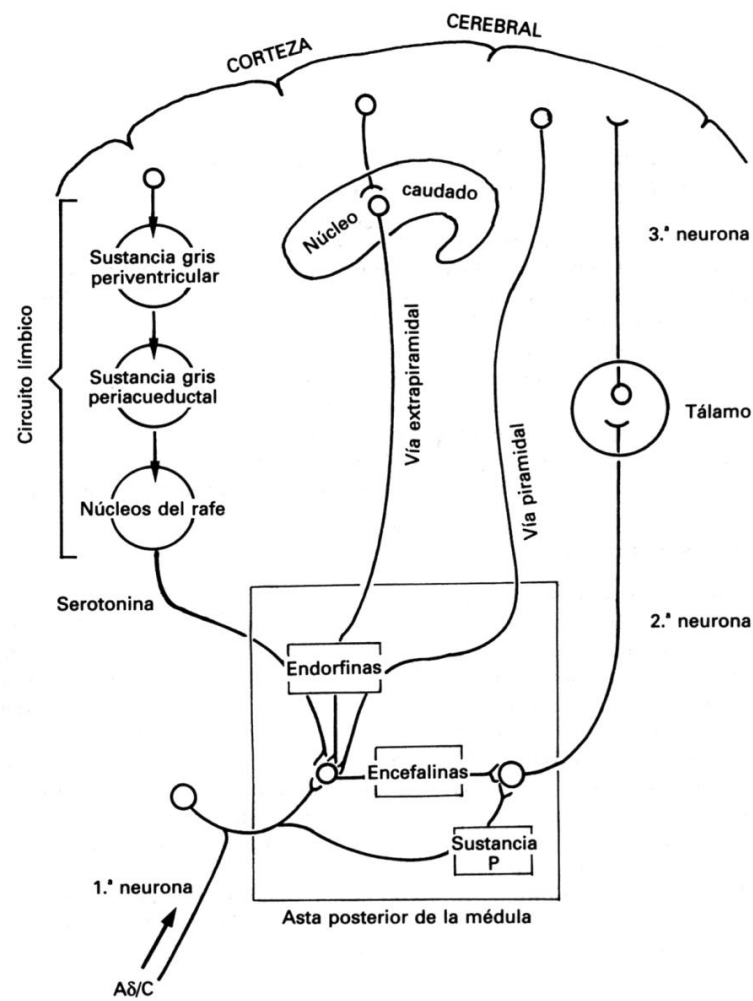


Ilustración 86. Filtros inhibidores supraespinales o descendentes.

IX. LAS VÍAS SENSITIVAS

Las informaciones transmitidas tienen para el organismo dos significaciones posibles: avisan a los centros nerviosos de una modificación del medio exterior o del medio interior, engendran la adaptación local, regional o general por la cual el organismo hace frente a la nueva situación. Es la función de alarma, de protección o simplemente de aviso que hace contribuir la sensibilidad corporal a la defensa de la integridad física del individuo y al mantenimiento de la homeostasia. La otra función de la somestesia está dirigida hacia el mundo exterior: suministra unas informaciones extremadamente precisas cuya integración espacial y temporal es indispensable para la exploración de las formas como para la adaptación de los gestos proposicionales.

Estos dos aspectos responden sensiblemente a los conceptos definidos por H. Head con el nombre de «sensibilidad protopática» y de «sensibilidad epicrítica». En el plano fisiológico, el organismo hace frente a estas dos funciones por la puesta en juego de dos dispositivos separados y dispuestos según principios opuestos pero complementarios. El sistema lemniscal (así designado porque contiene la cinta de Reil o lemnisco medio) es una vía directa, rápida, paucisináptica, cuyos relevos son contruidos para acentuar los caracteres discriminativos espaciales y temporales de la información. El sistema extralemniscal utiliza un dispositivo de conducción más lenta, multisináptica: a cada nivel, grupos de neuronas efectúan la sumación espacial y temporal de las informaciones y esta integración engendra las adaptaciones locales o regionales al mismo tiempo que determina el mensaje destinado a niveles superiores.

La sensibilidad de nuestro cuerpo descansa en la activación de terminaciones nerviosas repartidas en el seno de los tegumentos y de las estructuras profundas, músculos, vasos, vísceras. Estas terminaciones, o receptores, transforman una estimulación mecánica, térmica, química, hasta eléctrica, en un mensaje aferente.

La estimulación específica ocasiona, en primer lugar, una despolarización localizada en el receptor (potencial de receptor). Cuando este potencial de receptor alcanza un valor crítico, desencadena la propagación de estímulo sobre la fibra sensitiva (potencial propagado). La frecuencia de los potenciales propagados permite al sistema nervioso central reconocer la intensidad del mensaje. Durante una estimulación de intensidad constante la frecuencia de los impulsos presenta, generalmente, una disminución (fenómeno de adaptación). Este fenómeno de adaptación constituye uno de los medios por los cuales el sistema nervioso central reconoce la calidad del mensaje.

Todas las aferencias sensitivas alcanzan la médula por las raíces posteriores. Cada raíz posterior corresponde a una región determinada de los tegumentos (dermatoma) y a un sector de las estructuras profundas. El ganglio raquídeo, abultamiento situado sobre la raíz posterior, contiene el cuerpo celular de la primera neurona para todas las aferencias del segmento correspondiente.

No se trata aquí las aferencias salidas de los husos neuromusculares: correspondientes a fibras mielinizadas de gran diámetro, dirigen su prolongación central hacia el núcleo de la columna de Clarke, el punto de partida de las vías espinocerebelosas que no intervienen en la sensibilidad consciente.



A. SISTEMA LEMNISCAL

Las aferencias que proceden de receptores especializados son el punto de partida de la vía lemniscal. Los receptores situados en las cápsulas articulares o en los tegumentos confieren a la fibra la capacidad de responder a una estimulación definida por una descarga intensa y de breve duración. Las fibras aferentes son fibras mielinizadas de diámetro mediano, de conducción relativamente rápida. La prolongación central de las neuronas sube en el cordón posterior homolateral, donde forma los fascículos de Goll y Burdach. El primer relevo en esta vía se sitúa a nivel bulbar (núcleos de Goll y Burdach). La segunda neurona, después de la decusación, constituye la cinta de Reil media que alcanza el núcleo ventroposterolateral del tálamo.

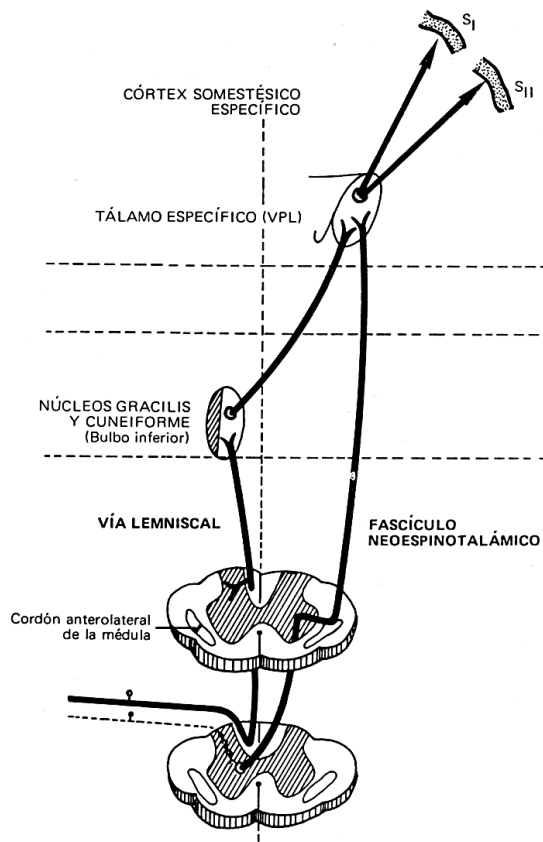


Ilustración 87. Representación esquemática de las aferencias somestésicas específicas (sensibilidad discriminativa). Funcionalmente la vía lemniscal tiene gran relación con la vía neoespinotalámica. (Modificado según D. Albe-Fessard)

Desde allí, una tercera neurona asegura la proyección a las áreas corticales somestésicas: el área somestésica primaria (SI) está constituida por la circunvolución parietal ascendente; el área somestésica secundaria (SII) está situada a nivel de la vertiente superior de la cisura de Silvio (Fig. 87).

A lo largo de toda esta vía, la organización somatotópica está perfectamente respetada y el funcionamiento de los relevos es tal que acentúa el carácter discriminativo de la información.

Cada estímulo, al mismo tiempo que activa un grupo de neuronas, inhibe otro situado en los alrededores. Este fenómeno se repite en todos niveles del sistema nervioso central. Impidiendo la difusión de las zonas excitadas, este proceso de inhibición permite comprobar que han sido emitidos dos estímulos distintos.

B. SISTEMA EXTRALEMNISCAL

Las aferencias correspondientes a terminaciones libres y las que proceden de los receptores sensibles a los estímulos térmicos (corpúsculos de Krause y Ruffini) alcanzan las poco mielinizadas (fibra A β y A δ) o no mielinizadas (fibras C). Terminan en los núcleos del asta posterior de la médula, punto de partida de la vía extralemniscal.

La terminación de las fibras que hacen relevo en el asta posterior de la médula es variable; algunas alcanzan directamente la segunda neurona sensitiva situada en las capas IV, V, VI y VII de Rexed; otras se detienen en las interneuronas de la sustancia gelatinosa de Rolando (capas II y III), que es una zona de convergencia y de integración de numerosos influjos. Cualquiera que sea la modalidad de relevo en el asta posterior, la segunda neurona sensitiva cruza la línea media por delante del canal endimario y llega al fascículo espinotalámico del cordón anterolateral del lado opuesto.

Desde la formación reticulada hay fibras que se proyectan hacia el tálamo no específico, pero también hacia el hipotálamo y el sistema límbico; otras, en forma bilateral, hacia el córtex no específico (principalmente orbitofrontal).

C. INTERRELACIONES DE LOS DOS SISTEMAS

La oposición del sistema extralemniscal, dispositivo de alarma encargado de la protección del organismo y del sistema lemniscal, dispositivo de conocimiento, medio de exploración y de acción no puede ser mantenido sin matices. En las condiciones normales de la fisiología, los dos dispositivos están estrechamente integrados para el cumplimiento de una función única, la somestesia. De forma general, el sistema lemniscal ejerce una acción inhibitoria sobre el sistema extralemniscal. El asta posterior de la médula es el lugar donde este enfrentamiento ha sido mejor estudiado. La acción inhibitoria del mensaje salido de los receptores especializados se ejerce por intermedio de las interneuronas y la transmisión rápida del mensaje discriminativo hace que esta influencia inhibitoria preceda la llegada en la médula del mensaje salido de los receptores no especializados. Dos dispositivos inhibidores intervienen: uno, segmentario, utiliza colaterales de las vías ascendentes; otro, suprasegmentario, utiliza vías descendentes retículo y corticoespinales. Un enfrentamiento análogo controla los mensajes extralemniscales a otros niveles, principalmente talámico (Fig. 88).



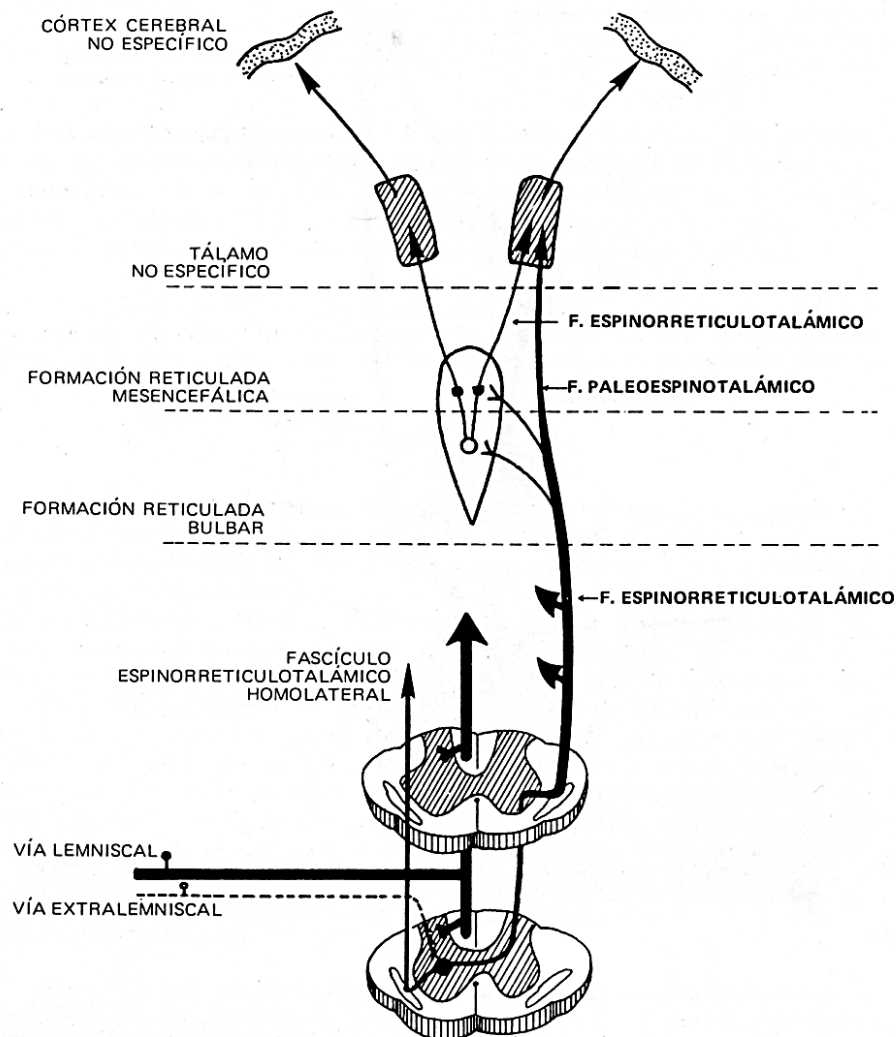


Ilustración 88. Representación esquemática de las aferencias somestésicas no específicas (sensibilidad termoalgésica). Las vías son esencialmente contralaterales, pero existe igualmente un contingente homolateral. La mayoría de las fibras terminan en la formación reticulada del tronco cerebral. Obsérvese la proyección cortical bilateral (Modificado según D. Albeffessard).

D. VÍA NEOESPINOTALÁMICA

Peculiar en los primates, es poco importante en el plano cuantitativo. Aunque alcanza el cordón anterolateral, se trata de un sistema oligosináptico muy parecido al sistema lemniscal en el plano funcional. Termina, como él, en el tálamo específico (núcleo ventroposterolateral); después se proyecta en la corteza específica (SI y sobre todo SII).

Esta vía conduce mensajes táctiles, térmicos y nociceptivos. Sería el soporte de sensaciones dolorosas bien localizadas.

E. VÍA ESPINORRETICULOTALÁMICA O PALEOESPINOTALÁMICA

Se trata, por el contrario, de un sistema polisináptico donde se efectúa a cada nivel una sumación espacial y temporal de las informaciones aferentes, operación opuesta a la de discriminación. La mayoría de las fibras de este sistema terminan en la formación reticular (Figs. 89 y 90).

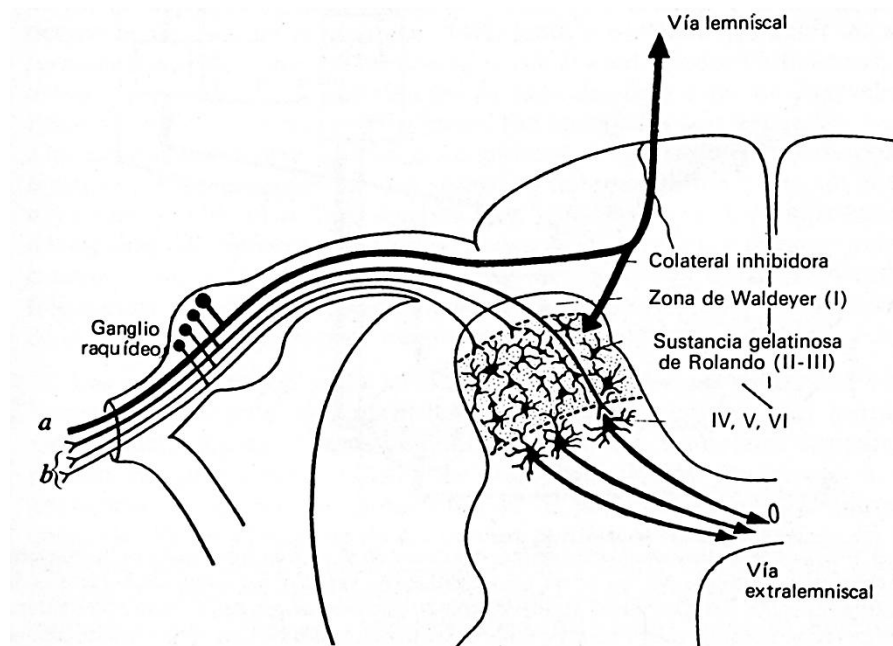


Ilustración 89. Articulaciones sinápticas a nivel del asta posterior de la médula.

En el asta posterior de la médula:

- Las fibras aferentes hacen sinapsis directamente con las grandes neuronas de las capas III y IV.
- Las fibras aferentes hacen sinapsis en la capa II por mediación de pequeñas neuronas de la sustancia gelatinosa de Rolando. Esta sustancia ejerce una influencia tónica moduladora sobre ciertas células de origen de la vía extralemniscal (Wall, 1962-1964). La vía lemniscal ejerce una acción inhibitoria transmitida por la sustancia gelatinosa de Rolando. Al contrario, los mensajes extralemniscales influyen el funcionamiento de la vía lemniscal: influye en la sustancia reticulada activadora ascendente, en los núcleos de asociación del tálamo y en las áreas de asociación del córtex. Estas interrelaciones complejas en los diferentes niveles son posibles tanto por la atención sensitiva como a la adaptación a las estimulaciones. De su alteración nace la semiología patológica de la sensibilidad y principalmente la enfermedad dolorosa.

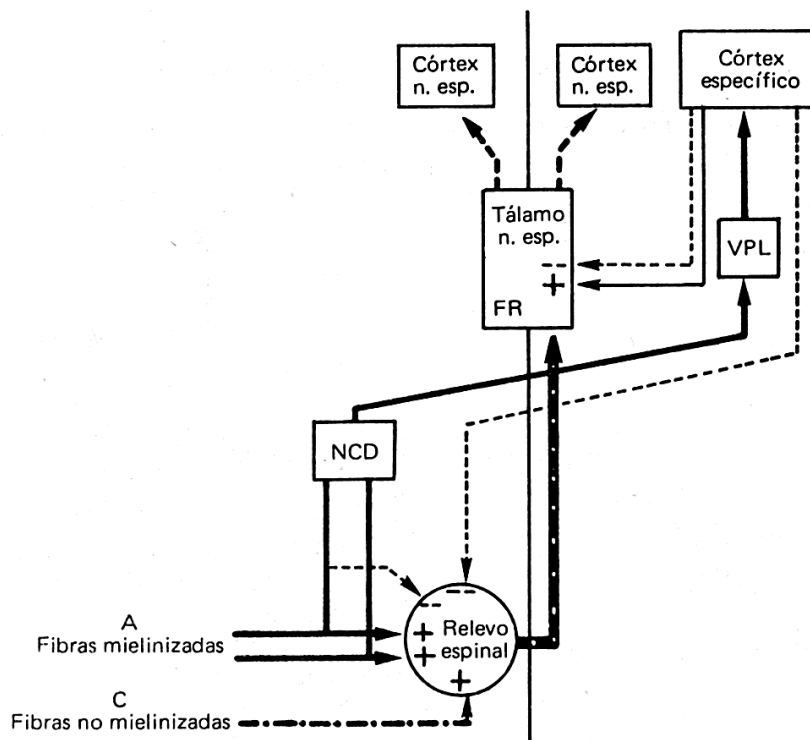


Ilustración 90. Representación esquemática de las conexiones en el sistema lemniscal y extralemniscal. Los mensajes que llegan por las fibras mielinizadas (A) van a la vez hacia los núcleos de las columnas dorsales (NCD) y hacia el relevo espinal, que es el origen del cordón anterolateral. Además recibe la excitación (+) que procede de las fibras A, inhibiciones (-) y fasciculaciones (+) transmitidas, en parte, a través de la sustancia gelatinosa de Rolando. El mensaje aferente se modifica profundamente a nivel espinal, antes de alcanzar las vías ascendentes, por diversos controles segmentario y suprasegmentario. Interrelaciones análogas entre sistema lemniscal y extralemniscal se encuentran a otros niveles de integración, principalmente a nivel del tronco cerebral y del tálamo. FR: formación reticulada; VPL: núcleo ventrolateral posterior del tálamo; tálamo n. espec.: núcleos talámicos no específicos (Según Albe-Fessard y Delacour, 1968).

X. VÍAS MOTRICES

A. LA UNIDAD MOTORA

Toda acción se ejerce por una vía motora final común constituida por las neuronas motoras principales (alfa) del asta anterior de la médula. Cada una de estas neuronas gobierna cierto número de fibras musculares que le pertenecen propiamente; el conjunto formado por la neurona alfa y las fibras musculares que dependen de ella constituye una unidad motora.

La fibra muscular es una célula gigante cuya longitud puede alcanzar varios centímetros y cuyo diámetro es de 0,01 a 0,1 mm. Las miofibrillas, alargadas longitudinalmente, ocupan la totalidad del espacio citoplásmico, rechazando hacia la periferia los núcleos, soporte de la estriación transversal, producen la contracción muscular que resulta al enlazarse las moléculas de actina y de miosina que contienen las miofibrillas. Esta reacción depende de la defosforilización del ATP muscular, consecutiva a la penetración de iones calcio en el seno de la fibra. Un sistema de microtúbulos (retículo endoplásmico) controla los movimientos del calcio, cuya penetración se ve favorecida por la despolarización de la membrana celular (sarcolema).

La placa motora es la región del sarcolema donde se establece la sinapsis con la fibra nerviosa. La transmisión hace intervenir la eliminación de acetilcolina por la terminación nerviosa; el intermediario químico modifica la permeabilidad para los iones de la placa motora y provoca una despolarización (potencial de placa). La reversibilidad del fenómeno está asegurada por la presencia de colinesterasa en exceso. Cuando el potencial de placa alcanza una amplitud suficiente, comienza un potencial propagado al conjunto de la fibra que induce la contracción.

Los métodos histoquímicos demuestran que las fibras musculares se diferencian por su componente enzimático. Se dividen en dos grandes tipos: el tipo I está dotado especialmente para el metabolismo oxidativo de la glucosa (succinodeshidrogenasa, DPNH diaforasa...); el tipo II utiliza la energía suministrada por la glicólisis (ATPasa, fosforilasa, glicerofosfatasa, deshidrogenasa). Según el predominio de uno de estos tipos de fibras, los músculos pueden clasificarse en rojos, de contracción lenta, de actividad tónica predominante (fibras de tipo I) y en músculos blancos, de contracción rápida, de actividad fásica predominante (fibras de tipo II) (Fig. 91).



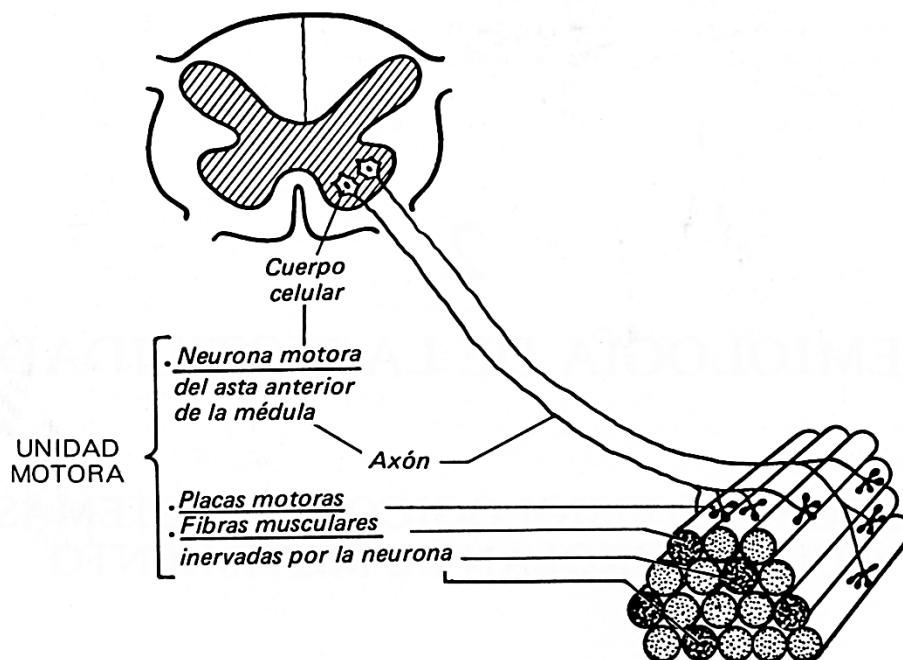


Ilustración 91. Esquema de la constitución de la unidad motora. El conjunto formado por una motoneurona y las fibras musculares estriadas que de ella dependen constituye una unidad motora.

En la mayoría de los casos, las fibras de los dos tipos están unidas en el seno de un mismo músculo. Sin embargo, las fibras que pertenecen a una misma unidad motora son siempre del mismo tipo histoquímico. Las experiencias de reinervación han demostrado que estas características histoquímicas vienen impuestas a la fibra muscular por la fibra nerviosa que asegura su inervación.

Las unidades motoras lentas reúnen en general un gran número de fibras musculares (1500 por unidad motora en los gemelos) y las unidades motoras rápidas contienen un menor número de fibras (15 en los músculos oculomotores). En la mayor parte de los músculos, estos dos tipos de unidades corresponden a agrupaciones de fibras entremezcladas en el seno de un mismo fascículo muscular.

B. REGULACIÓN SEGMENTARIA DE LA ACTIVACIÓN DE LAS UNIDADES MOTORAS

Las fibras de una unidad motora son funcionalmente indisociables. En un trazado electromiográfico, la activación de una unidad motora se manifiesta por una punta: este potencial corresponde a la suma de las actividades de cada una de las fibras que componen la unidad; su amplitud y su duración son constantes para una misma posición de la aguja; dependen únicamente de las dimensiones de la unidad motora y de sus relaciones espaciales con la extremidad de la aguja.



La unidad motora está dotada de una autonomía relativa. Las neuronas motoras (alfa) que pertenecen a grupos sinérgicos constituyen en el seno del asta anterior de la médula conjuntos funcionales cuya actividad está dirigida por los dispositivos que modulan la excitabilidad de las neuronas. Las neuronas, cuyo umbral de excitabilidad es más débil, son las pequeñas neuronas, a las cuales corresponden las unidades relativamente lentas, de actividad tónica. Las neuronas de mayor tamaño corresponden a una unidad rápida actuando por un nivel de excitación más elevado que responde a un esfuerzo más intenso. La intensidad de esta puesta en marcha está en función del carácter progresivo o brusco del movimiento. Las modificaciones del trazado EMG para una contracción muscular de intensidad creciente hacen aparecer la doble modalidad del reclutamiento de las unidades motoras: reclutamiento temporal de las unidades inicialmente activas cuya frecuencia de latido aumenta; reclutamiento espacial en el seno del asta anterior de unidades motoras inicialmente inactivas y que vienen a enriquecer el trazado hasta conferirle para un esfuerzo intenso un aspecto interferencial cuyas unidades no pueden ser individualizadas (Fig. 92).

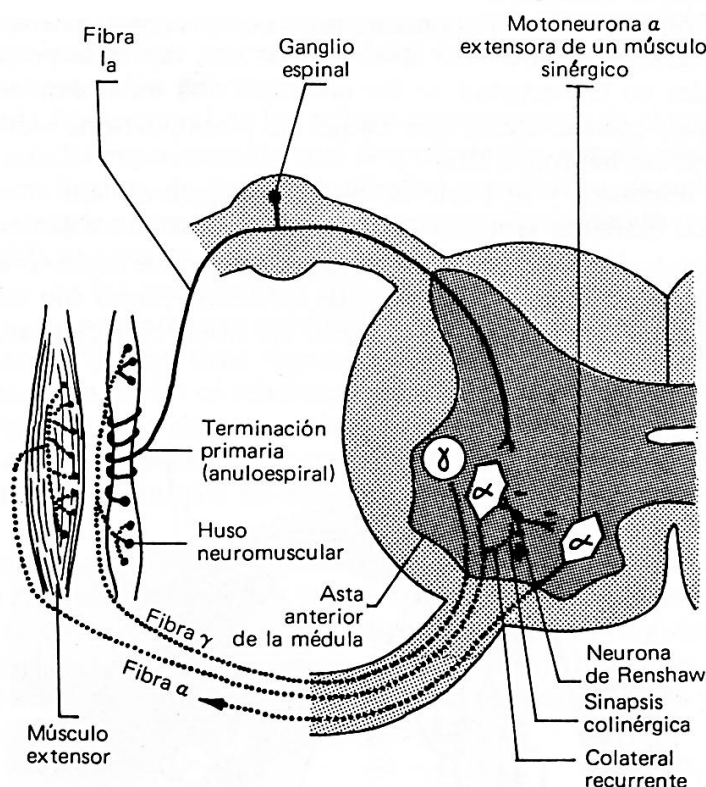


Ilustración 92. Organización elemental del reflejo miotático o monosináptico. El receptor del reflejo monosináptico está formado por la terminal primaria del huso neuromuscular, el cual es sensible al estiramiento. La descarga aferente llega a la médula a través de las fibras del grupo Ia de conducción rápida. Éstas entran en contacto monosináptico con las motoneuronas alfa del músculo del que proceden. Las fibras alfa terminan en el cuerpo muscular. Las motoneuronas gamma inervan la parte contráctil del fascículo neuromuscular con lo que aseguran el control de la emisión fascicular, lo que, a su vez, permite la adaptabilidad del reflejo miotático (de hecho, existen motoneuronas gamma estáticas y gamma dinámicas que controlan independientemente las estructuras suprasegmentarias).

En el seno de los mismos grupos de neuronas del asta anterior de la médula, un mecanismo inhibitor se opone al desarrollo de una sincronización excesiva: las neuronas de Renshaw activadas por una colateral del axón de la neurona alfa ejercen una acción inhibitora sobre la neurona motora responsable de su propia activación y sobre las neuronas motoras sinérgicas.

Los reflejos propioceptivos ejercen su acción de forma permanente sobre la actividad de las neuronas motoras, como pueden ser el reflejo miotático, las mismas aferencias que determinan el reflejo miotático están dotadas de una acción inhibitora por intermedio de una interneurona, sobre los músculos antagonistas del músculo estirado (inervación recíproca). Una acción inhibitora de tipo diferente resulta de la activación de los receptores tendinosos de Golgi (sensibles a la tensión de cualquier estiramiento) que inhiben las unidades motoras de un músculo cuando la tensión en éste alcanza un umbral determinado.

Los reflejos exteroceptivos responden a la activación de terminaciones nerviosas no específicas situadas en el seno de los tegumentos o de las estructuras profundas. Se trata de reflejos polisinápticos que hacen intervenir una integración del mensaje que alcanza el asta posterior de la médula por fibras aferentes poco mielinizadas, de conducción lenta: esta integración hace posible una sumación temporal y espacial de los estímulos reflexógenos.

