

Tronco encefálico y cerebelo

El tronco encefálico incluye el bulbo raquídeo y la protuberancia anular, que se ubican en sentido ventral con respecto al cerebelo. Además de albergar los tractos ascendentes y descendentes esenciales, el tronco encefálico contiene núcleos que son cruciales para conservar la vida. Como resultado de la aglomeración relativamente estrecha de los numerosos tractos ascendentes y descendentes, al igual que de los núcleos, dentro del tronco encefálico, incluso las lesiones pequeñas en este sitio pueden causar deficiencias neurológicas muy importantes. El cerebelo, que se localiza justo dorsal con respecto al tronco encefálico, representa un papel relevante en la coordinación motora. Debido a su proximidad con el tronco encefálico, las lesiones que causan inflamación del cerebelo pueden comprimir dicho tallo y, en consecuencia, convertirse en una rápida amenaza contra la vida.

DESARROLLO DEL TRONCO ENCEFÁLICO Y NERVIOS CRANEALES

La parte inferior de la porción craneal del **tubo neural** (neuraxis) da origen al tronco encefálico, el cual se divide en **mesencéfalo** y **rombencéfalo** (figura 7-1). El canal central primitivo se amplía en una forma de pirámide con cuatro lados que tiene un piso romboide (figura 7-2). Esto se convierte en el **cuarto ventrículo**, que se extiende por encima de lo que en el futuro llegará a ser el bulbo raquídeo y la protuberancia anular.

El tubo neural atraviesa por un ensanchamiento y muestra dos curvaturas permanentes: la **flexura cefálica** en el extremo superior y la **flexura cervical** en el inferior. La flexura cefálica en el cerebro adulto es el ángulo entre el tronco encefálico y el plano horizontal del cerebro (figura 1-6).

El canal central en el tronco encefálico rostral se convierte en el **acuoducto de Silvio**. El techo del cuarto ventrículo rostral atraviesa una intensa proliferación celular, y este reborde produce las neuronas y glia que poblarán tanto el cerebelo como el **núcleo olivar inferior**.

La placa cuadrigémina, el tegmento mesencefálico y los pedúnculos cerebrales se desarrollan a partir del **mesencéfalo** (cerebro medio; figura 7-1) y el acueducto de Silvio cursa a través de éste. El rombencéfalo (figura 7-1A) da origen al metencéfalo y al mielencéfalo. El **metencéfalo** forma el cerebelo y la protuberancia anular; también contiene parte del cuarto ventrículo. El **mielencéfalo** forma el bulbo raquídeo; la parte inferior del cuarto ventrículo se encuentra dentro de esta porción del tronco encefálico.

Como ocurre en la médula espinal, el tronco encefálico embrionario tiene un núcleo gris central con una **placa alar** (que consiste principalmente en componentes sensoriales) y una **placa basal** (formada en su mayoría por componentes motores). Sin embargo, los cordones grises no son continuos en el tronco encefálico y el desarrollo del cuarto ventrículo causa amplio desplazamiento lateral de la placa alar en el tronco encefálico inferior. La placa basal asume la forma de una bisagra (figura 7-2). El proceso se invierte en el otro extremo, produciendo la forma romboide del piso del cuarto ventrículo. Además, tractos largos, conexiones neuronales cortas y núcleos se yuxtaponen al tronco encefálico. Los nervios craneales, al igual que los nervios espinales, se originan a partir de las células de la placa basal (nervios motores) o de sinapsis en los grupos celulares de la placa alar (nervios sensoriales). A diferencia de los nervios espinales, la mayoría de los nervios craneales surgen de uno o más haces de fibras desde el aspecto basal o basilar del tronco encefálico (figuras 7-1 y 7-3). Además, no todos los nervios craneales son mixtos; algunos sólo tienen componentes sensoriales y otros sólo tienen componentes motores (véase capítulo 8).

ORGANIZACIÓN DEL TRONCO ENCEFÁLICO

Principales divisiones e hitos externos

Se reconocen tres divisiones externas principales del tronco encefálico: el bulbo raquídeo, la protuberancia anular junto con el

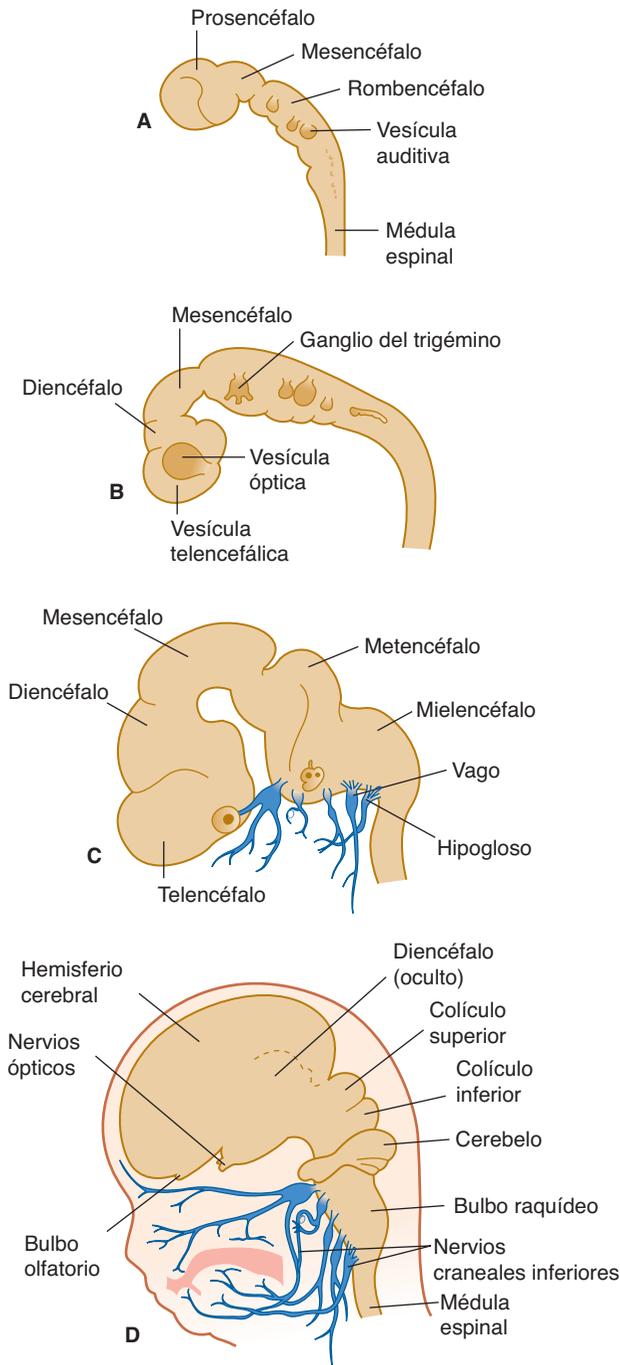


FIGURA 7-1 Cuatro etapas en el desarrollo temprano del cerebro y nervios craneales (los tiempos son aproximados). **A:** 3½ semanas. **B:** 4½ semanas. **C:** 7 semanas. **D:** 11 semanas.

cerebelo, y el mes encéfalo (cerebro medio) (figuras 7-3 y 7-4). Las tres divisiones longitudinales internas del tronco encefálico son el **techo** (principalmente en el mes encéfalo), **tegmento** y **base** (figura 7-4). Las principales estructuras externas observadas desde el aspecto dorsal se muestran en la figura 7-5. La porción superior de la fosa romboidal (que forma el piso del cuarto ventrículo) se extiende más allá de la protuberancia anular, mientras que la porción inferior cubre la parte abierta del bulbo raquídeo. El bulbo raquídeo cerrado forma la transición a la médula espinal.

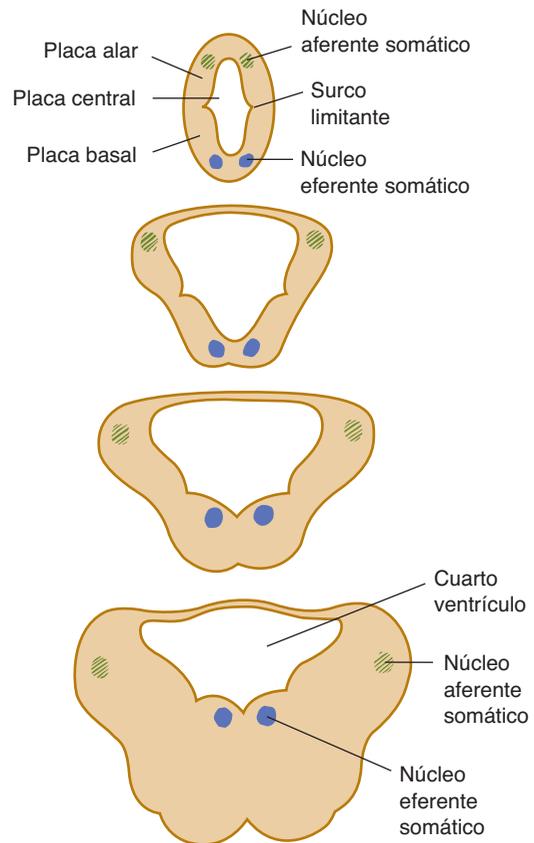


FIGURA 7-2 Esquema que ilustra la ampliación de la cavidad central en el tronco encefálico inferior durante el desarrollo.

Tres pares de **pedúnculos cerebelosos** (inferior, medio y superior) forman conexiones con el cerebelo. El aspecto dorsal del mesencéfalo muestra cuatro montículos: dos **colículos superiores** y dos **colículos inferiores**, denominados en forma colectiva **cuernos cuadrigéminos** o **placa cuadrigémina**.

Componentes estructurales internos

A. Tractos descendentes y ascendentes

Todos los tractos descendentes que concluyen en la médula espinal (p. ej., el tracto corticoespinal; véase el capítulo 5) atraviesan por el tronco encefálico. Además, varios sistemas de fibras descendentes terminan o se originan en el tronco encefálico. De manera similar, todos los tractos ascendentes (p. ej., los tractos espinotalámicos) que llegan al tronco encefálico o a la corteza cerebral atraviesan parte o la totalidad de esta región; otros tractos ascendentes se originan en el tronco encefálico. En consecuencia, éste es un importante conducto o estación de retransmisión para muchas vías longitudinales, tanto descendentes como ascendentes (cuadro 7-1).

B. Núcleos de los nervios craneales

Casi todos los núcleos de los nervios craneales se localizan en el tronco encefálico. (Las excepciones son los núcleos de los primeros dos nervios craneales, que son evaginaciones del cerebro mismo.) Partes de los nervios craneales también cruzan por el tronco encefálico.

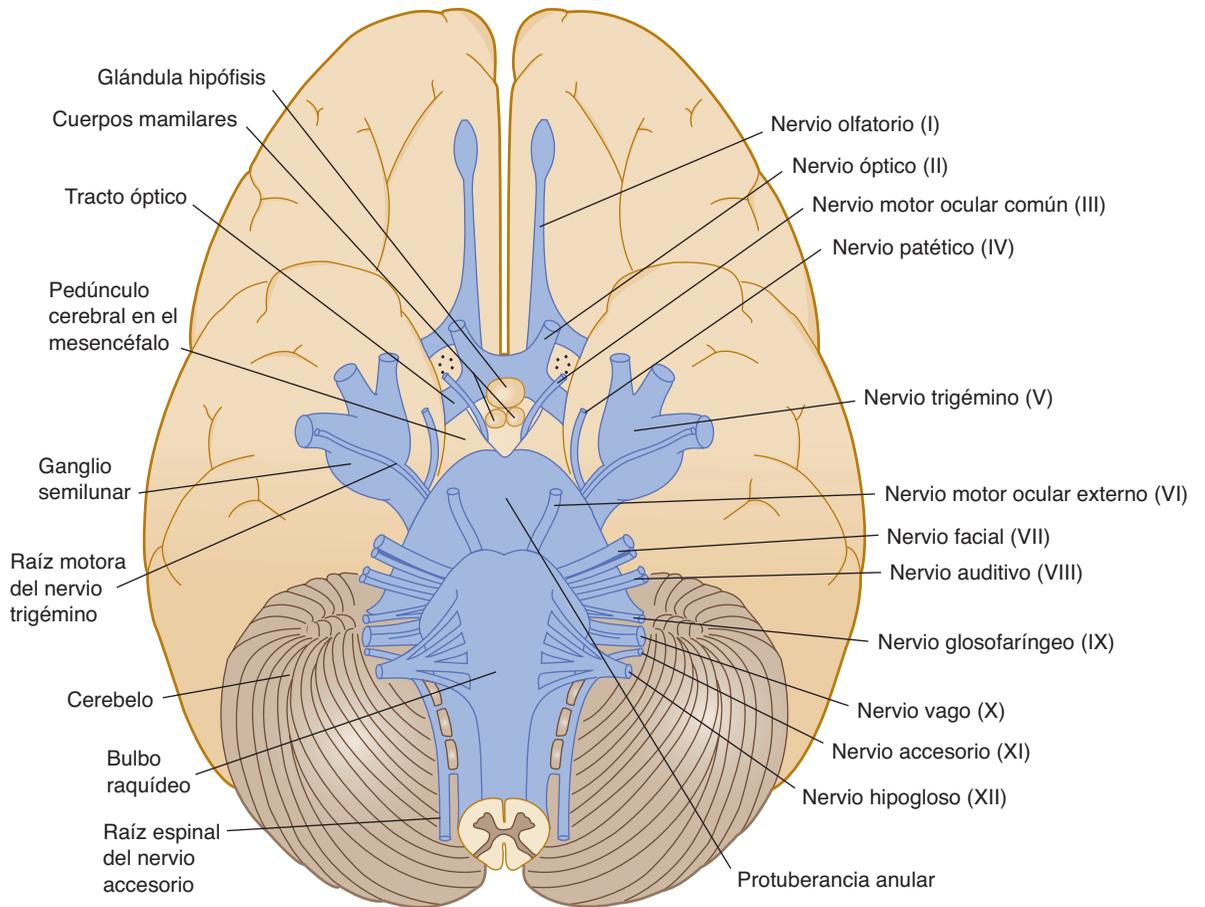


FIGURA 7-3 Vista ventral del tronco encefálico, en relación con los hemisferios cerebrales y el cerebelo, donde se muestran los nervios craneales.

