

5. Tallo cerebral

Apuntes de Clase

Conocimiento Corporal II


Por:

Gustavo Ramón S.*

* Doctor en *Nuevas Perspectivas en la Investigación en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*
(Universidad de Granada).

Docente - Investigador del Instituto Universitario de Educación Física, Universidad de
Antioquia (Colombia).

Correo: gusramon2000@yahoo.es



5 Tallo cerebral

Apuntes de la asignatura Conocimiento Corporal II.
Instituto Universitario de Educación Física, Universidad de Antioquia.
Medellín, Colombia.
Actualización: mayo de 2008

Por

Gustavo Ramón Suárez

gusramon2000@yahoo.es

El tallo cerebral está constituido por cuatro áreas que se continúan a partir de la médula espinal y que se conectan con el diencefalo. A continuación se detallará la función de cada una de ellas.

- **Bulbo raquídeo:**

El bulbo raquídeo se inicia luego de la emergencia del primer nervio espinal y termina por delante en el surco bulboprotuberancial y por detrás una línea imaginaria que une los dos extremos laterales del IV ventrículo. En el bulbo se continúa la anatomía de la médula. Los cordones anteriores son muy prominentes constituyendo las *pirámides bulbares* unidas entre sí por finos axones que se denominan la *decruzación de las pirámides*. Los cordones laterales conforman otro centro de neuronas denominado la *oliva bulbar*, estación de relevo de la vía auditiva. En la parte posterior, los cordones de Goll y de Burdach forman los núcleos del mismo nombre; mas lateralmente se encuentran los tubérculos acústicos que contienen los núcleos cocleares dorsal y ventral, estaciones de relevo de la vía acústica.

Al interior del bulbo raquídeo se encuentran una serie importante de núcleos grises que controlan: 1) el ritmo respiratorio o centro respiratorio, 2) el ritmo cardíaco o centro cardíaco, 3) el reflejo de deglución, 4) el reflejo de la tos, 5) el reflejo de la náusea y del vómito. Por otra parte allí se encuentran los núcleos neuronales que controlan el VI para craneano (nervio motor ocular común), el VII par (nervio facial), el VIII par (estatoacústico), IX par (glossofaríngeo), X par (nervio vago), XI par (nervio espinal) y el XII par (nervio hipogloso). Todos estos núcleos son del tipo motor.

Como se puede analizar, el bulbo raquídeo es una estructura muy especializada e importante desde el punto de vista funcional porque participa en un gran número de funciones relacionadas con la nutrición (segmento nutricional). Su sector aferente conduce información sobre al aparato digestivo, circulatorio y respiratorio; su sector eferente también es predominantemente visceral.

- **Protuberancia anular**

El *segmento inferior o centinela* tiene como límite inferior, el surco bulboprotuberancial y como superior, la emergencia del V par (nervio trigémino). En este segmento se encuentran los núcleos motores del VII par (nervio facial) y VI par (nervio motor ocular externo). Este segmento controla la audición, el equilibrio y el gusto. Controla la musculatura del cuello, de la cara y del ojo, estructuras que en el animal lo capacitan para indagar o investigar los cambios del medio ambiente, de donde deriva su nombre de centinela.

El *segmento superior o masticador* tiene como límite superior la emergencia del IV par craneano (nervio troclear). Su actividad fundamental está constituida por el control que posee sobre la masticación así como sobre la prehensión, mordida y desgarrar de la presa, acciones mediadas por el V par (Nervio trigémino). En la parte sensitiva, su función es muy amplia, pues comprende toda la sensibilidad de la cabeza, los ojos, los oídos y la nariz. En muchos animales (mamíferos) la presencia de pelo en la cara y nariz, con abundantes terminaciones nerviosas, lo capacita para generar reflejos protectores anticipados. El reflejo corneano es uno de ellos y consiste en que un leve contacto de un objeto con la córnea del ojo determina un cierre inmediato del párpado.

- **Mesencéfalo**

El mesencéfalo es la parte que se une al diencefalo (tálamo e hipotálamo). No posee límite superior definido. En su parte anterior se encuentran dos gruesas columnas denominadas pedúnculos cerebrales. Por la parte posterior se encuentran cuatro pequeñas masas colocadas por pares, dos superiores y dos inferiores, que constituyen la *lámina cuadrigémina o tubérculos cuadrigéminos superiores e inferiores*. De estos tubérculos emergen paquetes de neuronas llamadas los brazos cuadrigéminos que terminan en los cuerpos geniculados del tálamo.

Al interior se encuentran dos núcleos muy importantes relacionados con los movimientos automáticos como lo son el núcleo rojo y la sustancia nigra (locus niger). Aunque sus funciones no han sido muy definidas, forman parte del sistema extrapiramidal que controla la motricidad involuntaria, refleja y automatizada. La alteración del locus niger produce la enfermedad del Parkinson.

La actividad refleja de este segmento se encuentra relacionada con los mecanismos de ajuste motor-ocular (tubérculos cuadrigéminos superiores). En este segmento se encuentran los núcleos que controlan el reflejo pupilar a la luz (con la luz, la pupila se contrae y con la oscuridad se dilata), el reflejo de acomodación (cambio de curvatura del cristalino por cambio súbito de la mirada),

En general, en todo el tronco cerebral se generan los siguientes reflejos incondicionados:

- **los reflejos vestíbulo-óculo-céfalo-giro:** movimientos de la cabeza y del cuello, principalmente de rotación, para seguir los objetos en el campo visual,
 - **los reflejos tónico-laberínticos:** la inclinación lateral de la cabeza aumenta el tono extensor del mismo lado y lo disminuye en el lado opuesto,
 - **los reflejos tónico-cervicales:** la extensión de la cabeza aumenta el tono extensor de las extremidades anteriores y disminuye el tono de las inferiores; la flexión de la cabeza disminuye el tono extensor de las extremidades anteriores y lo aumenta en las inferiores; la rotación de la cabeza provoca un aumento en el tono de los extensores del mismo lado del cuerpo hacia donde se dirige el mentón y una disminución en el lado opuesto,
 - **reflejos de enderezamiento o de control de la postura** como son: los laberínticos: extensión de cabeza mientras se encuentra sostenido en el aire, no importando la posición del resto del cuerpo), los propioceptivos cervicales (la activación de los propioceptores de la musculatura del cuello, cuando se está en el aire, tienden a preparar el resto del cuerpo para el enderezamiento de sus partes), receptores cutáneos del cuello (la presión asimétrica sobre la superficie del cuerpo provoca el enderezamiento de la cabeza), las reacciones de salto (cuando se está apoyado sobre un solo pie y se mueve el cuerpo, la respuesta es de salto para recuperar el equilibrio).
 - **Reflejos vestíbulo-oculares:** la flexión de la cabeza contrae el músculo recto superior e inhibe el inferior, manteniendo la mirada; la extensión de cabeza realiza una respuesta opuesta a la anterior; la rotación de la cabeza hace contraer el recto interno del lado hacia el que se rota al cara y el recto externo del lado contrario.
 - **Reflejos cócleo-oculares:** un estímulo sonoro hace rotar el ojo hacia el lado donde se origina el sonido,
 - **Reflejos visuo-oculares:** reflejo de fijación visual (los ojos se dirigen siempre hacia donde se mueve el objeto, de manera que los rayos provenientes se enfoquen sobre la fovea), reflejo de acomodación.
- **Cerebelo**