La fórmula fundamental de los reflejos exteroceptivos es el reflejo de defensa tal como se estudia experimentalmente después de una sección medular: reacción de retirada, en flexión, de débil especificidad topográfica, la activación de los flexores va asociada a una inhibición de sus antagonistas dando una respuesta en extensión del lado opuesto (Fig. 93)

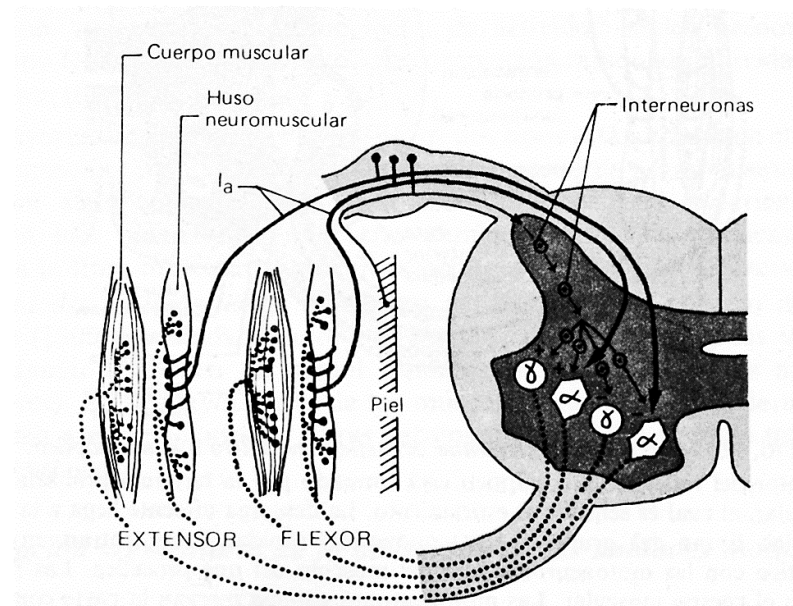


Ilustración 93. Organización elemental del reflejo polisináptico nociceptivo (reflejo de flexión). El reflejo polisináptico nociceptivo inhibe al mismo tiempo las motoneuronas alfa y gamma de los músculos extensores. A esta acción inhibitora se añade una acción excitadora sobre los músculos flexores antagonistas responsables del reflejo general en flexión.

El estudio de las respuestas a los estímulos cutáneos en las condiciones fisiológicas demuestra que cuando la médula está sometida a la influencia de las estructuras superiores tiene respuestas mucho más elaboradas. La respuesta a los estímulos nociceptivos es relativamente tardía, pero reviste una especificidad tal que la respuesta evita electivamente el estímulo. De otro lado, esta respuesta va precedida por otra respuesta de corta latencia, desencadenada por estímulos no nociceptivos y que va dirigida no hacia la supresión, sino hacia la exploración del estímulo.

El alto grado de integración de las aferencias que caracteriza la actividad segmentaria e intersegmentaria de la médula está demostrado por fenómenos de inervación recíproca, el reflejo de extensión cruzada, las actividades más complejas que persisten todavía en el animal espinal (reflejo de rascado). Los mecanismos centrales de control del movimiento ejercen su acción por intermedio de este primer nivel de regulación segmentaria.

C. COORDINACIÓN DE LAS ACTIVIDADES SEGMENTARIAS POR LAS ESTRUCTURAS DEL TRONCO CEREBRAL

Para adoptar la estación erecta se necesita un refuerzo del tono de los músculos antigravitatorios (extensores fisiológicos). Este tono antigravitatorio depende del reflejo miotático. Una región extensa de la sustancia reticulada del tronco cerebral constituye a nivel bulbotuberancial la sustancia reticulada activadora descendente (Fig. 94).

Activada por numerosas aferencias cutáneas, propioceptivas, pero también vestibulares, ejerce su acción sobre la médula mediante el fascículo reticuloespinal medio.

Interneuronas

- Los núcleos vestibulares disponen, por su parte, de una vía descendente, el fascículo vestibuloespinal, que interviene directamente sobre las neuronas alfa.
- El enderezamiento pone en juego una serie de movimientos de flexión-extensión lateralizados y necesita la integración de aferencias propioceptivas (cervicales), vestibulares, pero también cutáneas. De la misma forma, las adaptaciones posturales del tono que mantienen el equilibrio durante el desplazamiento activo o pasivo de una parte del cuerpo en relación a la vertical suponen una modulación de los reflejos antigravitatorios. Ciertas regiones de la sustancia reticulada mesencefálica, en la vecindad del núcleo rojo, intervienen en estas regulaciones favoreciendo los reflejos en flexión. Su acción tiene lugar por una parte en forma de una inhibición de la sustancia reticulada activadora, pero también por una vía descendente autónoma, el fascículo reticuloespinal lateral, que ejerce directamente su acción sobre las neuronas alfa.



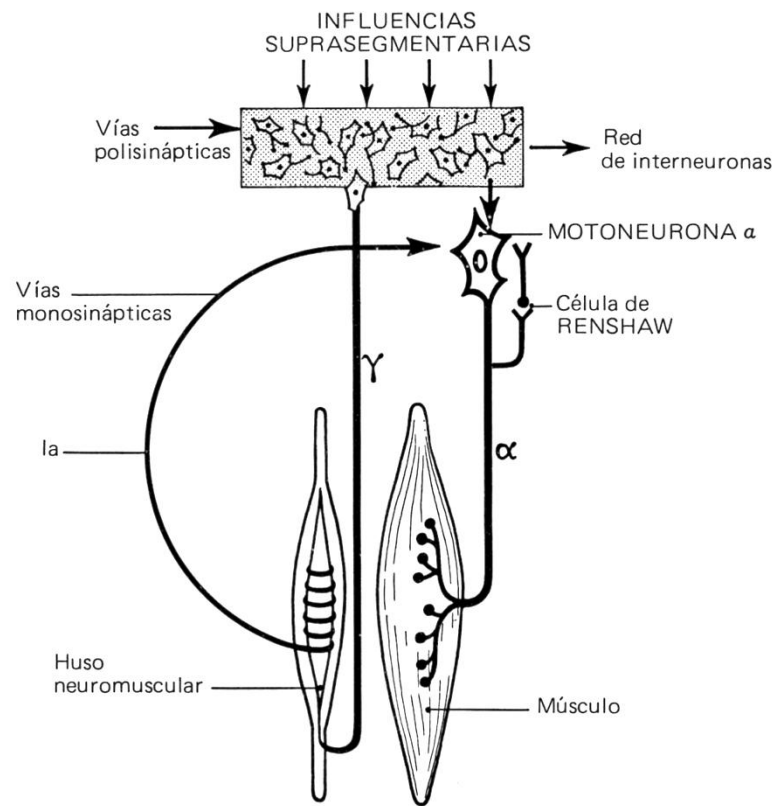


Ilustración 94. Control suprasegmentario de la actividad medular. Las estructuras nerviosas situadas a nivel supramedular ejercen en gran parte su control por las vías polisinápticas de la red de interneuronas. Esta red constituye un importante lugar de convergencia para las influencias de orígenes muy diversos que se ejercen sobre la vía final común. A su nivel se elabora el estado de excitabilidad central (según J. Paillard).

Así, la rigidez de descerebración que resulta de la sección del tronco cerebral a nivel intercolicular, no es más que una caricatura de las funciones del tronco cerebral. Esta rigidez, que corresponde a una hiperactividad gamma, incrementa la liberación de los mecanismos activadores tónicos de la reticulada. Puede entrañar el riesgo de desconocer la función de las estructuras del tronco cerebral en las adaptaciones posturales, el enderezamiento y la equilibración.

Además de estas reacciones del cuerpo sobre sí mismo, las estructuras de la región mesencefálica controlan una cierta reactividad global a los estímulos del mundo exterior: reacción de apoyo y reacciones de orientación a los estímulos sensoriales. La observación de los anencéfalos, las experiencias de estimulación y destrucción localizadas, demuestran que estas reacciones motoras globales son el resultado de la actividad tónica permanente de mecanismos antagonistas que intervienen en las tres direcciones del espacio.

Por último, la formación reticulada del mesencéfalo, ampliamente conectada al hipotálamo, constituye en el plano ontogénico el mecanismo efector de las conductas instintivas integradas en el seno de este cerebro primitivo.

D. ELABORACIÓN DEL MOVIMIENTO EN LOS HEMISFERIOS CEREBRALES

Es donde se elabora el movimiento en la medida que constituye una respuesta al conjunto de estimulaciones ambientales o una actividad deliberada que tiene por finalidad actuar sobre el mundo exterior, incluso comunicar un contenido simbólico (gesto).

El tálamo es el punto de partida de las aferencias para cada uno de los hemisferios. Interviene como relevo en la transmisión a la corteza de las informaciones sensoriales o de la sensibilidad discriminativa. Más importante es todavía la función de los núcleos de convergencia que integran tanto las aferencias sensoriales como las proyecciones del dispositivo extralemniscal.

Los núcleos grises centrales son formaciones de sustancia gris situadas en el seno de la sustancia blanca hemisférica: al núcleo caudado y al núcleo lenticular se añaden el cuerpo subtalámico de Luys y el locus niger que estudiaremos aquí aunque su situación sea mesencefálica.

El núcleo caudado y la parte externa del núcleo lenticular (designado bajo el nombre de putamen) constituyen el estriado. La parte interna del núcleo lenticular es el pálido. El estriado tiene los caracteres de una estructura integradora; las neuronas aferentes del estriado se proyectan sobre las neuronas del pálido ejerciendo sobre ellas una acción principalmente inhibitoria. El pálido es la estructura efectora del sistema.

El estriado (núcleo caudado y putamen) recibe un rico contingente de aferencias procedentes de los núcleos de convergencia del tálamo (centro mediano). De esta forma se encuentra constituido un nivel de regulación talamoestriado que en ciertas especies (pájaros) tiene un desarrollo muy importante y permite una motilidad elaborada a pesar de una corteza cerebral reducida. En el hombre es difícil establecer lo que interviene propiamente a este nivel: sin embargo, la realización de desequilibrios controlados, tales como la marcha y la formulación de la actitud, parecen depender de estas estructuras. Las regulaciones se ejercen por una modulación de los dispositivos del tronco cerebral. Es preciso observar que muy pocas fibras palidales alcanzan directamente el mesencéfalo. En un sentido amplio, la acción del estriado comprende un circuito que hace intervenir una proyección sobre el núcleo ventral anterior del tálamo y desde allí sobre las áreas motoras de la corteza cerebral.

En el hombre, el principal contingente de aferencias del estriado procede de la corteza cerebral. Estas aferencias vienen de la corteza sensoriomotora, pero también del córtex asociativo. No provistas de aferencias específicas ni de relaciones directas con los dispositivos motores del tronco cerebral y de la médula, el córtex asociativo recibe sus aferencias de los núcleos de convergencia del tálamo (convergencias proyectadas), de las regiones de proyección específica y del sistema límbico. El córtex asociativo constituye con el estriado un nivel complejo de integración plurisensorial donde se elaboran los gestos. Esta elaboración necesita una confrontación de datos relativos al mundo exterior y a la posición del cuerpo; supone el perfeccionamiento de esquemas; por último implica la capacidad de escapar a la servidumbre de



los datos inmediatos de la percepción, condición necesaria de una acción con finalidad determinada.

El núcleo caudado y el putamen reciben aferencias convergentes procedentes de la corteza frontal y de las regiones asociativas posteriores. Son el lugar de encuentro de las acciones inhibitoras de origen frontal y de las influencias facilitadoras de las áreas asociativas en donde permanecen los esquemas perceptivomotores.

La integración que se efectúa en el estriado es la fuente del movimiento. El efector palidal por intermedio del relevo talámico asegura la activación motora.

- El dispositivo así constituido confiere a los núcleos grises centrales una triple función en el control del movimiento: coronando los mecanismos del tronco cerebral, acaban de coordinar los reflejos en extensión (propioceptivos, antigravitatorios) y los reflejos en flexión (de punto de partida cutáneo) para adquirir y mantener la estación erecta. Modulando estas actividades tónicas fundamentales y la superposición de las actividades fásicas facilitan el restablecimiento del equilibrio, la realización de desequilibrios controlados (principalmente durante la marcha) y la formulación del tono de actitud. Activando la corteza motora inducen el movimiento voluntario, del que depende más especialmente el componente proximal.
- La actividad compleja asignada al estriado está regulada por una estructura situada a nivel mesencefálico: el locus niger. Las neuronas nigroestriadas ejercen su acción sobre el estriado homolateral. Esta acción hace intervenir a la dopamina como transmisor químico. En el otro sentido el sistema dopaminérgico nigroestriado está sometido a la acción inhibitora de neuronas estrionérgicas, en el que el ácido gammaaminobutírico (GABA) es el transmisor.
- Por último, el núcleo subtalámico de Luys pertenece a otro bucle de control retroactivo. Activado por eferencias palidales este núcleo ejerce una acción inhibitora sobre las neuronas del pálido; por ello, se opone al desarrollo de respuestas fásicas incontroladas en el seno de la corteza precentral (Fig. 95).

Las áreas motoras de la corteza comprenden el área motora principal y las áreas premotoras.

El área motora principal se desarrolla según el modelo del homúnculo de Penfield sobre la vertiente anterior de la cisura de Rolando. Está asociada punto por punto al área somestésica que la bordea por detrás. El área motora es el punto de partida de las fibras corticoespinales que contribuyen a formar la pirámide bulbar (corteza piramidal). Un pequeño número de estas fibras terminan en las neuronas alfa; la mayoría en las interneuronas de la sustancia gris de la médula. Por la vía piramidal, la corteza motora controla cada uno de los músculos del hemicuerpo contralateral. Experimentalmente, los efectos durables de su ablación son limitados: déficit motor moderado y distal, pérdida de las adaptaciones precisas del movimiento a las características de la estimulación.

Las áreas premotoras ejercen su acción sobre la médula contribuyendo al relevo de los mecanismos desarrollados en el seno del tronco cerebral. Puede considerarse que la motilidad que persiste después de la sección del fascículo corticoespinal a nivel de la pirámide bulbar depende de este sistema polisináptico, verdaderamente extrapiramidal. Esta motilidad es relativamente importante, pero destaca por su carácter global y sincinético y por la ausencia de



las adaptaciones finas de la respuesta motora a las cualidades del estímulo. De una manera general las áreas premotoras controlan de forma predominante la parte proximal del movimiento (Fig. 96).

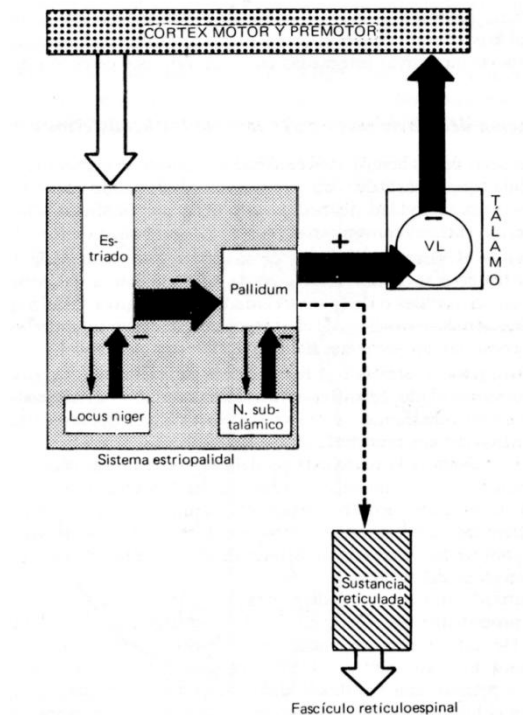


Ilustración 95. Los principales dispositivos extrapiramidales. Las eferencias del sistema estriopálido van esencialmente al tálamo (núcleos ventrolateral y ventral anterior). La existencia de vías eferentes hacia la formación reticulada del tronco cerebral no está bien determinada. El núcleo ventrolateral del tálamo, que recibe por otra parte aferencias del cerebelo, se proyecta hacia el córtex motor y premotor (áreas 4 y 6). De este modo los núcleos grises centrales aparecen, por este sistema esencial palido tálamo-cortical, intercalados en la vía piramidal para modular el funcionamiento.

El área premotora y el área motora principal disponen una y otra de un importante contingente de aferencias talámicas de origen palidal y están provistas una y otra de aferencias cerebelotálamicas. En cambio, el área motora principal constituye propiamente una unidad funcional con el área somestésica primaria: es córtex sensoriomotor. El contingente lemniscal, que tiene el relevo en el núcleo ventrolateral del tálamo, proporciona a la corteza motora el medio de asegurar el ajuste distal del movimiento y de regular la fuerza de la contracción. Así se explican los caracteres propios del déficit «piramidal».

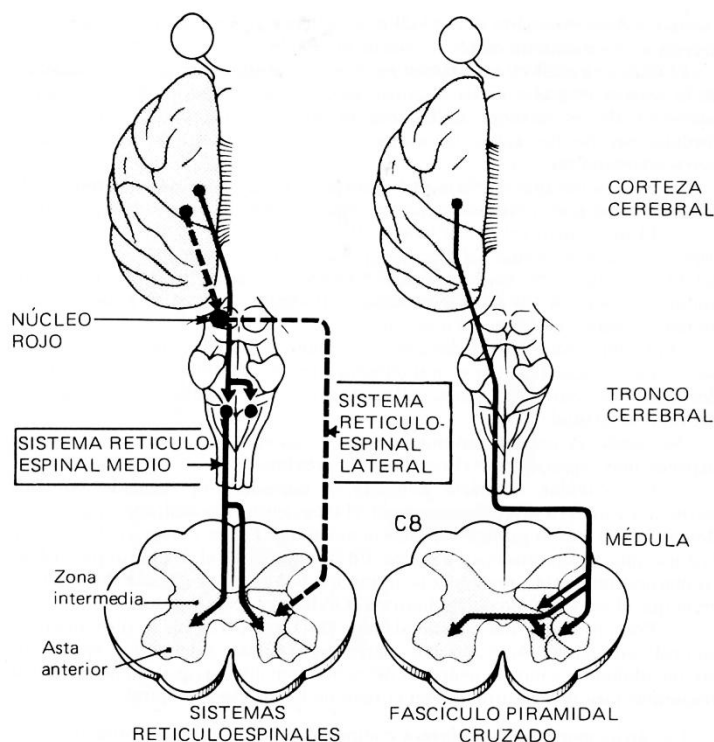


Ilustración 96. Los tres sistemas efectores principales de la motilidad. El sistema reticuloespinal medio compuesto de fibras que proceden esencialmente de la formación reticular del tronco cerebral y del complejo vestibular terminando en forma bilateral en la zona intermedia de la médula. Este sistema tiene bajo su dependencia la motilidad axial y los movimientos proximales de los miembros integrados al cuerpo. El sistema reticuloespinal lateral hace posible los movimientos individuales de los miembros y principalmente los de la parte distal. El sistema corticoespinal (fascículo piramidal) tiene por función ampliar los controles precedentes y permitir un alto grado de fraccionamiento de los movimientos distales.

E. LA FUNCIÓN DEL CEREBELO

Colocado en derivación sobre los mecanismos reguladores fundamentales, el cerebelo no es indispensable a ninguno de los niveles de integración del movimiento, pero es necesario para su ajuste respectivo y para el ordenamiento temporal de su intervención.

- El arquicerebelo (lóbulo floculonodular) recibe aferencias vestibulares, pero también propioceptivas y cutáneas; su acción se ejerce sobre los núcleos vestibulares y sobre la sustancia reticulada bulbopontina. Controla los mecanismos de la estación erecta.
- El paleocerebelo (vermis) recibe aferencias propioceptivas (vías espinocerebelosas, organización somatotópica), pero también otras numerosas aferencias somestésicas, aferencias vestibulares, sensoriales; su acción se ejerce sobre los núcleos del techo, sobre el núcleo rojo, sobre el núcleo ventrolateral del tálamo; controla los reflejos de enderezamiento y la adaptación postural.
- El neocerebelo (lóbulos laterales) recibe, además de las aferencias propioceptivas, somestésicas y sensoriales, aferencias corticales por intermedio de los núcleos del puente y

del pedúnculo cerebeloso medio; actúa sobre el núcleo ventrolateral del tálamo y desde allí sobre la corteza motora; interviene en la regulación del gesto.

- Los núcleos del cerebelo son el punto de partida de las vías eferentes. Ejercen, en forma tónica, una acción facilitadora sobre los dispositivos que controlan la motilidad extrapiramidal (núcleos vestibulares, núcleo rojo, reticulada del tronco cerebral). La corteza cerebelosa ejerce una acción inhibitoria sobre los núcleos del cerebelo. De esta forma asegura una modulación de la acción excitadora permanente que ejercen los núcleos tanto sobre los dispositivos gamma como sobre los que tienen directamente acceso a las neuronas alfa (Fig. 97).

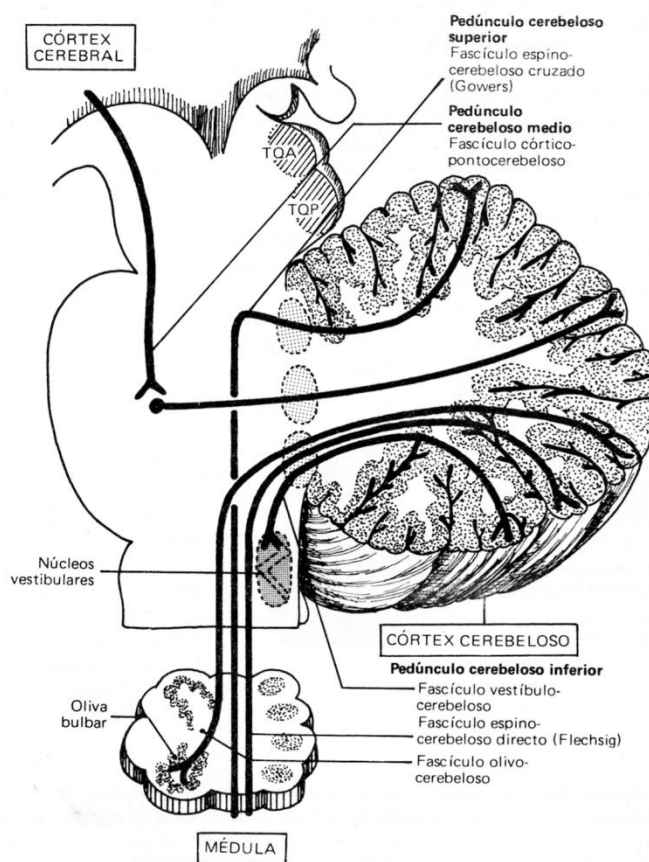


Ilustración 97. Cerebelo: principales vías aferentes.

El arqueocerebelo interviene sobre los mecanismos reflejos de enderezamiento y de equilibración. El paleocerebelo controla la motilidad axial y la motilidad de actitud. El neocerebelo regula el desarrollo del movimiento proposicional. Pero el cabalgamiento de las tres zonas funcionales hace probable la intervención del cerebelo en la coordinación de los diversos niveles que mantiene la mayor parte de los movimientos (Fig. 98).

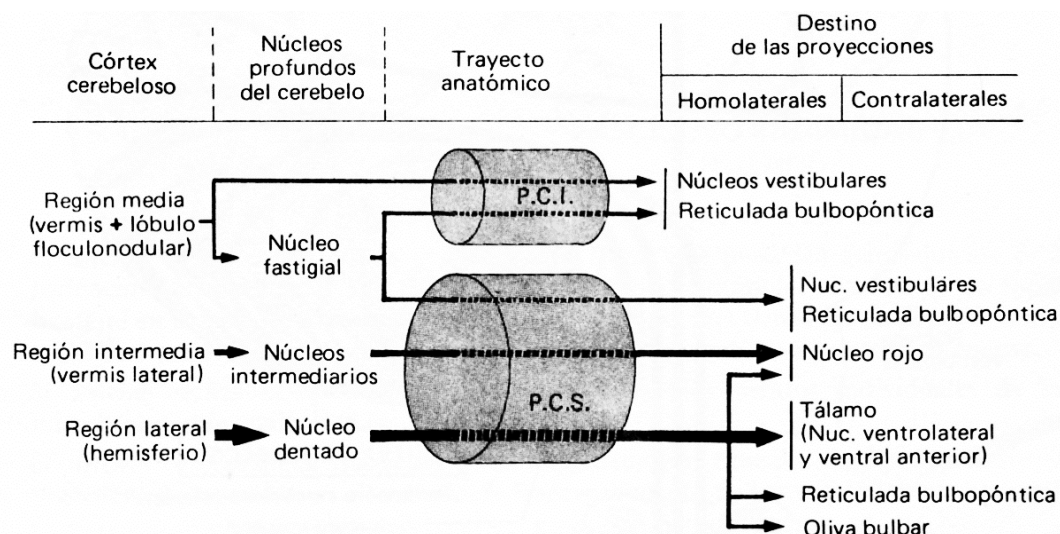


Ilustración 98. Las eferencias cerebelosas.

El sistema nervioso dispone de gran número de bucles retroactivos que le permiten corregir el movimiento en función del error detectado según el principio el control retroactivo (feedback). La regulación del tono muscular por el circuito gamma, la acción de los núcleos vestibulares sobre los músculos espinales, control de un movimiento voluntario por la somestesia o por la vista, son algunos ejemplos. El control cerebeloso no puede ser sustituido, los diversos controles feedback están conservados en ausencia de cerebelo, pero no son suficientes para regular armoniosamente el movimiento, como cuando se trata del equilibrio, de la postura, del control del gesto; el cerebelo interviene para jerarquizar, coordinar, atemperar, sincronizar las respuestas reflejas más bien que para corregir errores.

La experiencia demuestra que estas actividades están sometidas a un aprendizaje, es decir, a la conservación de una huella material de las experiencias que las innumerables conexiones sinópticas de la corteza cerebelosa podrían ser el sostén. Parece que la automatización de un movimiento corresponde a la superposición al control retroactivo necesariamente imperfecto de un control preprogramado, en el que el cerebelo, perfectamente informado sobre el estado del movimiento y sobre el nivel de actividad de las vías eectoras, aseguraría la acción en función de los programas impresos en su corteza en favor de las experiencias anteriores. Este tipo de control atribuido al cerebelo interviene en los diversos niveles de la regulación del movimiento, pero reviste una importancia preponderante durante la realización de los movimientos bruscos o «bálicos». En este terreno la corteza cerebelosa activada por las aferencias corticopontocerebelosas (procedentes en gran parte de las regiones asociativas del córtex cerebral) constituiría la fuente principal de movilización de la corteza motora según una forma de activación preprogramada.

XI. SISTEMAS DE CONTROL DEL DOLOR

Los sistemas de control de la sensación dolorosa fisiológicamente son numerosos. Dos de ellos tienen un particular interés, en razón principalmente de sus aplicaciones clínicas.

A. GATE-CONTROL

La acción inhibitoria de las vías lemniscales sobre las vías del dolor ha sido expuesta en su topografía y mecanismo en Gate-control-theory (Melzack y Wall, 1965)⁶. El control de los influjos nociceptivos se produce en el asta posterior de la médula; existe a este nivel una interacción entre las diferentes aferencias. La excitación de las fibras mielínicas gruesas, que conducen los influjos específicos ejerce una acción inhibitoria en la respuesta a las aferencias de las fibras estrechas, que conducen los impulsos nociceptivos. El control inhibitorio del sistema lemniscal sobre la segunda neurona espinotalámica se realiza no solamente a nivel segmentario sino también está asegurado por influencias suprasegmentarias. La ruptura de este equilibrio funcional entre los dos tipos de informaciones somestésicas sería el origen de ciertas sensaciones dolorosas.

Esta teoría permite proponer una explicación a ciertos tipos de dolor en patología (dolores que resultan de una desaferenciación) y conduce a nuevas medidas terapéuticas, principalmente a técnicas que tienen como fin reforzar la acción de las aferencias inhibitorias de tipo lemniscal por estimulación eléctrica intermitente (Fig. 99).

La electroestimulación de las vías lemniscales puede hacerse a nivel de los nervios periféricos (ya sea por electrodos colocados en la piel sobre el nervio periférico si es superficial, o bien por electrodos implantados directamente en el nervio si es profundo), a nivel de los cordones posteriores de la médula por vía percutánea y a nivel del núcleo ventroposterolateral del tálamo.

⁶ Artículo completo: <http://www.paincenter.pitt.edu/sites/default/files/documents/MelzackandWallGateControlTheory.pdf>



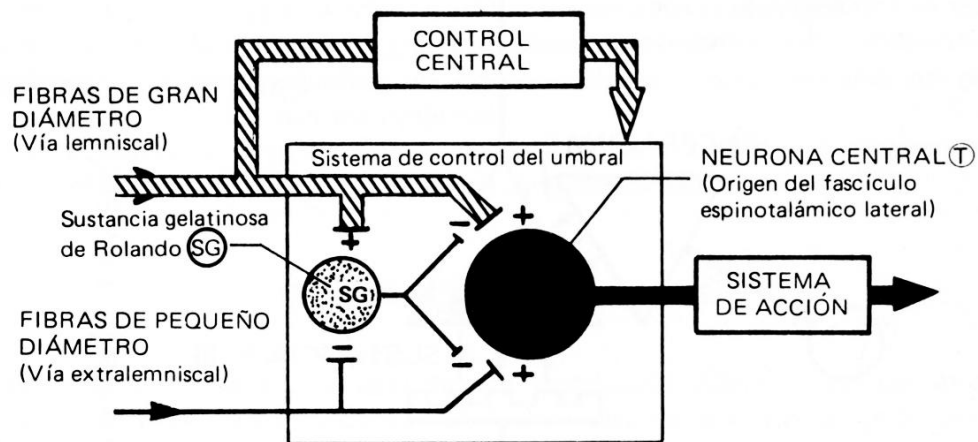


Ilustración 99. Organización funcional del asta posterior de la médula. Las fibras de mayor y menor diámetro se articulan con la neurona central T, origen de la vía extralemniscal. Estos dos tipos de fibras envían colaterales a las células de la sustancia gelatinosa (SG). El efecto inhibitorio ejercido por la SG sobre las fibras terminales aferentes aumenta por la actividad de las fibras gruesas y disminuye por la actividad de las fibras pequeñas. Por otra parte, las fibras de grueso calibre de los cordones posteriores (vía lemniscal) informan en forma rápida a los centros superiores, que gracias a las fibras descendentes pueden, en acción contraria, ejercer su control sobre el asta posterior. Existe así un control segmentario y suprasegmentario del sistema de acción. El balance entre la actividad de las pequeñas fibras y la de las gruesas fibras domina el que procede de T. Cuando este balance de actividad se rompe a favor de las pequeñas fibras, los impulsos que provienen de T aumentan; a partir de un nivel crítico nace la sensación de dolor.

PARA SABER MÁS

Esta teoría ha evolucionado con el desarrollo de la neurociencia. Es el mismo Melzac el que ha escrito los siguientes artículos. Es importante leerlos y tener en cuenta este progreso para comprender el dolor desde un punto de vista actual.

From the gate to the neuromatrix: http://revista.sedolor.es/pdf/2000_03_04.pdf

Pain and the Neuromatrix in the Brain: <http://www.jdentaled.org/content/65/12/1378.long>

B. ENCEFALINAS Y ENDORFINAS

El descubrimiento en el sistema nervioso de todos los vertebrados de receptores específicos para los opiáceos y de sustancias naturales (encefalinas y endorfinas) capaces de fijarse sobre estos receptores y dotadas de propiedades analgésicas, aporta un elemento nuevo e importante para la comprensión de la sensación dolorosa.

El mecanismo de acción de los péptidos opiáceos endógenos (a pesar de no conocerse totalmente) parece, al menos, situarse a dos niveles.



1. Medular (segmentario)

Los morfínicos endógenos inhiben la liberación de la sustancia P neuromediadora (o neuromoduladora) de las fibras nociceptivas. Existen receptores para la morfina en las capas superficiales de la médula que recubren aproximadamente las zonas de terminación de las fibras que contienen la sustancia P (Fig. 100).

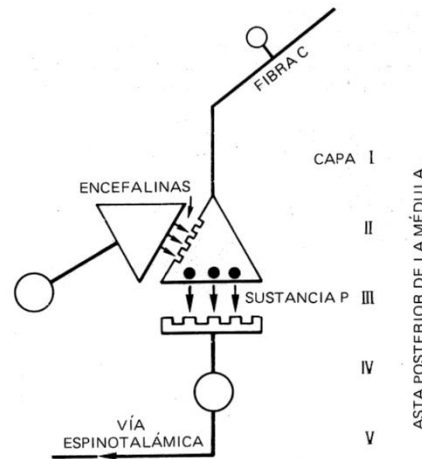


Ilustración 100. Acción medular de las encefalinas según Jessel e Iversen. Las encefalinas inhiben la liberación de sustancia P: el neuromediador (o neuromodulador) de las fibras finas que conducen el dolor sería la sustancia P cuya función es activar las neuronas espinotalámicas (principalmente las de la capa V). Las interneuronas encefalinérgicas tendrían una función inhibitoria que la ejercerían en forma presináptica

Estos receptores desaparecen al seccionar las raíces dorsales. La sustancia P, polipéptido de 11 aminoácidos, está implicada en la transmisión dolorosa, ejerce un efecto excitador poderoso sobre las neuronas que responden a estímulos naturales nociceptivos. Los opiáceos inhiben la liberación de sustancia P de modo estereoespecífico.