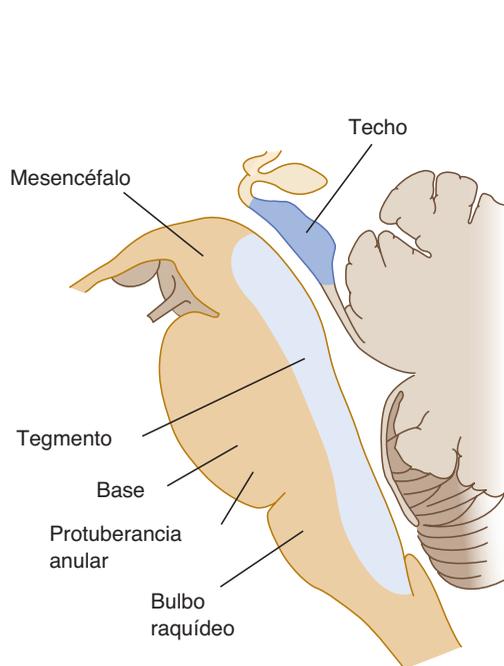


FIGURA 7-4 Dibujo de las divisiones del tronco encefálico en el plano sagital medio. Las principales divisiones longitudinales internas son techo, tegmento y base. Las principales divisiones externas son mesencéfalo, protuberancia anular y bulbo raquídeo.

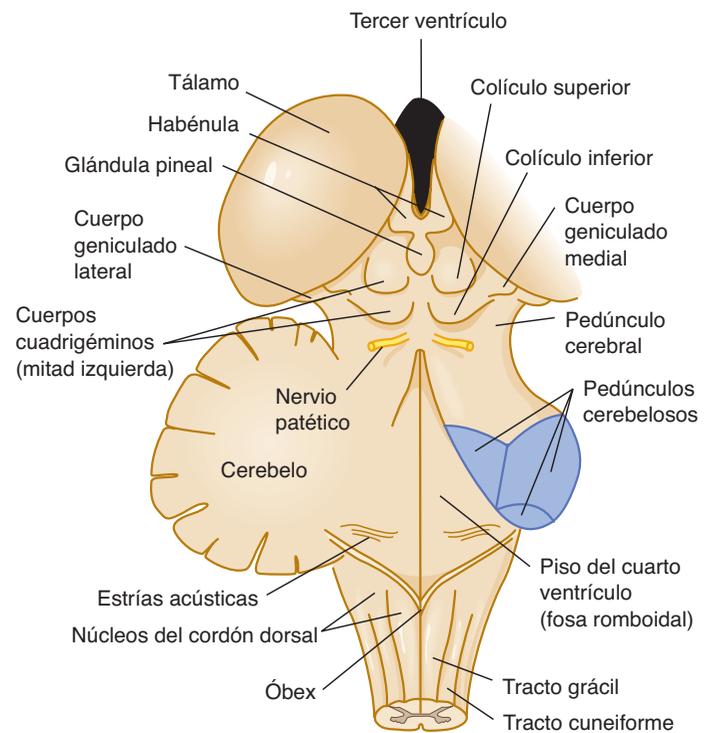


FIGURA 7-5 Aspecto dorsolateral del tronco encefálico (se eliminó la mayor parte del cerebelo).

CUADRO 7-1 Principales vías ascendentes y descendentes en el tronco encefálico.

Ascendentes	Descendentes
Lemnisco medial	Tracto corticoespinal
Tracto espinotalámico	Tracto corticonuclear
Lemnisco del trigémino	Fibras corticopontinas
Lemnisco lateral	Tracto rubroespinal
Fibras del sistema reticular	Tracto tectoespinal
Fascículo longitudinal medial	Fascículo longitudinal medial
Pedúnculo cerebeloso inferior	Tracto vestibuloespinal
Pedúnculo cerebeloso superior	Tracto reticuloespinal
Fibras vestibulares secundarias	Tracto tegmental central
Fibras gustativas secundarias	Tracto descendente del V nervio

C. Pedúnculos cerebelosos

Las vías hacia y desde el cerebelo atraviesan tres pares de pedúnculos cerebelosos, como se describirá después en la sección sobre el cerebelo.

D. Vías descendentes del sistema autónomo

Estas vías hacia la médula espinal cruzan por el tronco encefálico (véase capítulo 20).

E. Formación reticular

Varias de estas áreas en el tectum del tronco encefálico están involucradas de manera vital en el control de la respiración; en el funcionamiento del sistema cardiovascular, y en los estados de conciencia, sueño y alerta (véase capítulo 18).

F. Vías monoaminérgicas

Estas vías incluyen tres importantes sistemas: las **vías serotoninérgicas** provenientes de los núcleos del rafe (véase capítulo 3); las **vías noradrenérgicas** en la formación reticular lateral y las extensas fibras eferentes del locus ceruleus; y la **vía dopaminérgica** del mesencéfalo basal hasta los ganglios basales y otras estructuras.

NÚCLEOS DE LOS NERVIOS CRANEALES EN EL TRONCO ENCEFÁLICO

La composición funcional de los 10 pares de nervios craneales inferiores puede analizarse en referencia al desarrollo de sus núcleos (figura 7-6). En general, los nervios se conocen por su nombre o por un numeral romano (cuadro 7-2).

Componentes motores

Tres tipos de derivados de la placa basal (núcleos motores) se localizan dentro del tronco encefálico (cuadro 7-2).

Los **componentes eferentes somáticos generales (EF o ESG)** inervan los músculos estriados que se derivan de somitas

y que participan en los movimientos de la lengua y ojos, como en núcleo del hipogloso del XII par, núcleo motor ocular común del III par, núcleo patético del IV par y núcleo motor ocular externo del VI par.

Los **componentes eferentes branquiales (EB)**, conocidos a veces como **eferentes viscerales especiales (EVE)**, inervan los músculos que se derivan de los arcos branquiales y que están implicados en la masticación, expresiones faciales, deglución, producción de sonidos vocales y movimientos de giro de la cabeza. Ejemplos incluyen el núcleo masticatorio del V par; núcleo facial del VII par; núcleo ambiguo del IX, X y XI pares, y núcleo accesorio del XI par localizado en la médula espinal.

Los **componentes eferentes viscerales generales (EV o EVG)** son componentes parasimpáticos preganglionares que proporcionan la inervación autónoma para los músculos lisos y las glándulas en cabeza, cuello y tórax. Los ejemplos incluyen el núcleo de Edinger-Westphal del III par, núcleo salivatorio superior del VII par, núcleo salivatorio inferior del IX par y núcleo motor dorsal del X par.

Componentes sensoriales

En el tronco encefálico se pueden distinguir dos tipos de derivados de la placa alar que son comparables a grupos celulares similares en la médula espinal (cuadro 7-2).

Los **componentes aferentes somáticos generales (AS o ASG)** reciben y retransmiten estímulos sensoriales de la piel y mucosas de la mayor parte de la cabeza: núcleos sensorial, descendente y mesencefálico del V par.

Los **componentes aferentes viscerales generales (AV o AVG)** retransmiten estímulos sensoriales de las vísceras y estímulos más especializados del gusto provenientes de la lengua y epiglotis: núcleo solitario para la información visceral de los pares IX y X y núcleo gustativo para fibras viscerales de gusto de los pares VII, IX y X.

Es posible distinguir seis **núcleos sensoriales especiales (SE)**: los cuatro núcleos vestibulares y dos cocleares que reciben estímulos a través del nervio auditivo VIII. Estos núcleos se derivan de la placoda ótica primitiva en el rombencéfalo (figura 7-7A).

Diferencias entre nervios espinales y craneales típicos

El patrón simple y regular de componentes de fibras funcionales de los nervios espinales no se encuentra en los nervios craneales. Un solo nervio craneal puede contener uno o más componentes funcionales; por el contrario, un núcleo único puede contribuir a uno o más nervios craneales. Aunque algunos de ellos son solamente eferentes, la mayoría son mixtos y algunos contienen muchos componentes viscerales. Los nervios craneales se describen con detalle en el capítulo 8.

BULBO RAQUÍDEO

El bulbo raquídeo puede dividirse en porciones caudal (cerrada; figura 7-7B) y rostral (abierta; figura 7-7C). La división se basa en la ausencia o presencia del cuarto ventrículo inferior.

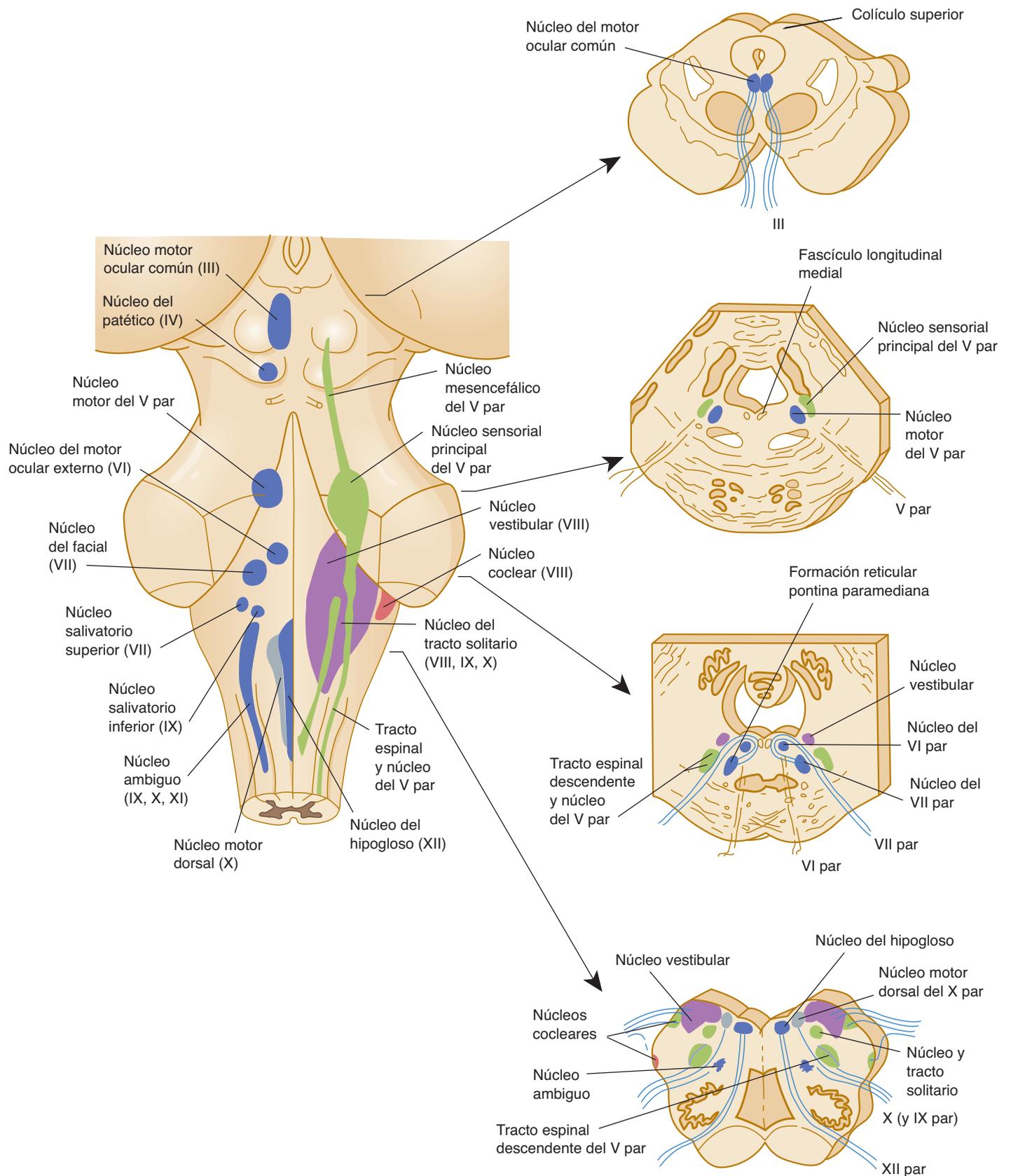


FIGURA 7-6 Núcleos de los nervios craneales. **Izquierda:** Vista dorsal del tronco encefálico humano con las posiciones de los nervios craneales proyectados sobre la superficie. Los núcleos motores están a la izquierda; los núcleos sensoriales están a la derecha. **Derecha:** Cortes transversales en los niveles indicados por las flechas.

CUADRO 7-2 Nervios craneales y núcleos en el tronco encefálico.