Generalidades:

En el hombre, el cerebelo es una parte bastante voluminosa del sistema nervioso, con una apariencia laminar característica distintiva, situada en la parte posterior del tronco cerebral. Los peces constituyen el primer paso evolutivo de su desarrollo, encontrándose en ellos un receptor vestibular codificado por la aurícula cerebelosa o archicerebelo y un esbozo de cuerpo cerebeloso (paleocerebelo). Los anfibios constituyen la segunda fase de la evolución, caracterizado por un aumento del cuerpo del cerebelo y complejización de las vías vestibulares. Es en los reptiles donde el cerebelo alcanza mayor evolución, al parecer por la aparición de extremidades. En las serpientes, el cuerpo cerebeloso es central mientras que en los lagartos aparecen dos masas laterales. En las aves hay un desarrollo masivo del cuerpo cerebeloso con una distinción precisa entre los lóbulos anterior y medio, lo mismo que una definición de núcleos centrales al interior. Es finalmente en los mamíferos donde el cerebelo alcanza la tercera etapa o de mayor desarrollo. Esta etapa se caracteriza por el desarrollo progresivo de las porciones laterales del lóbulo medio del cuerpo cerebeloso, lo que determina la formación de los hemisferios. Como consecuencia, aparece la neocorteza y el neocerebelo.

Anatomía externa:

Clásicamente el cerebelo ha sido dividido horizontalmente en dos grandes porciones laterales, los hemisferios, y una parte central media, el vermis. Esta zona media comprende la corteza del vermis y el núcleo fastigial. La zona intermedia comprende el paravermis y los núcleos globoso y emboliforme (o núcleo interpuesto o interpósito). La zona lateral comprende la mayor parte de los hemisferios laterales y el núcleo dentado. Una división transversa divide al cerebelo en tres áreas: el archicerebelo (vestibulocerebelo), el paleocerebelo (espinocerebelo) y el neocerebelo (cerebrocerebelo) áreas que no han sido muy bien definidas por los diferentes investigadores. El vestibulocerebelo (el mas antiguo filogenéticamente) consta del flóculo y del nódulo del vermis. El espinocerebelo abarca la mayor parte del vermis y de la cara superior de los hemisferios cerebelares. El cerebrocerebelo abarca la mayor parte de los hemisferios cerebelares y parte del vermis.

Anatomía interna:

El número de neuronas en la corteza cerebelar es mayor que las de la corteza cerebral. En el hombre se han estimado en 100 mil millones de células granulares, 200 millones de células en cesto y 30 millones de células de Purkinje.

La corteza cerebelosa es la parte mas externa del cerebelo compuesta por tres capas que desde afuera hacia adentro se denominan: capa externa, media e interna. Su peso es el 10 % pero su superficie es de aproximadamente el 75% de la corteza cerebral.

La capa externa o molecular está compuesta por las células estrelladas y las células en cesto. La *capa media* está constituida por las células de Purkinje y la *capa interna o granular* por las células en grano y por las glomérulos.

Al interior del cerebelo se pueden diferenciar los siguientes **núcleos centrales: el fastigial (mas interno), el globoso y emboliforme (intermedios), y el dentado** mas externo con respecto al eje medio del tallo cerebral (Figura 1)

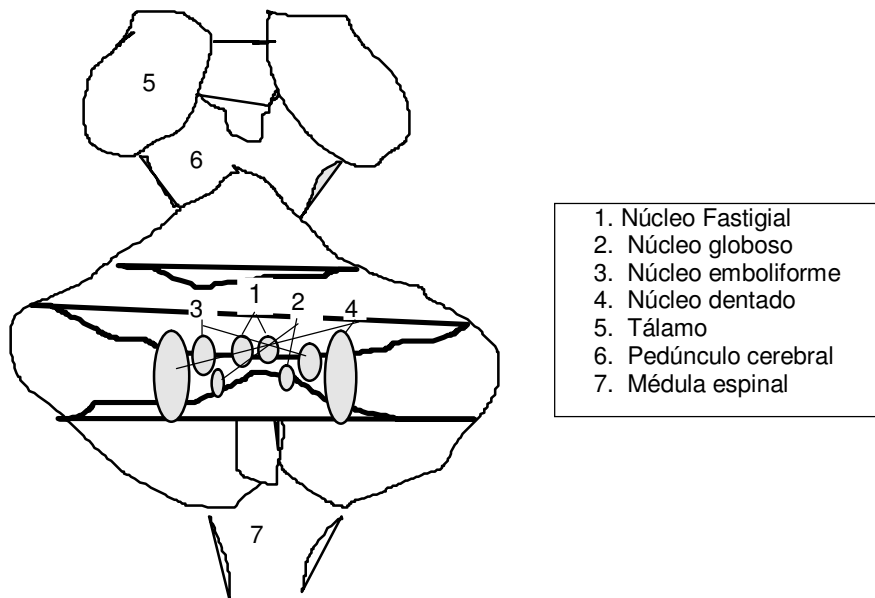


Figura 1. Núcleos centrales del cerebelo.

Las conexiones aferentes a la corteza del cerebelo (Figura 2) se originan en dos sitios: 1) células del núcleo olivar inferior del bulbo raquídeo (fibras olivocerebelosas) denominadas *fibras trepadoras* por cuanto semejan una fibra “trepando” por las células de Purkinje, aunque también hacen contacto con las demás células del cerebelo, y 2) células del tallo cerebral y de la médula espinal, fibras denominadas “*musgosas*” que llegan al cerebelo formando los tractos espinocerebelosos, cuneocerebeloso, vestibulocerebeloso y pontocerebeloso. Las fibras musgosas hacen sinapsis con los glomérulos cerebelosos compuestos por las células granulares, terminaciones de fibras musgosas y células de Golgi. Todas estas interconexiones terminan haciendo sinápsis con las células de Purkinje.

Las células en cesto, de Golgi y las de Purkinje son inhibitorias mientras que las células en grano son excitatorias.

La eferencias de la corteza del cerebelo sólo la constituyen los axones de las células de Purkinje. Estas células a su vez, hacen sinápsis con los núcleos centrales del cerebelo (fastigial, emboliforme, globoso y dentado). Las células de Purkinje inhiben a los núcleos centrales. Finalmente, los axones de estos núcleos centrales son las eferencias o salidas del cerebelo que pueden excitar a los núcleos centrales del cerebro.