2. Tronco cerebral (suprasegmentario)

La estimulación de ciertas regiones del tronco cerebral tiene un efecto analgésico mediante la actuación de las morfinas endógenas.

Dos zonas son especialmente eficaces:

- **El núcleo magno del rafe:** este núcleo es el origen de una vía bulboespinal descendiente en el cordón dorsolateral, articulándose con la sustancia gelatinosa de Rolando siendo el mediador químico la serotonina. La estimulación de esta estructura tiene un efecto analgésico poderoso bloqueando la llegada de los mensajes nociceptivos sobre las células del asta posterior de la médula. La actividad de este sistema presenta numerosas analogías con la analgesia morfínica, lo que sugiere que actúa sobre las interneuronas espinales encefalinérgicas.



- **La sustancia gris periacueductal:** su estimulación, sobre todo en las regiones vecinas del rafe) produce analgesias. El efecto es idéntico al que se obtiene por depósito local de opiáceos. El efecto inhibitor sobre las respuestas dolorosas, sería debido a una excitación de las neuronas del rafe y no a un efecto directo sobre la médula.

El control de «las entradas» a nivel del asta posterior de la médula por un lado, encefalinas y endorfinas por otro, no explican de una forma completa los mecanismos de control de la sensación dolorosa. Principalmente existe un control descendente que se inicia en la corteza, pasa por la vía piramidal e inhibe las células de la capa V; la parte inferior del locus coeruleus es el origen de una vía que se distribuye a toda la sustancia gris de la médula ejerciendo, por intermedio de la noradrenalina como mediador, un efecto analgésico poderoso que no parece producir interferencias con los opiáceos.

En definitiva, la importancia respectiva de cada uno de los elementos que modula el mensaje nociceptivo es difícil de precisar.

C. INTEGRACIÓN DEL DOLOR

El dolor tiene para el organismo un significado diferente del de las otras modalidades sensoriales. Mientras que estas últimas aportan al individuo los datos que proporcionan el conocimiento de su propio cuerpo y del mundo exterior, el dolor le informa sobre un acontecimiento capaz de amenazar la integridad del organismo.

El dolor es un mensaje complejo y el esquema de la integración perceptiva del dolor no puede ser más que esbozado en función de la ontogénesis y de la filogénesis de las funciones del cerebro (Mac Lean) y de la observación de las reacciones a los estímulos nociceptivos en el mundo animal.

Las estructuras del mesencéfalo constituyen un primer nivel de integración. La sensación está mal definida en el tiempo y en el espacio, las reacciones que determina son globales y no específicas, el estado afectivo no se diferencia del de otras necesidades fundamentales.

El desarrollo del sistema límbico permite a los mamíferos sobrepasar este primer estadio para adquirir comportamientos mejor adaptados a la supervivencia de la especie. El dolor va más allá de su finalidad inicial de protección por dispositivos «recompensa y de castigo» que juegan un papel esencial en la elaboración de las modulaciones comportamentales.

El desarrollo considerable de la corteza cerebral, que caracteriza el cerebro de los mamíferos superiores, aumenta las capacidades de análisis y de registro de la experiencia sensorial. La sensación dolorosa, las reacciones que determina y el estado afectivo asociado, caracterizan un momento de lo vivido y definen un comentario de la conciencia. La cualidad de este estado de conciencia evoluciona a medida que el individuo se define en relación al mundo exterior y que la persistencia de huellas mnésicas beneficia cada experiencia de lo adquirido anteriormente. Con la adquisición del lenguaje, el dolor accede al mundo de los conceptos. Reviste una dimensión cultural sometándose a las conveniencias sociales, a las justificaciones morales (aceptación del mártir...).



Cada etapa corresponde por consiguiente a un modo de organización perceptivo-motriz particular. Estos niveles no se superponen en forma jerárquica. Los niveles más recientes modulan transformando la información que ha sido integrada a niveles subyacentes



XII. SISTEMA GAMMA

El sistema nervioso puede controlar adecuadamente los movimientos esqueléticos gracias a este sistema, del que recibe de manera continua información de retroacción sensitiva concerniente a los efectos de sus acciones.

Esta información sensitiva es:

- La tensión que ejerce el músculo sobre sus tendones, proporcionada por los órganos tendinosos de Golgi (OTG).
- La longitud el músculo, proporcionada por el aparato del huso neuromuscular (HNM).

El estiramiento rápido de los músculos esqueléticos da lugar a contracciones musculares muy potentes debido a la activación de las terminaciones nerviosas primarias y secundarias de los husos musculares y a la puesta en marcha del reflejo de estiramiento monosináptico.

Pueden aparecer espasmos musculares dolorosos como ocurre, por ejemplo, cuando se realiza el estiramiento forzado de los músculos para llevar a cabo la reducción de una fractura. Los espasmos musculares dolorosos se pueden evitar durante la realización de ejercicio físico mediante el estiramiento lento de los músculos para estimular principalmente las terminaciones secundarias de los husos musculares. El estiramiento lento también facilita la aparición del reflejo inhibitorio del órgano tendinoso de Golgi y estimula la relajación muscular.

A. RECEPTORES MUSCULOTENDINOSOS

La sensibilidad reflexógena está atribuida a los músculos y a sus tendones; la deben a dos tipos de receptores: los husos neuromusculares y los corpúsculos tendinosos de Golgi.

En la médula espinal coexisten dos tipos de segundas neuronas motoras que inervan los músculos esqueléticos. Las neuronas motoras que inervan las fibras musculares extrafusales se denominan motoneuronas alfa; las que inervan las fibras intrafusales son las motoneuronas gamma. Las motoneuronas alfa tienen una velocidad de conducción más rápida (60-90 m por segundo) que las motoneuronas gamma (10-40 m por segundo), cuyo diámetro es menor.

Debido a que sólo las fibras musculares extrafusales son lo suficientemente fuertes y numerosas como para dar lugar al acortamiento del músculo, la contracción muscular que causan los movimientos esqueléticos sólo se debe a la estimulación por las motoneuronas alfa.

1. Husos neuromusculares

Incluidos en el vientre muscular y aislados por un sobre fibroconjuntivo, los husos están constituidos por una decena de fibras musculares particulares, las fibras intrafusales, largas de 3 a 10 mm, dispuestas en paralelo, estriadas en sus dos partes extremas, ricas en núcleos en su región ecuatorial. Estas fibras se insertan por sus extremidades sobre los tabiques conjuntivos aponeuróticos intramusculares y están, por estos últimos, unidos a los tendones.



El huso está provisto de una rica inervación sensitiva y motriz. Se observa una degeneración después de la sección de las raíces posteriores o anteriores correspondientes (Fig. 101).

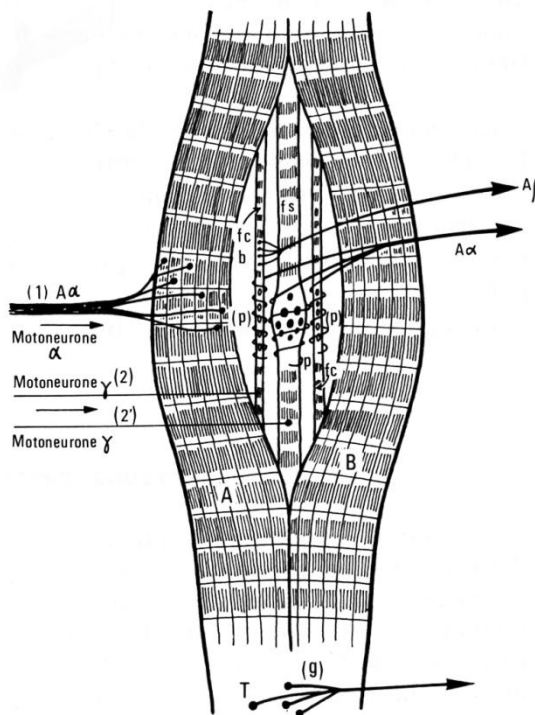


Ilustración 101. Esquema de un huso neuromuscular y de los receptores intrafusales representados aquí entre dos unidades motrices. A y B: Unidades motrices. Para la unidad Aa está indicada su inervación motriz (1) por una fibra Aa procedente de una motoneurona α . FS: fibra de saco nuclear. FC: fibras de cadena nuclear. A tener en cuenta la disposición respectiva de los núcleos en la zona ecuatorial de estas fibras y sus fibras nerviosas motrices (2) y (2') procedente de una motoneurona γ . T: tendón. La inervación sensible del huso está asegurada por terminaciones primarias (p) envueltas alrededor de la región ecuatorial de cada fibra muscular fusorial y por terminaciones secundarias en racimo (b). La sensibilidad tendinosa está asegurada por los receptores de Golgi (g).

Según la disposición de los núcleos en la zona ecuatorial de la fibra fusorial, se distinguen fibras de saco nuclear, más voluminosas (6 a 10 mm de longitud para un diámetro de una veintena de micrones) y fibras de cadena nuclear, más pequeñas (3 a 4 mm. de longitud para un diámetro de una decena de micrones).

La inervación sensible está asegurada por dos categorías de fibras nerviosas. Unas son ramificaciones de un axón miélnico de grande calibre de 12 a 20 μ , del grupo A α , cada una de estas ramificaciones envolviéndose alrededor de la región ecuatorial de cada una de las fibras musculares constitutivas del huso. Son las terminaciones dichas primarias, o anulo-espirales; otras (terminaciones secundarias), del grupo A β (5 a 12 μ) se solucionan en racimos, a la vecindad de las anteriores, pero solamente sobre las fibras fusoriales más finas (fibras de cadena nuclear).

La inervación motriz está constituida por fibras mielínicas de pequeño tamaño (2 a 8 μ) que pertenecen al grupo A γ y que se terminan sobre las extremidades estriadas de las fibras fusoriales. Estas fibras nerviosas son los axones de motoneuronas de pequeño tamaño lo que les distingue de las motoneuronas radicales anteriores a las cuales está atribuida el mando motor de las fibras musculares estriadas propiamente dichas. Porque estas fibras pertenecen al grupo A γ , se las llama gamma, así como sus neuronas.

Fibras y neuronas gamma se diferencian de las fibras y neuronas motoras de las unidades motrices que pertenecen al grupo A α y se llaman alfa

2. Papel de los receptores intrafusales y de golgi

Los corpúsculos tendinosos de Golgi se encuentran en los tendones y los tabiques aponeuróticos intramusculares. Están formados por haces tendinosos que circunscriben una cavidad donde penetra una fibra del grupo A β ; después de haber perdido su mielina, esta fibra se resuelve en racimos en cinta que se insinúan entre las lamelas del órgano.

Son mecanorreceptores sensibles al estiramiento. Los receptores fusoriales están en “paralelo” en las fibras musculares; los receptores de Golgi están “en serie” en los tendones. Es evidente que, en el estiramiento del músculo, las dos categorías de receptores son solicitadas por el alargamiento. En la contracción isotónica, su acortamiento provoca el acortamiento de los husos, mientras que estiran los corpúsculos de Golgi, proporcionando mensajes reflexógenos y sensoriales, mientras que los husos acortados disminuyen o suprimen los suyos

Sobre este esquema existen dos tipos de reflejos (Fig. 102):

- El reflejo miotático propiamente dicho, monosináptico y propioceptivo: excitación refleja de las motoneuronas por estiramiento de los husos neuromusculares,
- El reflejo miotático inverso, polisináptico (una neurona intercalar) suscitado por el estiramiento del tendón (receptores de Golgi).

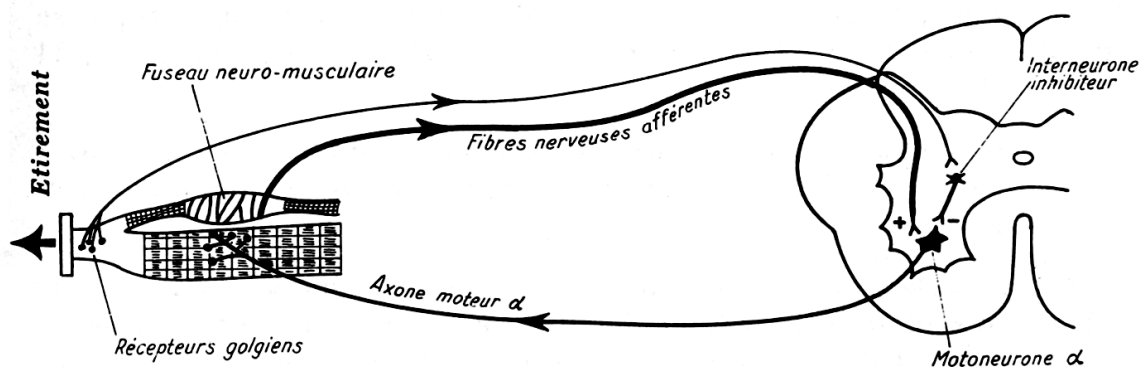


Ilustración 102. Esquema simplificado del arco reflejo.

Para determinar el papel de cada clase de receptor, es necesario examinar su acción en la unidad miotática (Lloyd, 1946) que se define como “el conjunto de los músculos que actúan sobre una articulación y las vías de influencia mutua que las asocian en una misma estructura funcional”.

Receptores intrafusales ánulo-espirales

Su umbral es el más bajo. Sus mensajes son transmitidos por fibras A de conducción rápida y sólo tienen una sinapsis que cruzar. Son el origen del reflejo miotático propiamente dicho, monosináptico y propioceptivo: el estiramiento del músculo tiene como resultado la excitación de las motoneuronas del músculo estirado y la inhibición de las motoneuronas del o de los músculos antagonistas.

Receptores intrafusales “en racimo”

Su umbral es más elevado (15 g). Sus mensajes viajan algo más lentos que los precedentes y tienen varias sinapsis (reflejo polisináptico). Su estiramiento es el origen de una reacción agonista-antagonista específica de flexión-extensión. Excita las motoneuronas de un músculo flexor e inhibe las motoneuronas de los músculos extensores de la unidad miotática interesada. Se trata de un reflejo de flexión.

Receptores de Golgi

Los órganos tendinosos de Golgi controlan de manera continua la tensión existente en los tendones debida a la contracción muscular o al estiramiento pasivo del músculo. Las neuronas sensitivas desde estos receptores establecen sinapsis con las interneuronas de la médula espinal; a su vez, estas interneuronas hacen sinapsis inhibitorias (a través de los PIPS y de la inhibición postsináptica) con las neuronas motoras que inervan el músculo.

Tienen un umbral muy elevado (100 a 200 μ); sus influjos están conducidos a la misma velocidad que los receptores intrafusales, pero deben cruzar dos sinapsis. Son indicadores de la tensión que sufre el tendón, por estiramiento pasivo o por contracción del músculo implicado. Este reflejo inhibitorio del órgano tendinoso de Golgi se denomina reflejo disináptico (debido a que atraviesa dos sinapsis en el SNC) y es útil para impedir la contracción o estiramiento pasivos excesivos del músculo. Si un músculo se estira de manera importante y controlada, presenta realmente relajación debido a los efectos inhibitorios producidos por los órganos tendinosos de Golgi.

Son el origen del reflejo miotático inverso, es decir, que inhiben el músculo estirado en vez de contraerlo y contraen los músculos antagonistas en vez de inhibirlos. Por este mecanismo, los corpúsculos de Golgi son frenos de la reacción miotática cuyos husos son los promotores.

3. Papel del músculo y de su inervación

Kupffer (1951) puso de manifiesto que las fibras nerviosas finas de 2 a 8 μ (fibras γ), contenidas en las raíces anteriores, inervan el músculo. Cuando se llegó a aislarlas en su raíz o en el nervio motor, se demostró que éstas no tenían acción sobre el músculo, pero hacían contraerse los husos que contuvieran.



B. BUCLE GAMMA (Γ)

La innervación del músculo esquelético es muy particular. Comprende:

- El arco reflejo monosináptico, con su neurona aferente miotática y la motoneurona γ , cuyo axón se distribuye a las placas motoras musculares.
- El bucle γ , nacido de la motoneurona γ , cuyo axón se distribuye a las fibras musculares intrafusales. Se observa que este bucle no posee aferencias propioceptivas; se conecta en el origen del arco reflejo miotático, en el huso neuromuscular.

1. Actividad gamma

Su papel consiste en contraer los músculos. Para comprobar cómo está ocurriendo este fenómeno, se miden los potenciales propagados en los axones γ aislados en la raíz ventral o el nervio motor del músculo o los potenciales propagados en las aferencias del reflejo miotático correspondiente.

Los resultados esenciales son los siguientes:

- La actividad γ es permanente. Los HNM están activos incluso cuando no reciben estímulos propioceptivos. El tono muscular puede pues ser mantenido por la única actividad γ , lo que explica que la tensión que existe en un músculo no estirado.
- Para que la respuesta tónica del músculo se produzca, es necesario que el estiramiento pasivo y la actividad tengan uno y otro una intensidad suficiente (umbral). Cuando esto se cumple, la respuesta a un estiramiento constante es más fuerte que la actividad γ . No obstante, a la salida de la motoneurona γ , una interneurona (célula de Renshaw) puede frenar los excesos de esta actividad. Cuando se ha alcanzado el umbral de excitación, esta interneurona envía influjos inhibidores retroactivos que bloquean o reducen las descargas de la motoneurona γ .
- La actividad γ es variable. Independientemente de las influencias medulares o centrales que la refuerzan o la debilitan, disminuye durante el estiramiento sostenido del músculo implicado (adaptación). Cuando éste se contrae, el estiramiento de los husos cesa, pero la actividad γ persiste e incluso aumenta. Se dice que “rellena la pausa” del reflejo miotático.
- Con motivo de actos motores diversos, la actividad γ se refuerza inmediatamente antes de la descarga de las motoneuronas efectoras del movimiento.
- La excitación nociceptiva de los nervios cutáneos o de los nervios mixtos está susceptible de intensificar la actividad γ y, por lo tanto, el tono muscular. Por ejemplo, en el gato, el pinzamiento de la oreja suscita una fuerte respuesta del bucle γ . Resulta una puesta en tensión de toda la musculatura que constituye “el estado de alerta” (Fig. 103).



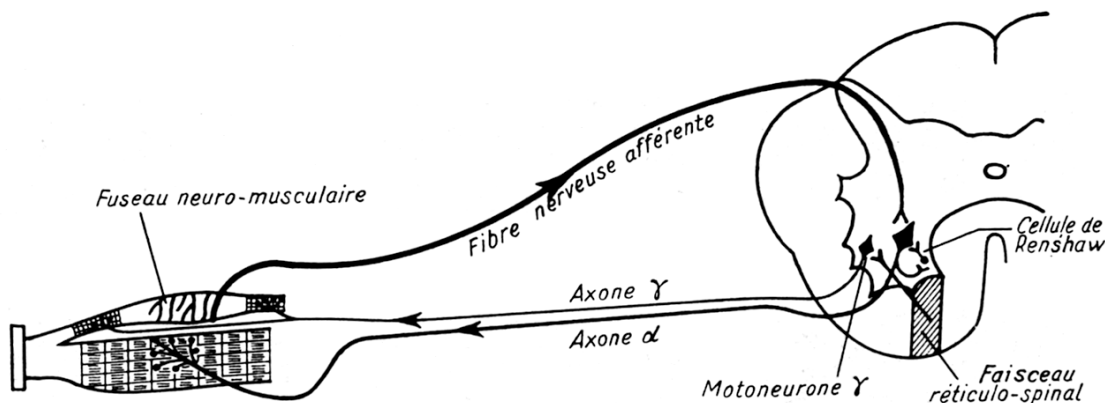


Ilustración 103. Esquema del bucle γ y de la célula de Renshaw.

Estos datos experimentales ponen de manifiesto la importancia funcional del bucle γ . Es el efector de un sistema regulador de la tensión fusorial, destinado a amortiguar los efectos propios del estiramiento o de la relajación de los músculos. Su actividad se opone a la producción de “sacudidas” en la continuidad del tono muscular, cuyo mecanismo fundamental, el reflejo miotático, está, hasta cierto punto, traído por ella a una posición media. El envío permanente de información, de frecuencia y número variables, en el arco monosináptico, coloca la motoneurona α en el estado de facilitación o excitación más favorable al mantenimiento de un equilibrio medio. Por último, la precesión de la actividad γ sobre la descarga del efector α ajusta el tono postural antes de la ejecución del movimiento y le da su precisión.

2. Control de los músculos esqueléticos por la neurona motora superior

Como ya se ha señalado, las neuronas motoras superiores son neuronas localizadas en el cerebro que controlan el músculo esquelético mediante su influencia sobre las neuronas motoras inferiores (motoneuronas α y γ). Las neuronas de la corteza precentral cerebral envían axones a las zonas contralaterales a través de los fascículos piramidales del bulbo raquídeo; por tanto, estos haces se denominan vías piramidales. Las vías piramidales son las vías corticoespinales lateral y ventral.

Las neuronas de otras zonas del cerebro dan origen a las vías extrapiramidales. La vía extrapiramidal principal es la vía reticular espinal, que se origina en la formación reticular el bulbo raquídeo y de la protuberancia. Las áreas cerebrales que influyen en la actividad de las vías extrapiramidales pueden ser las que dan lugar a la inhibición de las neuronas motoras inferiores que se ha descrito en la sección anterior.

Cerebelo

Al igual que el cerebro, el cerebelo recibe información sensitiva desde los husos musculares y los órganos tendinosos de Golgi. También recibe fibras procedentes de las áreas de la corteza cerebral implicadas en la visión, la audición y el equilibrio.



En el cerebelo no se originan vías descendentes. Solo puede influir en la actividad motora por mecanismos indirectos, a través de sus conexiones con los núcleos vestibulares, el núcleo rojo y los núcleos basales. A su vez, estas estructuras influyen en las neuronas motoras inferiores a través de las vías vestibuloespinal, rubroespinal y reticuloespinal.

Toda la información que sale del cerebelo es inhibitoria. Estos efectos inhibidores facilitan la coordinación motora al eliminar la actividad nerviosa inadecuada. La lesión del cerebelo interfiere con la capacidad de coordinar los movimientos según consideraciones espaciales. Estas lesiones cerebelosas pueden hacer que la mano vaya más allá o no llegue a un objeto que se pretende coger y también pueden dar lugar a un temblor de intención en el que el miembro se mueve hacia adelante y hacia atrás con un movimiento de tipo pendular.

Núcleos basales

Denominados en ocasiones ganglios basales, son el núcleo caudado, el putamen y el núcleo pálido. A menudo, también se incluyen en este grupo otros núcleos del tálamo, el subtálamo, la sustancia negra y el núcleo rojo. Mediante su actuación directa a través de la vía rubroespinal e, indirectamente, a través de las sinapsis de la formación reticular y el tálamo, los núcleos basales ejercen una influencia intensa sobre la actividad de las neuronas motoras inferiores.

En concreto, a través de las sinapsis que establecen en la formación reticular, los núcleos basales ejercen una influencia inhibitoria sobre la actividad de las neuronas motoras inferiores. Por tanto, la lesión de los núcleos basales da lugar a un aumento del tono muscular, tal como ya se ha señalado. Las personas con este tipo de lesiones muestran acinesia (falta de ganas de utilizar el miembro afectado) y corea (movimientos aleatorios súbitos e incontrolados).

Coactivación de las motoneuronas alfa y gamma

La mayor parte de las fibras que constituyen las vías motoras descendentes establecen sinapsis con las interneuronas de la médula espinal. Aproximadamente, sólo el 10 % de las fibras descendentes hace sinapsis de manera directa con las neuronas motoras inferiores. Es probable que los movimientos muy rápidos se produzcan por las sinapsis directas con las neuronas motoras inferiores, mientras que la mayor parte de los demás movimientos se deban a las sinapsis indirectas con las interneuronas medulares que, a su vez, estimulan las neuronas motoras.

Las neuronas motoras superiores, es decir, las neuronas localizadas en el cerebro y cuyos axones constituyen las vías motoras descendentes, estimulan generalmente las motoneuronas alfa y gamma de manera simultánea. Esta estimulación se denomina coactivación. La estimulación de las motoneuronas alfa da lugar al acortamiento y contracción del músculo; la estimulación de las motoneuronas gamma estimula la contracción de las fibras intrafusales. De esta manera, los husos permanecen en tensión y siguen aportando información acerca de la longitud del músculo incluso cuando el músculo se está acortando.

En condiciones normales, la actividad de las motoneuronas gamma se mantiene al nivel necesario para que los husos musculares tengan la tensión adecuada mientras los músculos están relajados. La relajación excesiva de los músculos se impide por el estiramiento y activación de los husos que,



a su vez, induce una contracción refleja (que se describe en la siguiente sección). Este mecanismo da lugar al estado de tensión y longitud normales del músculo en reposo, o tono muscular.

C. REFLEJOS MUSCULARES ESQUELÉTICOS

Aunque los músculos esqueléticos se suelen denominar músculos voluntarios debido a que están controlados por las vías motoras descendentes que permanecen bajo control consciente, con frecuencia se contraen de manera refleja e inconsciente en respuesta a estímulos concretos. En el tipo más sencillo de reflejo, el músculo esquelético se contrae en respuesta al estímulo del estiramiento muscular. Los reflejos más complejos implican la inhibición de los músculos antagonistas y la regulación de diversos músculos en los dos lados del cuerpo.

1. Reflejo monosináptico de estiramiento

La contracción refleja de los músculos esqueléticos tiene lugar en respuesta a estímulos sensitivos y no depende de la activación de las neuronas motoras superiores. El arco reflejo, que corresponde a la vía que sigue el impulso nervioso en el reflejo desde las terminaciones sensitivas hasta las terminaciones motoras, implica solo unas pocas sinapsis en el SNC. El más sencillo de todos los reflejos (el reflejo de estiramiento muscular) sólo implica la participación de una sinapsis en el SNC. La neurona sensitiva establece directamente sinapsis con la neurona motora, sin la participación de interneuronas en la médula espinal.

Así, el reflejo de estiramiento es un reflejo monosináptico en términos del arco reflejo individual (aunque, por supuesto, se activan al mismo tiempo muchas neuronas sensitivas que dan lugar a la activación de muchas neuronas motoras). Los reflejos de estiramiento hacen que los músculos esqueléticos en reposo mantengan una longitud óptima.

El reflejo de estiramiento está presente en todos los músculos, pero es más llamativo en los músculos extensores de los miembros. El reflejo rotuliano, que es el reflejo de estiramiento provocado con mayor frecuencia, se inicia mediante el golpeo del ligamento rotuliano con un martillo de goma. El golpe estira todo el cuerpo del músculo y, así, induce el estiramiento pasivo de los husos que existen en el mismo, de forma que se activan los nervios sensitivos y las terminaciones sensitivas primarias (anuloespirales). Los axones de estas neuronas sensitivas establecen sinapsis con motoneuronas alfa en la sustancia gris anterior de la médula espinal. Estas fibras nerviosas motoras grandes y de contracción rápida estimulan las fibras extrafusales del músculo extensor con aparición de una contracción isotónica y el reflejo rotuliano. Éste es un ejemplo de retroacción negativa en el que el estiramiento de los músculos (y de los husos) estimula el acortamiento de los músculos (y de los husos).

2. Inervación recíproca y reflejo extensor cruzado

En el reflejo rotuliano y en otros reflejos de estiramiento, la neurona sensitiva que estimula a la neurona motora de un músculo también estimula las interneuronas de la médula espinal a través de ramas colaterales. Estas interneuronas inhiben las neuronas motoras de los músculos antagonistas a través de potenciales inhibitorios postsinápticos (PIPS). Esta actividad doble de estimulación e inhibición se denomina inervación recíproca.



Por ejemplo, cuando se realiza la flexión de un miembro, los músculos antagonistas extensores se estiran de forma pasiva. La extensión de un miembro da lugar de la misma manera al estiramiento de los músculos flexores antagonistas. Si el reflejo de estiramiento monosináptico no quedara inhibido, la contracción refleja de los músculos antagonistas daría lugar siempre a interferencia con el movimiento intencionado. Afortunadamente, cuando se estimula la contracción de los músculos agonistas o «intencionales», se inhiben las motoneuronas alfa y gamma que estimulan los músculos antagonistas.

El reflejo de estiramiento con sus inervaciones recíprocas sólo afecta a los músculos de un miembro y está controlado únicamente por un segmento de la médula espinal. Los reflejos más complejos implican a músculos controlados por numerosos segmentos de la médula espinal y afectan también a músculos del lado contralateral de la médula. Estos reflejos requieren la inervación recíproca doble de los músculos.



XIII. SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO

Una característica del sistema nervioso es su capacidad para llegar a todos los rincones de nuestro organismo. Para ello, el neuroeje cuenta con una amplia red de prolongaciones periféricas: unas parten del SNC llevando impulsos motores o secretores hacia los órganos efectores (fibras eferentes o centrífugas) y otras alcanzan el neuroeje llevando información recogida por los receptores periféricos (fibras aferentes o centrípetas). Todas ellas forman el complejo entramado de los nervios que, en función del tipo de fibras que contienen, pueden ser:

- Nervios sensitivos y nervios sensoriales, que aportan al sistema nervioso el contingente de fibras aferentes.
- Nervios motores y nervios secretores, que llevan fibras eferentes.
- Nervios mixtos, los más numerosos, que contienen fibras aferentes y eferentes.

Otra clasificación de los nervios se establece en función del control que la voluntad ejerce sobre su actividad:

- Nervios pertenecientes al sistema nervioso cerebroespinal, cuya actividad está intrincada con la vida de relación y sometida al control de la voluntad. Tienen su origen en la sustancia gris (núcleos o centros nerviosos) del encéfalo y la médula espinal. Una distribución topográfica permite diferenciar dos grupos: nervios craneales y nervios raquídeos.
- Nervios del sistema nervioso vegetativo o autónomo, que controlan la vida vegetativa y son independientes del control de la voluntad. Existen en este grupo dos sistemas complementarios, simpático y parasimpático, con acciones contrapuestas, pero cuyo equilibrio garantiza la adaptación del organismo a la situación presente en cada instante de la vida.

A. GENERALIDADES NERVIOS PERIFÉRICOS

Los nervios periféricos son fascículos de fibras nerviosas agrupadas en el seno de envolturas conjuntivas. Cada fibra nerviosa está constituida por la prolongación de una neurona y por una vaina de Schwann. El cuerpo celular de la neurona está situado en el asta anterior de la médula (fibras motoras), en el ganglio raquídeo (fibras sensitivas) o en un ganglio de la cadena simpática (fibras vegetativas). La longitud de estas prolongaciones celulares explica su fragilidad relativa.

Las células de Schwann rodean la prolongación de la neurona y se colocan en toda su longitud. Para algunas fibras llamadas «amielínicas», cada célula de Schwann rodea varios axones; para las fibras mielinizadas, cada célula de Schwann está unida a un solo axón, alrededor del cual se enrolla y se diferencia para constituir un segmento de su vaina de mielina. Una de las funciones de la vaina de mielina es la de acelerar notablemente la velocidad de propagación del impulso nervioso (conducción saltatoria), de tal forma que las fibras amielínicas tienen una conducción lenta, las fibras mielinizadas una conducción tanto más rápida cuanto más importante es su diámetro (Fig. 104).