Nombre	Nervio	Núcleos
Motor ocular común	III	Motor ocular, Edinger-Westphal
Patético	IV	Patético
Trigémino	V	Sensorial principal, espinal (descendente), mesencefálico, motor (masticatorio)
Motor ocular externo	VI	Motor ocular externo
Facial	VII	Facial, salivatorio superior, gustativo (solitario)*
Auditivo	VIII	Coclear (dos núcleos), vestibular (cuatro núcleos)
Glosofaríngeo	IX	Ambiguo, [†] solitario*
Vago	X	Dorsal motor, ambiguo, [†] solitario*
Accesorio	XI	Accesorio (C1-5), ambiguo [†]
Hipogloso	XII	Hipogloso

* Los nervios VII, IX y X comparten el núcleo solitario.

† Los nervios IX, X y XI comparten el núcleo ambiguo.

Tractos ascendentes

En la parte caudal, cerrada, del bulbo raquídeo, los núcleos de relevo de la vía del cordón dorsal (núcleo grácil y núcleo cuneiforme) dan origen a un haz de fibras cruzadas, el **lemnisco medial**. La parte inferior del cuerpo está representada en la porción ventral del lemnisco, en tanto que la parte superior del cuerpo se encuentra en la porción dorsal. El **tracto espinotalámico** (que se cruza a niveles de la médula espinal) continúa hacia arriba a través del bulbo raquídeo, al igual que el **tracto espinoreticular** y el **tracto espinocerebeloso**. El **tracto espinocerebeloso dorsal** y el **tracto cuneocerebeloso** continúan hasta el pedúnculo cerebeloso inferior.

Tractos descendentes

El **tracto corticoespinal** en la pirámide empieza a cruzar en la transición entre el bulbo y la médula espinal; esta decusación ocurre a lo largo de varios milímetros. La mayoría de los axones en este tracto surgen en la corteza motora. Algunas fibras del tracto corticoespinal, que se originan en la corteza cerebral sensorial, terminan en los núcleos del cordón dorsal y pueden modificar su función, de modo que filtran los mensajes sensoriales entrantes.

El **tracto espinal descendente del V par** tiene sus cuerpos celulares, que representan las tres divisiones de este tracto, en el ganglio del trigémino. Las fibras del tracto transmiten sensaciones de dolor, temperatura y tacto grueso desde el rostro a la primera estación de retransmisión en el **núcleo espinal del V par**, o par caudal. La división mandibular se representa dorsalmente en el núcleo, y la división oftálmica se representa en la zona ventral. Una vía de segundo orden surge de las células en el núcleo espinal y después cruza y asciende hasta concluir en el tálamo.

El **fascículo longitudinal medial** es una importante vía implicada en el control de la mirada y de los movimientos de la cabeza. Desciende hasta la médula espinal. Este fascículo surge en los núcleos vestibulares y transmite las influencias vestibulares en sentido descendente (véase la figura 17-2). Al nivel más rostral en la protuberancia anular, el fascículo longitudinal medial envía rostralmente proyecciones de los núcleos vestibulares a los núcleos de los nervios motor ocular externo, patético y motor ocular común y del centro que se ocupa de la mirada lateral en la protuberancia anular a los núcleos del motor ocular común (figura 8-7).

El **tracto tectoespinal** lleva axones descendentes desde el colículo superior en el mesencéfalo a la médula espinal cervical. Retransmite los impulsos que controlan los movimientos de cuello y tórax en respuesta a estímulos visuales.

Núcleos de los nervios craneales

El núcleo del hipogloso, el núcleo motor dorsal del vago y el núcleo y el tracto solitario se encuentran en el bulbo raquídeo, agrupados alrededor del canal central; en el área abierta del bulbo raquídeo, estos núcleos descansan por debajo del cuarto ventrículo (figura 7-7C). El **núcleo del hipogloso**, que es homólogo del núcleo del asta anterior en la médula espinal, envía ventralmente sus fibras entre la pirámide y el núcleo olivar inferior para salir como el XII nervio. Este nervio inerva todos los músculos de la lengua.

El **núcleo motor dorsal del X par** es un núcleo parasimpático preganglionar que envía lateralmente sus fibras dentro de los nervios IX y X. Controla el tono parasimpático en el corazón, pulmones y vísceras abdominales. El **núcleo salivatorio superior**, localizado en posición casi rostral con respecto al núcleo motor dorsal, da origen a los axones parasimpáticos que envían proyecciones dentro del VII nervio, a través de los ganglios submandibulares y pterigopalatinos, hasta las glándulas submandibulares y sublinguales y el aparato lagrimal. Este núcleo controla la secreción salival y la producción de lágrimas.

El poco definido **núcleo ambiguo** da lugar a los axones branquiales eferentes en los nervios IX y X. Controla la deglución y la vocalización.

El **núcleo solitario** (llamado todavía *nucleus solitarius* en algunos libros) es un núcleo sensorial alargado en el bulbo raquídeo que recibe axones de los nervios VII, IX y X. Se localiza adyacente al **tracto solitario**, que contiene los axones terminales de los nervios. La parte rostral del núcleo solitario se denomina en ocasiones **núcleo gustativo**. El núcleo solitario transmite información sobre el gusto y las sensaciones viscerales. Fibras secundarias ascienden del núcleo solitario al núcleo ventroposteromedial (VPM) en el tálamo que, a su vez, envía proyecciones al área cortical del gusto (área 43, localizada cerca del opérculo).

Los cuatro **núcleos vestibulares** —superior, inferior (o espinal), medio y lateral— se encuentran debajo del piso del cuarto ventrículo, en parte dentro del área abierta del bulbo raquídeo y en parte en la protuberancia anular. Los **núcleos cocleares** ventral y dorsal son núcleos de retransmisión para las fibras que provienen del ganglio espiral de Corti. Las vías de los núcleos vestibular y coclear se analizan en los capítulos 16 y 17.

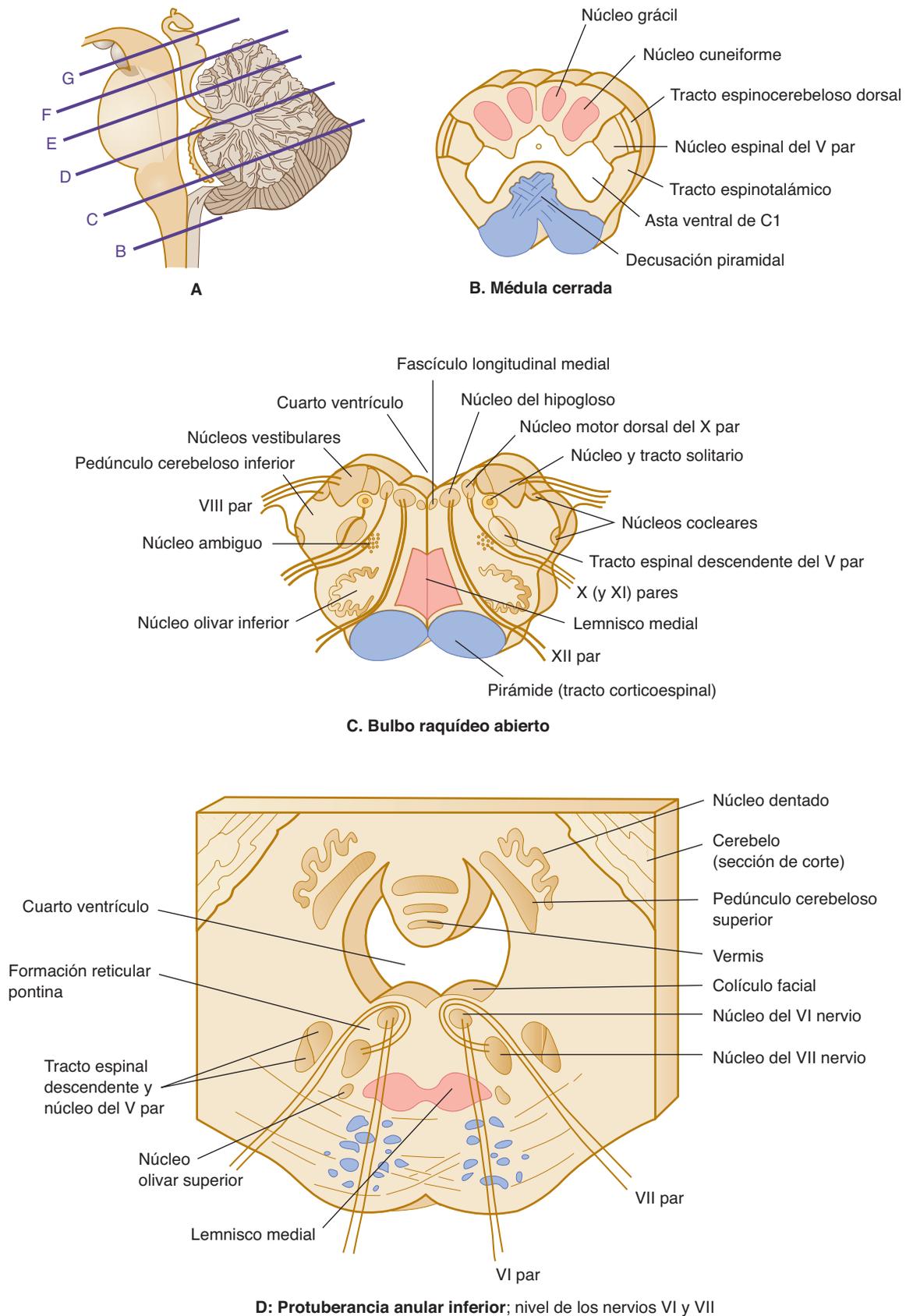
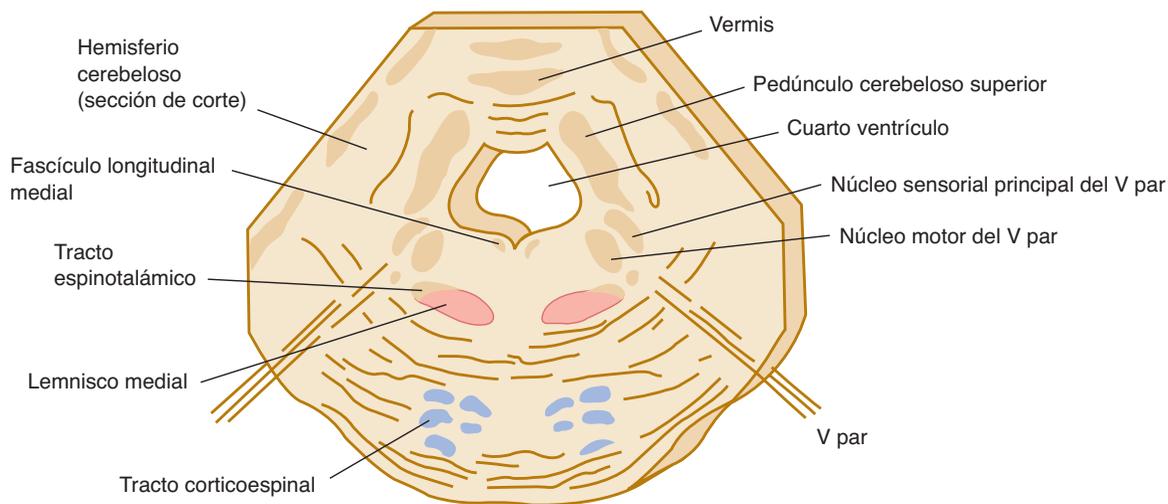
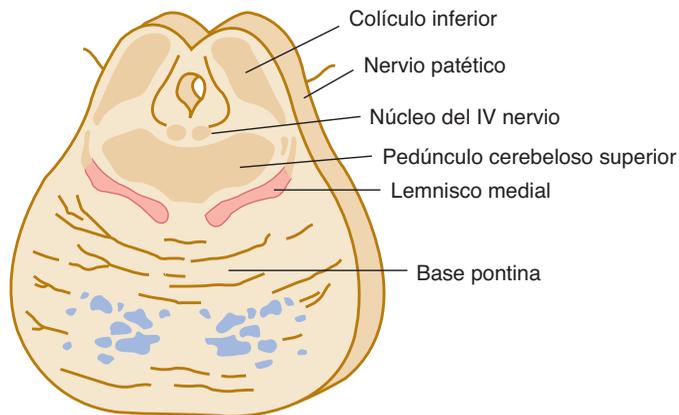


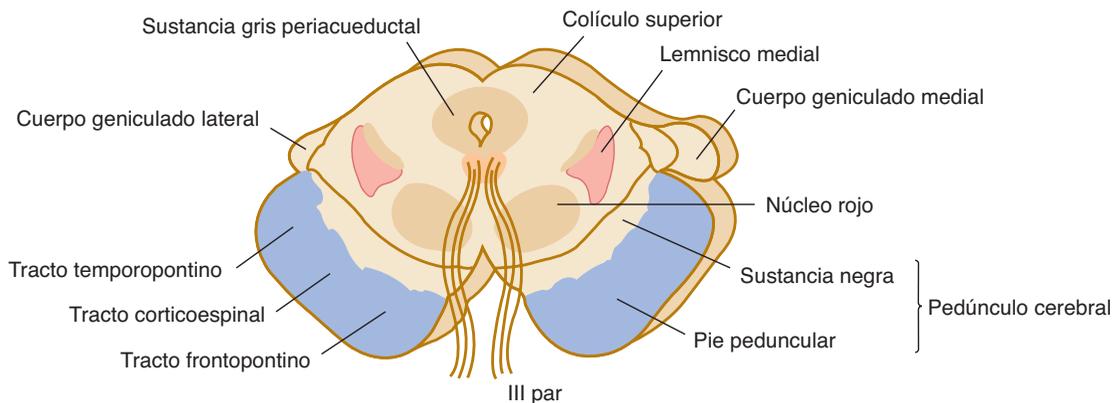
FIGURA 7-7 A: Clave de los niveles de cortes. B-G: Esquemas de cortes transversales a través del tronco encefálico. Los tractos corticoespinales y los núcleos del cordón dorsal/lemniscos mediales se muestran a color para que pueda seguirse su curso a través del tronco encefálico. (Continúa.)