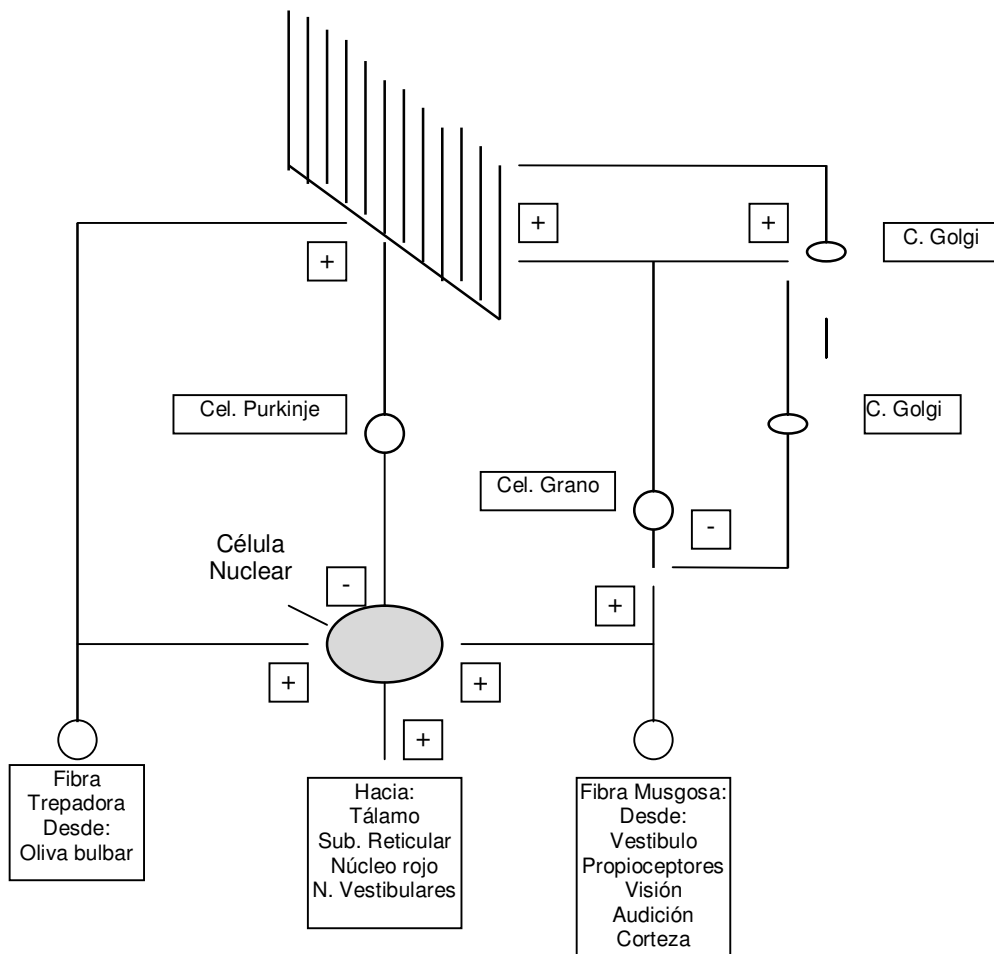


Figura 2. Vías aferentes y eferentes del cerebelo.

División funcional:

El cerebelo participa en el equilibrio, en el tono muscular y en el control postural, así como en la coordinación de los movimientos voluntarios; por lo tanto, sería razonable que recibiera aferencias vestibulares, espinales y de la corteza cerebral.

El vestibulo-cerebelo o Arquicerebelo (Figura 3): recibe conexiones desde el vestíbulo que llegan hasta el flóculo, nódulo y la úvula como fibras musgosas; por otra parte recibe aferencias del núcleo olivar las cuales constituyen fibras trepadoras. El núcleo olivar recibe información de la médula espinal, del núcleo rojo, de la corteza cerebral y del propio cerebelo desde los núcleos dentado, emboliforme y globoso. La destrucción de la oliva en animales de experimentación produce efectos equivalentes a la destrucción de la mitad del cerebelo contralateral. Este tipo de lesión es extremadamente rara en los humanos.

Las conexiones eferentes del vestibulocerebelo parten ya sea desde la corteza cerebelosa o del centro fastigial para conectarse con los núcleos vestibulares del bulbo raquídeo, en la mayoría de los casos del mismo lado. Este contingente de fibras constituye el pedúnculo cerebeloso inferior. Este tracto influye sobre las motoneuronas de la médula espinal. Dado que esta parte del cerebelo no influye sobre los niveles superiores del sistema nervioso, parece lógico que se ocupe más de la regulación de la postura y de los movimientos estereotipados programados en el tronco del encéfalo y de la médula espinal. Se ha demostrado que la vía cerebelo-vestíbulo espinal es parcialmente responsable de la modulación rítmica del patrón básico de los movimientos de la marcha generados en la médula espinal.

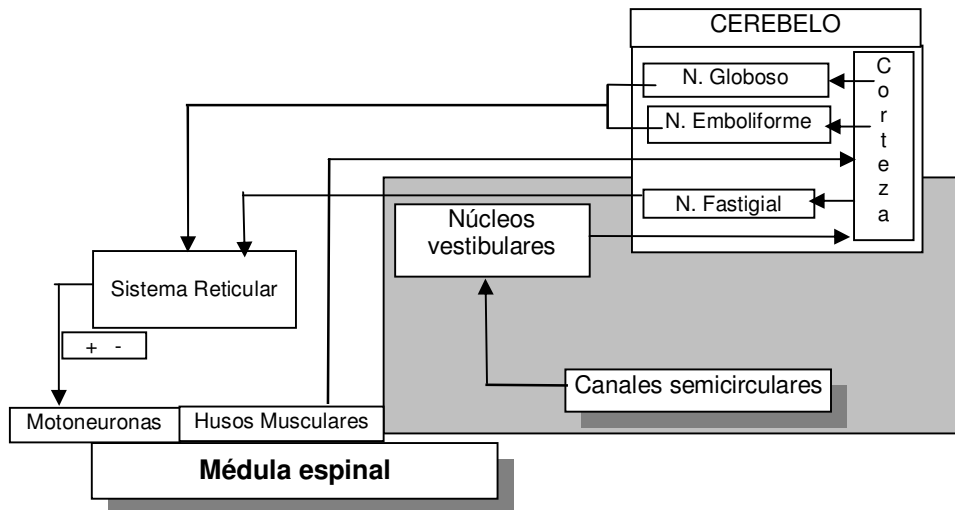


Figura 3. Conexiones del vestíbulo-cerebelo o arquicerebelo.

El espino-cerebelo o Paleocerebelo (Figura 4): las conexiones aferentes provienen de la médula espinal (fascículos espinocerebeloso directo e indirecto) que conducen toda la propiocepción inconsciente tanto de las extremidades inferiores, y del núcleo de Burdach (Cuneatus) que conducen la propiocepción inconsciente de las extremidades superiores. De otros centros como del núcleo olivar, del núcleo del trigémino y del sistema reticular también llegan aferencias al paleocerebelo. Todas estas aferencias terminan en el cerebelo como fibras musgosas distribuyéndose ampliamente por el lóbulo anterior y en menor proporción por el área paramediana. Las conexiones eferentes mas centrales se proyectan sobre el núcleo fastigial mientras las mas laterales se proyectan sobre los núcleos globoso y emboliforme. Toda esta serie de conexiones salen del cerebelo por el pedúnculo cerebeloso superior haciendo conexiones con el sistema reticular del bulbo y la protuberancia y con el núcleo rojo del mesencéfalo.