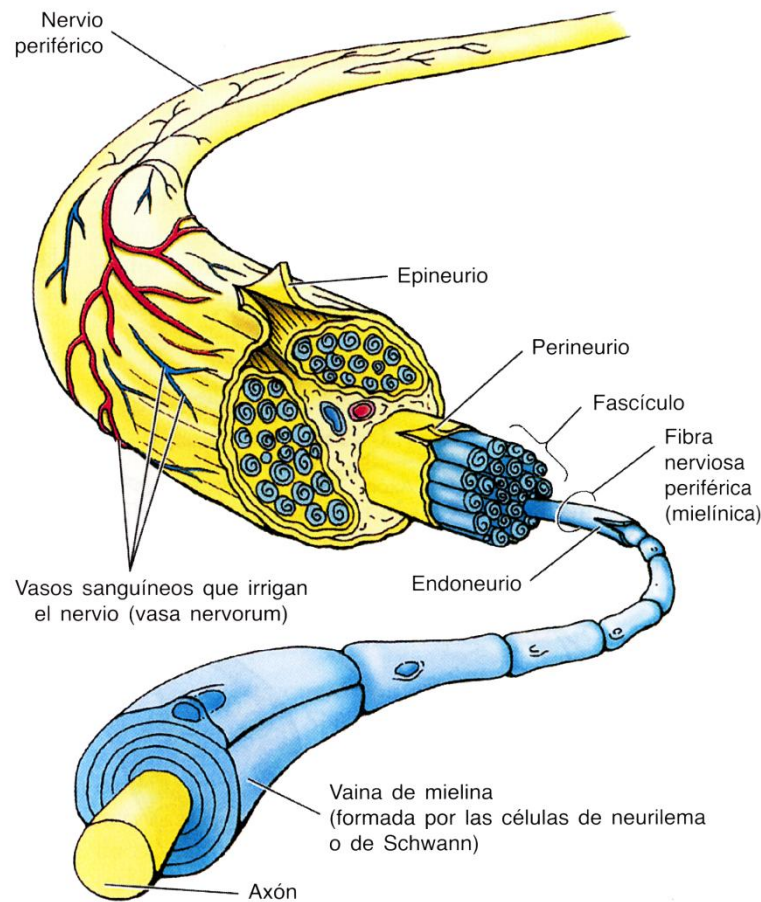


Ilustración 104. Estructura de un nervio periférico.

1. Biología elemental

Transporte axonal

El mantenimiento de las neuronas y de sus expansiones dendríticas y axonales necesita que las macromoléculas que entran en la constitución de las membranas axonales y las enzimas que controlan la biosíntesis de los neurotransmisores sean constantemente renovadas. El axón cuya longitud puede, en el ser humano, sobrepasar un metro, es incapaz de asegurar por sí mismo la biosíntesis de las macromoléculas que lo constituyen. La fuente casi exclusiva de macromoléculas axonales se encuentra en el cuerpo celular de la neurona.

La integridad y el buen funcionamiento del axón resulta de un tráfico molecular de doble sentido: el progreso de los compuestos macromoleculares desde la neurona hacia las regiones distales del axón, se realiza gracias al transporte axonal ortógrado, la vuelta del material axonal en sentido inverso se efectúa gracias al transporte axonal retrógrado. Estos flujos axonales de moléculas participan en el mantenimiento de las vainas de mielina elaboradas por las células gliales y en las interacciones tróficas que se ejercen recíprocamente entre los elementos pre y postsinápticos.

Transporte axonal ortógrado

Existen dos tipos de transporte axonal ortógrado:

- Flujo axonal lento: transporta la mayoría de las proteínas axonales (80%) a velocidades medias que se escalonan entre 1 y 10 mm/día. El flujo axonal lento asegura el progreso de los elementos constitutivos del citoesqueleto axonal; tubulina de los microtúbulos, las subunidades de los neurofilamentos, la actina y los análogos de la miosina. Éste es el que suministra además al axón de enzimas solubles del axoplasma (principalmente la colinoacetiltransferasa). El mecanismo de propulsión del flujo axonal lento no está todavía dilucidado, pero es seguro que no se trata de un simple proceso de difusión.
- Flujo axonal rápido: transporta los constituyentes de la membrana axonal y sistemas de las membranas presinápticas que aseguran la renovación (glucoproteínas, fosfolípidos, enzimas como la acetilcolinesterasa, etc.) La velocidad media del transporte axonal rápido es de 300+ 100 mm por día. El retículo endoplásmico liso es la vía intraaxonal preferencial seguida por las constituyentes de las membranas. La actina parece ser el soporte del mecanismo del transporte axonal, bien por una combinación actina-miosina análoga a la de los músculos, o bien por sus propiedades de polimerización reversible. El flujo axonal rápido o lento desempeña un papel esencial en la transmisión sináptica, no conduciendo por sí mismo al neurotransmisor sino transportando los enzimas que controlan su biosíntesis en las terminaciones, es decir, el neurotransmisor es inmediatamente operativo (principalmente para las neuronas colinérgicas, monoaminérgicas, gabaminérgicas).

Transporte axonal retrógrado

Un gran número de macromoléculas de las membranas, encaminadas por el transporte axonal lento o rápido, son devueltas desde las terminaciones nerviosas hacia el cuerpo celular de la neurona, donde ciertos componentes son reciclados y reintegrados en macromoléculas nuevas.

El transporte axonal retrógrado tiene una velocidad media de 200+ 50 mm por día. Este movimiento retrógrado parece depender de un mecanismo ligado al del transporte ortógrado y se bloquea por los mismos agentes tóxicos. El transporte axonal retrógrado asegura una comunicación privilegiada entre las terminaciones nerviosas y el cuerpo celular. Algunas moléculas que tienen un papel informativo (como el «Nerve Growth factor» o NGF de los nervios simpáticos) son transportadas hacia el cuerpo celular y modifican la producción de ciertas moléculas. Un tráfico molecular bidireccional permite, a la neurona y a sus prolongaciones, adaptarse con gran flexibilidad funcional a las necesidades cualitativas o cuantitativas.

Función del transporte axonal en el mantenimiento de las vainas de mielina

En los nervios mielinizados del sistema nervioso periférico, las células de Schwann aseguran la elaboración de la vaina de mielina, es decir, de las proteínas específicas y de los diversos fosfolípidos que entran en la constitución de estas capas de las membranas. Se ha demostrado que una parte importante de la colina de origen axonal se cede a las células de Schwann en el curso del transporte axonal rápido. El axón desempeña, pues, un papel trófico sobre las células de Schwann mielinizantes y asegura el mantenimiento de la integridad de las vainas de mielina. Toda perturbación del transporte axonal tendrá una repercusión sobre las vainas miélicas.



En definitiva, la alteración de los tráficos moleculares recíprocos entre el cuerpo celular y las terminaciones axonales (de origen mecánico, tóxico, metabólico...) trastorna un equilibrio dinámico esencial y, puede ser la causa, o bien permite comprender el efecto de ciertas neuropatías periféricas.

2. Degeneración y regeneración de las fibras nerviosas

La interdependencia muy estrecha del axón y de las células de Schwann da cuenta de los caracteres de la degeneración y de la regeneración de las fibras nerviosas en el curso de las neuropatías periféricas.

La degeneración walleriana es la consecuencia de una lesión primitiva de la neurona; se desarrolla en la parte distal de una fibra que ha sido separada del cuerpo celular y progresa de manera centrífuga. Asocia una degeneración del axón y una dediferenciación de la vaina de Schwann; los restos mielínicos son absorbidos por macrófagos que, al menos por una parte, son de origen, schwanniano. La regeneración se opera a partir del cabo central del axón lesionado o de colaterales de los axones vecinos; facilitada por la persistencia de las vainas endoneuronales, procede de manera centrífuga, estando asegurada la remielinización en moderación por las células de Schwann, que permanecen en el lugar. En este tipo de degeneración, las funciones de conducción del cabo distal de la fibra desaparecen en algunos días después de la sección del nervio; reaparecen durante la regeneración; la velocidad de conducción inicialmente reducida vuelve progresivamente a su valor inicial (Fig. 105 y 106).

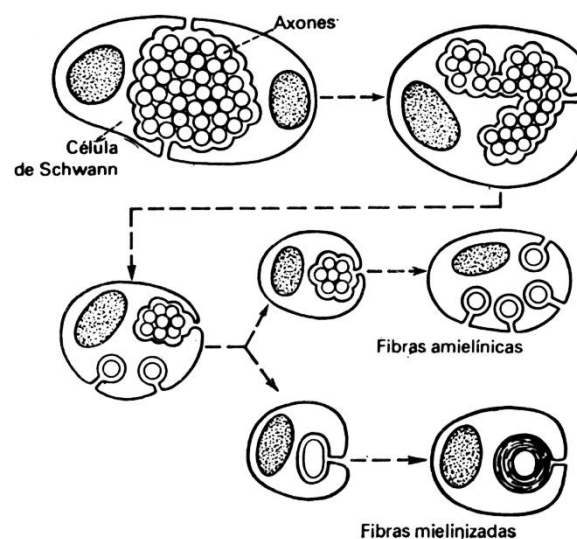


Ilustración 105. Estadios sucesivos de las relaciones entre células de Schwann y axones, durante el desarrollo

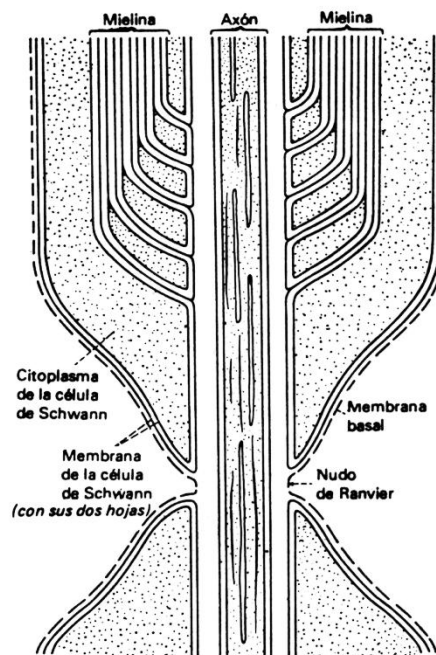


Ilustración 106. Esquema de la ultraestructura de un nudo de Ranvier en corte longitudinal (según J. Poirier).

La degeneración distal retrograda responde también a una lesión neuronal primitiva; pero se trata esta vez no de una interrupción localizada del axón, sino de afecciones que perturban la vida celular de la neurona y marcan sus efectos iniciales en las regiones más distales de la fibra: la degeneración axonal y la desmielinización progresan aquí de la extremidad de la fibra hacia el cuerpo celular de la neurona; la regeneración pone en marcha la proliferación colateral de las fibras nerviosas, que permanecen indemnes. La disminución de la amplitud del potencial de nervio que resulta de la degradación de las fibras puede no acompañarse de una reducción de la velocidad de conducción en razón de la yuxtaposición en el seno del nervio de fibras sanas y fibras degeneradas.

La neuritis segmentaria periaxial resulta de una lesión primitiva de las células de Schwann. Se traduce por la desaparición de la vaina de mielina en uno o varios segmentos, entre dos estrangulaciones de Ranvier. El axón está preservado en su continuidad; sin embargo, puede presentar alteraciones morfológicas en vista de la desmielinización. Esta repercusión axonal de la lesión schwanniana se evidencia más especialmente en las fibras amielínicas.

Este tipo de neuropatía primitivamente desmielinizante da lugar a una reducción de amplitud del potencial de nervio y a un pronunciado enlentecimiento de la velocidad de conducción. La regeneración, que corresponde a la reconstitución de las vainas de mielina, puede efectuarse en un intervalo más breve que el tiempo necesario para la regeneración axonal en las afecciones primitivamente neuronales (Figs. 107, 108 y 109).

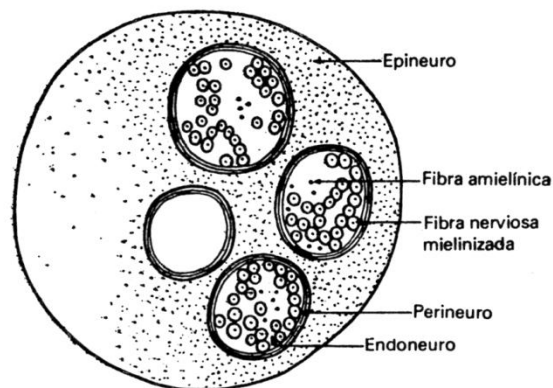


Ilustración 107. Corte transversal de un nervio.

La oposición de los diversos tipos de degradación de la fibra nerviosa no debe ser establecida de manera demasiado absoluta. La neurona y la vaina de Schwann están íntimamente unidas en su estructura y en su funcionamiento; toda afección que lesiona uno de los elementos de la pareja repercute sobre el otro. En la práctica, no es posible proponer una clasificación fisiopatológica de las neuropatías periféricas: esta clasificación se basa en un esquema general de origen topográfico y en el criterio etiológico.

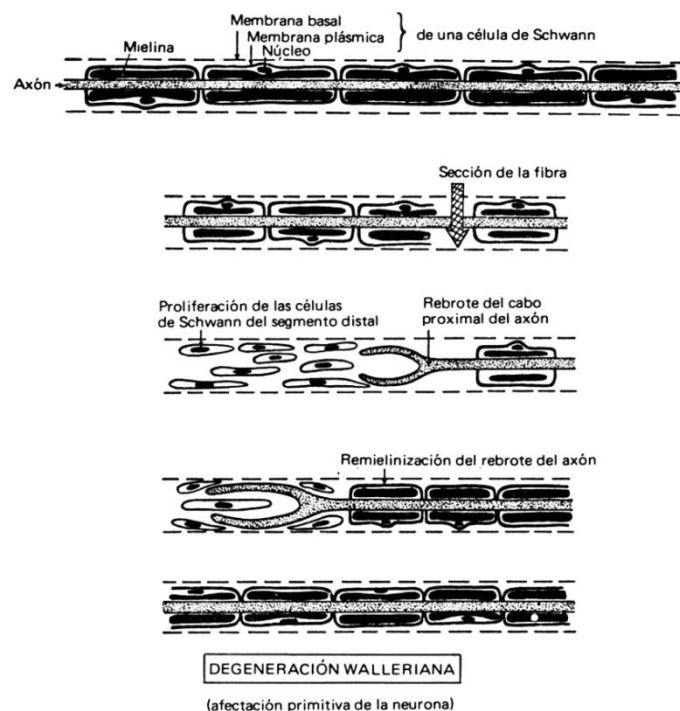


Ilustración 108. Esquemas de las principales etapas de la degeneración walleriana y de la regeneración de una fibra nerviosa mielinizada periférica (según J. Poirier y J. Chevreau, modificada).

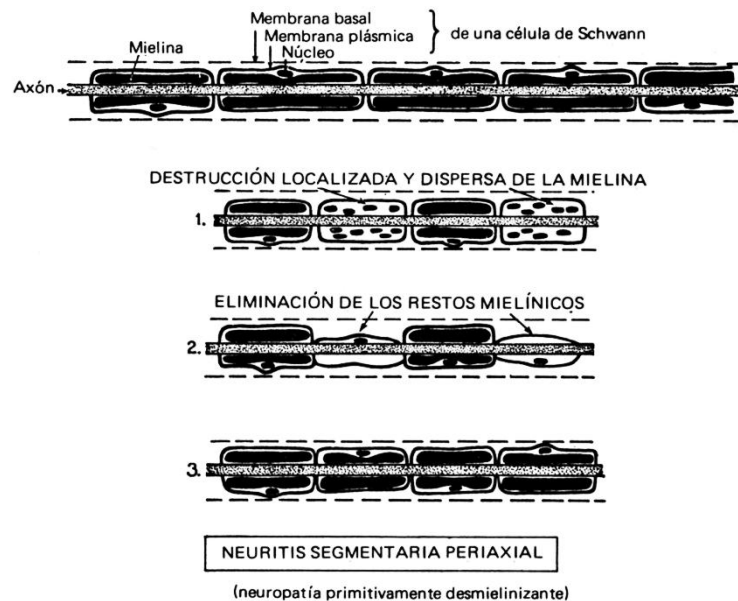


Ilustración 109. Esquemas de las principales etapas de la desmielinización segmentaria y de la remielinización de una fibra nerviosa mielinizada periférica (según J. Poirier y J. Chevreau, modificada).

B. NERVIOS CRANEALES

Son doce pares de nervios que llegan o emergen a determinados niveles del cerebro o del tronco del encéfalo (origen aparente). Los centros nerviosos o núcleos reales de origen de estos nervios, es decir, el lugar donde se ubican los cuerpos neuronales cuyas fibras los constituyen, ya se han estudiado con la descripción del SNC y los órganos de los sentidos.

Entre los nervios craneales existen algunos sensitivos, otros motores y otros mixtos.

Algunos de ellos llevan un importante contingente de fibras vegetativas pertenecientes al sistema parasimpático craneal y con frecuencia establecen anastomosis con los nervios simpáticos que acompañan a los vasos.

Es conveniente familiarizarse con la nomenclatura de estas vías, muy empleada según de la variedad y la frecuencia de problemas neurológicos que acarrea su lesión. En sentido craneal a caudal son:

- Nervio olfatorio (I par craneal).
- Nervio óptico (II par craneal).
- Nervio motor ocular común (III par craneal).
- Nervio patético (IV par craneal).
- Nervio trigémino (V par craneal).
- Nervio motor ocular externo (VI par craneal).
- Nervio facial (VII par craneal).



El olfato es un sentido químico, con bajo umbral de excitabilidad: bastan poquísimas moléculas olorosas para que se produzca la excitación.

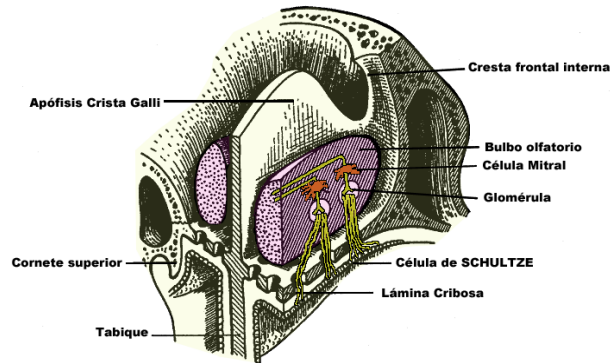


Ilustración 111. I - Nervio olfatorio y bulbo olfativo

2. Nervio óptico (II par craneal)

Los estímulos visuales son captados y transformados en impulsos nerviosos por los fotorreceptores (conos y bastones) de la retina. Las primeras neuronas de la vía óptica son las células bipolares, que en la misma retina hacen sinapsis con las segundas neuronas: las células ganglionares, cuyos axones constituyen el fascículo óptico.

El fascículo óptico discurre hacia el fondo de la órbita, atraviesa el conducto óptico y, una vez dentro del cráneo, se coloca sobre el conducto óptico del esfenoides. Aquí se produce una decusación de los fascículos ópticos denominado quiasma óptico. En realidad, sólo se cruzan las fibras que corresponden a la mitad nasal de cada retina, mientras que las procedentes de la mitad temporal siguen un curso homolateral (Fig. 112).

De esta forma, los tractos nerviosos que parten del quiasma, denominados cintillas ópticas, llevan axones de la retina temporal de su lado y de la retina nasal del ojo contralateral (Fig. 113). Las cintillas ópticas se dirigen hacia el cuerpo geniculado externo, donde hacen sinapsis.

Aquí, por tanto, se originan las terceras neuronas de la vía óptica que, flanqueando los ventrículos telencefálicos, llegan a las áreas visuales de la corteza cerebral, situadas en el lóbulo occipital del cerebro. La mayor parte de los axones termina en el área 17 (área visual primaria). Esta área se halla conectada por neuronas de asociación con las áreas que la circundan (18 y 19), donde se termina de elaborar la información y se hace consciente la percepción visual estereoscópica.

Las áreas visuales de los hemisferios derecho e izquierdo están interconectadas por fibras que pasan por el cuerpo calloso. Otras conexiones se producen con las áreas corticales del lenguaje, la psicomotricidad, la memoria, etc.

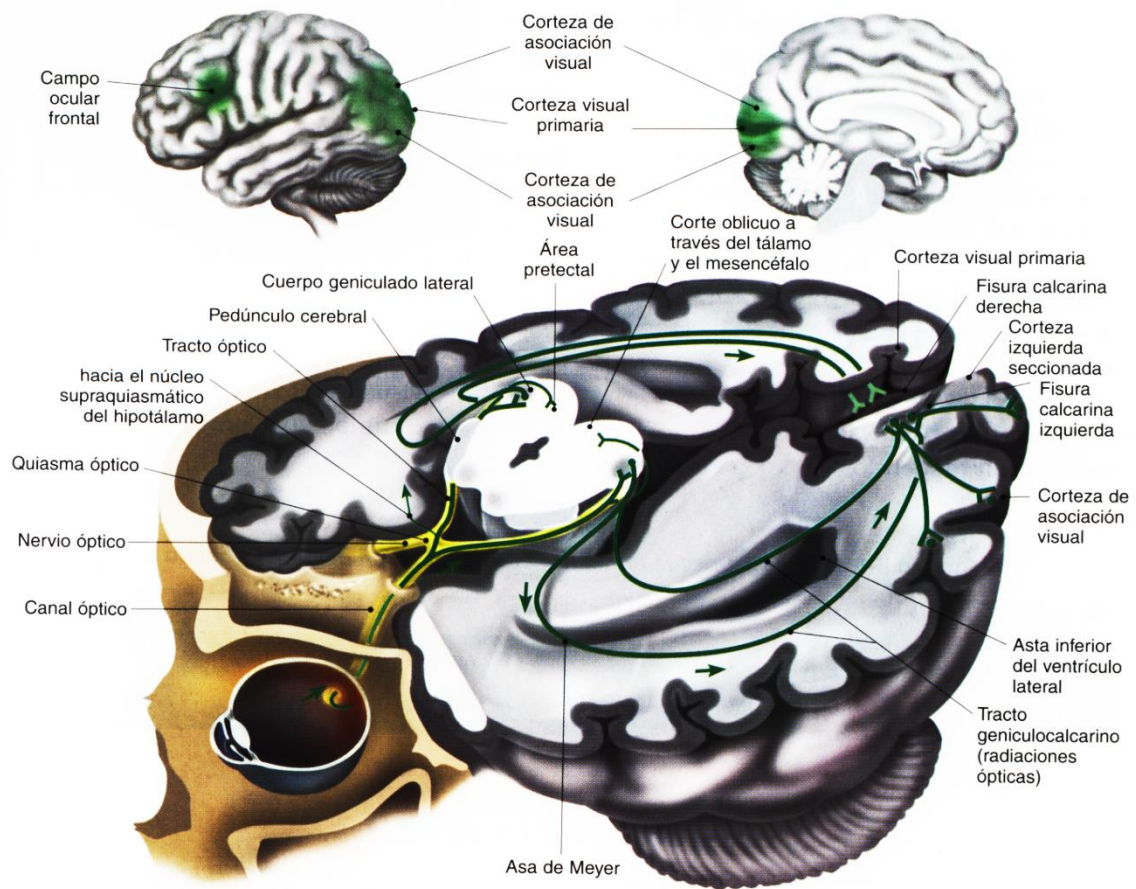


Ilustración 112. II- Nervio óptico.

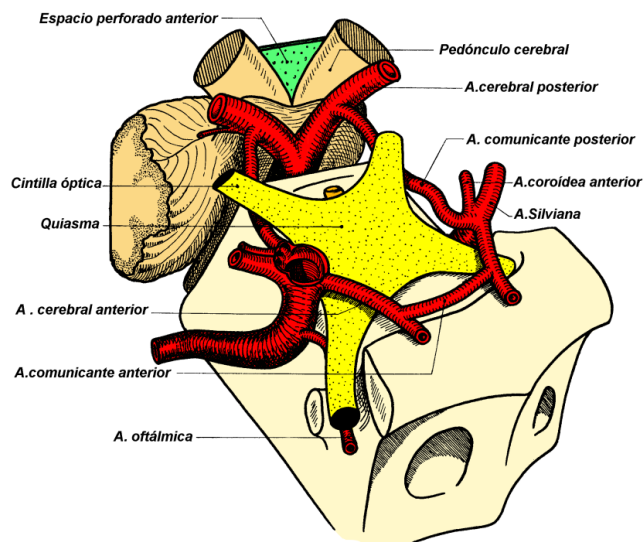


Ilustración 113. Quiasma óptico

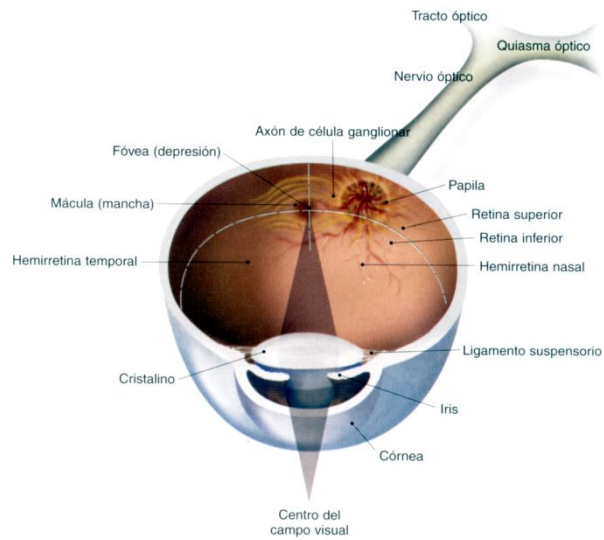


Ilustración 114. II - Nervio óptico

Algunas fibras del nervio óptico constituyen también el brazo aferente de los reflejos de acomodación, pupilares y oculomotores. Estas fibras se desprenden de las cintillas ópticas para ganar el tronco del encéfalo, donde conectarán con los núcleos vegetativos y los núcleos de origen de los nervios motores oculares.

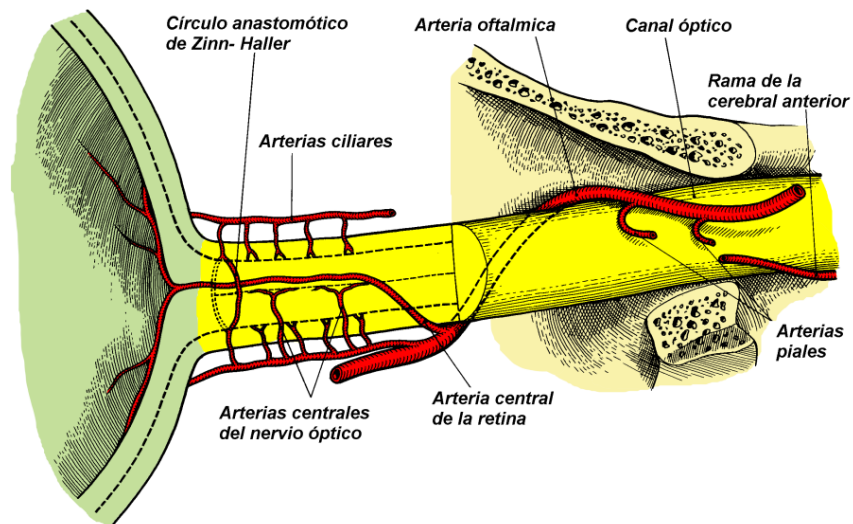


Ilustración 115. Vascularización del nervio óptico.

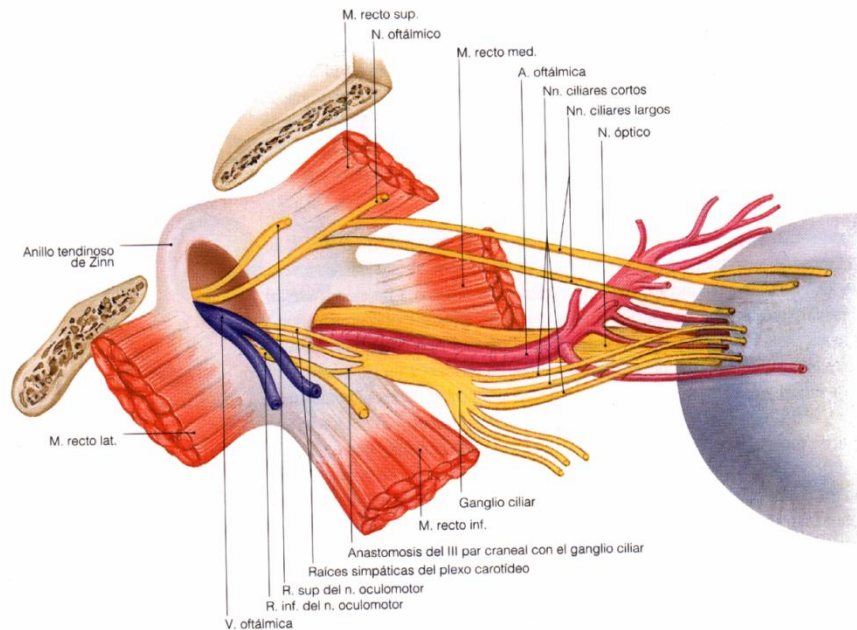


Ilustración 116. Nervio óptico a nivel del anillo de Zinn.

3. Nervios motores oculares (III, IV y VI pares)

Nervio motor ocular común (III par)

Es el más importante de todos ellos, ya que está destinado a un mayor número de músculos motores del globo ocular y conduce fibras parasimpáticas para el músculo ciliar y el músculo constrictor de la pupila.

Tiene su origen aparente al nivel mesencefálico, en el espacio interpeduncular. Se dirige hacia delante, colocándose a los lados de la silla turca del esfenoides, y atraviesa el seno cavernoso. Accede a la órbita a través de la hendidura esfenoidal y orbitaria superior, pasando por el anillo tendinoso, donde se originan los músculos extrínsecos del globo ocular (anillo de Zinn). Da ramas para los músculos rectos superior, inferior y medial y para el oblicuo inferior o menor, así como para el músculo elevador del párpado superior.

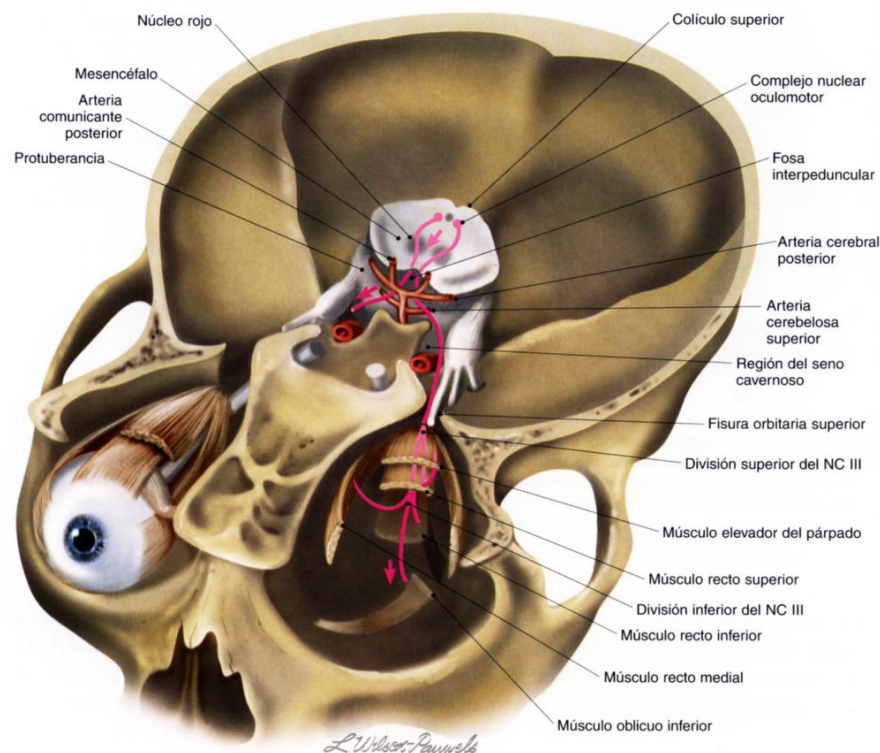


Ilustración 117. Componente motor del III.

Un ramo con fibras motoras parasimpáticas, procedentes del centro parasimpático del III par o núcleo de Edinger-Westphal, se desprende del nervio y se dirige al ganglio oftálmico (situado en la grasa retrobulbar de la órbita) donde hacen sinapsis con otras neuronas (postganglionares) que emergen del ganglio como nervios ciliares cortos para inervar el esfínter de la pupila y el músculo de la acomodación.

Tiene conexiones con fibras simpáticas procedentes del plexo carotideo que pasan por el ganglio oftálmico sin hacer sinapsis en él y entran en el globo ocular con los mismos nervios ciliares cortos para distribuirse siguiendo los vasos sanguíneos del globo.

Una lesión de este nervio o de alguna de sus ramas se puede manifestar por estrabismo divergente, ptosis palpebral (caída del párpado superior), pérdida del poder de acomodación del cristalino o midriasis (pupila permanentemente dilatada).