E. Protuberancia anular media; nivel del V nervio



F. Protuberancia anular/mesencéfalo; nivel del núcleo del VI par



G. Mesencéfalo superior; nivel del III nervio

Pedúnculo cerebeloso inferior

Un **pedúnculo** es un haz de fibras nerviosas parecido a un tallo que contiene uno o más tractos axonales. El pedúnculo cerebeloso inferior se forma en el bulbo raquídeo abierto a partir de varios componentes: los tractos cuneocerebeloso y espino-cerebeloso dorsal, fibras del núcleo reticular lateral, fibras olivocerebelosas del núcleo olivar inferior contralateral, fibras de la división vestibular del VIII nervio y fibras que nacen en los núcleos vestibulares. Todas las fibras son aferentes al cerebelo.

PROTUBERANCIA ANULAR

Es posible identificar muchas vías hacia y desde el bulbo raquídeo y varios tractos espinales en los cortes transversales de la protuberancia anular (figuras 7-7D y E).

Base pontina

La base de la protuberancia anular (**base pontina**) tiene tres componentes: haces de fibras de los tractos corticoespinales, **núcleos pontinos** que han recibido información de la corteza cerebral por medio de la vía corticopontina, y fibras pontocerebelosas de los núcleos pontinos, que cruzan y se proyectan a la

mayor parte del neocerebelo a través de un gran pedúnculo cerebeloso medio. Por la línea media de la protuberancia anular y parte del bulbo raquídeo se encuentran los **núcleos del rafe**. Las neuronas serotoninérgicas de estos núcleos tienen amplias proyecciones a la corteza e hipocampo, ganglios basales, tálamo, cerebelo y médula espinal. Estas células son importantes para controlar el nivel de activación y modular el ciclo de sueño-vigilia. También modulan la información sensorial entrante, en particular de dolor.

Tegmento

El tegmento de la protuberancia anular es más complejo que la base. La parte inferior de la protuberancia anular contiene el núcleo del VI nervio (núcleo motor ocular externo) y los núcleos del VII nervio (núcleos facial, salivatorio posterior y gustativo). Los componentes motores branquiales del nervio facial se curvan alrededor del núcleo del VI nervio. La mitad superior de la protuberancia anular alberga los núcleos sensoriales principales del V nervio (figuras 7-7E y 7-8). El lemnisco medial asume una posición diferente (parte inferior del cuerpo, medial; parte superior del cuerpo, lateral), y el tracto espinotalámico cursa incluso más lateralmente mientras viaja a través de la protuberancia anular.

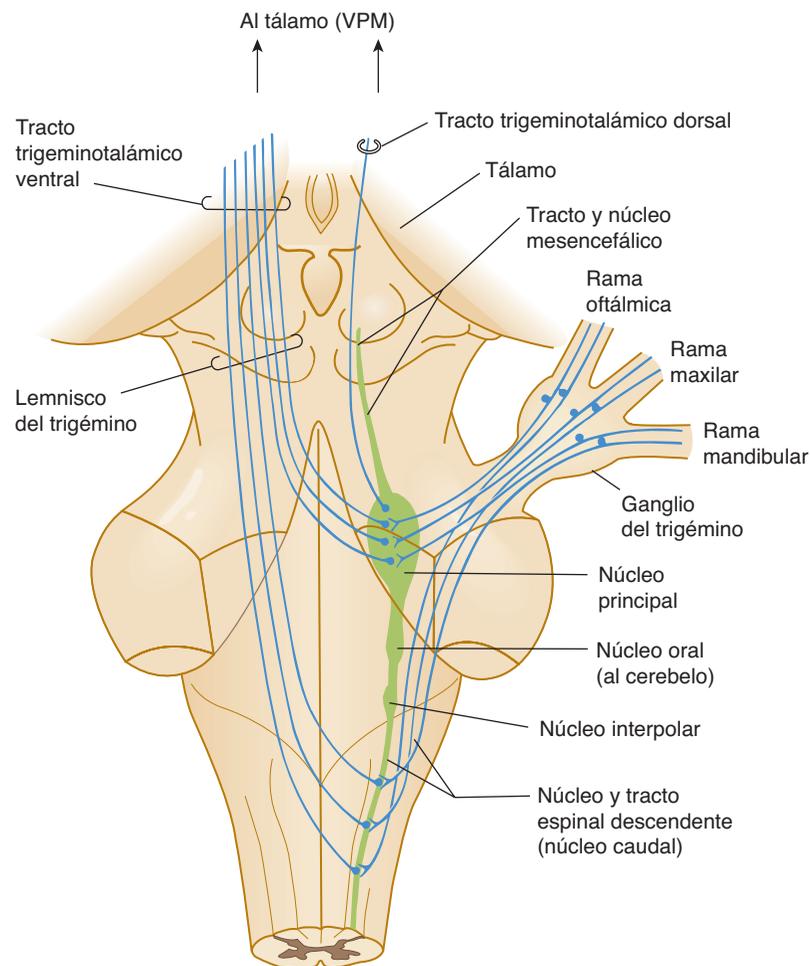


FIGURA 7-8 Dibujo esquemático del sistema del trigémino.

El **tracto tegmental central** contiene fibras descendentes del mesencéfalo al núcleo olivar inferior y fibras ascendentes que van desde la formación reticular del tronco encefálico hasta el tálamo y surca dorsolateralmente con respecto al lemnisco medial. El **tracto tectoespinal** (del mesencéfalo a la médula espinal) y el **fascículo longitudinal medial** son componentes adicionales del tegmento pontino.

Pedúnculo cerebeloso medio

El pedúnculo cerebeloso medio es el más grande de los tres pedúnculos cerebelosos. Contiene fibras que provienen de la base pontina contralateral y que terminan en el hemisferio cerebeloso.

Vías auditivas

El sistema auditivo de los núcleos cocleares en la unión pontobulbar incluye fibras que ascienden ipsilateralmente al lemnisco lateral (véase capítulo 16). También incluye fibras cruzadas (el cuerpo trapezoide) que ascienden en el lemnisco lateral opuesto. Un pequeño **núcleo olivar superior** envía fibras a la división coclear del VIII nervio como haz olivococlear (figura 7-7D); esta vía modifica la información sensorial del órgano de Corti en la cóclea.

Sistema del trigémino

Las tres divisiones del **nervio trigémino** (V nervio; figura 7-7D y E y figura 7-8) envían proyecciones al tronco encefálico. La función de tacto fino se retransmite a través del **núcleo sensorial principal**, la sensación de dolor y temperatura se retransmite dentro del **tracto espinal descendente del V par** y las fibras propioceptivas forman un **tracto y núcleo mesencefálico** en el mesencéfalo. Las neuronas de segundo orden que provienen del núcleo sensorial cruzan y ascienden al tálamo. El tracto espinal descendente del V nervio envía fibras a la parte caudal (núcleo espinal en el bulbo raquídeo), la parte interpolar (un vínculo entre los componentes aferentes del trigémino y el cerebelo) y la parte oral. El **núcleo masticatorio**, que se localiza medial al núcleo sensorial principal, envía fibras eferentes branquiales a la división mandibular del V nervio para inervar la mayoría de los músculos de la masticación y los tensores del tímpano en el oído medio.

MESENCÉFALO

El mesencéfalo forma una transición (y conducto de fibras) al cerebro (véanse figuras 1-2 y 7-9). También contiene varios grupos celulares importantes, incluyendo diversos núcleos de nervios craneales.

Base

La base del mesencéfalo contiene el **pie peduncular**, un enorme haz de fibras que incluye las vías corticoespinal, corticobulbar y corticopontina (figuras 7-7G y 7-9). La base también contiene la **sustancia negra**. La sustancia negra (cuyas fibras contienen neuromelanina) recibe fibras aferentes de la corteza cerebral y del

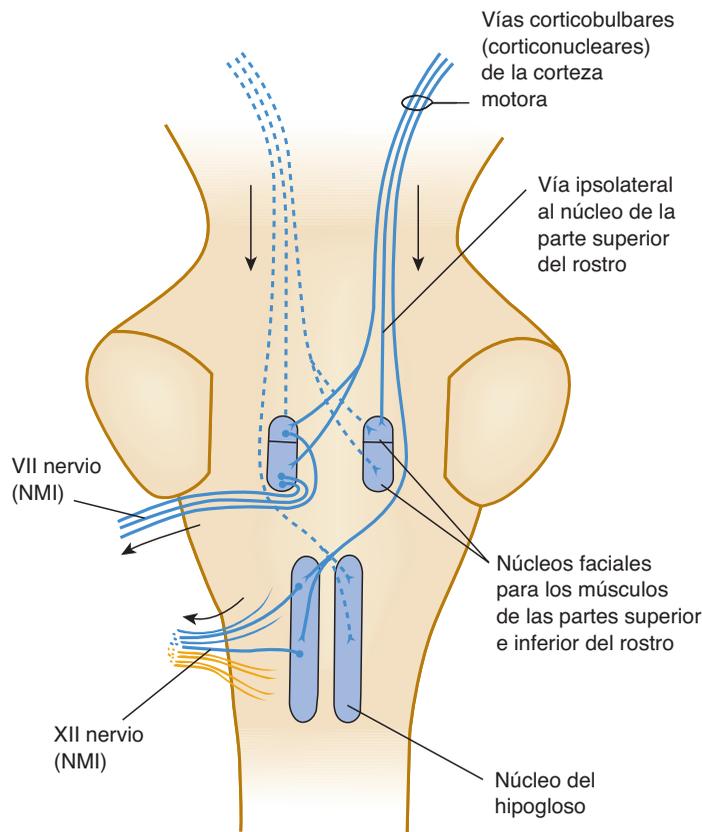


FIGURA 7-9 Vías corticobulbares a los núcleos de los nervios craneales VII y XII. Nótese que el núcleo facial para los músculos de la parte superior del rostro recibe información descendente de la corteza motora en ambos lados, en tanto que el núcleo facial para los músculos inferiores del rostro sólo recibe información de la corteza contralateral.

cuerpo estriado, y envía fibras eferentes dopaminérgicas al cuerpo estriado. La sustancia negra representa un papel esencial en el control motor. En la enfermedad de Parkinson ocurre degeneración de esta área (véase capítulo 13). El aspecto externo de la base mesencefálica se conoce como **pedúnculo cerebral**.

Las **fibras corticobulbares** de la corteza motora a las interneuronas de los núcleos eferentes de los nervios craneales son homólogas de las fibras corticoespinales. Las fibras corticobulbares hacia la porción inferior del núcleo facial y el núcleo del hipogloso están cruzadas (proviene de la corteza cerebral opuesta). Todas las otras proyecciones corticobulbares están cruzadas bilateralmente (desde ambas cortezas).

Las fibras del nervio ocular común (III) salen entre los pedúnculos cerebrales (figura 7-6) en la **fosa interpeduncular**. Las fibras del nervio patético (IV) salen del otro lado del mesencéfalo, por el tegmento (figura 7-5).

Tegmento

El tegmento del mesencéfalo contiene todos los tractos ascendentes de la médula espinal o tronco encefálico inferior y muchos de los sistemas descendentes. Un gran **núcleo rojo** recibe fibras eferentes cruzadas del cerebelo y envía fibras al tálamo y a la médula espinal contralateral por medio del tracto rubroes-

pinal. El núcleo rojo es un componente importante de la coordinación motora.

Dos grupos eferentes somáticos nucleares contiguos residen en el tegmento superior: el **núcleo patético** (que forma el IV nervio contralateral) y los **núcleos del motor ocular común** (que tienen fibras eferentes en el III nervio). Cada músculo ocular inervado por el nervio motor ocular común tiene su propio subgrupo de células inervadoras; el subgrupo del músculo recto superior es contralateral, en tanto que los otros son ipsolaterales para el músculo inervado. El sistema parasimpático preganglionar destinado al ojo (una sinapsis en el ganglio ciliar) tiene su origen en o cerca del núcleo de Edinger-Westphal.

Cerca de la sustancia gris periventricular se encuentran los núcleos bilaterales del **locus ceruleus**. Las neuronas de estos núcleos tienen norepinefrina y envían amplias proyecciones a la corteza, hipocampo, tálamo, mesencéfalo, cerebelo, protuberancia anular, bulbo raquídeo y médula espinal. Estas neuronas regulan el ciclo de sueño y vigilia y controlan la activación; también es posible que modulen la sensibilidad de los núcleos sensoriales.

Techo

El techo, o tectum, del mesencéfalo está formado por dos pares de colículos y los **cuerpos cuadrigéminos**. Los **colículos superiores** contienen neuronas que reciben información visual al igual que de otro tipo y se ocupan de los reflejos oculares; los **colículos inferiores** participan en los reflejos auditivos y en la determinación del lado donde se origina el sonido. Los colículos inferiores reciben información de ambos oídos y envían proyecciones al núcleo geniculado medial del tálamo por medio del **tubérculo cuadrigémino inferior**. El **tubérculo cuadrigémino superior** enlaza el núcleo geniculado lateral con el colículo superior. Los colículos contribuyen a la formación de los tractos tectoespinales cruzados, que participan en los reflejos de parpadeo y de rotación de la cabeza en función de sonidos o imágenes visuales repentinas.