Se ha demostrado por estudios electrofisiológicos que estas proyecciones hacen que en el cerebelo se formen tres imágenes del cuerpo en la corteza cerebelosa; una vez ipsilateralmente, formando un patrón contenido en el lóbulo anterior y de nuevo cierta representación bilateral en el lóbulo posterior. Por toda esta serie de conexiones se ha planteado la hipótesis de que esta parte del cerebelo compara las órdenes que nacen de la corteza motora (información que recibe a través de los núcleos pónicos) con la posición actual y la velocidad de la parte del movimiento (tracto espinocerebeloso y similares) y a continuación, mediante el núcleo interpuesto, produce señales correctoras. Este tipo de conexiones hace que el paleocerebelo sea la estructura que controla la propiocepción inconsciente del cuerpo.

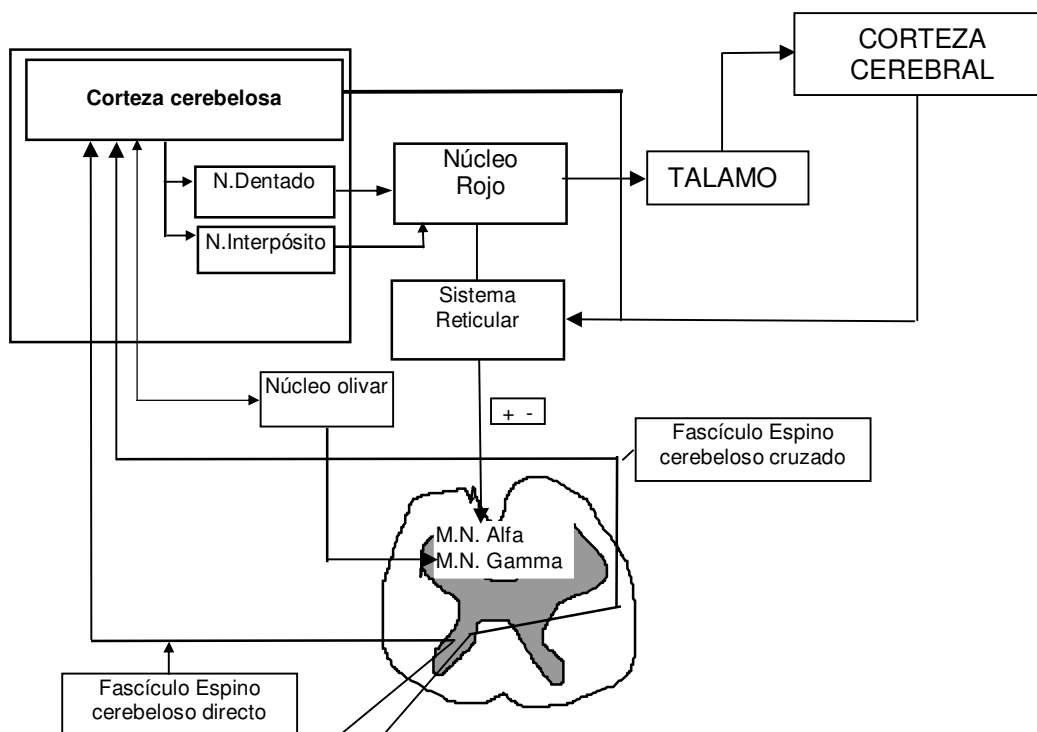


Figura 4. Conexiones del espinocerebelo o paleocerebelo

El cerebro-cerebelo o Neocerebelo: sus aferencias pueden ser de tres orígenes: de la protuberancia (fibras pontocerebelosas), del núcleo olivar (olivocerebelosas) y del sistema reticular (reticulocerebelosas). Las fibras de la protuberancia reciben conexiones de la corteza premotora y motora (fibras corticopónticas), del lóbulo temporal y del bulbo raquídeo. Desde la protuberancia se dirigen hacia el lado contralateral constituyendo el fascículo pontocerebeloso o pedúnculo cerebeloso medio terminando como fibras musgosas en la corteza cerebelosa. Todas las eferencias de este contingente de fibras se dirigen hacia el núcleo dentado y desde allí por medio del pedúnculo cerebeloso superior hacia el núcleo rojo del mesencéfalo. Desde este núcleo parten nuevas neuronas hacia el tálamo (núcleo ventral lateral) y de allí a la corteza parietal.

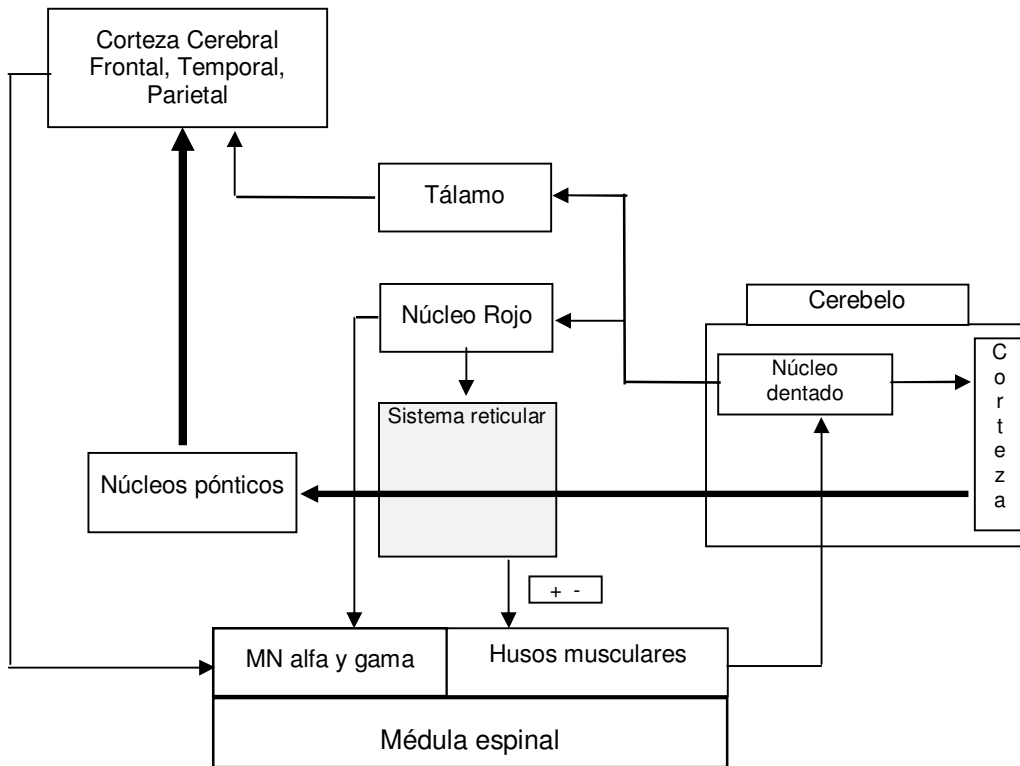
Hay que recordar que los pedúnculos cerebrales son considerablemente mayores que las pirámides bulbares. Cada pie del pedúnculo posee alrededor de 21 millones de fibras, de los cuales solo 1 millón continúa hasta la pirámides. Las restantes 20 millones de fibras en su mayoría se dirigen hacia los núcleos pontinos del mismo lado. Los núcleos pontinos contienen alrededor de 12 millones de células que se proyectan a través del pedúnculo cerebeloso medio sobre prácticamente toda la corteza cerebelosa. La vía corticopontocerebelosa es gigantesca, y en comparación con el tracto corticoespinal, este parece sumamente pequeño.