Nervio patético (IV par)

Es el único par craneal que emerge por la cara posterior del tronco del encéfalo. Su origen aparente se sitúa en el mesencéfalo, bajo el tubérculo cuadrigémino inferior, a los lados del velo medular superior del IV ventrículo. Rodea los pedúnculos cerebrales y sigue luego un trayecto similar al del III par: alcanza el seno cavernoso a los lados de la silla turca y entra en la órbita por la hendidura esfenoidal, esta vez por fuera del anillo de Zinn. Se desliza bajo el techo orbitario y

termina inervando el músculo oblicuo superior del ojo. Su lesión, por tanto, impide dirigir la mirada hacia abajo y afuera (Fig. 118).

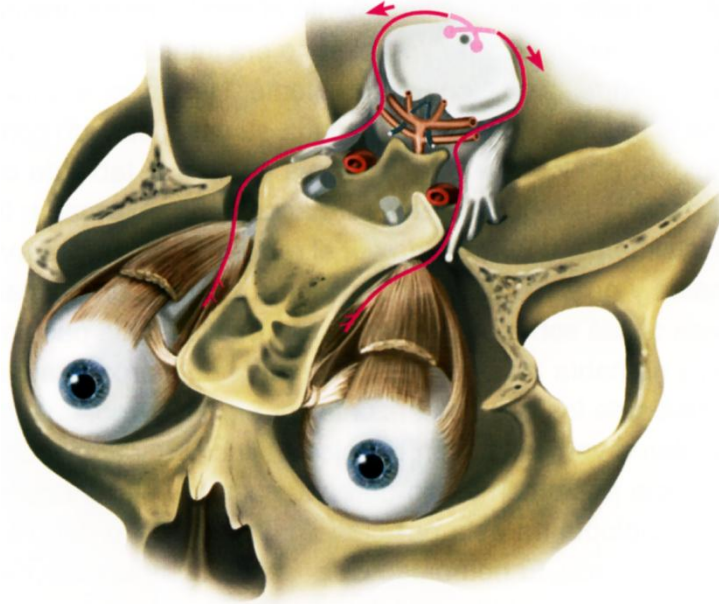


Ilustración 118. Nervio patético (IV).

Nervio motor ocular externo (VI par)

Emerge del tronco del encéfalo por el surco bulboprotuberancial y continúa por encima del borde superior del peñasco del temporal, para alcanzar el seno cavernoso y seguir un trayecto semejante al III par. Termina inervando el músculo recto externo o lateral del globo ocular. Su lesión, relativamente frecuente en las fracturas de la base del cráneo y en situaciones de hipertensión intracraneal, provoca un estrabismo convergente por falta de antagonismo a los músculos inervados por el III y el IV pares (Fig. 119).

Como ya se ha comentado al describir la inervación motora del globo ocular, las lesiones que afecten cualquiera de los nervios motores oculares alterarán también la correspondencia entre las imágenes recibidas por ambas retinas, por lo que la diplopía será un signo frecuente y común a estos trastornos.

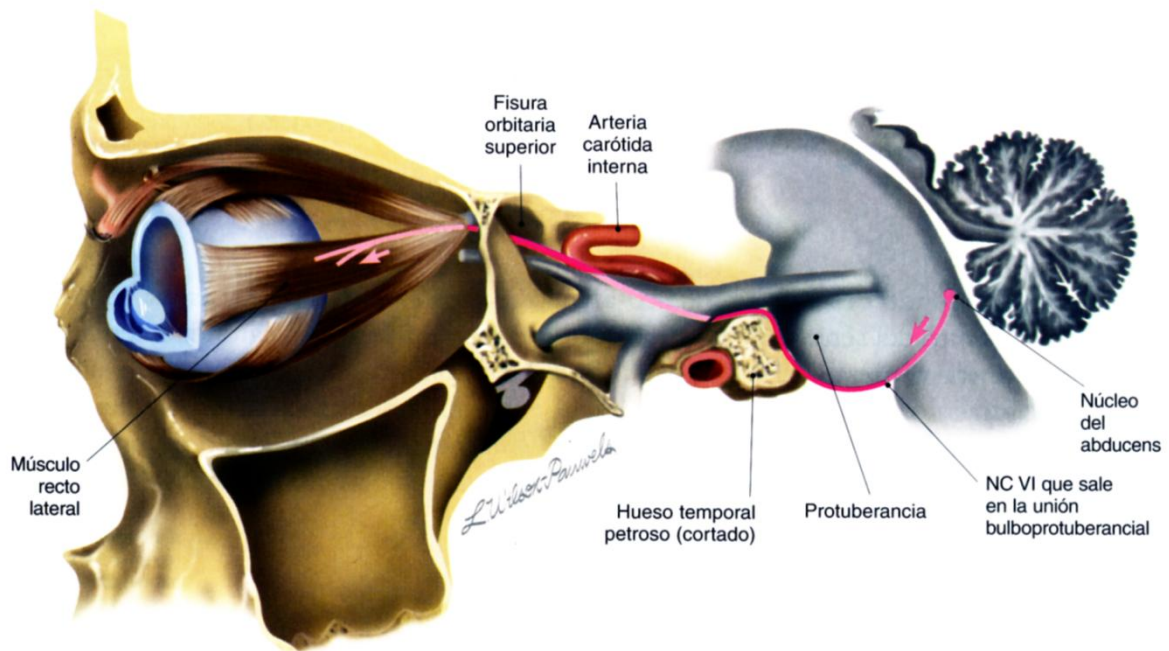


Ilustración 119. Nervio motor ocular externo (VI).

4. Nervio trigémino (V par)

Es el principal nervio sensitivo de la cabeza, no sólo por su extenso territorio sino por la frecuencia de problemas clínicos que plantea: si se exceptúan los traumatismos, la neurología del trigémino es uno de los trastornos neurológicos sensitivos más frecuentes en clínica.

Recoge la sensibilidad somática de las meninges encefálicas, toda la cara, las sienas y las mucosas conjuntival, nasal y bucal. Pero no se trata de un nervio exclusivamente sensitivo, sino que dispone de cierto contingente de fibras motoras destinadas a los músculos masticadores y del suelo de la boca.

Se origina a partir de un núcleo motor (núcleo masticador), situado en la protuberancia, y de varios núcleos sensitivos que recorren verticalmente el mesencéfalo, la protuberancia y el bulbo. Al igual que otros nervios craneales, presenta conexiones con otras vías y centros, entre los que destacan los núcleos talámicos, los núcleos de los nervios motores oculares y del nervio facial y los núcleos salivatorio y dorsal del vago, que permiten asociar la masticación y la deglución (Fig. 120).

El nervio trigémino es en su origen sensitivo y motor, pero algunas de sus ramas periféricas llevan fibras parasimpáticas destinadas a las numerosas glándulas mucosas, lagrimales y salivales que existen distribuidas en las mucosas del macizo facial. Este componente vegetativo procede de los centros parasimpáticos del tronco cerebral y emerge de él con los nervios facial y glossofaríngeo.

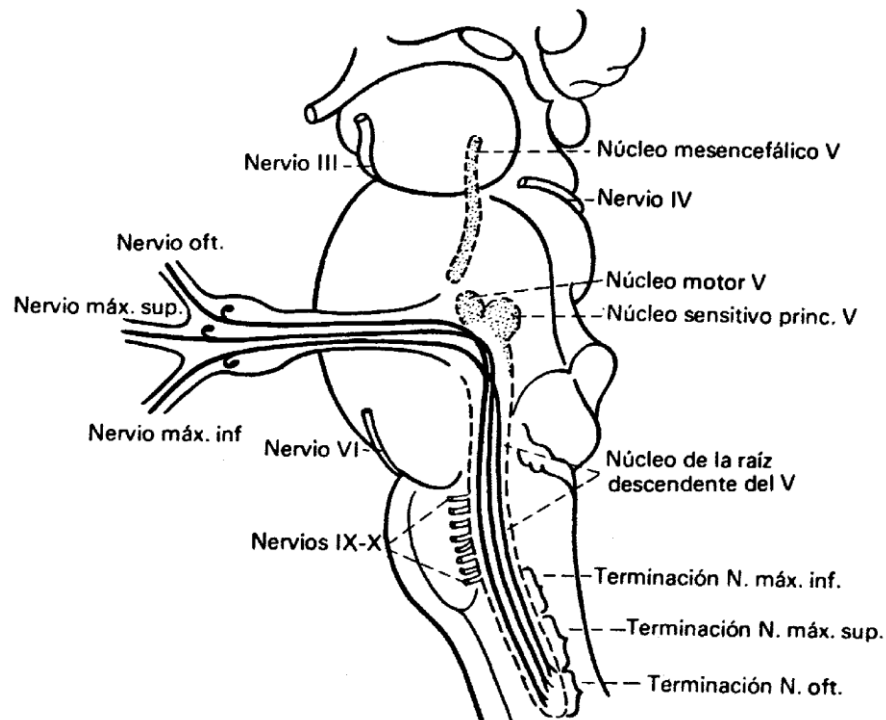


Ilustración 120. Terminación de las tres ramas de trigémino en el núcleo de la raíz descendente (Según Brodal).

Como se describe en el sistema nervioso vegetativo, se trata de fibras preganglionares que establecen sinapsis en determinados ganglios. De estos ganglios es de donde parten las fibras (posganglionares) que serán distribuidas por algunas ramas periféricas del nervio trigémino.

El origen aparente del nervio se sitúa en la protuberancia, en el punto donde arrancan hacia atrás los pedúnculos cerebelosos medios. La raíz sensitiva tiene un calibre mucho mayor que la motora y, en seguida de su origen, sus fibras se abren en abanico para formar una dilatación, el ganglio de Gasser, que se apoya en la correspondiente fosita del peñasco del temporal (impresión del nervio trigémino) (Fig. 121).

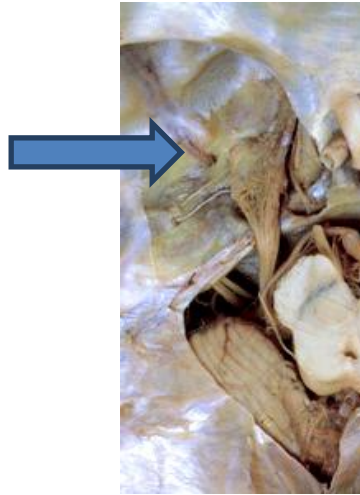


Ilustración 121. Ganglio de Gasser.

A partir del ganglio, la raíz sensitiva se divide en tres ramas que van a seguir trayectos diferentes. Son el nervio oftálmico, el nervio maxilar y el nervio mandibular. Este último es el encargado de distribuir las fibras correspondientes a la raíz motora.

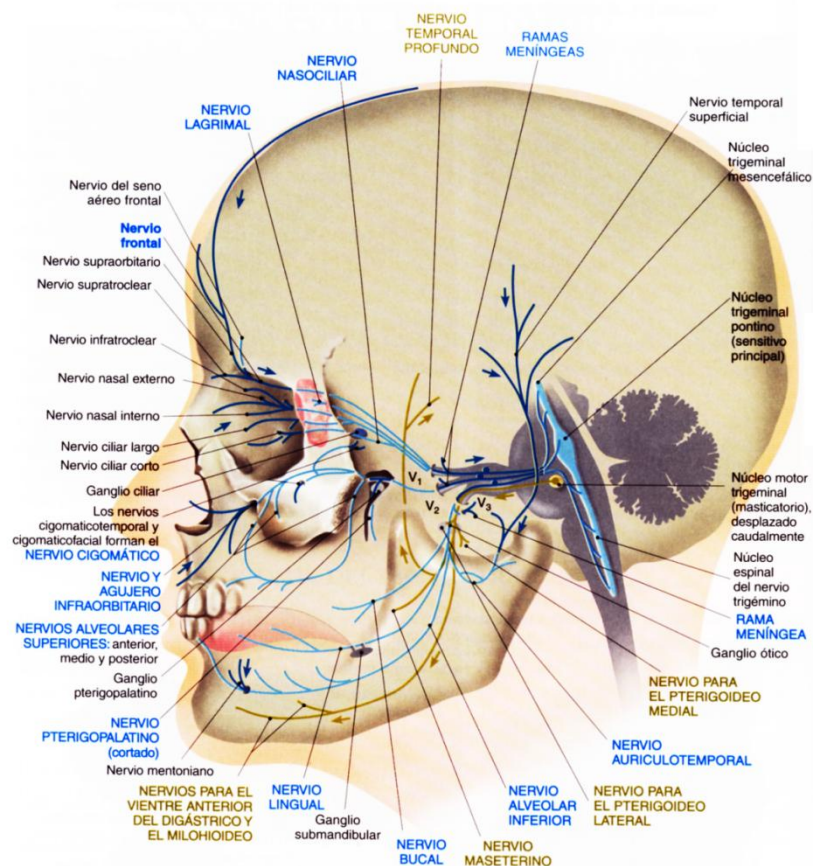


Ilustración 122. Esquema general del nervio trigémino y sus conexiones.

Nervio oftálmico (o primera rama del trigémino)

Recorre el tabique externo del seno cavernoso y se vuelve a dividir en tres ramas: los nervios frontal, nasal y lagrimal. Todos ellos acceden a la órbita a través de la hendidura esfenoidal.

- **Nervio Frontal:** recoge la sensibilidad de la frente, la nariz y el párpado superior. Un ramo de este nervio (nervio supraorbitario) utiliza la escotadura supraorbitaria para emerger de la órbita y extenderse por la piel de la frente. Recuérdese que la palpación de esta escotadura es un punto de referencia clínica que permite explorar la sensibilidad de la rama oftálmica del trigémino (Fig. 123).



Ilustración 123. Nervios frontal y nasal.

- **Nervio Nasal:** da ramas colaterales sensitivas para el ganglio oftálmico, el globo ocular (nervios ciliares largos), la mucosa de las vías lagrimales (nervio infratroclear), la mucosa de las celdillas etmoidales y el seno esfenoidal (nervio etmoidal posterior) y termina innervando la porción anterior de la mucosa de la fosa nasal (nervio etmoidal anterior). Reviste especial interés la rica innervación sensitiva de la córnea (nervios ciliares largos) que, además, constituye el brazo aferente del reflejo corneal.
- **Nervio Lagrimal:** es el ramo más pequeño. Sigue la pared externa de la órbita y recoge la sensibilidad del párpado inferior. Lo más interesante de este nervio es que aporta fibras parasimpáticas secretoras para la glándula lagrimal. Como ya se ha comentado, estas fibras parasimpáticas no están originadas en los núcleos del trigémino, sino que emergen del tronco del encéfalo con el nervio facial (fibras preganglionares) y luego, tras hacer sinapsis en el ganglio esfenopalatino, son conducidas a la glándula lagrimal por ramas del trigémino: primero por el nervio orbitario o cigomático (rama del nervio maxilar) y luego por el nervio lagrimal.

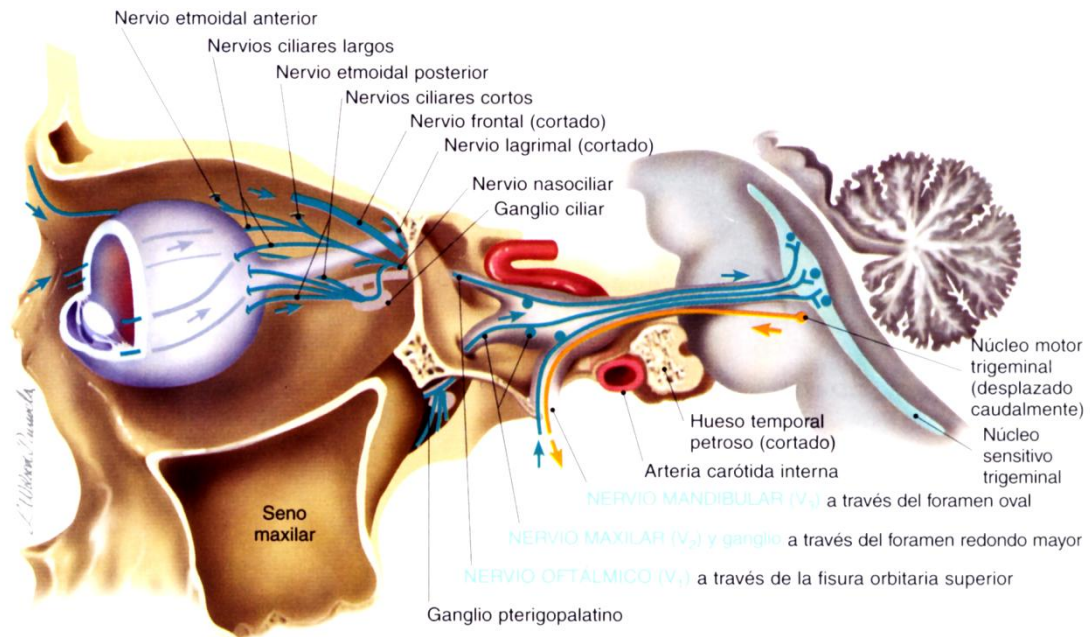


Ilustración 124. V1. Nervio oftálmico de Willis.

Nervio Maxilar (maxilar superior) o segunda rama del trigémino

Nace del ganglio de Gasser, recorre la fosa craneal media y abandona el cráneo por el agujero redondo mayor. Accede así a la fosa pterigopalatina, donde se relaciona estrechamente con el ganglio esfenopalatino. Aquí se divide en tres ramas:

- **Nervio Infraorbitario:** considerado la continuación o rama terminal del maxilar, alcanza la fosa orbitaria por la hendidura esfenomaxilar u orbitaria inferior, recorre el surco y el conducto infraorbitarios y emerge en la superficie de la cara por el agujero infraorbitario, otro de los puntos de palpación clínica. Se distribuye por la piel y la mucosa del tercio medio de la cara (ala de la nariz, mejillas y labio superior). En su trayecto emite ramos para los dientes superiores y para la mucosa del seno maxilar (Figs. 125 y 126).

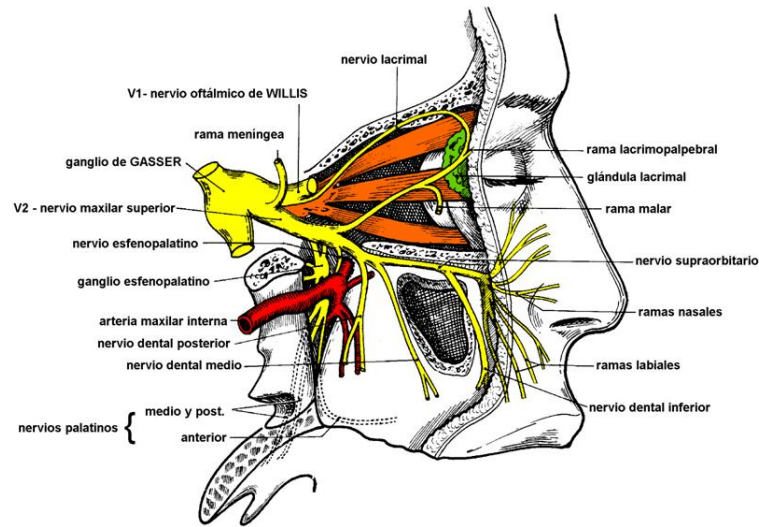


Ilustración 125. V2-Nervio Maxilar Superior.



Ilustración 126. Nervio infraorbitario.

- **Nervio Esfenopalatino:** se divide en ramas para la mucosa nasal y el paladar. Lleva fibras parasimpáticas posganglionares, procedentes del ganglio esfenopalatino, que están destinadas a las glándulas mucosas de la boca y las fosas nasales (Fig. 127).

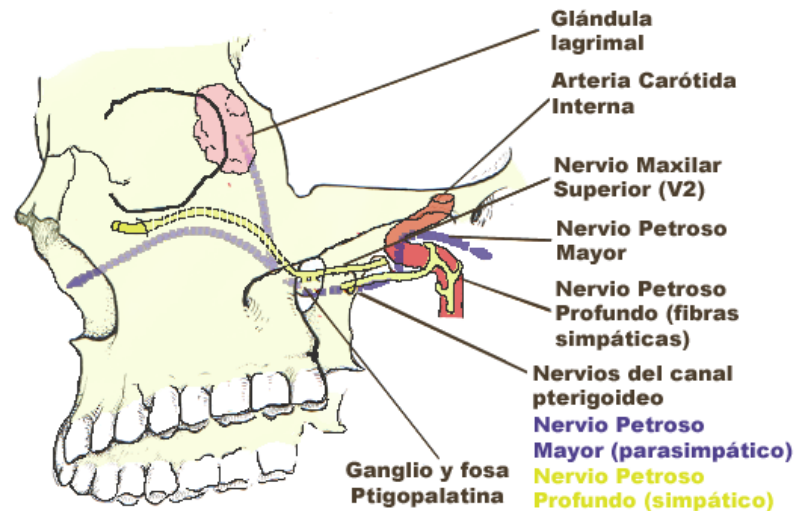


Ilustración 127. Nervios petrosos y ganglio esfenopalatino.

- **Nervio orbitario o cigomático:** recorre la pared externa de la órbita y se distribuye por la piel del pómulos y la región temporal. Esta rama recibe también fibras parasimpáticas del ganglio esfenopalatino y las envía mediante un ramo anastomótico al nervio lagrimal. Son fibras que, como ya hemos señalado, están destinadas a la glándula lagrimal para estimular su secreción.

Nervio Mandibular (Maxilar Inferior)

Es la única rama mixta (sensitiva y motora) del nervio trigémino y también la más voluminosa. Escapa del endocráneo por el agujero oval y, en la fosa infratemporal, da ramas para los músculos masticadores (temporal, masetero y pterigoideos interno y externo) y termina dividiéndose en tres ramas: (Fig. 128)

- **Nervio Dentario Inferior:** a menudo considerado la continuación o rama terminal del nervio mandibular, ingresa en el conducto dentario inferior, por detrás de la espina de Spix, recorre este conducto y emerge por el agujero mentoniano para recoger la sensibilidad del tercio inferior de la cara (mentón y labio inferior). El agujero mentoniano es, por tanto, el tercer punto de exploración clínica del nervio trigémino, que permite valorar la sensibilidad de la rama mandibular.

En su trayecto, el nervio dentario inferior emite fibras sensitivas para los dientes y las encías del maxilar inferior y aporta la inervación motora para los músculos milohioideo y el vientre anterior del músculo digástrico, participantes en el descenso de la mandíbula (Fig. 129).

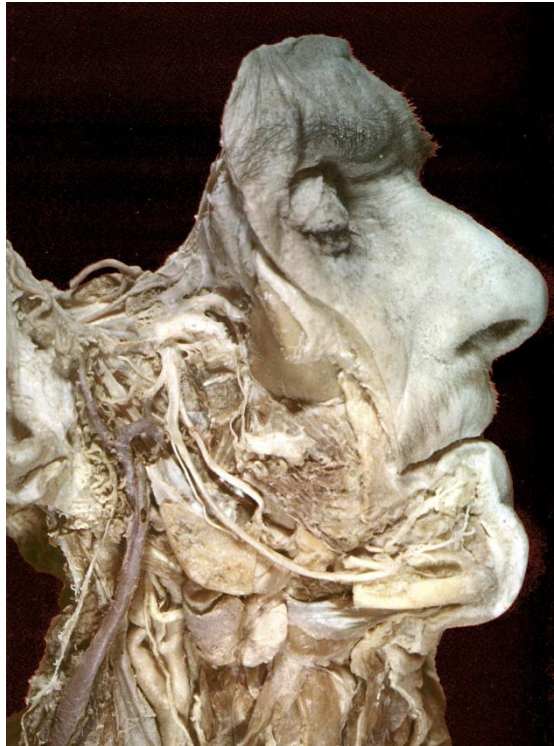


Ilustración 128. V3-Nervio mandibular.

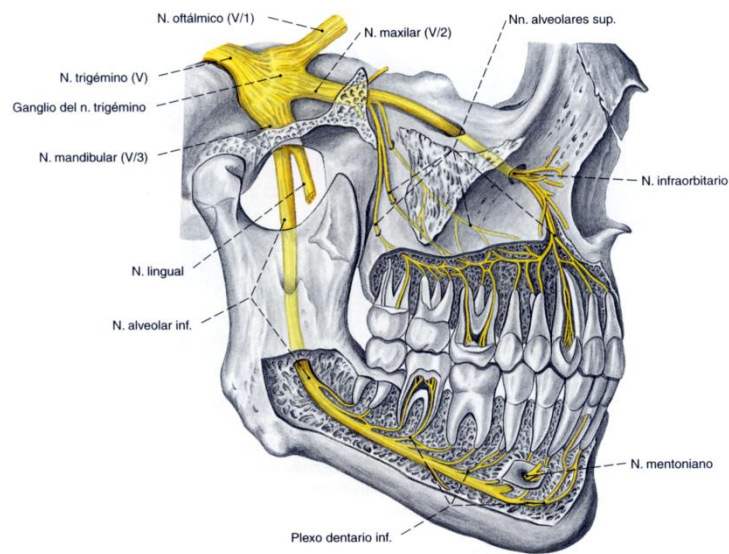


Ilustración 129. Nervios dentales (V2 y V3).

- **Nervio lingual:** lleva fibras sensitivas propias que recogen la sensibilidad de los 2/3 anteriores de la lengua, incluidas las sensaciones gustativas, y fibras parasimpáticas posganglionares procedentes del ganglio submandibular. Los axones preganglionares que acceden a este ganglio proceden también del nervio facial (la rama denominada cuerda

del tímpano). Estas últimas son fibras secretoras para la glándula salival sublingual y submandibular.

- **Nervio auriculotemporal:** recoge la sensibilidad de la oreja y la piel de la región temporal. Lleva también fibras parasimpáticas posganglionares destinadas a la glándula parótida. Estas fibras se incorporan al nervio auriculotemporal desde el ganglio ótico. Los axones preganglionares no proceden como en los casos anteriores del nervio facial, sino de otro nervio craneal: el glossofaríngeo o IX par.

Las lesiones del nervio trigémino, casi siempre y por fortuna unilaterales, tendrán su expresión clínica en función de la rama afectada. En general, como cualquier nervio periférico, su sección afectará los componentes motor (parálisis de los músculos masticadores) y sensitivo (anestesia de la zona inervada). Si la lesión es periférica pueden resultar afectadas las secreciones de las glándulas lagrimales o salivales cuya inervación vegetativa discorra por la rama afectada. Con mayor frecuencia, se produce la neuralgia del trigémino, un cuadro muy doloroso casi siempre de origen desconocido.

5. nervio facial (VII par)

Es el nervio motor de los músculos faciales pero, como ya hemos señalado, tiene en su origen un importante contingente de fibras parasimpáticas y un componente sensitivosensorial que interviene en el sentido del gusto. Sus fibras proceden, por tanto, de varios núcleos situados en la protuberancia: del núcleo motor y del núcleo parasimpático salival y lacrimomucosal se origina la raíz motora del nervio facial (facial A) y del núcleo solitario, gustativo o sensitivosensorial se origina el facial B o nervio intermediario (de Wrisberg).

Las dos raíces, motora y sensitiva, tienen su origen aparente en el surco bulboprotuberancial, por encima y detrás de la oliva bulbar. Ambas entran juntas en el peñasco del temporal a través del conducto auditivo interno. Por este mismo conducto entra al oído la arteria auditiva interna y emerge en sentido centrípeto el nervio estatoacústico (VIII par).

Ya en el peñasco, el nervio facial recorre el nerviducto de Falopio, con un trayecto «en bayoneta», para salir del cráneo por el agujero estilomastoideo. Accede así a la celda parotídea, a la que atraviesa de atrás adelante. En el espesor de la glándula parótida se divide en dos ramas terminales que dan origen a diversos ramos para los músculos de la mímica (Fig. 130).

A su paso por el peñasco se desprenden del facial los nervios petroso superficial mayor, la cuerda del tímpano, el nervio para el músculo del estribo y ramos sensitivos (del facial B) para la membrana timpánica y el conducto auditivo externo. El primero lleva fibras parasimpáticas que se dirigen al ganglio esfenopalatino para distribuirse con ramas del trigémino. La cuerda del tímpano lleva asimismo fibras parasimpáticas para el ganglio submandibular, pero también fibras sensitivas del facial B. Todas ellas terminan incorporándose al nervio lingual (rama del trigémino), aportando los axones secretores para las glándulas sublingual y submandibular y las fibras sensitivas destinadas a recoger la sensibilidad gustativa de los 2/3 anteriores de la lengua.



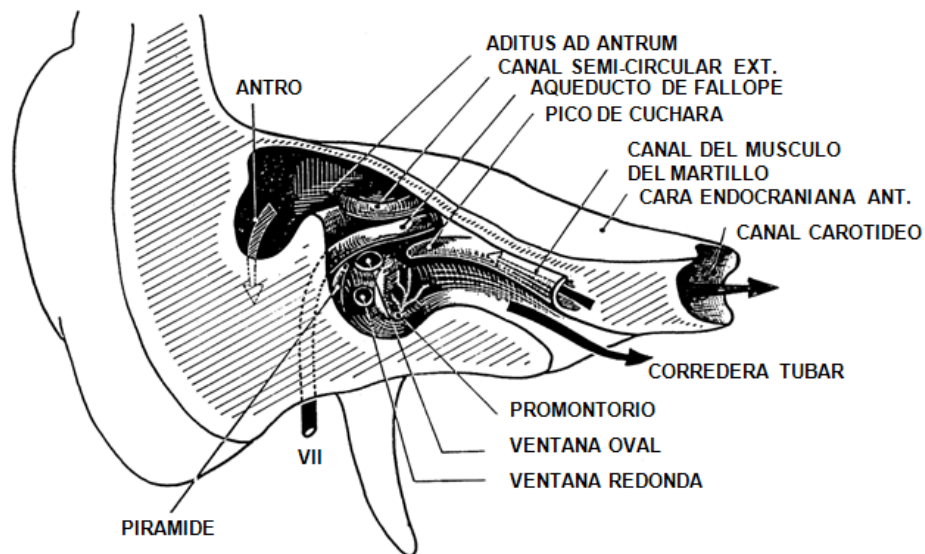


Ilustración 130. Trayecto intracraneal del VII- nervio facial.

Fuera del peñasco da ramas colaterales para los músculos estiloideos, vientre posterior del digástrico, músculo occipital y pequeños músculos auriculares.



Ilustración 131. Trayecto extracraneal del VII- Nervio facial.

La topografía del nervio facial determina su gran sensibilidad a las lesiones: frío, fracturas de la base del cráneo, trepanaciones mastoideas, tumores de la glándula parótida, etc., son causas de la frecuente parálisis facial periférica. Se caracteriza por una asimetría facial, con la comisura de la

boca desviada hacia el lado sano por la pérdida de tono de los músculos homolaterales, imposibilidad de soplar, no puede retenerse el aire a presión dentro de la boca porque se escapa por la comisura del lado afecto y existe atonía del músculo bucinador, lagrimeo por la afectación del músculo orbicular de los párpados que, al no contraerse, no ayuda en el drenaje lagrimal, etc.

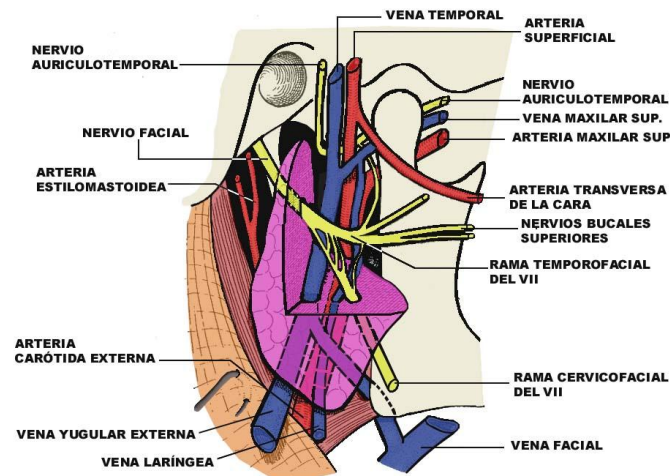


Ilustración 132. Trayecto extracraneal del VII- Nervio facial en la glándula parótida.