Sustancia gris periacueductal

La sustancia gris periacueductal contiene tractos autónomos descendentes al igual que células productoras de endorfina que suprimen el dolor. Esta región se ha utilizado como diana para implantes estimulantes del cerebro en pacientes que sufren dolor crónico.

Pedúnculo cerebeloso superior

El pedúnculo cerebeloso superior contiene fibras eferentes que van del núcleo dentado del cerebelo al núcleo rojo opuesto (sistema dento-rubro-talámico) y a los tractos espinocerebelosos ventrales. Las fibras cerebelosas presentan una decusación justo por debajo del núcleo rojo.

VASCULARIZACIÓN

Los vasos que irrigan el tronco encefálico son ramas del sistema vertebrobasilar (figura 7-10; véase también capítulo 12). Aquellos clasificados como **vasos circunferenciales** son la arteria cere-

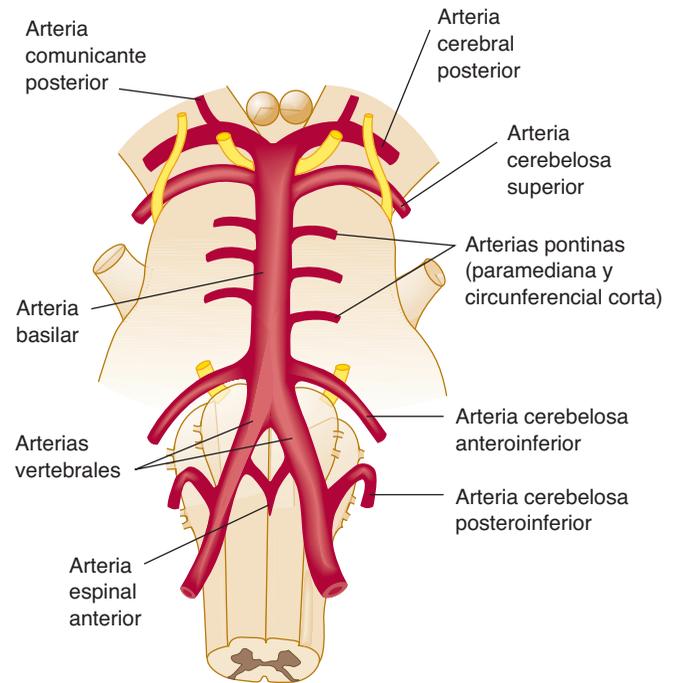


FIGURA 7-10 Arterias principales del tronco encefálico (vista ventral).

belosa posteroinferior, la arteria cerebelosa anteroinferior, la arteria cerebelosa superior, la arteria cerebral posterior y la arteria pontina. Cada uno de estos vasos envía pequeñas ramificaciones (unas cuantas o muchas) dentro de las estructuras subyacentes del tronco encefálico a lo largo de su recorrido. Otros vasos se clasifican como **perforantes medianos (paramedianos)** debido a que son ramificaciones de la arteria basilar que penetran en el tronco encefálico. Pequeñas ramas medulares y espinales de la arteria vertebral conforman un tercer grupo de vasos.

Lesiones del tronco encefálico

El tronco encefálico es una estructura anatómicamente compacta, diversa en sentido funcional e importante en términos clínicos. Incluso una lesión relativamente pequeña casi siempre daña varios núcleos, centros reflejos, tractos o vías. A menudo tales lesiones son de naturaleza vascular (p. ej., infarto o hemorragia), pero los tumores, traumatismos y procesos degenerativos o desmielinizantes también pueden lesionar al tronco encefálico. Los siguientes son síndromes típicos causados por lesiones intrínsecas (intraaxiales) del tronco encefálico.

El **síndrome bulbar medial (basal)** generalmente afecta la pirámide, parte o todo el lemnisco medial y el XII nervio. Si es unilateral, también se le conoce como **hemiplejía alterna del hipogloso** (figura 7-11); el término hace referencia al hallazgo de que la debilidad del nervio craneal se encuentra del mismo lado que la lesión, pero la parálisis del cuerpo ocurre en el lado contrario. Las lesiones más grandes pueden provocar defectos bilaterales. El área comprometida recibe irrigación de la arteria espinal anterior o de las ramas mediales de la arteria vertebral.

El **síndrome bulbar lateral** o **síndrome de Wallenberg** compromete algunas (o todas) las estructuras siguientes en el

bulbo raquídeo abierto en el lado dorsolateral (figura 7-11): pedúnculo cerebeloso inferior, núcleos vestibulares, fibras o núcleos de los nervios IX o X, núcleos y tracto espinales del V nervio, tracto espinotalámico y vías simpáticas. (El compromiso de las vías simpáticas puede conducir a síndrome de Horner.) El área afectada recibe irrigación de las ramas de la arteria vertebral o, más comúnmente, de la arteria cerebelosa posteroinferior. Un ejemplo de este síndrome se presenta en el Ejemplo clínico 7-1.

Lesiones cercanas al tronco encefálico

Los procesos ocupantes de espacio (p. ej., tumores, aneurismas, hernias cerebrales) en el área que rodea al tronco encefálico pueden afectar de manera indirecta a esta estructura. Varios trastornos, que se analizan a continuación, son un producto típico de lesiones extrínsecas (extraaxiales).

El **síndrome del ángulo pontocerebeloso** puede comprometer a los nervios VIII o VII o a estructuras más profundas. Con más frecuencia es causado por un tumor que comienza afectando las células de Schwann del nervio craneal en esa región (p. ej., tumor del VIII nervio; figura 7-3).

Un tumor en la **región pineal** puede comprimir la placa cuadrigémina superior y causar parálisis de la mirada vertical, pérdida de los reflejos pupilares y otras manifestaciones oculares. Es posible que se acompañe de hidrocefalia obstructiva.

La **parálisis de la mirada vertical**, también llamada **síndrome de Parinaud**, es una incapacidad para mover los ojos hacia arriba o hacia abajo. Es causada por compresión del techo y áreas adyacentes (p. ej., por un tumor en la glándula pineal; figuras 7-13 y 7-14).

Otros tumores cercanos al tronco encefálico incluyen el meduloblastoma, ependimoma del cuarto ventrículo, glioma, meningioma y quistes congénitos. El **meduloblastoma**, un tumor

EJEMPLO CLÍNICO 7-1

Un paisajista de 49 años de edad, que visitó muchos países de Europa, Asia y África, fue internado en el hospital debido al inicio repentino de entumecimiento facial, ataxia, vértigo, náusea y vómito. La exploración reveló alteraciones en la sensación del lado izquierdo de la cara. Presentaba torpeza en el brazo y pierna izquierdos y había temblor de intención a la izquierda. Mostraba signos del síndrome de Horner: miosis (constricción de la pupila), ptosis (párpado débil y caído) y reducción en la sudoración en la frente. Presentaba entumecimiento subjetivo del brazo derecho, aunque no se detectaron anomalías en el examen. Durante las siguientes 12 h, el paciente presentó dificultad para deglutir y quejas de hipo intratable. Ahora presentaba alteraciones en los sentidos de vibración y posición en el brazo izquierdo, parálisis en las cuerdas vocales y disminución en el reflejo nauseoso. Del lado derecho presentaba alteración en la sensibilidad a dolor y temperatura. Las imágenes por resonancia magnética demostraron una anomalía, presumiblemente por infarto, en el bulbo raquídeo lateral del lado izquierdo y se emitió el presunto diagnóstico de síndrome de Wallenberg (síndrome bulbar lateral) con base en la oclusión de la arteria cerebelosa posteroinferior.

La arteriografía reveló oclusión de la arteria cerebelosa posteroinferior con "rosarios" (evidencia de inflamación) de las arterias vertebrales y arterias cerebelosas anteroinferiores. La punción lumbar reveló 40 leucocitos (en su mayoría linfocitos) por mililitro de LCR. Las pruebas serológicas fueron positivas para sífilis. El paciente recibió tratamiento con penicilina. En los siguientes seis meses, muchos de sus déficits se resolvieron y reanudó sus actividades, incluyendo la pintura.

Este caso ilustra el desarrollo del síndrome bulbar lateral (síndrome de Wallenberg) como resultado de la oclusión de la arteria cerebelosa posteroinferior. Debido a que tantas estructuras están densamente agrupadas en el tronco encefálico que tiene un tamaño tan pequeño, la oclusión incluso de arterias relativamente pequeñas, como las arterias cerebelosas posteroinferiores, puede tener profundos efectos.

En este caso, la oclusión vascular se debió a arteritis sífilítica, una forma de neurosífilis terciaria. Aunque en la actualidad la neurosífilis es poco común, la sífilis meningovascular era una causa común de accidentes vasculares en el tronco encefálico en la época previa a los antibióticos. Al evaluar los accidentes cerebrales vasculares, es esencial que se consideren todos los diagnósticos que pueden conducir a un compromiso vascular cerebral. En este caso, el tratamiento con penicilina detuvo la neurosífilis del paciente y pudo haber prevenido accidentes vasculares cerebrales posteriores. Después de este tipo de trastornos puede ocurrir un grado significativo de recuperación funcional, como la observada en este paciente, y se puede suponer que refleja la reorganización de los circuitos neurales que controlan la deglución al igual que las actividades relacionadas.

Los **síndromes pontinos basales** pueden dañar tanto el tracto corticoespinal como un nervio craneal (VI, VII o V) en la región afectada, dependiendo del grado y nivel de la lesión (figura 7-12). El síndrome se denomina **hemiplejía alterna del motor ocular externo (VI)**, del facial (VII) o del trigémino (V). Si la lesión es grande, puede incluir al lemnisco medial. La irrigación vascular proviene de las ramas perforantes, o pontinas, de la arteria cerebelosa inferior.

El **síndrome de cautiverio** es resultado de lesiones grandes del área basal de la protuberancia anular que interrumpen bilateralmente las vías corticobulbar y corticoespinal, con lo cual interfieren con el habla, expresión facial y capacidad para activar la mayoría de los músculos. Estas lesiones pontinas se deben en general a infartos o hemorragias. En general, las vías somatosensoriales y el sistema reticular no sufren daño, de modo que los pacientes permanecen despiertos y conscientes de su entorno. A menudo no se afectan los movimientos oculares. En consecuencia, algunas veces los pacientes con este trágico síndrome pueden comunicarse a través de un código rudimentario y es posible que sobrevivan por varios años. Un caso se presenta en el Ejemplo clínico 7-2.

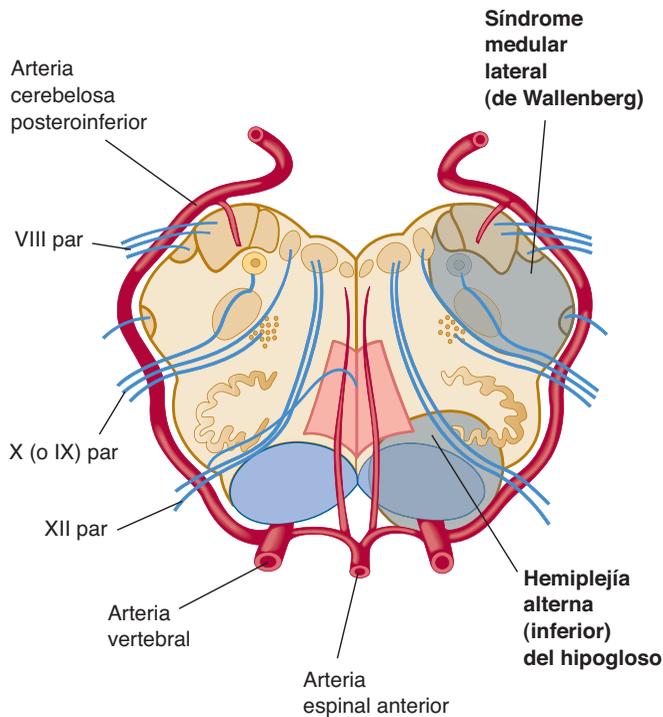


FIGURA 7-11 Síndromes clínicos asociados con lesiones del bulbo raquídeo (compare con la figura 7-7C).

cerebeloso (por lo general del vermis) que ocurre en la infancia, puede ocupar el cuarto ventrículo y bloquear la vía del LCR. Aunque la compresión del tronco encefálico es poco común, el tumor tiende a infiltrar el espacio subaracnoideo de la médula espinal y el cerebro.

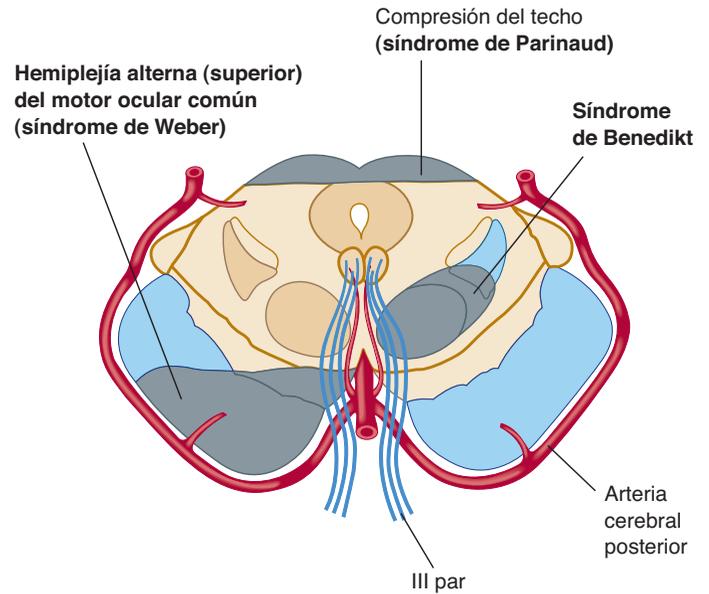


FIGURA 7-13 Síndromes clínicos asociados con lesiones mesencefálicas (compare con la figura 7-7G).