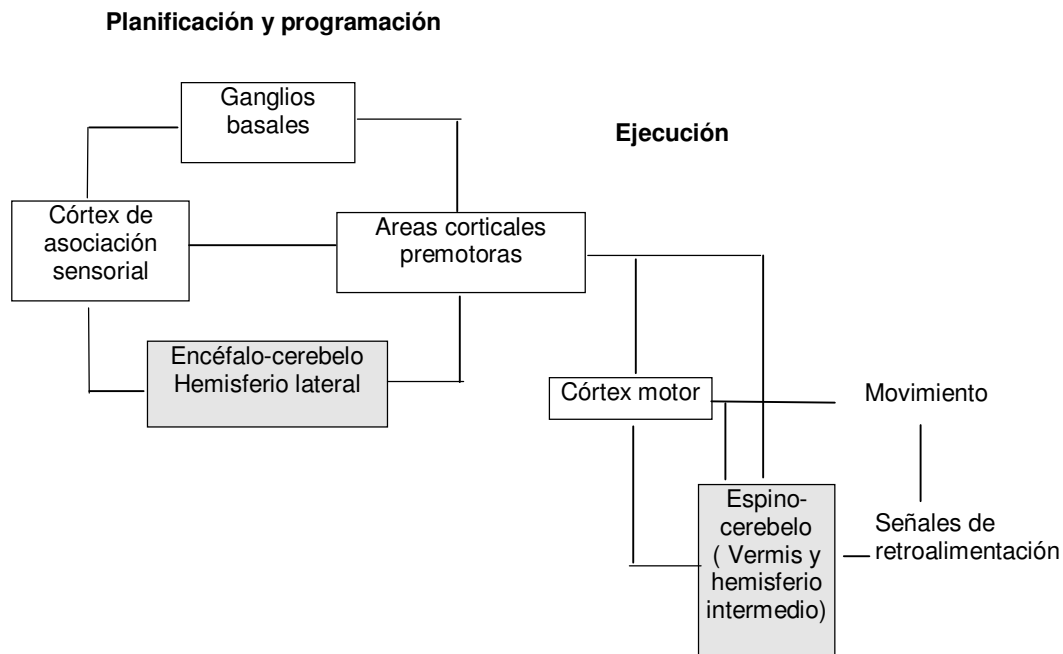
El vermis y la zona intermedia reciben preferentemente aferencias corticales de la corteza motora de la circunvolución precentral, vía que está organizada somatotópicamente de forma que las fibras pontocerebelosas terminan siguiendo el mismo patrón que las que aportan información de la médula espinal. Las partes laterales de los hemisferios, por el contrario, reciben la mayor parte de sus aferencias corticales de las áreas premotora, somatosensoriales y de asociación de la corteza cerebral.

Se ha observado que la mayoría de las neuronas del núcleo dentado modifican su frecuencia de descarga antes de que se produzcan movimientos voluntarios y, en realidad, muchas de ellas modifican la frecuencia de descarga incluso antes de producirse actividad en la corteza motora. Debido a esto, las teorías actuales aceptan que la conexión corteza cerebral-núcleo dentado está encargada de la planeación y

programación de los movimientos voluntarios, sobre todo de los movimientos complejos aprendidos que se hacen mas rápidos, precisos y automáticos con la práctica.

Este paquete de fibras interconectas son las que capacitan al sujeto para pensar en los movimientos y poder corregirlos, aprenderlos o crear nuevos movimientos. Esta parte del cerebelo es la gran diferencia entre la motricidad del hombre y las especies inferiores.





Aprendizaje motriz y Cerebelo:

Cada vez hay mas datos que indican que el cerebelo desempeña un papel especial en el aprendizaje motriz. A continuación se exponen dos ejemplos bien estudiados.

El reflejo vestibulo-ocular se produce durante los movimientos de la cabeza pero conservando la mirada en la misma posición, es decir, fija en un punto del campos visual. Es decir, el objetivo del reflejo es que cada grado de movimiento cefálico produzca un movimiento contralateral compensador. El resultado es que la mirada permanece constante y el mundo visual estable. El circuito del reflejo está constituido por aferencias vestibulares primarias que hacen sinápsis con núcleos vestibulares los cuales controlan los músculos extrínsecos del ojo. Cuando se modifica la óptica del ojo, como por ejemplo cuando se usan gafas, una ganancia del reflejo ya no sería adecuada, pero se ha observado que el arco reflejo vestibulo-ocular es muy adaptable a los cambios en la aferencia visual. Se ha probado con lentes inversores, de modo que el movimiento de la cabeza o del ojo en una dirección produce un movimiento en la dirección opuesta y así, el reflejo inalterado sería contraproducente. Sin embargo si se usan los prismas permanentemente, la ganancia del reflejo se invierte lentamente. Al eliminar los prismas, el reflejo vuelve a invertirse. En animales de experimentación, al eliminar el núcleo olivar o del flóculo impide que se produzcan estos cambios adaptativos.

Al soplar la córnea de un conejo se produce un parpadeo reflejo. Si el soplo es precedido regularmente por un sonido, después de un tiempo el sonido produce el parpadeo reflejo. La eliminación de una pequeña parte del núcleo interpuesto (globoso y emboliforme en el hombre) anula la respuesta condicionada del ojo del mismo lado, aunque no afecta la respuesta del aire ni la respuesta del otro ojo. Las lesiones del núcleo olivar inferior impiden que un animal no condicionado adquiriera la respuesta condicionada del ojo contralateral o si la respuesta ya había sido condicionada, esta va desapareciendo lentamente, indicando que el núcleo olivar inferior puede ser necesario para establecer y mantener la respuesta condicionada.