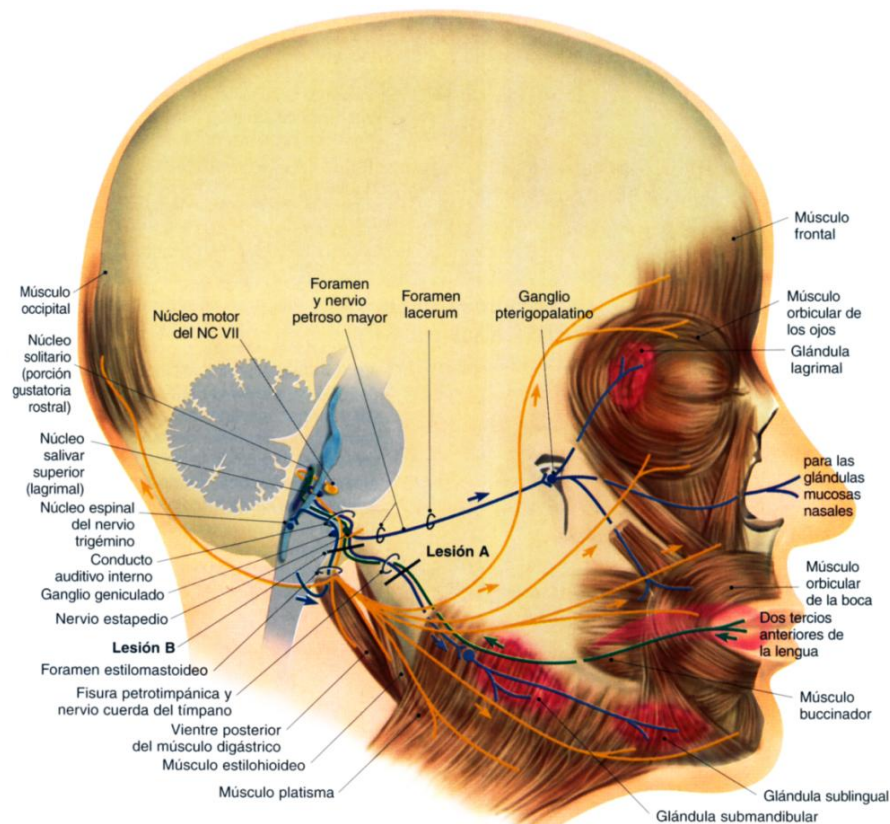


Ilustración 133. Trayecto y distribución del componente motor del nervio facial.

6. Nervio glossofaríngeo (IX par)

Lleva, como el facial, fibras motoras, sensitivosensoriales y vegetativas procedentes, como en el caso anterior, de diferentes centros situados en el tronco del encéfalo: núcleos ambiguo (motor), fascículo solitario (núcleo gustativo, sensitivosensorial) y salival inferior (parasimpático).

Su origen aparente está situado en el surco retroolivario del bulbo, desde donde sus fibras se dirigen al agujero yugular o rasgado posterior, para abandonar el cráneo (junto con la vena yugular interna y los nervios craneales X y XI). Apenas atraviesa el agujero se identifican dos dilataciones: los ganglios superior e inferior o ganglio petroso del glossofaríngeo. Se dirige luego hacia delante, a los lados de la faringe, para distribuirse por los músculos y la mucosa de este órgano y del velo del paladar. Inerva también el músculo estilogloso y recoge la sensibilidad general y gustativa (papilas caliciformes) del tercio posterior de la lengua.

Del ganglio petroso del glossofaríngeo se origina el nervio timpánico o nervio de Jacobson, que penetra en el peñasco del temporal y forma el plexo timpánico. Inerva la mucosa de la caja timpánica, la trompa de Eustaquio y las celdillas mastoideas, conecta con ramos petrosos del nervio facial y emite el nervio petroso superficial menor.

Las fibras parasimpáticas preganglionares del glossofaríngeo se desvían por medio del nervio petroso superficial menor hacia el ganglio ótico. Tras la sinapsis, las fibras posganglionares acompañan al nervio auriculotemporal (rama mandibular del trigémino) para aportar la innervación secretora de la glándula parótida.

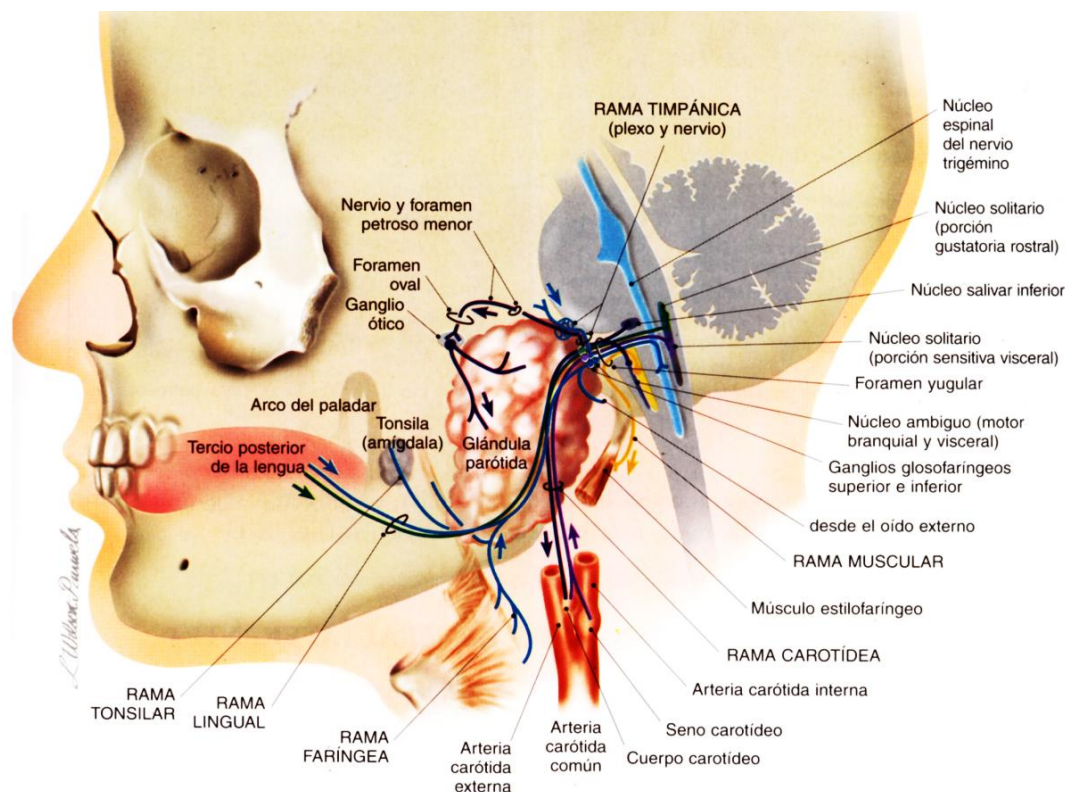


Ilustración 134. IX- Nervio glossofaríngeo.

Cuando emerge del cráneo, el glosofaríngeo emite un importante ramo carotídeo, destinado al plexo nervioso existente en la bifurcación de la arteria carótida primitiva (seno carotídeo). Es uno de los puntos clave en el control de la homeostasia. En este punto se encuentra el cuerpo carotídeo, una pequeña formación elíptica, anexa a la pared fibrosa de la arteria, muy vascularizada e innervada, que dispone de receptores capaces de detectar variaciones en la presión arterial (barorreceptores), en el pH y la presión parcial de los gases sanguíneos, PO_2 y Pm , (quimiorreceptores). El plexo nervioso destinado al cuerpo carotideo está formado por axones aferentes sensitivos del nervio glosofaríngeo, que suelen anastomosar con fibras eferentes parasimpáticas del vago y del simpático cervical.

7. Nervio vago o neumogástrico (X par)

Es el principal nervio parasimpático del organismo y el par craneal más extendido. Precisamente el apelativo de «vago» se debe a esa característica: va errante por un gran territorio del cuerpo. Pero, al igual que el glosofaríngeo, el vago es un nervio mixto, que contiene fibras no sólo parasimpáticas sino también sensitivas y motoras. Proceden de los núcleos bulbares: dorsal del vago (parasimpático), núcleo del fascículo solitario (sensitivo) y núcleo ambiguo (motor) (Fig. 135).

Las fibras parasimpáticas son motoras y secretoras para el músculo liso y las glándulas de las vísceras que inerva. Las fibras sensitivas recogen esencialmente la sensibilidad visceral y las fibras motoras inervan el músculo estriado de la faringe y la laringe.

El origen aparente y el trayecto endocraneal son semejantes a los del glosofaríngeo (IX) y del nervio espinal (XI); como ellos, emerge del bulbo por el surco retroolivario y abandona el cráneo por el agujero yugular. También el vago tiene dos dilataciones en su primer tramo exocraneal: los ganglios superior o yugular e inferior o plexiforme. El nervio desciende en el paquete vasculonervioso del cuello (vena yugular interna, arteria carótida y nervio vago), atraviesa el tórax por el orificio esofágico y emite en el abdomen sus ramas terminales.

Las relaciones y el trayecto del nervio vago derecho son diferentes de los del izquierdo. En el tórax el derecho está relacionado con la arteria subclavia derecha, cruza por detrás del bronquio principal de su lado y luego se dispone en la cara posterior del esófago. El nervio vago izquierdo flanquea el cayado aórtico, cruza por detrás del bronquio principal izquierdo y se sitúa en la cara anterior del esófago.

Alrededor del esófago los dos vagos, izquierdo y derecho (o anterior y posterior), establecen múltiples anastomosis. Una vez que atraviesan el diafragma, el vago izquierdo se distribuye en ramos terminales gástricos y hepáticos. El vago derecho da ramas gástricas y varias ramas terminales destinadas a los plexos vegetativos del abdomen (plexos solar y aórtico), desde donde se reparten, junto con las fibras simpáticas de estos plexos, hacia las vísceras abdominales (páncreas, intestino delgado y mitad derecha del intestino grueso).



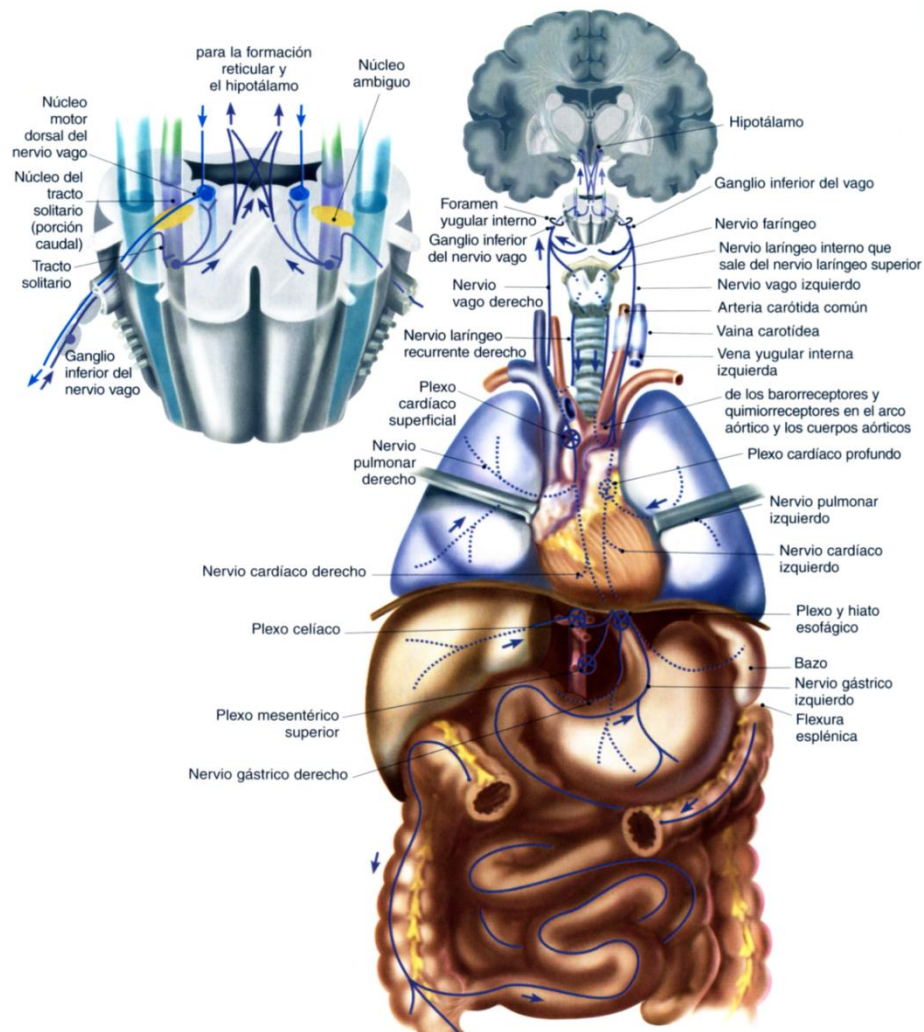


Ilustración 135. X- Nervio neumogástrico.

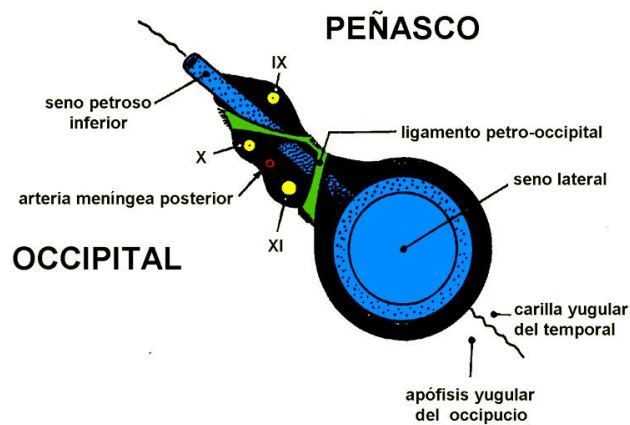


Ilustración 136. Agujero rasgado posterior o yugular.

En su trayecto, el nervio neumogástrico da numerosas ramas, que pueden resumirse en:

- **Ramos faríngeos:** que forman con el IX par el plexo faríngeo. De estas fibras se desprenden también los ramos vagales para el corpúsculo carotídeo.
- **Ramos cardíacos:** que aportan el componente parasimpático al plexo cardíaco.
- **Nervios laríngeos superiores e inferiores o recurrentes:** que reciben este nombre (recurrentes) porque tras desprenderse del vago, transitan un trayecto retrógrado: el recurrente derecho pasa por debajo de la arteria subclavia, mientras que el izquierdo pasa por debajo del cayado aórtico para, en ambos casos, ascender de nuevo en busca de la laringe. Además de inervar la laringe, los recurrentes dan ramos para la tráquea y los plexos cardíaco, esofágico y faríngeo.
- **Nervios para los plexos pulmonares:** donde se anastomosan también las ramas izquierdas y derechas. Como sucede con otras ramificaciones, inervan estructuras vecinas (ramos traqueales, pericárdicos y esofágicos).

8. Nervio espinal o accesorio (XI par)

Es un nervio esencialmente motor, en el que se describen, atendiendo a su origen, dos porciones: bulbar y medular. El componente bulbar tiene su origen aparente en el surco retroolivario, inmediatamente por debajo del vago, del que se considera su nervio accesorio (de ahí su nombre). Las raíces espinales corresponden a los primeros 4-5 segmentos cervicales de la médula espinal y llevan en principio un trayecto ascendente, ingresando en el cráneo por el agujero magno para reunirse con las fibras bulbares (Fig. 137).

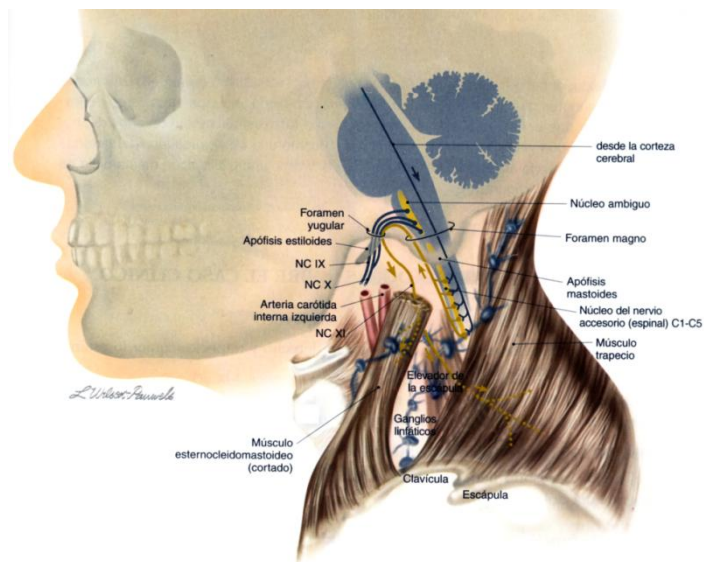


Ilustración 137. XI- Nervio espinal.

Juntas abandonan el cráneo por el agujero yugular, íntimamente relacionadas con el nervio vago. El nervio se bifurca en una rama interna que se distribuye con el vago (para algunos el componente motor del vago se debe a estas fibras tomadas del espinal) y en una rama externa

que inerva los músculos esternocleidomastoideo y trapecio. Las lesiones del nervio espinal pueden causar parálisis de estos músculos o espasmos musculares (tortícolis espasmódico).

9. Nervio hipogloso (XII par)

El último de los pares craneales es otro nervio motor, cuyos núcleos de origen representan probablemente una prolongación craneal de las astas anteriores de la médula espinal. Emerge del bulbo raquídeo por el surco preolivar y sale del cráneo por el agujero condíleo anterior (conducto del nervio hipogloso). Describe entonces una amplia curvatura y se coloca a los lados de la faringe para terminar inervando los músculos de la lengua y algunos músculos hioideos (Fig. 138).

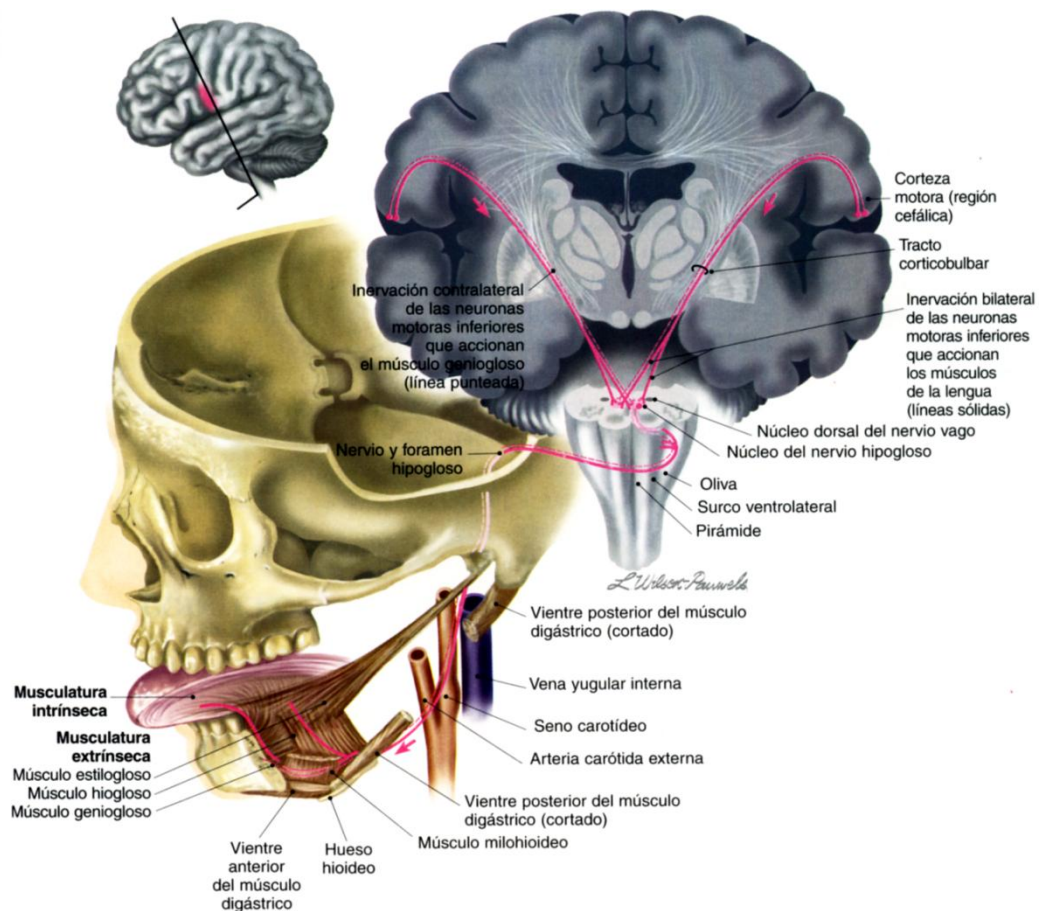


Ilustración 138. XII- Nervio hipogloso.

En el momento de cruzar la región carotídea emite una amplia rama descendente que se anastomosa con otra similar del plexo cervical para formar el asa del hipogloso. De ella emergen ramos para los músculos infrahioideos.

La lesión del hipogloso produce parálisis y atrofia unilateral de los músculos de la lengua, con las consiguientes alteraciones en el lenguaje y la deglución. Si se intenta sacar la lengua se desvía hacia el lado afecto.



Ilustración 139. Nervios craneales de la fosa posterior.

C. NERVIOS RAQUÍDEOS O ESPINALES

Son los nervios periféricos que nacen a cada lado de la médula espinal, formándose a partir de las raíces raquídeas anteriores y posteriores que la médula presenta en cada uno de sus segmentos o mielómeros. Existen, por consiguiente, tantos pares de nervios espinales como segmentos medulares y su nomenclatura se corresponde con la del segmento que les da origen. Es posible enumerar ocho nervios cervicales (C1-C8), doce dorsales (D1-D12), cinco lumbares (L1-L5), cinco sacros (S1-S5) y uno coccígeo (Co).

Cada nervio raquídeo se origina por la unión de las raíces anterior y posterior correspondientes a su mielómero y, una vez formado, emerge del conducto vertebral por el correspondiente agujero de conjunción. El primero de ellos (C1) sale entre el atlas y el occipital, por esa razón existen ocho nervios cervicales en lugar de siete, como correspondería a una relación exacta con las vértebras en cada región. Como ya se ha comentado, la médula espinal sólo alcanza caudalmente la altura de la segunda vértebra lumbar. Los nervios espinales de los segmentos medulares inferiores (L3-L5, S1-S5 y Co) siguen, sin embargo, descendiendo por el conducto vertebral para buscar su agujero de conjunción correspondiente. Forman así la cauda equina o cola de caballo.

Apenas constituido, cada nervio espinal se bifurca en dos ramos: ventral y dorsal. Los ramos ventrales, mucho más voluminosos, mantienen ciertas conexiones con la cadena de ganglios vegetativos que existe a cada lado de la columna vertebral (cadena simpática laterovertebral).



Estas conexiones son los denominados ramos comunicantes grises, existentes en todos los nervios espinales y los ramos comunicantes blancos, presentes sólo en los nervios dorsales y los dos primeros lumbares.

Las fibras que contiene un nervio espinal son de varios tipos:

- **Fibras eferentes somáticas:** son los axones de las neuronas del asta anterior de la médula espinal, que llevan fibras motoras para los músculos esqueléticos. Llegan al nervio a través de la raíz raquídea anterior (Fig. 140).
- **Fibras aferentes somáticas:** son las prolongaciones periféricas de las neuronas de los ganglios que existen en las raíces raquídeas posteriores. Recogen la sensibilidad somática traducida por los receptores sensitivos de la piel, los músculos, las articulaciones, etc. Las prolongaciones centrales de estas neuronas unipolares ingresan en la médula espinal para seguir las diferentes vías sensitivas (Fig. 140).
- **Fibras eferentes viscerales:** proceden de los núcleos vegetativos simpáticos y parasimpáticos de la médula espinal y están destinadas a las glándulas y al músculo liso de las vísceras.

Los núcleos simpáticos están situados en el asta lateral de los segmentos dorsales y primeros lumbares. Los axones que de ellos parten son fibras preganglionares que alcanzan los ganglios de la cadena simpática laterovertebral a través de los ramos comunicantes blancos. Después de hacer sinapsis, unas se reparten por nervios vegetativos (nervios esplácnicos), otras acompañan a las arterias y otras utilizan los ramos comunicantes grises (que llevan por tanto fibras posganglionares) para incorporarse de nuevo al correspondiente nervio espinal y distribuirse con él.

Los núcleos parasimpáticos están situados en la región sacra de la médula espinal, y sus axones (fibras preganglionares) utilizan directamente los ramos ventrales espinales para abandonar la médula. Luego dejan el nervio espinal y se incorporan a los plexos viscerales pélvicos. Hacen sinapsis en ganglios vegetativos que habitualmente están en la pared de la víscera que inervan o próximos a ella (Fig. 140).

- **Fibras aferentes viscerales:** al igual que las somáticas, son prolongaciones periféricas de neuronas sensitivas cuyo cuerpo está situado en el ganglio de la raíz posterior raquídea.

Llegan a él por los nervios espinales periféricos o por los propios nervios vegetativos. En este último caso pasan por los ganglios intervertebrales sin hacer sinapsis y aprovechan ramos comunicantes blancos para alcanzar el nervio raquídeo (Fig. 140).



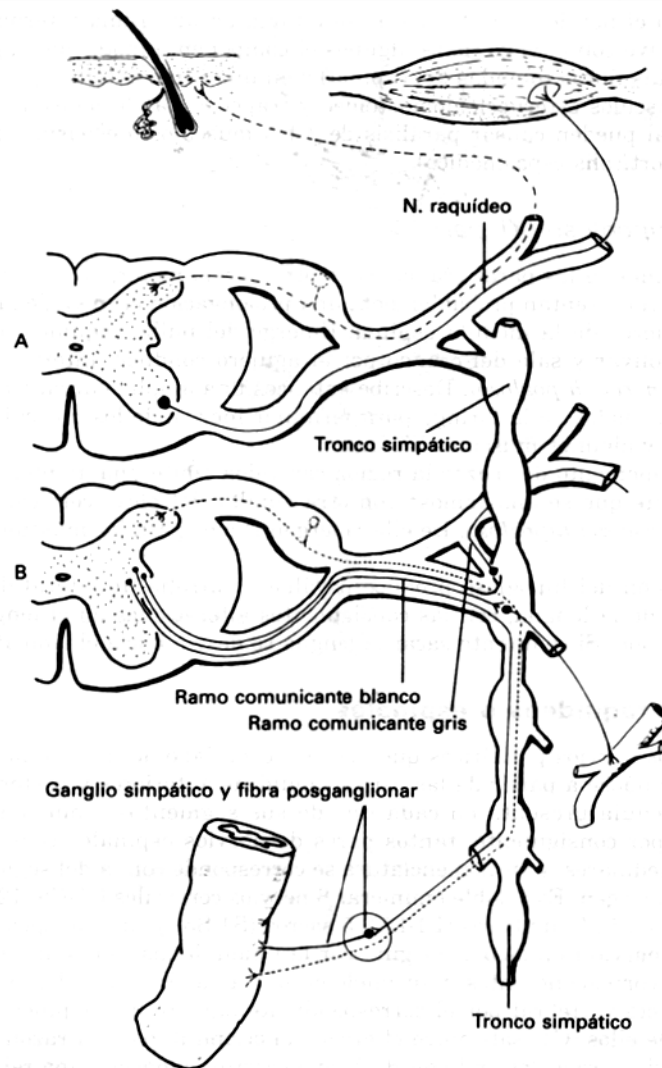


Ilustración 140. Esquema de las conexiones entre los nervios raquídeos y el sistema simpático. En línea de puntos, neuronas sensitivas y en trazo continuo, neuronas motoras. En el segmento A se han representado neuronas aferentes y eferentes somáticas y en el B, neuronas aferentes y eferentes vegetativas.

Las prolongaciones centrales de todas estas neuronas, tanto somáticas como viscerales, terminan haciendo sinapsis en diversos núcleos de la médula espinal o del tronco del encéfalo.

El cuello, todo el tronco y las extremidades, además de las regiones occipital y auricular de la cabeza, son los territorios por los que se extienden los nervios espinales. La distribución de cada uno de ellos es, en general, ordenada en sentido craneal hacia caudal. Basta como ejemplo la imagen de los dermatomas correspondientes a las terminaciones sensitivas de cada uno de ellos. Los territorios particulares de cada nervio se superponen en parte con los de los nervios vecinos, garantizando una continuidad en esa distribución geográfica.

Como ya se ha descrito, los nervios raquídeos se bifurcan, cerca de su origen, en dos ramas: dorsal y ventral. Las ramas dorsales son de menor calibre que los ventrales y tienen un territorio más limitado. Casi todas se vuelven a bifurcar en ramos mediales y laterales, que se distribuyen por la piel y los músculos del dorso del tronco y del cuello. Lógicamente, las ramas mediales irán destinadas a los músculos de los canales vertebrales de localización más medial (Por ejemplo, los semiespinosos o el longuísimo del dorso) y la piel adyacente, mientras que las ramas laterales alcanzarán los músculos y piel más alejados de la línea media, como el iliocostal o el dorsal ancho.

Los ramos ventrales tienen una distribución más extensa y, excepto en la región torácica, forman plexos más o menos complejos antes de definirse como un nervio periférico concreto. En conjunto inervan la piel y los músculos de las extremidades y de las caras anterior y lateral del tronco.

1. Ramos ventrales cervicales

Dan origen a la formación de dos importantes plexos: cervical y braquial. Reciben conexiones de los ganglios simpáticos a través de ramos comunicantes grises. Estos ramos incorporan a los nervios espinales fibras simpáticas posganglionares que aprovechan la distribución de los nervios espinales para acceder a los vasos, las glándulas sudoríparas y los pelos de las regiones por ellos inervadas.

Plexo Cervical

Formado por los ramos ventrales de los nervios espinales C1-C4. Da ramas superficiales para la piel de la región auriculoparotídea (son ramos que se anastomosan con ramas del facial), regiones anterior y lateral del cuello, el hombro y la región pectoral.

Las ramas motoras se distribuyen por los músculos prevertebrales (rectos anteriores de la cabeza, largos de cabeza y cuello) y laterovertebrales (recto lateral, escalenos) así como para algunos músculos posteriores (angular, romboides).

Tiene un importante ramo anastomótico con el nervio hipogloso (asa de hipogloso, para inervar los músculos infrahioideos, tirohioideo y geniogloso) y presenta conexiones con el nervio espinal, colaborando en la inervación del esternocleidomastoideo y el trapecio. Pero quizá las fibras más interesantes del plexo cervical son las destinadas al diafragma y que constituyen el nervio frénico (Figura 141).

El nervio frénico nace fundamentalmente de la raíz C4 aunque, como es habitual en cualquiera de los nervios periféricos, recibe conexiones de las raíces vecinas. Lleva fibras motoras para el diafragma, las únicas que este músculo recibe, y fibras sensitivas procedentes del propio músculo toracoabdominal y de las serosas relacionadas con él: pleura, pericardio y peritoneo adosado a la cara inferior del diafragma.

Tiene un largo trayecto, en el que debe descender por el cuello para entrar en el tórax (pasa entre la arteria y la vena subclavias), donde presenta un recorrido casi vertical, pasando por delante del pedículo pulmonar para llegar al diafragma deslizándose entre la pleura mediastínica y el pericardio.

La lesión del frénico produce parálisis de la mitad del diafragma correspondiente, por lo que altera la normal ventilación de los pulmones. El diafragma es el principal músculo inspirador. La



cúpula parálitica no desciende en la inspiración, sino que es arrastrada pasivamente por la presión negativa del tórax, abombándose hacia la cavidad torácica, lo que dificulta aún más el llenado pulmonar.

Otras lesiones más proximales del plexo cervical afectarán los músculos efectores, dificultando especialmente los movimientos de flexión, giro y lateralización de la cabeza y el cuello.