CEREBELO

Estructura general

El cerebelo está localizado detrás de la cara dorsal de la protuberancia anular y del bulbo raquídeo. Lo separa del lóbulo occipital la **tienda del cerebelo** y abarca la mayor parte de la fosa posterior. Una porción de línea media, el **vermis**, divide los dos lóbulos laterales, o hemisferios cerebelosos (figura 7-15). La superficie externa del cerebelo presenta muchos pliegues estrechos parecidos a protuberancias denominadas **laminas**, la mayoría de las cuales se orientan en forma transversal.

El cerebelo consiste en **corteza cerebelosa** y **sustancia blanca cerebelosa** (véase la sección Corteza cerebelosa). Cuatro pares de **núcleos cerebelosos profundos** se localizan dentro de la sustancia blanca del cerebelo, por arriba del cuarto ventrículo (debido a que se encuentran en el techo del ventrículo, a veces se les conoce como **núcleos del techo**). Estos núcleos se denominan, de medial a la lateral, **fastigial**, **globoso**, **emboliforme** y **dentado**.

Debido a la localización del cuarto ventrículo, ventral con respecto al cerebelo, las lesiones tumorales o inflamación del cerebelo (p. ej., debido a edema posterior a infarto) pueden causar hidrocefalia por obstrucción.

Divisiones

El cerebelo está dividido en dos hemisferios simétricos, conectados por el **vermis**, que se pueden subdividir adicionalmente (figura 7-15). El **arquicerebelo**, que es el área del cerebelo filogenéticamente más antigua, consiste en el flóculo, nódulo (nódulo del vermis) e interconexiones (**sistema floclonodular**); éste se ocupa del equilibrio y se conecta con el sistema vestibular. El **paleocerebelo** consiste en las porciones anteriores de los hemisferios y del vermis anterior y posterior, y participa en los

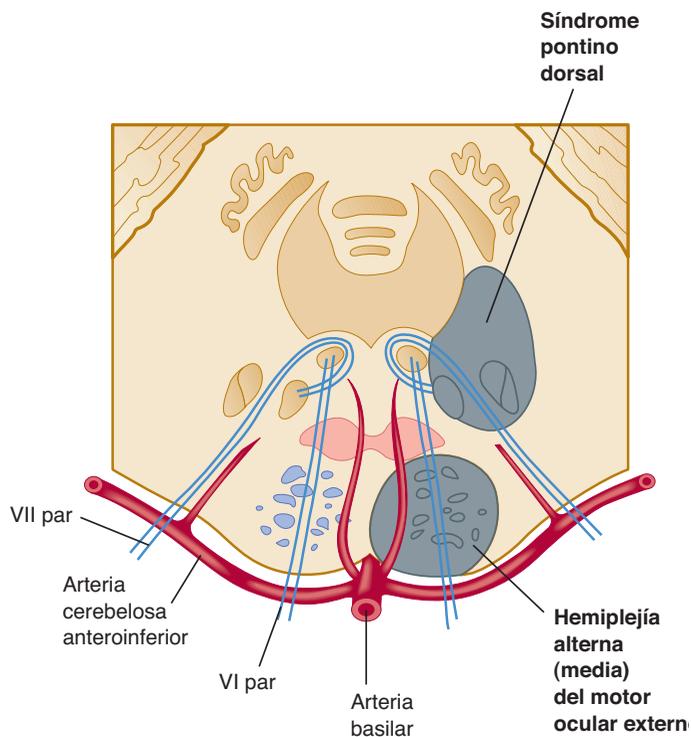


FIGURA 7-12 Síndromes clínicos asociados con lesiones pontinas (compárese con la figura 7-7D).

EJEMPLO CLÍNICO 7-2

Un arquitecto de 53 años fue productivo hasta que, en el curso de varias horas, desarrolló debilidad en brazos y piernas, con visión doble y dificultad para deglutir. Fue llevado al hospital, donde los exámenes revelaron debilidad e hiperreflexia en brazos y piernas, respuestas bilaterales de Babinski, debilidad facial en ambos lados y disfagia. La mirada lateral estaba limitada y presentaba nistagmo. Se hizo un diagnóstico preliminar de trombosis de la arteria basilar. La arteriografía confirmó este diagnóstico.

En los dos días siguientes, y a pesar de tratamiento intensivo, los déficit del paciente progresaron. Se desarrolló parálisis total de las extremidades, al igual que notable debilidad del rostro. Como resultado de la debilidad de la musculatura bulbar, se afectó la deglución y el paciente no podía proyectar la lengua. También presentaba alteración en los movimientos oculares laterales, pero conservaba los movimientos verticales. El paciente permaneció consciente, con estado mental aparentemente conservado. Podía comunicarse mediante parpadeos y movimientos oculares verticales. La sensación, explorada a través de preguntas simples de Sí-No respondidas con movimientos oculares, también parecía estar intacta. Las imágenes por resonancia magnética demostraron un infarto grande que comprometía la base de la protuberancia anular. El paciente permaneció en este estado, comunicándose con amigos y familiares a través de parpadeos, durante los siguientes cinco meses. Murió después de sufrir un paro cardiopulmonar.

Este trágico caso ilustra el síndrome de cautiverio. El infarto, en la base de la protuberancia anular, destruyó los tractos corticoespinal y corticobulbar y, en consecuencia, produjo parálisis de los miembros y de la musculatura bulbar. La preservación de los núcleos motor ocular común y patético y de sus nervios permitió

ciertos movimientos oculares limitados que se utilizaron con fines de comunicación. Se conservó la sensación, probablemente debido a que el infarto no comprometió el lemnisco medial y los tractos espinotalámicos, que se localizan en sentido dorsal con respecto a la protuberancia anular.

Este caso también ilustra que es posible conservar la conciencia incluso cuando existe un daño importante al tronco encefálico si el sistema reticular no sufre daño. En pacientes con infartos mayores, es posible que se presente coma debido a isquemia del sistema reticular en el tronco encefálico.

El **síndrome pontino dorsal** afecta el VI o VII nervio o sus núcleos respectivos, con o sin compromiso del lemnisco medial, tracto espinotalámico o lemnisco lateral. Con frecuencia se afecta el “centro de la mirada lateral” (figura 8-7). A un nivel más rostral, el V nervio y sus núcleos quizá ya no funcionen. El área afectada recibe irrigación de diversas ramas perforantes (pontinas) de las arterias circunferenciales.

El **síndrome peduncular**, también llamado **hemiplejía alterna del motor ocular común** y **síndrome de Weber** en el mesencéfalo basal, afecta el III nervio y porciones del pedúnculo cerebral (figura 7-13). Se presenta parálisis del III nervio en el lado de la lesión y hemiparesia contralateral (debido a que la lesión está por arriba de la decusación de las pirámides). La irrigación arterial es a través de vasos perforantes posteriores y de ramas de la arteria cerebral posterior. El **síndrome de Benedikt**, situado en el tegmento del mesencéfalo, puede dañar el lemnisco medial, el núcleo rojo, y el III nervio y su núcleo y tractos asociados (figura 7-13). La irrigación de esta área proviene de vasos perforantes y ramas de las arterias circunferenciales.



FIGURA 7-14 Imagen por resonancia magnética que muestra, en el plano sagital, una lesión tumoral [puntas de flecha] en el paciente que se describe en el Ejemplo clínico 7-3. La lesión tumoral, que al momento de la biopsia probó ser un germinoma, comprimía la placa cuadrigémina y obstruía el acueducto cerebral [flecha]. (Ejemplo clínico e imagen cortesía de Joachim Baehring, MD, Yale University School of Medicine.)

EJEMPLO CLÍNICO 7-3

Un estudiante universitario de 18 años experimentó náusea posprandial durante tres meses. Vomitó unas cuantas veces y perdió tres kilos de peso. Cuando empezó a percatarse de diplopía vertical, se inició una valoración médica. En el examen neurológico se notó que sus pupilas tenían 5 mm de diámetro. Había disociación de luz-proximidad en su respuesta pupilar (contracción cuando se intentaba la convergencia, pero no cuando había exposición a la luz). La convergencia provocaba nistagmo de retracción. Se observó parálisis asimétrica de la mirada hacia arriba. El examen fundoscópico reveló papiledema. Los reflejos tendinosos eran enérgicos. El examen físico general no indicó mayores hallazgos. Las imágenes por resonancia magnética del cerebro demostraron una lesión tumoral [puntas de flecha, figura 7-14] dentro de la región de la hipófisis, que comprimía la placa cuadrigémina y obstruía el acueducto cerebral [flecha]. Una biopsia endoscópica reveló un germinoma. El paciente recibió tratamiento exitoso con radiaciones. Continuó presentando diplopía vertical que se corrigió con lentes de prisma.

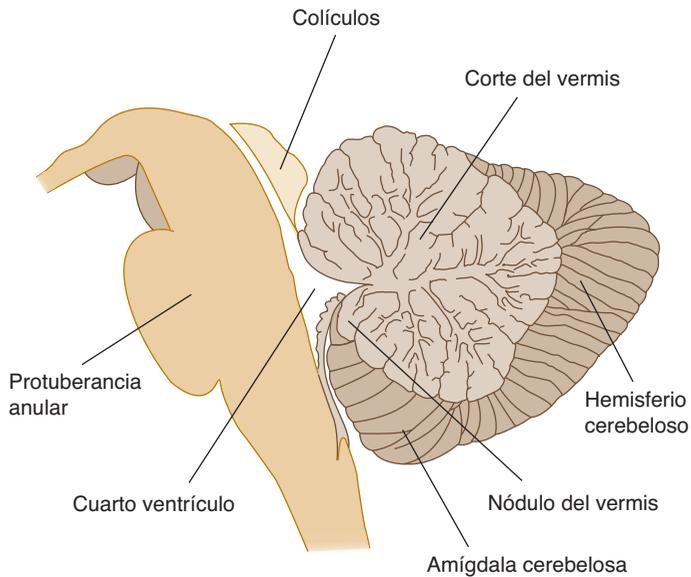


FIGURA 7-15 Corte sagital medio del cerebelo.

movimientos estereotipados de propulsión, como la marcha. La parte restante del cerebelo se considera como **neocerebelo** y se ocupa de la coordinación de movimientos finos.

Funciones

El cerebelo tiene varias funciones principales: coordinar los movimientos voluntarios especializados al influir sobre la actividad muscular y controlar el equilibrio y el tono muscular a través de conexiones con el sistema vestibular y la médula espinal y sus neuronas motoras alfa. Dentro de la corteza del cerebelo existe una organización somatotópica de las partes del cuerpo (figura 7-16).

Además, el cerebelo recibe información colateral de los sistemas sensorial y sensorial especial.

Como podría predecirse según los homúnculos cerebelosos, el vermis tiende a controlar la coordinación y tono muscular del tronco, en tanto que cada hemisferio del cerebelo controla la coordinación y el tono muscular *en el mismo lado del cuerpo*.

Pedúnculos

Tres pares de pedúnculos, localizados por arriba y alrededor del cuarto ventrículo, unen el cerebelo con el tronco encefálico y contienen vías que corren en ambos sentidos entre estas dos estructuras (figura 7-5 y cuadro 7-3). El **pedúnculo cerebeloso inferior** contiene muchos sistemas de fibras que proceden de la médula espinal (incluyendo fibras de los tractos espinocerebelosos dorsales y del tracto cuneocerebeloso; figura 5-17) y del tronco encefálico inferior (incluyendo las fibras olivocerebelosas procedentes de los núcleos de la oliva inferior, que dan lugar a fibras trepadoras dentro de la corteza cerebelosa). El pedúnculo cerebeloso inferior también contiene fibras que provienen de los núcleos vestibulares y nervios eferentes a los núcleos vestibulares.

El **pedúnculo cerebeloso medio** consiste en fibras que provienen de los núcleos pontinos contralaterales. Estos núcleos reciben información de muchas áreas de la corteza cerebral.

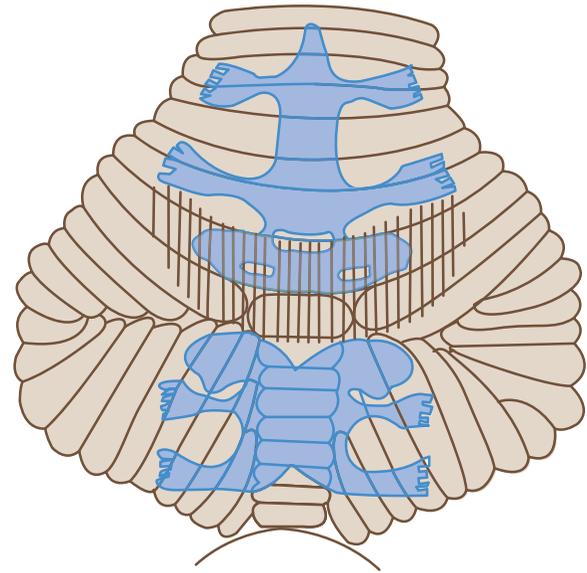


FIGURA 7-16 Homúnculos cerebelosos. Los estímulos propioceptivos y táctiles se proyectan como se muestra en el homúnculo superior (invertido) y el homúnculo inferior (dividido). El área con franjas representa la región donde se observan las respuestas evocadas a los estímulos auditivos y visuales. (Redibujada y reproducida, con autorización, de Snider R: The cerebellum. Sci Am 1958;199:84.)