El papel de las fibras musgosas y trepadoras se examinó en monos entrenados para mover una mano utilizando los músculos flexores o extensores. Los resultados mostraron que la actividad de las fibras trepadoras se modifica durante el aprendizaje motor, y sugiere que esta modificación podría a su vez, mediante inhibición heterosináptica, reducir la fuerza de los inputs de las fibras musgosas sobre las neuronas de Purkinje. Esta reducción de la entrada, provocaría a su vez una disminución de las descargas de las células de Purkinje y un aumento (debido a la desinhibición) de los outputs de las neuronas de los núcleos profundos.

La inactivación de la corteza cerebelosa mediante fármacos impide la adaptación conductual. Los resultados de los estudios celulares sobre el papel del cerebelo en las tareas motoras apoyan la teoría de James Albus de que el cerebelo corrige las diferencias entre los movimientos proyectados y los movimientos en curso, mediante la inhibición heterosináptica de las fibras musgosas por las fibras trepadoras.

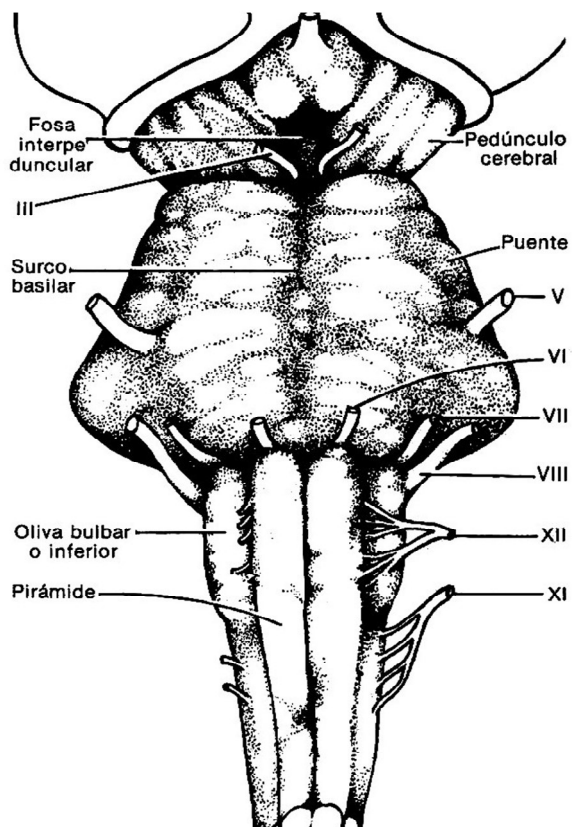
REFERENCIAS

Nolte, J. (1994). El Cerebro Humano : introducción a la anatomía funcional. 3 ed. Mosby, Doyma Libros.

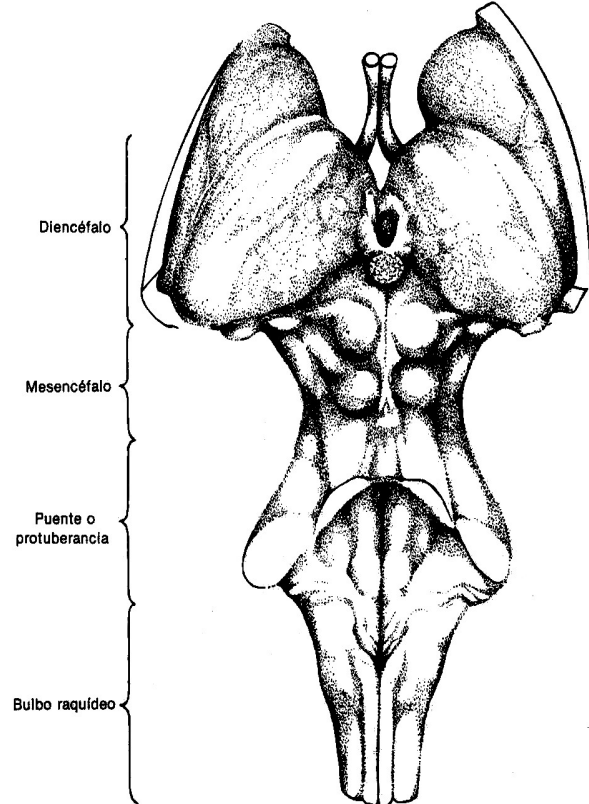
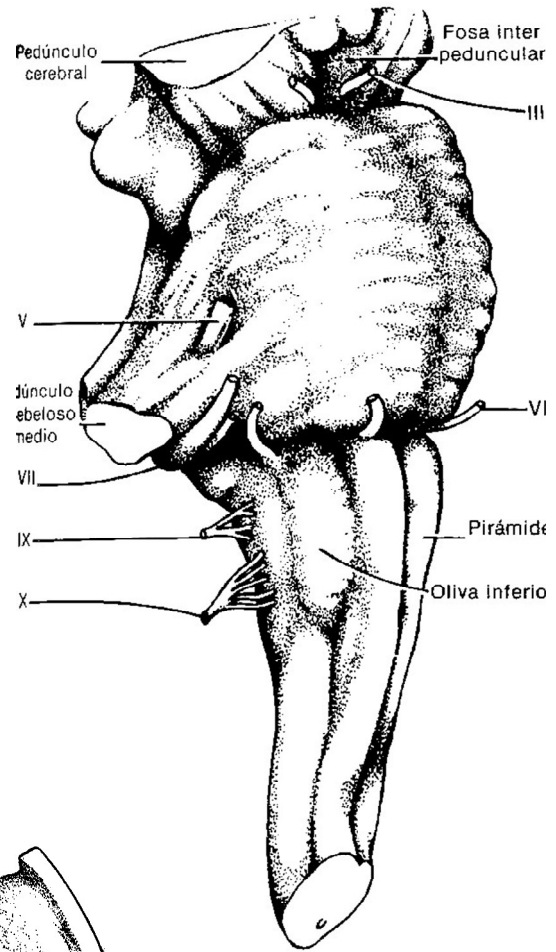
Jessel, T. M., Kandel, E.R., y Schwartz, J.H. (1996). Neurociencia y Conducta. Prentice Hall, Madrid.

Bustamante, J. (2003). Neuroanatomía Funcional y Clínica. 3 ed. Bogotá: Celsus.