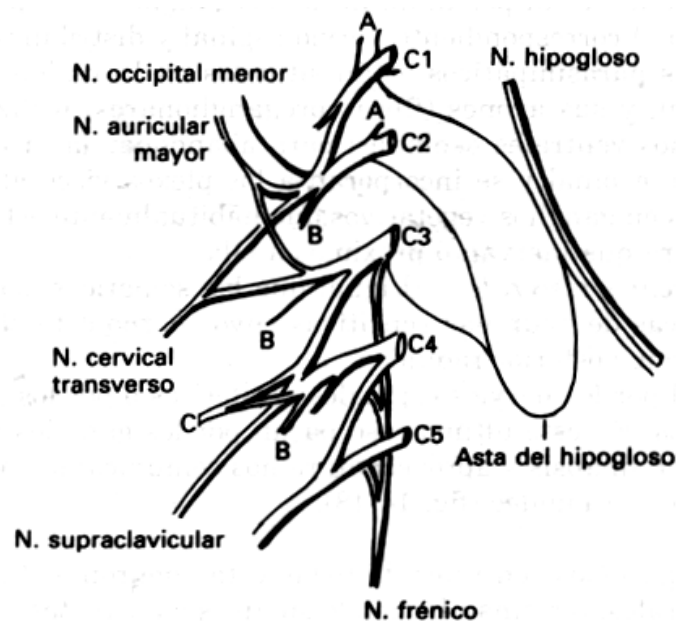


Ilustración 141. Plexo cervical. Se han representado las conexiones y las ramas nerviosas más importantes. Sin denominación aparecen ramos nerviosos destinados directamente a músculos: prevertebrales (A), laterovertebrales y trapecio (C).

Plexo Braquial

Se origina a partir de los ramos ventrales de las raíces C5-C8 y D1. Las anastomosis entre ellos dan origen a troncos primarios que se subdividen y vuelven a anastomosarse en troncos secundarios. De ellos parten los nervios motores y sensitivos destinados en parte al cuello (músculos escalenos, angular y largo del cuello), a las regiones anterior y lateral del tórax (músculos pectorales, subclavio, serrato mayor), regiones deltoidea, escapular, y, sobre todo, extremidad superior.

El plexo braquial abandona el cuello por el desfiladero de los músculos escalenos, acompañado de la arteria subclavia y accede a la extremidad superior por el espacio axilar, donde se relaciona con los vasos sanguíneos y ganglios linfáticos axilares. Tanto el desfiladero de los escalenos como el hueco axilar son puntos donde el plexo braquial es más susceptible a lesiones: la existencia de una costilla cervical, traumatismos de cuello, las frecuentes luxaciones de la cabeza humeral o el uso inadecuado de muletas pueden afectar al plexo o alguna de sus ramas. Las consecuencias dependen del alcance y del grado de la lesión: anestesia de los territorios sensitivos y/o parálisis y atrofia los músculos a los que van destinados los nervios afectados.

2. Ramos ventrales torácicos

Son los nervios torácicos o intercostales originados de los segmentos dorsales de la médula espinal, de D1 a D12.

De D1 se originan dos ramos: el mayor se incorpora al plexo braquial y el menor constituye el primer nervio intercostal. De las sucesivas raíces dorsales emergen los restantes nervios intercostales que abarcan también la inervación de la pleura y la piel anterior y lateral del tórax. Entre D7 y D11 reciben el nombre de nervios toracoabdominales porque, además de dar las correspondientes ramas intercostales, se extienden por los músculos y la piel de las paredes anterolaterales del abdomen (músculo recto mayor y músculos anchos). El último de ellos o nervio subcostal (D12) contribuye también a la inervación de la pared abdominal y se extiende hasta la parte más craneal de la región glútea.

Los nervios torácicos mantienen conexiones con la cadena simpática a través de los ramos comunicantes blancos y grises. Esta relación con el sistema vegetativo es más importante en los nervios toracoabdominales: algunas lesiones viscerales (Por ejemplo, una perforación de estómago) provocan contracturas reflejo-defensivas en los músculos de la pared abdominal («abdomen en tabla»).

Si lo que se afecta es un nervio torácico aparece anestesia o dolor «en cuerda» o en «cinturón», localizado en el área de distribución metamérica de ese nervio.

3. Ramos ventrales lumbares

Los dos primeros (L1-L2) tienen, como los dorsales, ramos comunicantes blancos con el simpático latero-vertebral. Todos ellos, una vez que emergen por los agujeros de conjunción, tienen un trayecto descendente, hacia abajo y afuera, para anastomosarse entre sí en el espesor del músculo psoas. Se forman así el plexo lumbar (L1-L4) y el tronco lumbosacro (L4-L5), que se incorporará al plexo sacro.

Plexo Lumbar

Emite ramos musculares para el psoas y el cuadrado de los lomos y una serie de nervios de recorrido más largo que se repartirán por los músculos y la piel de la parte inferior del abdomen y gran parte de la extremidad inferior.

- Nervio abdominogenital mayor o iliohipogástrico.
- Nervio abdominogenital menor o ilioinguinal.
- Nervio genitocrural o genitofemoral.
- Nervio obturador.
- Nervio femorocutáneo.
- Nervio femoral o crural.



4. Ramos ventrales sacros y coccígeos

Dan origen a la formación del plexo sacro y al nervio anococcígeo. Reciben conexiones de la cadena simpática a través de ramos comunicantes grises (fibras simpáticas postganglionares).

Plexo Sacro

Se forma a partir de los nervios sacros S1-S4, a los que se incorpora el tronco lumbosacro (L4-L5). Los nervios sacros emergen del conducto vertebral por los agujeros sacros anteriores, representantes en esta región de los agujeros de conjunción. El plexo, situado por delante del músculo piramidal de la pelvis, emite numerosas ramas, descritas con la inervación de la extremidad inferior. Entre ellas destaca el gran nervio ciático, el mayor de los nervios del organismo, tanto por su longitud como por su calibre.

El plexo sacro es también el vehículo que utilizan los nervios parasimpáticos de la región sacra de la médula espinal para acceder a las vísceras pélvicas. De las raíces S2-S3 se originan los nervios espláncnicos pelvianos, que llevan fibras parasimpáticas preganglionares que se incorporan a los plexos hipogástrico y pelviano para alcanzar las paredes de las vísceras, en cuya proximidad, o a veces en su espesor, hacen sinapsis con las neuronas posganglionares. Son fibras motoras y secretoras para el músculo liso y glándulas de colon descendente, sigma, recto y vejiga. Inervan también los tejidos eréctiles de los órganos genitales, con fibras vasodilatadoras que participan en la erección.

Nervio Anococcígeo

Está constituido por la confluencia de los nervios S4-S5 y Co. Inerva el músculo isquiococcígeo y emite ramas para el elevador del ano y la piel perianal.

D. NERVIOS DEL TRONCO

Las paredes del tronco son inervadas por los nervios dorsales procedentes de los segmentos dorsales de la médula espinal. Los ramos dorsales se encargan de los músculos erectores del tronco y de la piel de la espalda y los ramos ventrales dan origen a los nervios intercostales:

- De D1 salen un ramo grueso que se incorpora al plexo braquial y el primer nervio intercostal.
- De D2 salen algunas ramas sensitivas para la raíz del miembro superior y el segundo nervio intercostal.
- De D3 a D6 surgen los correspondientes nervios intercostales, que emiten también ramos para la pleura y la piel anterior y lateral del tórax.
- De D7 a D11 salen los nervios intercostales toracoabdominales, que, además de inervar los espacios intercostales correspondientes, llegan al músculo oblicuo y recto mayor del abdomen.
- De D12 procede el nervio subcostal, que se extiende por la región anteroexterna del abdomen y la parte superior de la región glútea.



Los nervios intercostales envían también fibras sensitivas para el diafragma, pero la inervación motora de éste corre exclusivamente a cargo del nervio frénico, que procede del plexo cervical (sobre todo de C4). A cada lado el nervio frénico desciende desde el cuello, entrando en el tórax por detrás de la vena subclavia. En el tórax, se sitúa entre el pericardio y la pleura mediastínica, para llegar al diafragma. La sección del nervio frénico da como resultado la parálisis de la mitad correspondiente del diafragma.

El plexo braquial (C5-C8, D1) aunque destinado especialmente a la extremidad superior, emite también ramos para las paredes torácicas: músculos pectorales, subclavio, romboides, dorsal ancho y serrato mayor.

De los segmentos lumbares de la médula se forma el plexo lumbar, que, entre otras, emite ramas para las paredes abdominopélvicas:

- Ramos musculares: para los músculos psoas y cuadrado de los lomos.
 - Nervio abdominogenital mayor o iliohipogástrico: inerva los músculos anchos del abdomen y la piel de la región lateral de la cadera y suprapúbica.
 - Nervio abdominogenital menor o ilioinguinal: entra en el conducto inguinal e inerva la piel del pubis y los genitales externos. También da ramas para los músculos anchos del abdomen.
 - Nervio obturador: sigue las paredes pélvicas hasta el agujero obturador. Inerva el obturador externo y los músculos aductores del muslo. Da también ramos cutáneos para la piel interna del muslo (reflejo cremastérico).
- Otros ramos del plexo lumbar son los nervios genitofemoral, destinado a los genitales externos, y los nervios femorocutáneo y femoral o crural, que se dirigen a la extremidad inferior.

E. NERVIOS DEL PERINEO

Los nervios pudendos internos son responsables de la mayor parte de la inervación de la zona.

La inervación sensitiva, muy abundante en la piel de los genitales, corre a cargo del nervio pudendo, que procede del plexo sacro. También es el encargado de la inervación motora de los músculos perineales.

Las fibras vegetativas, simpáticas y parasimpáticas proceden de los plexos hipogástrico inferior y sacro (nervios espláncnicos pelvianos). La estimulación parasimpática provoca la relajación del músculo liso arterial, contribuyendo a la erección. Las fibras del simpático provocan, por el contrario, la detumescencia de los órganos eréctiles.

F. INERVACIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR

1. Plexo braquial

El plexo braquial proporciona la inervación motora, sensitiva y vegetativa del miembro superior.



Se forma de los ramos ventrales de los nervios raquídeos C5-C8 y D1. Estos ramos se conectan entre sí formando tres troncos primarios, los cuales, a su vez, se dividen y anastomosan para constituir de nuevo tres troncos secundarios: externo, interno y posterior. De ellos emergen ya los nervios terminales destinados a la extremidad superior (Fig. 142).

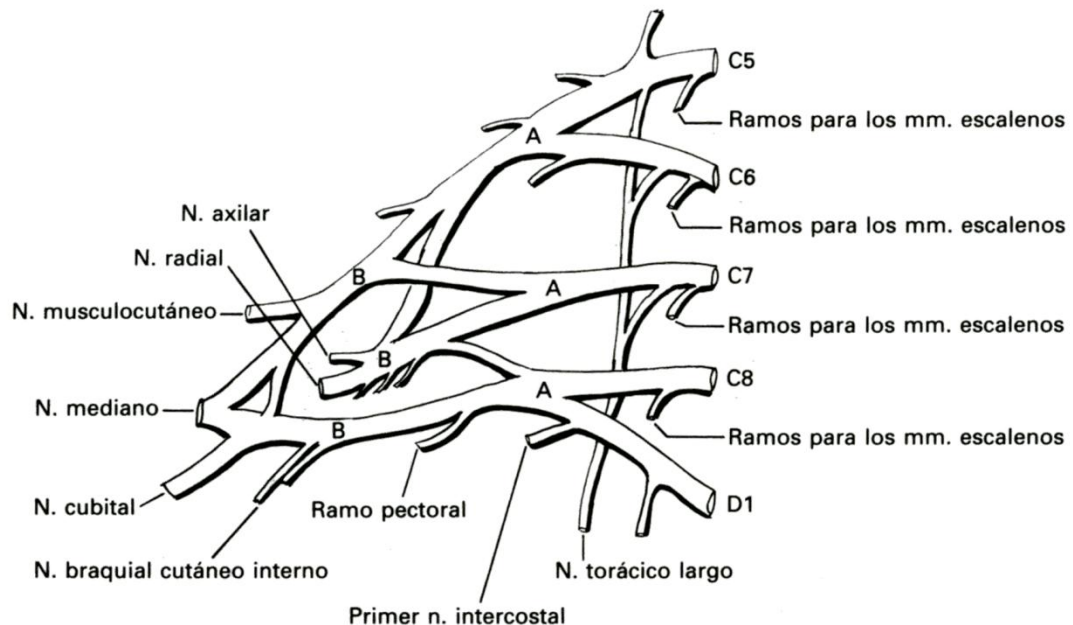


Ilustración 142. Plexo braquial. A) Troncos primarios. B) Troncos secundarios.

En todo este tramo, el plexo braquial emite también ramas colaterales para músculos del cuello (escalenos, largo, angular), tórax (subclavio, pectorales, romboides, dorsal ancho, serrato) y escapulares (músculo subescapular y todos los músculos del dorso de la escápula).

Los troncos primarios se sitúan en la región supraclavicular y los troncos secundarios en la axilar. El plexo llega a la extremidad superior abandonando el cuello por el desfiladero de los músculos escalenos, inmediatamente por detrás de la arteria subclavia. Pasa bajo la clavícula siguiendo el eje vascular, «enjaulando» con sus divisiones y anastomosis a la arteria axilar.

2. Ramas terminales del plexo braquial

Se forman a partir de los troncos.

Nervio Axilar o Circunflejo

Se dirige hacia la pared axilar posterior, dando ramas para los músculos vecinos (sobre todo el deltoides), la articulación glenohumeral y la piel que cubre la mitad inferior del deltoides.

Su lesión altera la movilidad del hombro (abducción) y llega a atrofiar el músculo deltoides, con pérdida de la redondez del hombro.



Nervio Radial

1) Trayecto y relaciones

Se origina del tronco secundario posterior y mantiene su situación posterior en su recorrido por el brazo, acompañando a la arteria humeral profunda y relacionándose con el canal de torsión del húmero y el músculo tríceps. En el tercio distal del brazo perfora el tabique intermuscular externo y se hace anterior, para colocarse entre el músculo braquial y braquiorradial. Cerca del epicóndilo da dos ramas terminales:

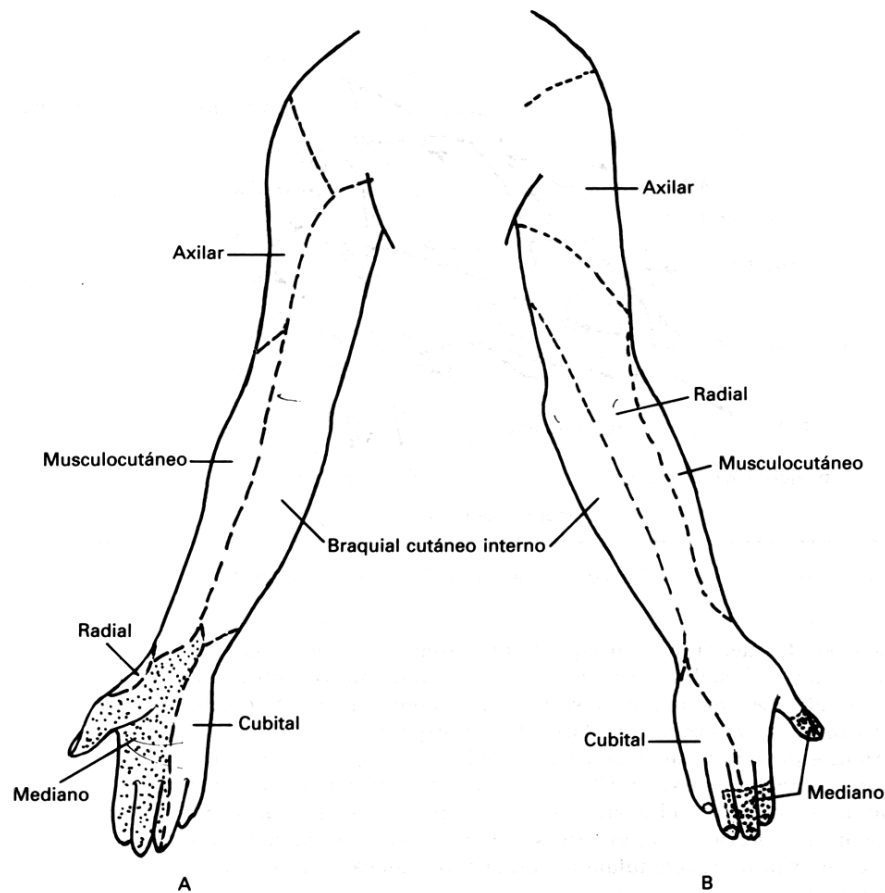


Ilustración 143. Territorios sensitivos del miembro superior.

- Una rama anterior, superficial o sensitiva, sigue al principio la arteria radial, pero la abandona antes de llegar a la muñeca. Rodea el radio y, ya en la cara dorsal, se reparte en ramos colaterales dorsales (cutáneos).
- La rama posterior es esencialmente motora, aunque también da ramos articulares propioceptivos. Recorre el dorso de antebrazo y mano.

2) Territorio

- Ramas motoras:
 - Para todos los músculos extensores del codo, el carpo y los dedos.
 - Para el músculo supinador.
- Recoge la sensibilidad de:
 - Gran parte de la cara posterior de brazo y antebrazo.
 - En la mano: mitad radial del dorso y parte externa de la eminencia tenar.
- Da diversos ramos articulares para el codo, la muñeca y la mano.

3) Lesión

El nervio tiene su punto crítico en la íntima relación con el canal de torsión del húmero: las fracturas diafisarias pueden afectarlo de forma importante. La lesión es esencialmente motora, alterando poco la sensibilidad. Disminuye la supinación y, sobre todo, se impide la extensión de las articulaciones del codo, la muñeca y los dedos. La imagen clínica de esta situación es la «mano péndula».

Nervio Braquial Cutáneo Interno

Es un nervio sensitivo, que nace del tronco secundario interno y sigue primero a la arteria humeral y luego, con un trayecto subcutáneo, a la vena basílica. Recoge la sensibilidad de la piel anterior e interna del brazo y la mitad cubital del antebrazo, tanto anterior como posterior.

Nervio Cubital

1) Trayecto y relaciones

Nace del tronco secundario interno y llega desde la axila a la palma de la mano. En el brazo discurre al principio junto a la arteria humeral, pero se aparta de ella para atravesar el codo por detrás de la epitroclea (surco del nervio cubital, por debajo de la epitroclea), lugar muy expuesto y donde ocurre la mayoría de las lesiones del nervio. En el antebrazo vuelve a hacerse anterior y busca la arteria cubital para llegar junto con ella, atravesando en canal de Guyon, a la región palmar, donde se ramifica.

2) Territorio

- Da ramas para los músculos:
 - Flexor cubital del carpo (cubital anterior).
 - Mitad interna del flexor común profundo.
 - Todos los músculos de la mano que no inerva el mediano: interóseos, tercero y cuarto lumbricales, hipotenares y aductor del pulgar.
- Inerva también la piel de la mitad cubital de la mano (palma y dorso), el dedo meñique y la mitad cubital del anular.



- Ramos articulares (fundamentalmente para el codo) y nervios vasomotores para la arteria cubital.

3) Lesión

Es el mencionado paso por el surco epitroclear. La lesión se manifiesta sobre todo por la parálisis de los músculos interóseos: no pueden realizarse movimientos de separación o aproximación de los dedos. Más tarde aparece el signo de «mano en garra cubital». La primera falange está en hiperextensión y las falanges proximales flexionadas. También puede haber anestesia del territorio sensitivo.

Nervio Mediano

1) Trayecto y relaciones

Es un largo y grueso nervio que recorre toda la extremidad. Originado a partir de dos raíces procedentes de los troncos secundarios externo e interno, discurre primero por fuera de la arteria humeral, luego la cruza por delante y, en el tercio distal del brazo, se coloca medialmente respecto a ella. En el antebrazo sigue el trayecto de la arteria cubital y luego de la interósea anterior. Recorre por tanto el eje del antebrazo situado en un plano profundo. Ingresa luego en el estrecho túnel carpiano, por debajo del ligamento anular del carpo, junto con los tendones de los músculos flexores. Una vez sale del túnel, se reparte en varias ramas.

2) Territorio

Da ramas motoras, sensitivas y vegetativas que inervan:

- Ramos motoras para los músculos:
 - Pronadores.
 - Flexor radial del carpo.
 - Flexor común superficial de los dedos, mitad radial del flexor común profundo y flexor largo del pulgar.
 - Músculos de la eminencia tenar (excepto el aductor del pulgar).
 - Músculos lumbricales primero y segundo.
- Ramos que recogen la sensibilidad de la piel de los 2/3 externos de la palma; cara palmar de los dedos pulgar, índice, medio y mitad radial del anular y porción distal del dorso de esos mismos dedos.
- Ramos articulares y lleva un importante contingente de fibras simpáticas que regulan la vasomotricidad de gran parte de las arterias de la extremidad y dirigen el trofismo de los tegumentos palmares.

3) Lesión

Se lesiona con cierta frecuencia. A menudo se trata de trastornos graves, porque afectan movimientos importantes y zonas de gran sensibilidad y alteran la acción trófica del simpático.



El lugar más «peligroso» para el nervio es el túnel carpiano: como el espacio que atraviesa es muy estrecho, cualquier alteración que lo disminuya (tenosinovitis, luxación del hueso semilunar), comprimirá y lesionará el nervio. Esta lesión «distal» afectará esencialmente la mano: parálisis y atrofia de los músculos tenares (con lo que se pierde el relieve tenar: «mano de simio», con imposibilidad para oponer el pulgar; disminuye la flexión de los dedos pulgar, índice y medio, y se pierde la sensibilidad (anestesia) o aparece dolor en el área sensitiva.

La lesión proximal del nervio mediano disminuye además la pronación y altera la flexión del carpo.

Nervio Musculocutáneo

Emerge del tronco secundario externo del plexo braquial. Inerva los músculos coracobraquial, bíceps y braquial y se prolonga hacia el antebrazo para recoger allí la sensibilidad de la mitad anteroexterna y el borde externo. Se trata, pues, de un nervio que es motor en el brazo y sensitivo en el antebrazo.

En resumen, puede decirse que los músculos posteriores de la extremidad, extensores de las diversas articulaciones, son inervados por el nervio radial y los músculos anteriores son patrimonio de tres nervios: el musculocutáneo para los flexores del codo, el mediano para los flexores del carpo y dedos del lado radial y el cubital para los flexores del lado interno.

Algunas situaciones pueden lesionar los nervios de la extremidad superior al nivel del plexo cervical: el uso inadecuado de muletas, la luxación de hombro, la existencia de una costilla cervical, el estiramiento lateral del cuello (que puede producirse por maniobras violentas sobre el feto en el transcurso del parto, o bien por caídas de motocicleta) En cualquiera de estos casos las lesiones nerviosas estarán determinadas por los troncos o nervios que en cada caso se afecten.

3. Valoración funcional de los principales nervios del miembro superior

Mediante una sencilla exploración se puede efectuar una valoración de la normalidad funcional de los nervios mediano, radial y cubital.

- Nervio mediano: realiza correctamente el movimiento de oposición. Tiene sensibilidad en la yema del dedo índice.
- Nervio radial: puede extender la muñeca. Está presente la sensibilidad en el dorso del primer espacio interdigital.
- Nervio cubital: separa perfectamente los dedos de la mano. Hay sensibilidad en la yema del dedo meñique (Fig. 144).



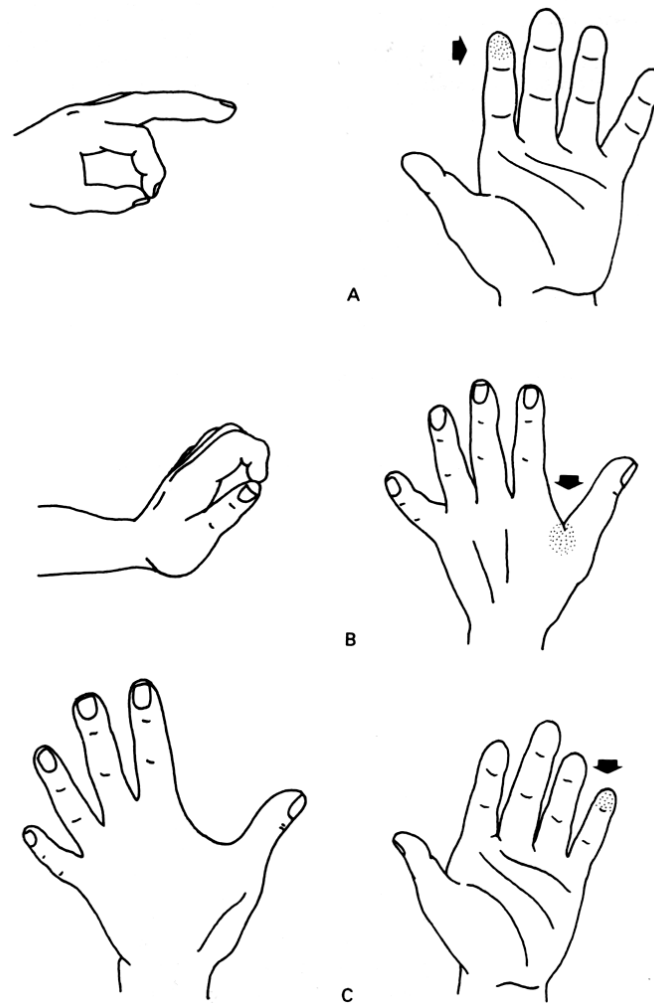


Ilustración 144. Valoración funcional de los principales nervios de la extremidad superior. A) Nervio Mediano. B) Nervio Radial. C) Nervio Cubital.

G. INERVACIÓN DEL MIEMBRO INFERIOR

Los nervios destinados a la extremidad inferior proceden de los plexos lumbar y sacro. Los más importantes son el nervio crural o femoral y el nervio ciático.

1. Ramas del plexo lumbar

El plexo lumbar se forma a partir de los ramos ventrales de los nervios raquídeos L1-L4 y da ramos nerviosos para los músculos y la piel de las paredes abdominales, el conducto inguinal, la región pudenda y la extremidad inferior. Los nervios destinados al miembro inferior son, principalmente, los siguientes:

Nervio Obturador

Sigue las paredes pélvicas hasta el agujero obturador. Inerva el obturador externo y los músculos aductores. Da ramos cutáneos para la piel interna del muslo (reflejo cremastérico) (Fig. 145).

Nervio Femorocutáneo

Inerva la piel anteroexterna del muslo (Fig. 145).

Nervio Femoral o Crural (L2-L4)

Es el más grande del plexo lumbar. Desciende con el músculo psoasilíaco y atraviesan juntos el anillo crural.

Inerva los músculos anteriores del muslo (sartorio, pectíneo, aductor largo, cuádriceps y, por supuesto, el psoas ilíaco). Da también ramos articulares para la cadera y la rodilla y ramos cutáneos para la región anterointerna de muslo, rodilla y pierna: nervios musculocutáneo interno, musculocutáneo externo y safeno interno (Fig. 145).

Su lesión impide la flexión de la cadera y la extensión de la rodilla.

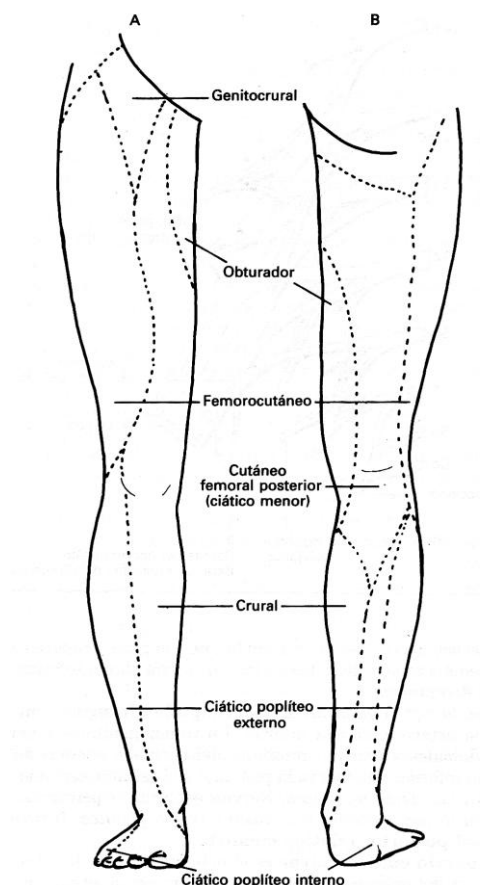


Ilustración 145. Territorios sensitivos del miembro inferior. A) Vista frontal. B) Vista dorsal.

La piel de la nalga es inervada por los ramos dorsales de los nervios raquídeos lumbares y sacros.

2. Ramas del plexo sacro

Se forma a partir de los ramos ventrales de los nervios S1-S4, a los que se incorpora el tronco lumbosacro (L4-L5) (Fig. 146).

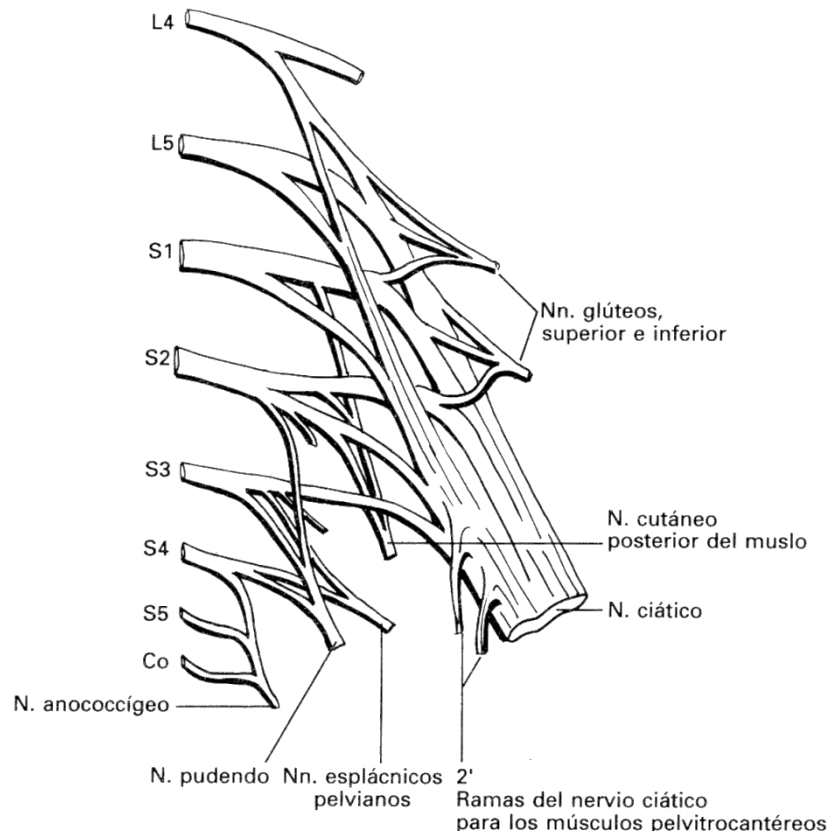


Ilustración 146. Plexos sacro y coccígeo.

Está situado delante del músculo piramidal de la pelvis. Emite numerosas ramas:

Nervios para la mayoría de los músculos pelvitrocantéricos

Nervios obturador interno y del gémino superior, nervios del cuadrado femoral y del gémino inferior, nervio para el piramidal, nervio glúteo superior (glúteos menor y medio y tensor de la fascia lata) y nervio glúteo inferior, para el músculo glúteo mayor.

Nervio pudendo

El nervio pudendo sigue el mismo trayecto que la arteria pudenda interna. Da ramos genitales y perineales (escrotales/labiales y para los músculos del perineo), además del nervio hemorroidal inferior, que inerva la piel anal y el esfínter estriado del ano.

Nervios esplácnicos pelvianos

Para las vísceras pélvicas.

Nervio cutáneo femoral posterior (ciático menor)

Para la piel posterior del muslo y región poplíteo.

Nervio ciático mayor

El nervio ciático mayor es el más importante del plexo y también el mayor del organismo (unos 2 cm de grosor en su origen). Se forma a partir de casi todas las raíces del plexo sacro (L4-S3).

1) Trayecto

Abandona la pelvis por el agujero ciático mayor, por debajo del músculo, y se dirige hacia el muslo pasando entre el trocánter mayor y la tuberosidad isquiática. Desciende en relación con la cara posterior del fémur y, en el tercio inferior del muslo, se bifurca en:

- **Nervio ciático poplíteo interno (nervio tibial):** pasa la fosa poplíteo y sigue en la pierna el trayecto de la arteria tibial posterior (entre el tríceps sural y los flexores de los dedos). Del mismo modo que la arteria, al llegar a la planta del pie da dos ramos terminales: nervios plantares interno y externo.
- **Nervio ciático poplíteo externo (nervio peroneo común):** desde su origen se dirige hacia la parte externa de la rodilla, siguiendo el tendón del bíceps femoral. Rodea el cuello del peroné (aquí es más superficial y se lesiona con mayor frecuencia) y en seguida se divide en los nervios tibial anterior, que sigue a la arteria y musculocutáneo o peroneo superficial.