El **pedúnculo cerebeloso superior**, formado en su mayoría por fibras eferentes, contiene axones que envían impulsos tanto al tálamo como a la médula espinal, con retransmisión en los núcleos rojos (véase capítulo 13). Las fibras aferentes del tracto espinocerebeloso ventral también ingresan al cerebelo a través de este pedúnculo.

Aferentes al cerebelo

Los aferentes al cerebelo corren principalmente a través de los pedúnculos cerebelosos inferior y medio, aunque algunas fibras aferentes también están presentes en los pedúnculos cerebelosos superiores (véase la sección anterior). Estos aferentes terminan ya sea en fibras trepadoras o en fibras musgosas en la corteza del cerebelo; ambos tipos de fibras son excitatorias (cuadro 7-4). Las **fibras trepadoras** se originan en el núcleo olivar inferior y forman sinapsis con dendritas de las células de Purkinje. Las **fibras musgosas** están formadas por axones aferentes de los núcleos pontinos, médula espinal, núcleos vestibulares y formación reticular: terminan en *glomérulos* especializados, donde hacen sinapsis con dendritas de células granulares.

Existen también varios aferentes aminérgicos al cerebelo. Las vías noradrenérgicas que provienen del locus caeruleus, tienen amplias proyecciones dentro de la corteza cerebelosa. Las vías serotoninérgicas provienen de los núcleos del raquí y también tienen proyecciones a la corteza del cerebelo. Estas vías parecen tener un efecto modulador sobre la actividad cerebelosa. La mayoría de las fibras aferentes (tanto musgosas como trepadoras) envían ramas colaterales que proporcionan informaciones excitatorias a los núcleos cerebelosos internos.

CUADRO 7-3 Funciones y terminaciones esenciales de los principales sistemas aferentes al cerebelo.*

Tractos aferentes	Transmite	Distribución	Pedúnculo de ingreso al cerebelo
Espinocerebeloso dorsal	Impulsos propioceptivos y exteroceptivos del cuerpo	Láminas I-VI, pirámides y lóbulo paramediano	Inferior
Espinocerebeloso ventral	Impulsos propioceptivos y exteroceptivos del cuerpo	Láminas I-VI, pirámides y lóbulo paramediano	Superior
Cuneocerebeloso	Impulsos propioceptivos, en especial de cabeza y cuello	Láminas I-VI, pirámides y lóbulo paramediano	Inferior
Tectocerebeloso	Impulsos auditivos y visuales a través de los colículos inferiores y superiores	Lámina, tubérculo, lóbulo semilunar	Superior
Vestibulocerebeloso	Impulsos vestibulares de los laberintos, directamente y a través de los núcleos vestibulares	Principalmente el lóbulo floculonodular	Inferior
Pontocerebeloso	Impulsos de la corteza motora y de otras partes de la corteza a través de los núcleos pontinos	Toda la corteza del cerebelo, excepto el lóbulo floculonodular	Medio
Olivocerebeloso	Información propioceptiva de todo el cuerpo a través de retransmisión en la oliva inferior	Toda la corteza del cerebelo y núcleos profundos	Inferior

*Varias otras vías transmiten impulsos desde los núcleos en el tronco encefálico a la corteza cerebelosa y los núcleos profundos. Datos de Ganong WF: Review of Medical Physiology, 22ª ed. Appleton & Lange, 2005.

Corteza cerebelosa

La corteza del cerebelo consiste en tres capas: la **capa molecular** externa debajo de la pía; la **capa de células de Purkinje** y la **capa granular**, una capa interna compuesta principalmente de pequeñas células granulares (figuras 7-17 y 7-18).

La corteza está dispuesta de una manera sumamente ordenada que consiste en cinco tipos de células principales (figuras 7-19 y 7-20):

- **Células granulares**, con pequeños cuerpos, que se localizan en la capa granular de la corteza cerebelosa y son las únicas neuronas excitatorias en la corteza. Las células granulares envían sus axones de manera ascendente dentro de la capa molecular, donde se bifurcan en forma de T para convertirse en **fibras paralelas**. Las fibras paralelas no mielinizadas corren perpendiculares a través de las dendritas de las células de Purkinje (como cables que corren entre los postes de teléfono)

y forman sinapsis excitatorias con estas dendritas. El glutamato parece ser el neurotransmisor en estas sinapsis.

- **Células de Purkinje**, que proporcionan la principal salida de impulsos desde la corteza cerebral. Estas neuronas únicas tienen sus cuerpos celulares en la capa de células de Purkinje y tienen dendritas que se distribuyen en forma de abanico en un solo plano, como las varillas de un abanico japonés o las barras transversales en un poste telefónico. Los axones de las células de Purkinje se proyectan ipsolateralmente a los núcleos cerebelosos profundos, en especial al núcleo dentado, donde forman sinapsis inhibitorias.

CUADRO 7-4 Efectos excitatorios e inhibitorios.

Excitación	Inhibición
Fibras musgosas → célula granular	Célula en cesta → cuerpo de célula de Purkinje
Oliva (a través de fibras trepadoras) → célula de Purkinje	Célula estrellada → dendrita de célula de Purkinje Célula de Golgi → célula granular
Célula granular → célula de Purkinje	Célula de Purkinje → núcleos del techo (incluyendo dentado)
Célula granular → célula de Golgi	Célula de Purkinje → núcleos vestibulares laterales
Célula granular → célula en cesta	Célula de Purkinje → Células de Purkinje
Célula granular → célula estrellada	Célula de Purkinje → Células de Golgi

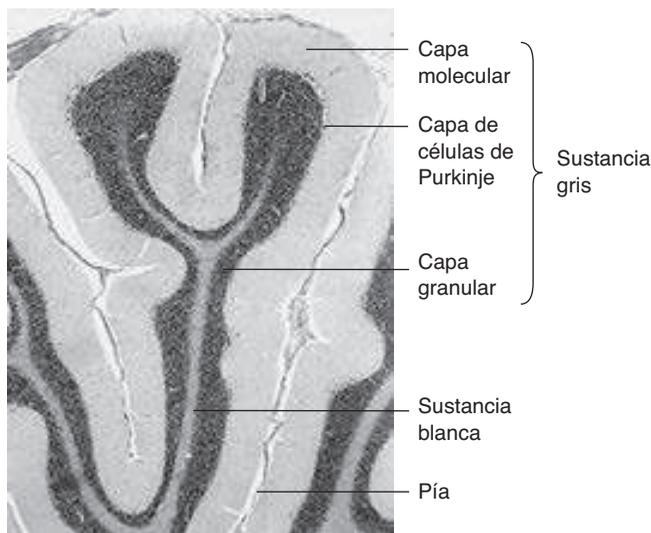


FIGURA 7-17 Microfotografía de una porción del cerebelo. Cada lóbulo contiene un núcleo de sustancia blanca y una corteza formada por tres capas —granular, de Purkinje y molecular— de sustancia gris. Tinción H&E, ×28. (Reproducida, con autorización, de Junqueira LC, Carneiro J, Kelley RO: Basic Histology, 8ª ed. Appleton & Lange, 1995.)

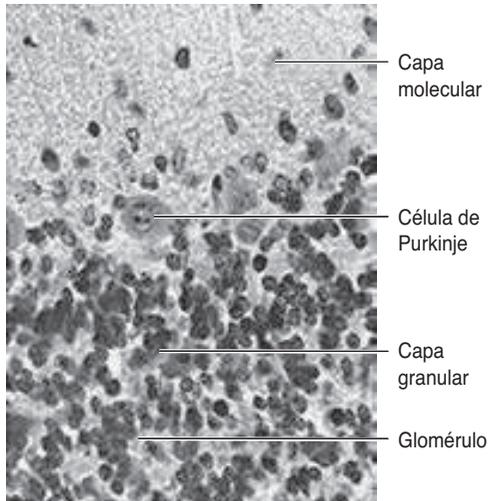


FIGURA 7-18 Microfotografía de la corteza cerebelosa. Este procedimiento de tinción no revela la inusualmente grande arborización dendrítica de las células de Purkinje. Tinción H&E, $\times 250$. (Reproducida, con autorización, de Junqueira LC, Carneiro J, Kelley RO: *Basic Histology*, 8th ed. Appleton & Lange, 1995.)

- **Células en cesta**, que se localizan en la capa molecular. Estas células reciben estímulos excitatorios de las fibras paralelas y se proyectan de regreso a las células de Purkinje, a las cuales inhiben.
- **Células de Golgi**, que también se localizan en la capa molecular y reciben información excitatoria de fibras paralelas y de fibras musgosas. Las células de Golgi envían sus axones de regreso a las células granulares, a las cuales inhiben.
- **Células estrelladas**, que se localizan en la capa molecular y reciben estímulos excitatorios, principalmente de las fibras paralelas. Como las células en cesta, inician sinapsis inhibitorias sobre las células de Purkinje.

Núcleos cerebelosos profundos

Cuatro pares de núcleos cerebelosos profundos están enclavados en la sustancia blanca del cerebelo: fastigial, globoso, emboliforme y dentado. Las neuronas de estos núcleos envían proyecciones fuera del cerebelo y, por ende, representan las principales vías eferentes del cerebelo. Las células en los núcleos cerebelosos profundos reciben estímulos inhibitorios (del ácido gamma ami-

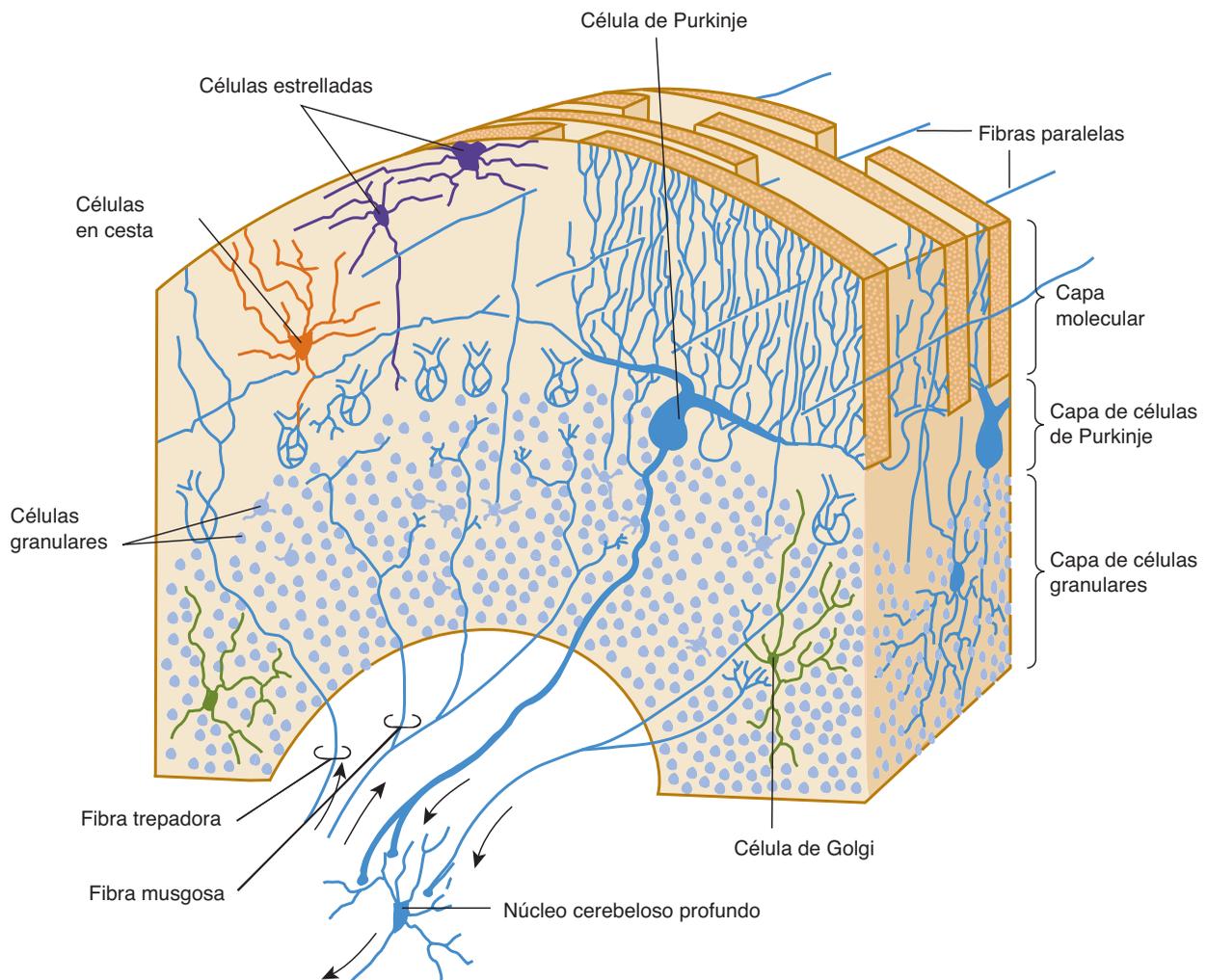


FIGURA 7-19 Diagrama esquemático de la corteza cerebelosa.