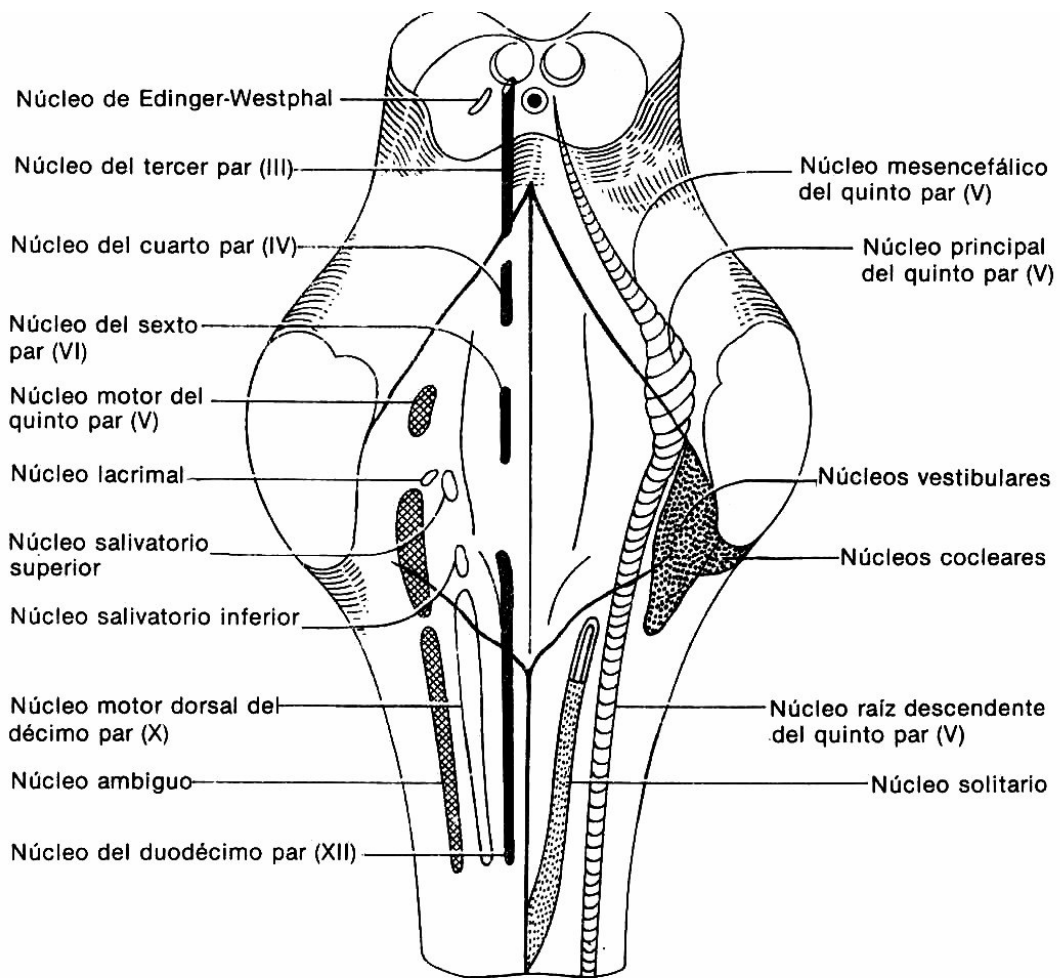
Vista anterior



Vista lateral



Vista posterior



Núcleo de Edinger-Westphal

Núcleo del tercer par (III)

Núcleo del cuarto par (IV)

Núcleo del sexto par (VI)

Núcleo motor del quinto par (V)

Núcleo lacrimonasal

Núcleo salivatorio superior

Núcleo salivatorio inferior

Núcleo motor dorsal del décimo par (X)

Núcleo ambiguo

Núcleo del duodécimo par (XII)

Núcleo mesencefálico del quinto par (V)

Núcleo principal del quinto par (V)

Núcleos vestibulares

Núcleos cocleares

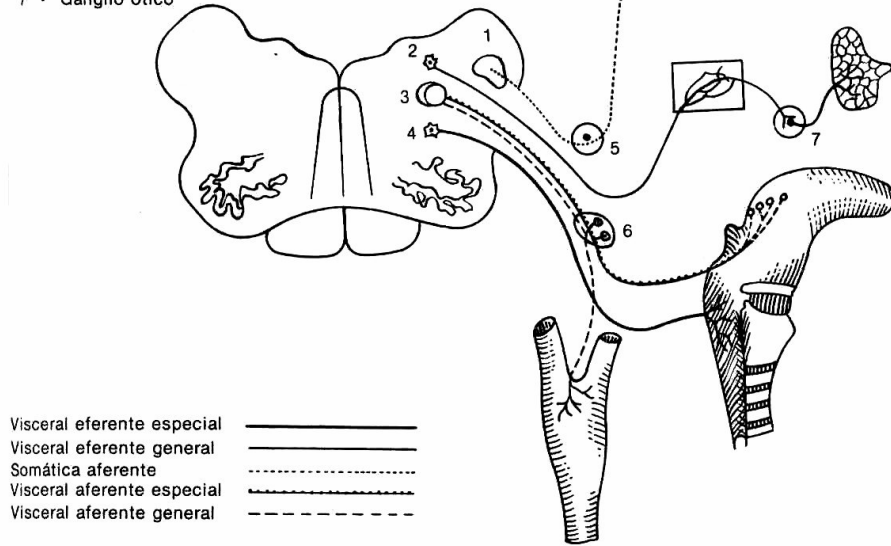
Núcleo raíz descendente del quinto par (V)

Núcleo solitario

- | | | | |
|--|----------------------------|--|----------------------------|
| | Somática eferente | | Visceral aferente especial |
| | Visceral eferente | | Visceral aferente general |
| | Visceral eferente especial | | Somática aferente especial |
| | Somática aferente | | |

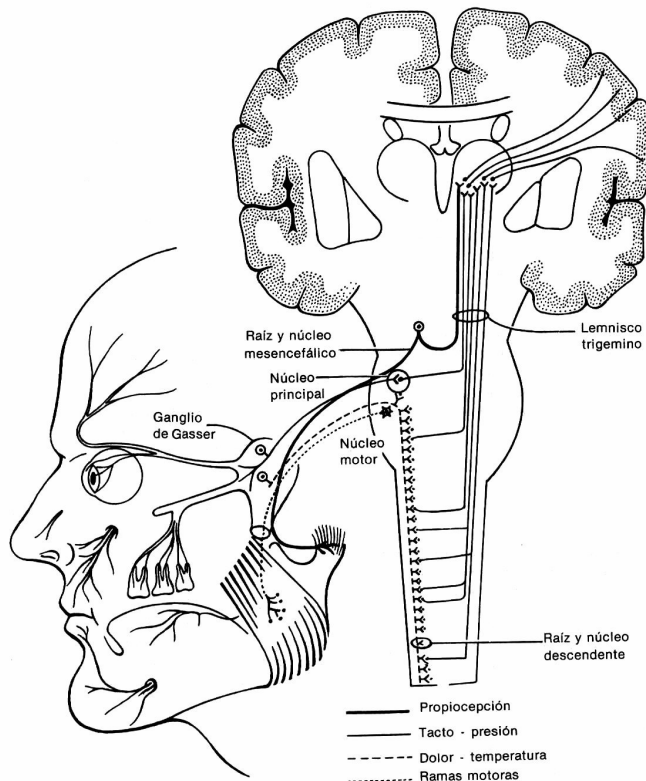
Organización topográfica y funcional de los núcleos del tallo cerebral.