2) Territorio.

El nervio ciático mayor da ramas para la articulación de la cadera y para los músculos posteriores del muslo: bíceps, semitendinoso, semimembranoso y aductor mayor.

Del ciático poplíteo interno se originan ramos articulares para la rodilla y el tobillo, ramos musculares para todos los músculos posteriores de la pierna (tríceps, poplíteo, tibial posterior y flexores de los dedos) y ramos cutáneos (nervio safeno externo) para la piel externa de pierna y pie. Los ramos terminales (nervios plantares) inervan la piel y los músculos de la planta.

Del ciático poplíteo externo salen nervios para los músculos de la celda anterior de la pierna (nervio tibial anterior), la piel anteroexterna de la pierna y el dorso del pie (nervio musculocutáneo). Además, emite ramos para las articulaciones de la rodilla y el tobillo.

En resumen: globalmente, el nervio ciático mayor inerva los músculos posteriores del muslo y todos los de la pierna; da ramas articulares en toda la extremidad inferior y recoge la sensibilidad del pie y de la mitad externa de la pierna.



3) Lesión

La lesión del nervio ciático mayor en su origen limita la movilidad de la cadera e impide la flexión de la rodilla y los movimientos del pie. Quizás el dato más característico y frecuente es el intenso dolor en el área sensitiva (ciática). Una causa frecuente es la herniación del núcleo pulposo (hernia discal) de alguno de los discos intervertebrales próximos a las raíces del plexo, pero también puede producirse por inyecciones intramusculares que no respeten el trayecto del nervio (v. «Topografía de la región glútea»).

La lesión del ciático poplíteo externo es frecuente por traumatismos en la cara externa de la rodilla. A veces, un vendaje de yeso colocado sin almohadillar el relieve óseo peroneo es la causa de la lesión. Se caracteriza por parálisis en la flexión dorsal del pie y la extensión de los dedos: pie equino. Al caminar levantan mucho el pie y lo dejan caer bruscamente (marcha en «estepaje»).

Si se lesiona el ciático poplíteo interno (raro), la insuficiencia de los músculos de la pantorrilla impide la flexión plantar del pie. Habrá también déficit en la flexión de los dedos y anestesia plantar.

4) Inyecciones intramusculares en el miembro inferior

Es por todos sabido que la mayoría de los medicamentos empleados por vía intramuscular se administran en la región glútea.

La topografía de la región glútea comprende, bajo la piel, un grueso panículo adiposo que cubre la aponeurosis glútea. El músculo glúteo mayor, más superficial, queda en su mayor parte por debajo de una línea imaginaria que une la espina ilíaca posterosuperior y el trocánter mayor. Cubre entonces los músculos pelvitrocantéricos y sólo parcialmente al glúteo mediano. Los músculos pelvitrocantéricos, en especial el piramidal, están íntimamente relacionados con importantes vasos y nervios: por el espacio suprapiramidal, emergen de la pelvis la arteria, la vena y el nervio glúteos superiores y, por el infrapiramidal, más aún: vasos y nervios glúteos inferiores, pudendos internos y nervios ciático menor y ciático mayor. Este último, muy voluminoso, se dirige hacia abajo, pasando entre el trocánter mayor del fémur y la tuberosidad isquiática.

Todos estos vasos y nervios se sitúan, por tanto, inmediatamente por debajo del músculo glúteo mayor, por lo que esta zona no debe utilizarse para inyecciones intramusculares.

Por encima de la línea hipotética mencionada, la masa muscular corresponde a los músculos glúteos medio y menor. Los vasos y nervios son aquí más distales y finos, por lo que el peligro de daños importantes es menor. Para las inyecciones intramusculares se pueden utilizar:

- La zona dorsoglútea, correspondiente al músculo glúteo medio.
- La zona ventroglútea, algo más anterior, correspondiente a los músculos glúteos medio y menor. Debe elegirse en sujetos muy delgados o en niños y es muy útil en personas encamadas. La zona de inyección puede delimitarse entre los dedos índice y medio. El dedo índice se coloca en la espina ilíaca anterosuperior, y el medio en el centro de la cresta ilíaca, con la palma de la mano tocando el trocánter.



Otro método consiste en dividir la región glútea en cuatro cuadrantes mediante dos líneas perpendiculares entre sí: una, vertical, pasa por el punto medio de la cresta ilíaca, y la otra, horizontal, por el límite superior del pliegue interglúteo. Se debe elegir siempre el cuadrante supero-externo, que corresponde de nuevo a los glúteos medio y menor.



XIV. SISTEMA NERVIOSO VEGETATIVO O AUTÓNOMO

Es la parte del sistema nervioso destinada al mantenimiento de la homeostasia o constancia del medio interno, así como a la adaptación del organismo frente a situaciones potencialmente peligrosas. El término «autónomo» se debe a su independencia del control de la voluntad, pero su autonomía es relativa: existe una interacción continua y lógica entre las actividades somáticas y las viscerales-vegetativas. Obtiene información de receptores situados fundamentalmente en las vísceras y pone en marcha las acciones o correcciones necesarias para una actividad visceral adecuada: modificaciones en el calibre de vasos y bronquios, frecuencia cardíaca y respiratoria, movimientos y secreciones del tubo digestivo, eliminación digestiva y renal, actividades relacionadas con la función sexual como la erección y la eyaculación, etc., están mediadas por nervios del sistema nervioso autónomo o vegetativo (Fig. 147).

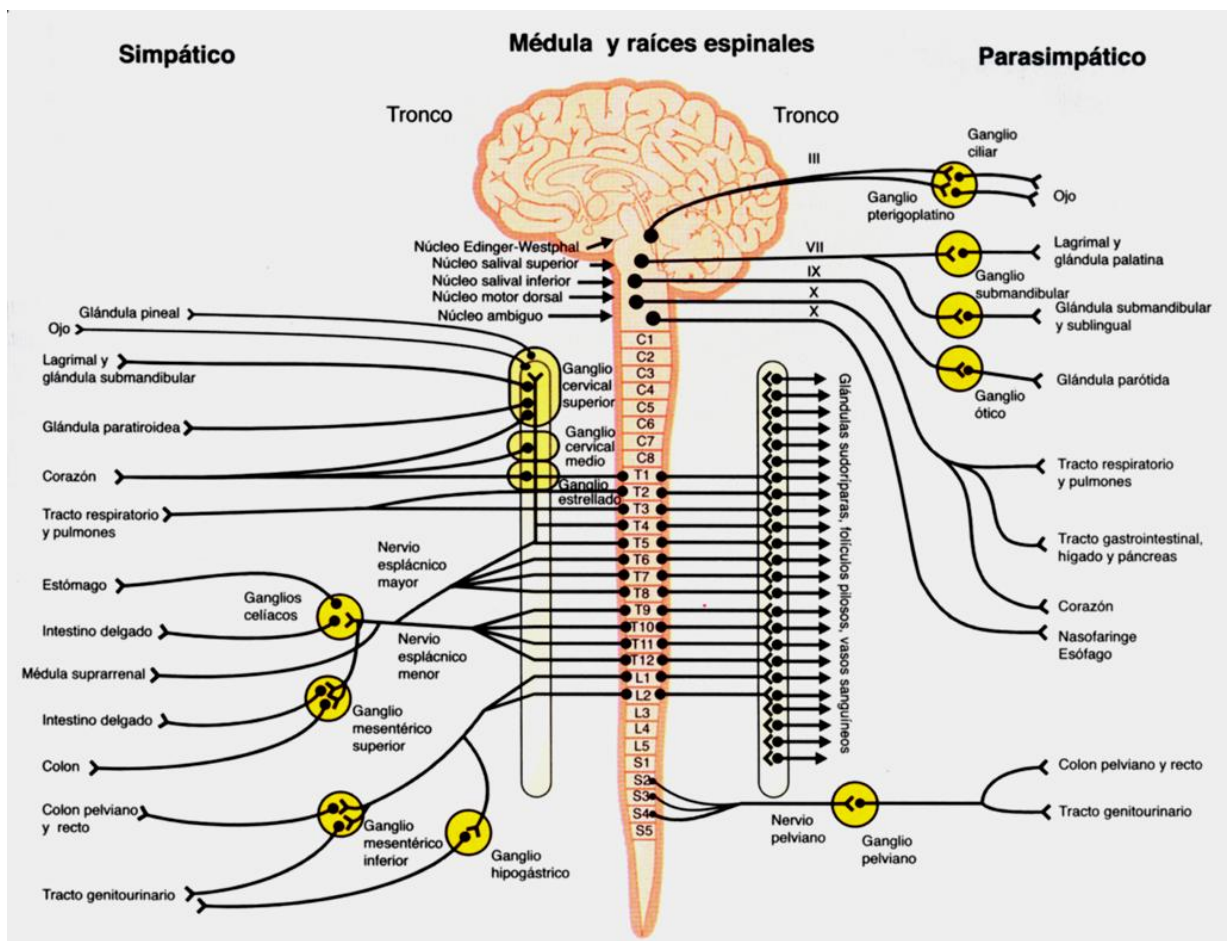


Ilustración 147. Esquema general de las fibras eferentes vegetativas.

Existen dos grandes divisiones del sistema nervioso vegetativo: simpático y parasimpático, cada uno con sus vías y centros nerviosos y con actividades antagónicas pero complementarias. Se puede decir, en líneas generales, que el sistema simpático prepara al organismo para la actividad, para el combate o la huida, descargando en situaciones de urgencia: dilata la pupila para que entre más luz a la retina y adapta el cristalino a la visión de lejos; aumenta la frecuencia cardíaca y la presión arterial; provoca una vasoconstricción en la piel que disminuiría los efectos de una posible hemorragia; aumenta el flujo en los vasos de los músculos esqueléticos, la tasa de glucemia y los ácidos grasos libres en previsión de una mayor actividad muscular, disminuye los movimientos y secreción de las vísceras, reduce el umbral de la formación reticular para mantener el estado de alerta, etc. Es un sistema catabólico, que consume energía.

La división parasimpática tiene, en cambio, una actividad general anabólica, generadora y ahorradora de energía, destinada al reposo y la reparación, con los efectos casi siempre contrarios a la actividad simpática: miosis, acomodación del cristalino a la visión cercana, disminución de la frecuencia cardíaca, aumento de la motilidad intestinal y estímulo de la secreción glandular, etc.

La organización del sistema nervioso autónomo puede esquematizarse de manera semejante a un arco reflejo:

Receptores → Fibras Aferentes → Centros Nerviosos → Fibras Eferentes → Efectores

A. RECEPTORES

Situados en la pared de las vísceras o de los vasos, son capaces de detectar variaciones en el medio interno (barorreceptores, osmorreceptores, quimiorreceptores), estímulos mecánicos (como un aumento en la tensión de la pared visceral: mecanorreceptores) o nociceptores (receptores de sensaciones dolorosas) que pueden ser estimulados por presión o por sustancias químicas liberadas, por ejemplo, en el proceso de inflamación de una víscera.

B. VÍAS AFERENTES

Son las prolongaciones periféricas de protoneuronas cuyos cuerpos están situados en los ganglios de las raíces posteriores raquídeas o en los ganglios homólogos de los nervios craneales. Llegan al SNC utilizando nervios propios simpáticos y parasimpáticos y también nervios periféricos somáticos. Una vez en el neuroeje, las vías aferentes (semejantes a las somáticas) terminarán por hacer sinapsis en los centros vegetativos del tronco del encéfalo y la médula espinal (Fig. 148).



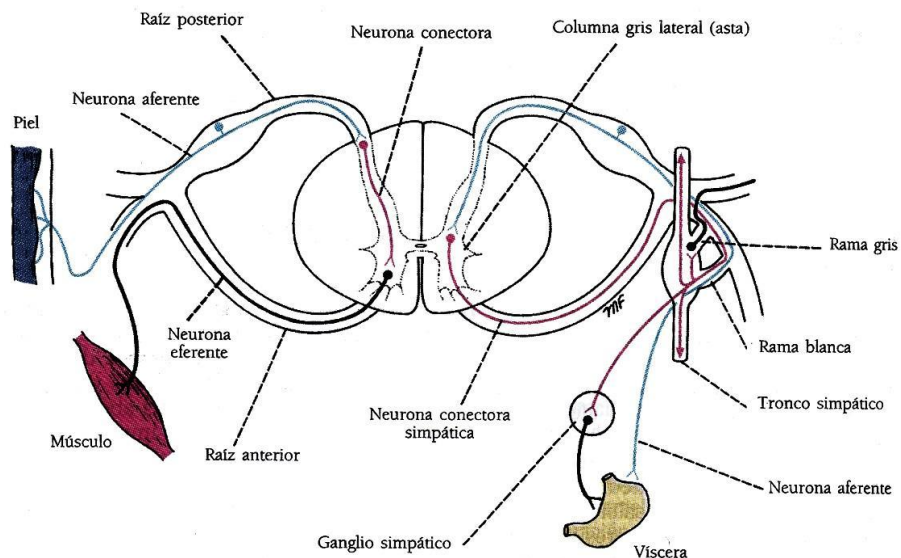


Ilustración 148. Vías aferentes.

C. CENTROS NERVIOSOS

Tienen una localización diferente para cada una de las divisiones del sistema vegetativo:

- Los núcleos simpáticos están situados en los segmentos dorsales y los primeros dos o tres lumbares de la médula espinal, concretamente en el asta lateral (intermediolateral).
- Los núcleos parasimpáticos se distribuyen en dos regiones: el tronco del encéfalo (parasimpático craneal) en los núcleos vegetativos de los pares craneales III, VII, IX y X y el asta lateral de los segmentos sacros S2-S4 de la médula espinal (parasimpático sacro).

D. VÍAS EFERENTES

Son las neuronas que parten de los centros vegetativos para llegar a los órganos efectores.

A diferencia de las vías eferentes somáticas que utilizan una sola neurona para salir del neuroeje, las eferencias vegetativas están formadas por dos neuronas que siempre han de hacer sinapsis en un ganglio antes de llegar al efector. La primera de estas neuronas es la denominada preganglionar y la segunda, postganglionar.

1. Vías eferentes simpáticas

En primer lugar hay que señalar la ubicación de los ganglios:

Los ganglios simpáticos están situados en su mayoría formando dos largas cadenas, una a cada lado de la columna vertebral, desde la base del cráneo hasta el cóccix: el tronco simpático o cadena simpática laterovertebral. Cada cadena dispone en general de un ganglio por cada uno de los segmentos medulares, aunque a veces se produce la fusión de varios, lo que determina un

número total inferior al de mielómeros. Esto sucede siempre en la región cervical, donde se encuentran sólo tres ganglios: superior, medio e inferior. Este último recibe el nombre de ganglio estrellado y tiene un especial interés por su relación con la cúpula pleural (Figura 149).

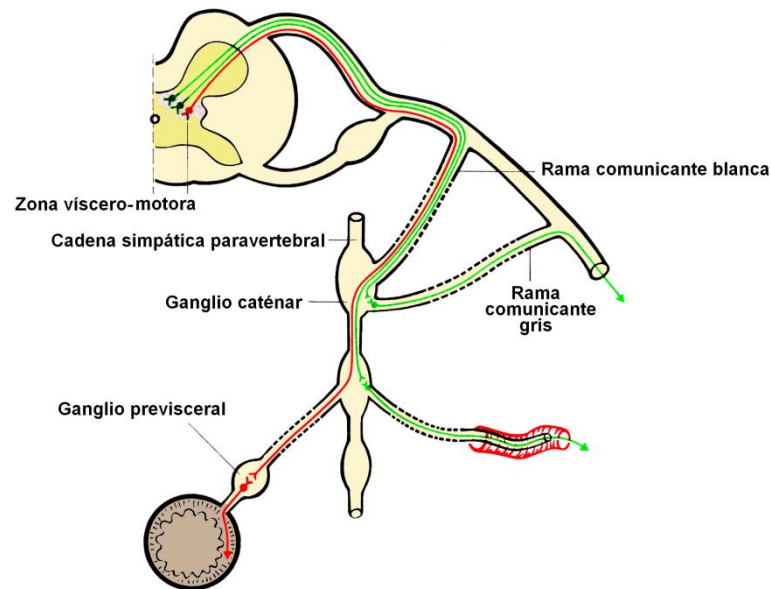


Ilustración 149. Las vías eferentes (orto)simpáticas.

Por delante del cóccix los dos troncos simpáticos confluyen en un único ganglio coccígeo. En toda su longitud, cada cadena simpática mantiene conexiones con los ramos ventrales de los nervios espinales a través de ramos comunicantes grises y, entre D1 y L2-L3, hay además ramos comunicantes blancos.

Algunos ganglios no están en el tronco simpático sino inmerso en plexos nerviosos que forman determinadas fibras eferentes en la cavidad abdominal. Son los ganglios prevertebrales celíaco, mesentérico superior y mesentérico inferior, situados delante de la gran arteria aorta y cuyos nombres hacen referencia al lugar que ocupan, junto al origen de las arterias de igual denominación.

Las fibras preganglionares simpáticas llegan a los ganglios de la cadena simpática utilizando los ramos comunicantes blancos. Muchas hacen sinapsis en esos ganglios, ya sea en el mismo nivel al que llegan o siguiendo el tronco simpático para alcanzar un ganglio situado más arriba o más abajo.

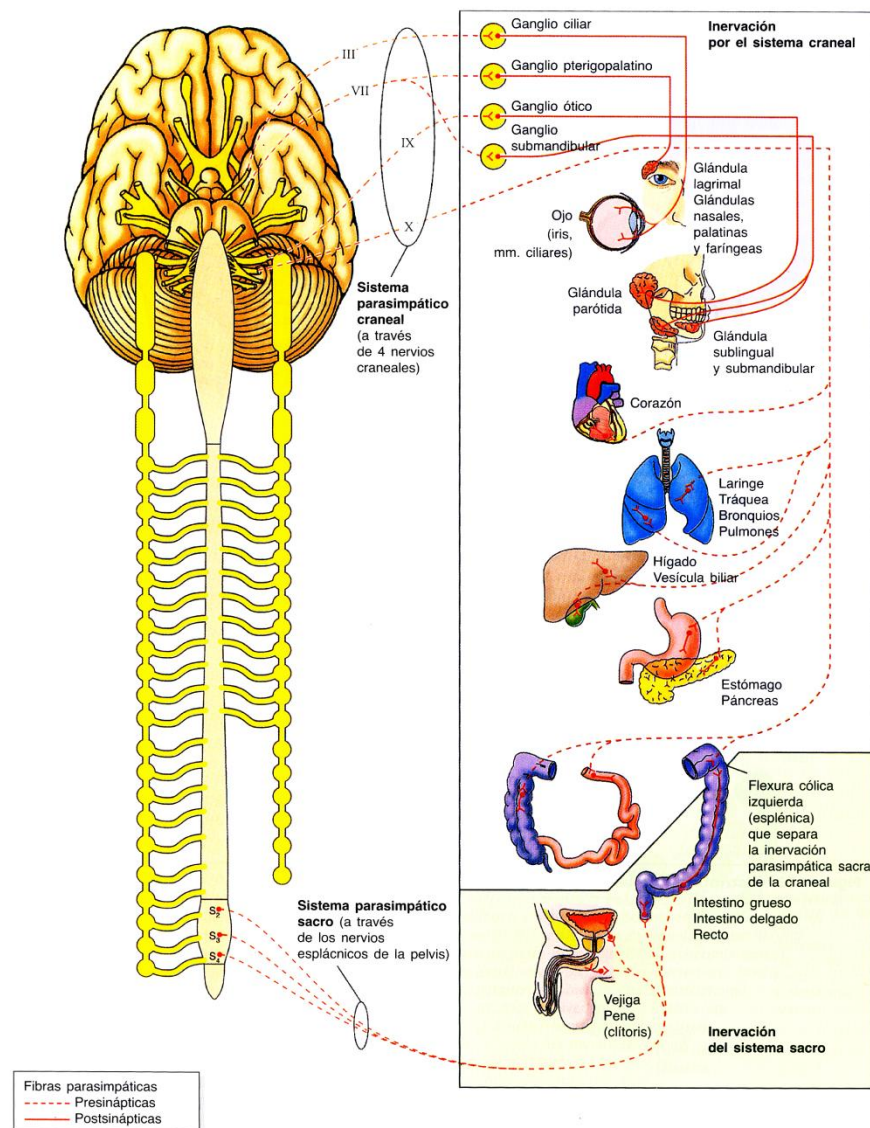


Ilustración 150. Sistema (orto)simpático.

Otras preganglionares escapan de la cadena simpática (nervios esplácnicos toracoabdominales) para acabar haciendo sinapsis en los ganglios prevertebrales.

Las fibras posganglionares se distribuyen mediante los nervios simpáticos que surgen de cada uno de los ganglios o bien regresan por los ramos comunicantes grises para repartirse con nervios espinales.

La mayoría de los nervios simpáticos lleva tanto fibras eferentes como aferentes y forman, a menudo, plexos situados cerca o alrededor de las vísceras a las que van destinados. A esos plexos se incorporan también, como luego veremos, fibras parasimpáticas preganglionares.

Del ganglio cervical superior surgen, entre otros:



- **Nervio carotideo interno:** aparece como una prolongación craneal del tronco simpático. Da lugar al plexo carotideo, que entra en el cráneo acompañando a la arteria carótida interna y se distribuye siguiendo los vasos y nervios craneales.
- **Ramos laríngeos y faríngeos:** terminan formando plexos para estos órganos junto con fibras parasimpáticas del glosofaríngeo y el vago.
- **Ramo cardíaco:** se anastomosa con otros ramos procedentes del de los ganglios cervicales medio e inferior para formar el plexo cardíaco.

Los tres ganglios tienen sus correspondientes ramos comunicantes grises que contactan con los primeros nervios cervicales, pero el ganglio estrellado o cervical inferior es el único que recibe un grueso ramo comunicante blanco. Muchas fibras preganglionares de este ramo hacen sinapsis en los ganglios cervicales medio y superior. La destrucción del ganglio estrellado o la sección de este ramo comunicante blanco privaría de inervación simpática a la región craneal: es lo que en clínica se denomina síndrome de Horner, caracterizado por miosis, ojos hundidos y ptosis palpebral.

Los ganglios de la región torácica conectan todos mediante ramos blancos y grises con sus correspondientes nervios espinales. Emiten además nervios simpáticos que dan lugar a:

- **Plexo aórtico torácico:** formado por ramas procedentes de los cinco primeros ganglios torácicos. Algunos se incorporan al plexo cardíaco y otros forman el plexo pulmonar.
- **Nervios esplácnicos torácicos** (mayor, menor e inferior): surgen de los siete últimos ganglios torácicos, pero, en su mayoría, están formados por fibras preganglionares que buscan su estación sináptica en los ganglios prevertebrales (celíaco y mesentéricos).

En la región lumbar se originan los nervios esplácnicos lumbares, que contribuyen, junto con los anteriores, a la formación de grandes y complejos plexos nerviosos que se relacionan en todo momento con la arteria aorta abdominal y sus ramas.

- **Plexo celíaco o plexo solar:** está situado alrededor del tronco celíaco, la rama arterial que sale de la aorta apenas atraviesa el orificio diafragmático. Está formado por los nervios esplácnicos mayor y menor y los ganglios celíacos de cada lado. A él acceden ramificaciones abdominales del nervio vago y de él se origina una serie de plexos secundarios que siguen a las principales ramas de la aorta: plexos frénico, hepático, gástrico, suprarrenal, renal, genital, mesentérico superior, intermesentérico y mesentérico inferior. Los plexos mesentéricos contienen los ganglios prevertebrales del mismo nombre, que sirven, como los celíacos, de estación sináptica para neuronassimpáticas preganglionares.

A todos estos plexos se van incorporando los nervios esplácnicos lumbares y fibras parasimpáticas procedentes del nervio vago y de los nervios esplácnicos pelvianos.

- **Plexos hipogástricos superior e inferior:** se forman de modo semejante al plexo celíaco. Ambos reciben ramificaciones de nervios esplácnicos lumbares (simpáticos) y nervios esplácnicos pelvianos (parasimpáticos). Del plexo hipogástrico inferior se originan también plexos secundarios que llegan a las diferentes vísceras pélvicas.



2. Vías eferentes parasimpáticas

Nacen de las porciones craneal o sacra del sistema parasimpático.

Parasimpático craneal

Los nervios craneales que llevan fibras parasimpáticas son el motor ocular común (III par), el facial (VII par), el glossofaríngeo (IX par) y el vago (X par).

Las fibras preganglionares del motor ocular común hacen sinapsis en el ganglio oftálmico, y, por los nervios ciliares cortos, llegan al globo ocular, donde la inervación parasimpática produce miosis y acomodación del cristalino.

Las fibras preganglionares del facial se distribuyen esencialmente en dos nervios: petroso superficial mayor, que hace sinapsis en el ganglio esfenopalatino, y cuerda del tímpano, que establece sinapsis en el ganglio submandibular. Las fibras posganglionares se distribuyen con ramas del nervio trigémino para llegar a las glándulas lagrimales, glándulas de la boca y mucosa nasal y glándula salival sublingual y submandibular.

Los eferentes preganglionares que discurren por el nervio glossofaríngeo terminan haciendo sinapsis en el ganglio ótico. Las fibras posganglionares acompañan al nervio auriculotemporal (rama del trigémino) para alcanzar la glándula parótida.

El nervio vago lleva en la mayor parte de su recorrido fibras también preganglionares que hacen sinapsis en pequeños ganglios cercanos a las vísceras que inerva o situados en su propia pared. Accede a ellas incorporándose a los plexos simpáticos ya citados (faríngeo, cardíaco, celíaco, etc.).



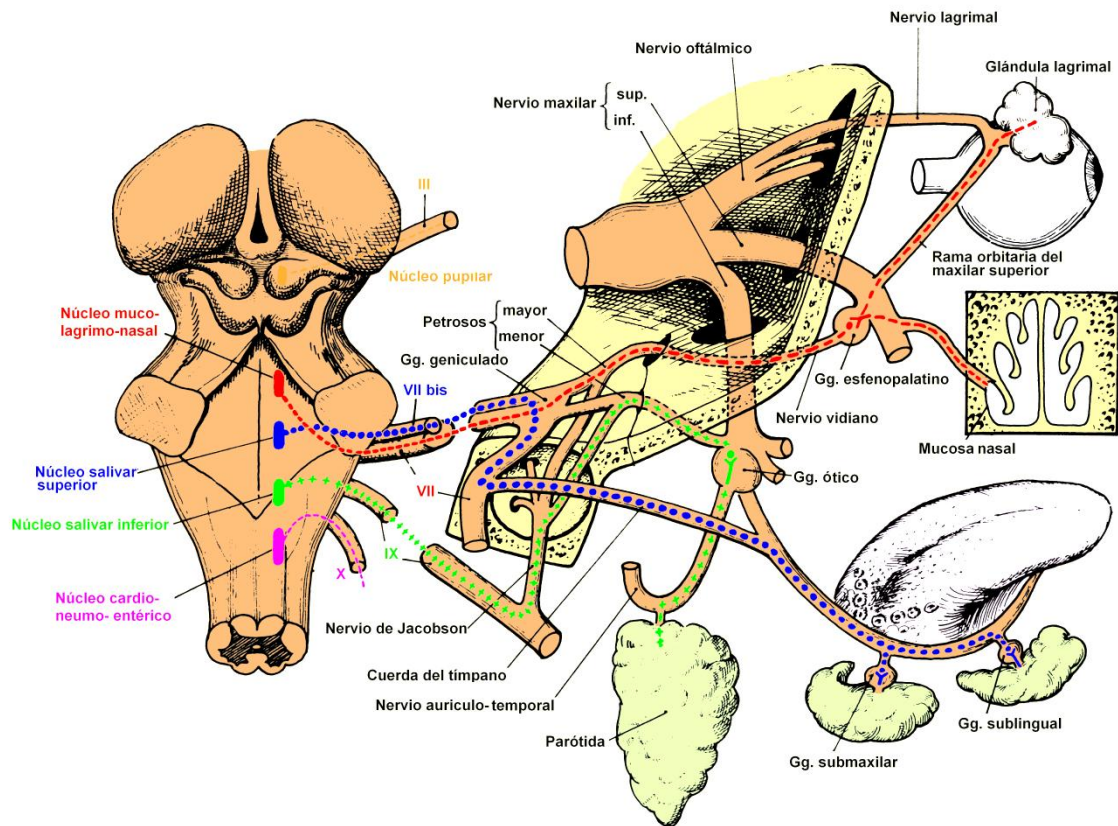


Ilustración 151. Sistema parasimpático.

Parasimpático sacro

Las fibras preganglionares del parasimpático sacro salen de la médula por los nervios esplácnicos pelvianos. A través de ellos se incorporan a los plexos mesentérico inferior e hipogástricos para inervar la mitad distal del intestino grueso y los órganos pélvicos. La sinapsis ocurre en la pared de las vísceras o en su proximidad.

E. EFECTOS DE LA INERVACIÓN VEGETATIVA

Los efectos de la estimulación vegetativa se relacionan con el tipo de mediador químico y de receptores existentes en los órganos efectores.

Los neurotransmisores más importantes del sistema autónomo son dos: acetilcolina y noradrenalina. Según el tipo de neurotransmisor empleado, las fibras del sistema nervioso vegetativo se pueden clasificar en colinérgicas y adrenérgicas. Son fibras colinérgicas todas las preganglionares, las postganglionares parasimpáticas y algunas postganglionares simpáticas, como las que inervan la glándula sudorípara. Son adrenérgicas la mayor parte de las fibras postganglionares simpáticas (Tabla 2).



Órgano efector	Efectos del SNS	Efectos del SNPS
Corazón		
Frecuencia cardíaca	Aumento (β)	Disminución
Fuerza de contracción	Aumento (β)	Disminución
Vasos		
Coronarios	Dilatación (β)	Constricción
Musculares	Dilatación (β)	—
Viscerales	Constricción (α)	—
Piel	Constricción (α)	—
Globo ocular		
Pupila	Midriasis (α)	Miosis
Músculo ciliar	Relajación (β)	Acomodación
Glándulas		
Lagrimales	—	Secreción
Salivales	Secreción espesa (α)	Secreción fluida
Sudoríparas	Secreción localizada (α)	Secreción generalizada
Mucosas	Inhibición	Secreción
Músculo liso		
Motilidad y tono	Disminuye (α y β)	Aumenta
Esfínteres	Contracción (α)	Relajación
Bronquios	Dilatación (β)	Constricción
Vejiga		
Músculo detrusor	Relajación (β)	Contracción
Esfínter	Constricción (α)	Relajación
Músculos pilomotores	Contracción (α)	—
Genitales	Eyaculación (α)	Erección
Glucemia	Aumenta	—
Secreción suprarrenal	Aumenta	—
Vigilia	Aumenta	—

SNS: Sistema nervioso simpático; SNPS: sistema nervioso parasimpático.

Tabla 2. Efectos adrenérgicos y colinérgicos en el organismo.

Cada mediador produce en el órgano efector un tipo de respuesta que se puede denominar, generalizando, como efecto colinérgico o efecto adrenérgico, los cuales también en líneas generales, se asimilan respectivamente a las acciones de los sistemas parasimpático y simpático. Hay, sin embargo, acciones específicas provocadas por dichos neurotransmisores que dependen del tipo de receptor presente en el órgano inervado. Así, la acetilcolina puede estimular receptores muscarínicos o receptores nicotínicos (denominados así porque la muscarina y la nicotina reproducen unos efectos semejantes) y la noradrenalina puede estimular receptores α -adrenérgicos o β -adrenérgicos.

Los avances en la bioquímica de los neurotransmisores, de los que se conocen muchos más tipos que los enunciados, han permitido un gran desarrollo de la farmacología del sistema nervioso. Existen fármacos cuya acción favorece, imita o inhibe los efectos de un transmisor determinado (fármacos simpaticomiméticos, parasimpaticolíticos, etc.). Otras veces pueden ser tan selectivos que afectan un determinado tipo de receptor (Por ejemplo, α -estimulantes, β -bloqueantes, etc.).