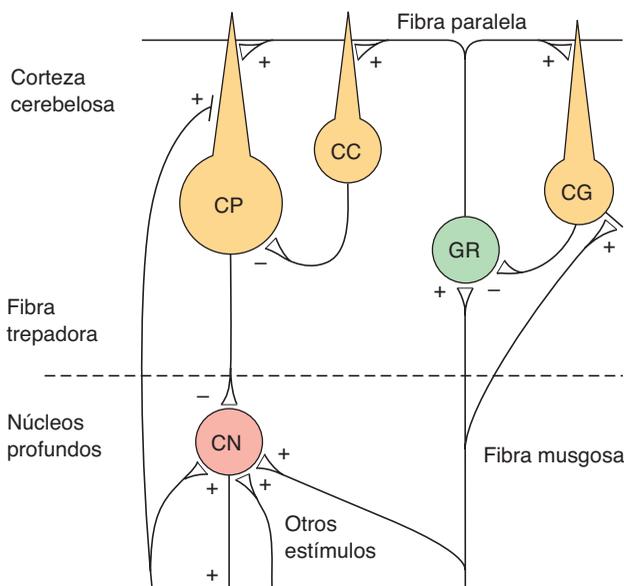


FIGURA 7-20 Diagrama de las conexiones neurales en el cerebelo. Las neuronas sombreadas son inhibitorias y los signos “+” y “-” indican dónde las terminaciones son excitatorias o inhibitorias. CC, célula en cesta; CG, célula de Golgi; GR, célula granular; CN, células dentro de los núcleos profundos del cerebelo; CP, célula de Purkinje. Las conexiones con las células estrelladas son similares a las de las células en cesta, excepto que éstas terminan, en su mayoría, en las dendritas de las células de Purkinje. (Modificada, con autorización, de Ganong WF: *Review of Medical Physiology*, 22nd ed., McGraw-Hill, 2005.)

nobutírico [GABA] o GABAérgicos) de las células de Purkinje. También reciben información excitatoria de sitios fuera del cerebelo, incluyendo los núcleos pontinos, el núcleo olivar inferior, formación reticular, locus ceruleus y núcleos del rafe. Los estímulos que dan lugar a las fibras trepadoras y musgosas también tienen proyecciones colaterales excitatorias a los núcleos cerebelosos profundos. Como resultado de esta disposición, las células en los núcleos cerebelosos profundos reciben estímulos inhibitorios de las células de Purkinje y estímulos excitatorios de otras fuentes. Las células en los núcleos cerebelosos profundos emiten descargas tónicas a tasas que reflejan el equilibrio entre los estímulos excitatorios e inhibitorios contrarios que convergen en ellas.

Eferentes del cerebelo

Los eferentes de los núcleos cerebelosos profundos tienen proyecciones a través del pedúnculo cerebeloso superior al núcleo rojo contralateral y a los núcleos talámicos (en especial el ventrolateral [VL], VLP). De allí, las proyecciones se envían a la corteza motora. Esta cadena de proyecciones forma la **vía dento-rubro-talámico-cortical** (figura 7-21). A través de esta vía, la actividad del núcleo dentado y de otros núcleos cerebelosos profundos modula la actividad en la corteza motora contralateral. Esta conexión cruzada ayuda a explicar por qué cada hemisferio del cerebelo regula la coordinación y tono muscular del lado contrario del cuerpo.

Además, las neuronas en el núcleo fastigial se proyectan bilateralmente, a través del pedúnculo cerebeloso inferior, a los nú-

CORRELACIONES CLÍNICAS

Los signos más característicos del trastorno cerebeloso son la **hipotonía** (reducción en el tono muscular) y la **ataxia** (pérdida de las contracciones musculares coordinadas para la producción de movimientos uniformes). Las lesiones unilaterales del cerebelo conducen a incapacidades ipsilaterales del lado de la lesión. La intoxicación alcohólica puede asemejarse a la ataxia cerebelosa, aunque los efectos son bilaterales.

En pacientes con lesiones del cerebelo, puede haber descomposición de los movimientos en sus partes componentes; **dismetría**, que se caracteriza por la incapacidad para colocar una extremidad en un punto preciso en el espacio (p. ej., tocar la nariz con el dedo); o **temblor de intención**, un temblor que surge cuando se intenta realizar movimientos voluntarios. El paciente también puede exhibir **adiadococinesia (disdiadococinesia)**, una incapacidad o dificultad para realizar con rapidez movimientos alternantes o sucesivos; ataxia de la marcha, con una tendencia a caer hacia el lado de la lesión, y **fenómeno de rebote**, una pérdida de la supresión normal de los músculos agonistas y antagonistas.

Una variedad de procesos patológicos puede afectar al cerebelo. Los **tumores** (en especial **astrocitomas**) y **hemorragias hipertensivas** pueden causar disfunción cerebelosa y comprimir el cuarto ventrículo subyacente, con lo cual provocan hidrocefalia, que constituye una urgencia médica. Los **infartos cerebelosos** también pueden causar disfunción del cerebelo; si son grandes, también pueden acompañarse de edema que, de nuevo, puede comprimir el cuarto ventrículo y, en consecuencia, causar hidrocefalia. Varios trastornos metabólicos (en especial los que implican metabolismo anormal de aminoácidos, amoniaco, piruvato y lactato) y las **enfermedades degenerativas** (denominadas **atrofias olivo-ponto-cerebelosas**) también causan degeneración del cerebelo.

cleos vestibulares y a la formación reticular, protuberancia anular y médula espinal contralaterales. Los axones de algunas células de Purkinje, localizados en el vermis y en el lóbulo floculonodular, también envían proyecciones a los núcleos vestibulares.

Como se explicó en la figura 5-17, gran parte de las fibras en los tractos espinocerebelosos no están cruzadas e ingresan en el hemisferio cerebeloso ipsilateral a su origen. Lo que es más, cada hemisferio cerebeloso tiene proyecciones a través de la ruta dento-rubro-talámico-cortical a la corteza motora contralateral (figura 7-21).

Cerebelo y tronco encefálico en cortes de cabeza completa

Las imágenes por resonancia magnética muestran el cerebelo y su relación con el tronco encefálico, los nervios craneales, cráneo y vasos (figura 7-22). Estas imágenes son útiles para determinar la localización, naturaleza (sólida o quística) y grado de las lesiones cerebelosas (véase análisis posterior de la malformación de Chiari).

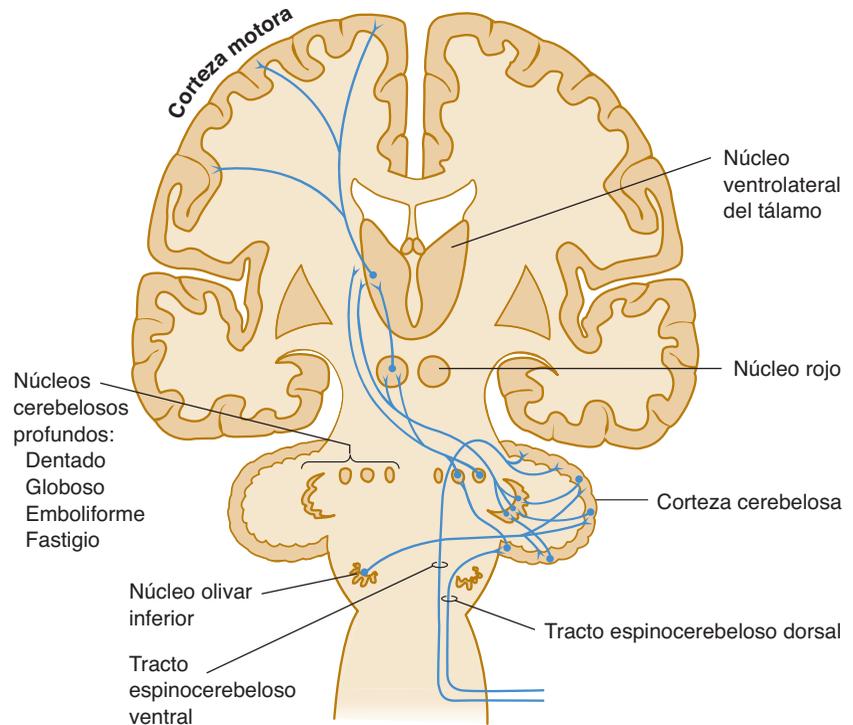


FIGURA 7-21 Esquema de algunos aferentes cerebelosos y vías de flujo.

C A S O 6

Una técnica de 60 años de edad con antecedentes de hipertensión tuvo un inicio repentino de visión doble y mareo. Tres días después (un día antes del internamiento), se percató de la caída repentina del párpado derecho.

El examen neurológico mostró pupilas desiguales (derecha más pequeña que la izquierda y ambas con respuesta y acomodación a la luz), ptosis en el párpado derecho, ligera endoftalmía y reducción en la sudoración del lado derecho del rostro, al igual que nistagmo en la mirada lateral a la izquierda. Presentaba disminución en el reflejo corneal del lado derecho, el cual era normal en el izquierdo. Aunque la sensación de dolor del lado derecho del rostro estaba reducida, la sensación de tacto era normal; había ligera debilidad facial periférica derecha. La campanilla se desviaba a la izquierda y se notó una leve ronquera. La fortaleza muscular estaba intacta, pero la paciente no pudo ejecutar la prueba de tocar la nariz con el dedo del lado derecho o realizar movimientos alternantes rápidos. Presentaba temblor de intención en el brazo derecho y la exploración posterior reveló ataxia en la extremidad inferior derecha. Todos los reflejos eran normales. La sensación de dolor estaba disminuida del lado izquierdo del cuerpo; los sentidos de tacto, vibración y posición estaban intactos.

¿Cuál es el diagnóstico diferencial? ¿Cuál es el diagnóstico más probable?

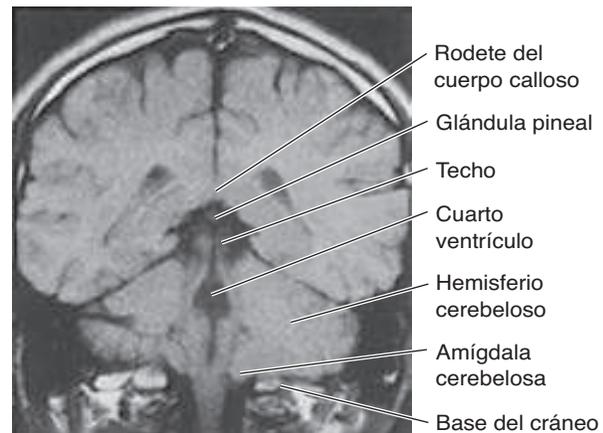


FIGURA 7-22 Imagen por resonancia magnética de corte coronal a través de la cabeza al nivel del cuarto ventrículo.

CASO 7

Un estudiante de posgrado de 27 años de edad fue canalizado con el síntoma principal de visión doble que había tenido una duración de dos semanas. Antes se había percatado de hormigueo persistente de todos los dedos de la mano izquierda. También sentía como si le caminaran hormigas sobre el lado izquierdo del rostro y la mitad izquierda de la lengua, y se había percatado de que ambas piernas se habían debilitado recientemente.

El examen neurológico mostró escotoma en el campo visual superior del ojo izquierdo, debilidad en el músculo recto interno izquierdo, nistagmo horizontal grueso en la mirada lateral izquierda y leve debilidad de los músculos faciales centrales izquierdos. Todos los demás músculos tenían fuerza normal. Los reflejos tendinosos profundos eran normales del lado derecho y más intensos en el izquierdo y había respuesta plantar extensora en el pie izquierdo. El sistema sensorial no presentó datos adicionales.

Cuatro meses después se internó al paciente en el hospital debido a que notó dificultad para caminar y su habla se había vuelto pastosa. El examen neurológico mostró los siguientes hallazgos adicionales: marcha atáxica amplia, habla balbuceante, temblor bilateral en la prueba dedo-nariz y desorganización de movimientos alternantes rápidos. La tomografía computarizada estuvo dentro de límites normales, pero las imágenes por resonancia magnética revelaron numerosas lesiones. La punción lumbar mostró 56 mg de proteína con aumento relativo en el nivel de gammaglobulina y la electroforesis mostró varias bandas oligoclonales en el LCR. Todos los demás hallazgos del LCR fueron normales. Se comenzó tratamiento con interferón beta.

¿Cuál es el diagnóstico diferencial?

En el capítulo 25 se presenta el análisis adicional de los casos.

REFERENCIAS

- Chan-Palay V: *Cerebellar Dentate Nucleus: Organization, Cytology and Transmitters*. Springer-Verlag, 1977.
- DeArmand SJ: *Structure of the Human Brain: A Photographic Atlas*, 3rd ed. Oxford Univ Press, 1989.
- DeZeeuw C, Cicerata F (editors): *Creating Coordination in the Cerebellum*. Elsevier, 2004.
- Ito M: *The Cerebellum and Motor Control*. Raven, 1984.
- Montemurro DG, Bruni JE: *The Human Brain in Dissection*. WB Saunders, 1981.
- Raymond JL, Lisberger SG, Mauk MD: The cerebellum: A neuronal learning machine? *Science* 1996;272:1126.
- Riley HA: *An Atlas of the Basal Ganglia, Brain Stem and Spinal Cord*. Williams & Wilkins, 1943.
- Wall M: Brain stem syndromes. In: *Neurology in Clinical Practice*, 2nd ed. Bradley WG, Daroff RB, Fenichel GM, Marsden CD (editors). Butterworth-Heinemann, 1996.
- Welsh JP, Lang JP, Sugihara I, Llinas R: Dynamic organization of motor control within the olivocerebellar system. *Nature* 1995;374:453.