- 1 - Raíz descendente del quinto par (V)
- 2 - Núcleo salivatorio inferior
- 3 - Fascículo solitario
- 4 - Núcleo ambiguo
- 5 - Ganglio superior
- 6 - Ganglio inferior
- 7 - Ganglio ótico

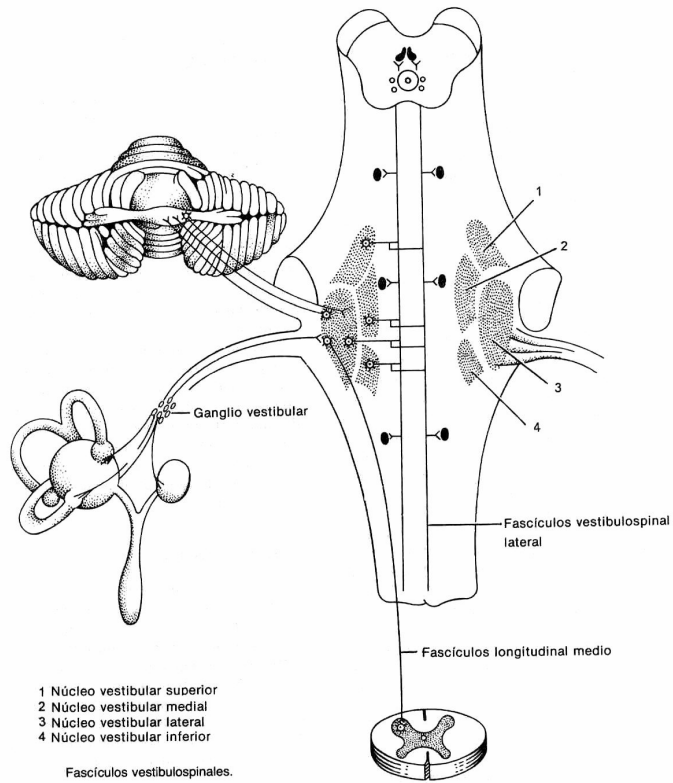


Visceral eferente especial —————
 Visceral eferente general = = = = =
 Somática aferente - - - - -
 Visceral aferente especial ~ ~ ~ ~ ~
 Visceral aferente general - · - · -

Composición funcional del nervio glossofaríngeo.

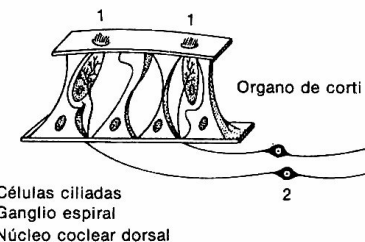
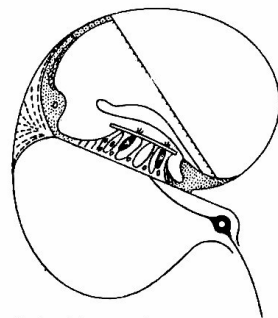


Distribución periférica y conexiones centrales del trigémino.

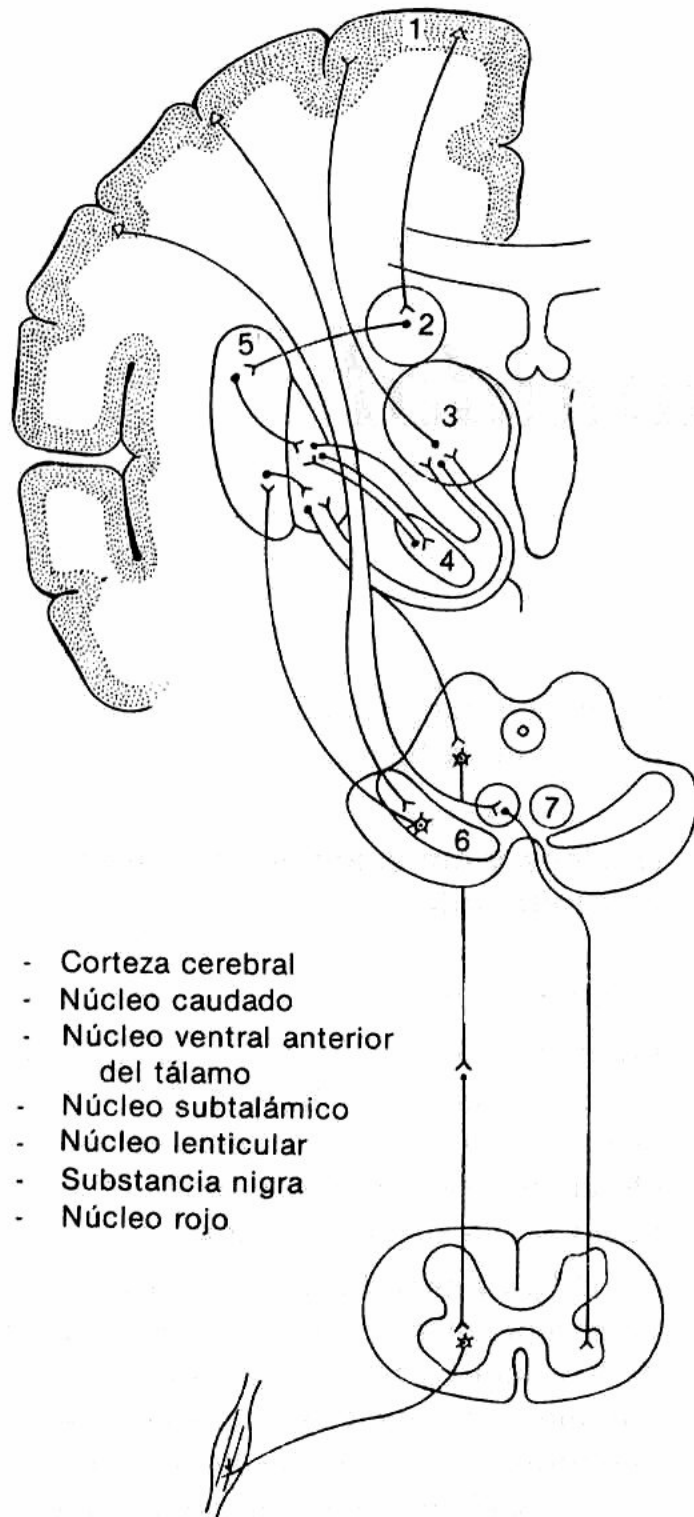


- 1 Núcleo vestibular superior
- 2 Núcleo vestibular medial
- 3 Núcleo vestibular lateral
- 4 Núcleo vestibular inferior

Fascículos vestibulospinales.



- 1 - Células ciliadas
- 2 - Ganglio espiral
- 3 - Núcleo coclear dorsal
- 3₁ - Núcleo coclear ventral
- 4 - Núcleo olivar superior
- 5 - Cuerpo trapezoidal
- 6 - Lemnisco lateral
- 7 - Colículo inferior
- 8 - Cuerpo geniculado medio
- 9 - Corteza auditiva



- 1 - Corteza cerebral
- 2 - Núcleo caudado
- 3 - Núcleo ventral anterior del tálamo
- 4 - Núcleo subtalámico
- 5 - Núcleo lenticular
- 6 - Substancia nigra
- 7 - Núcleo rojo