



Meninges, sistema ventricular e irrigación encefálica.

Meninges

El sistema nervioso central está recubierto por tres membranas de tejido conjuntivo, las meninges:

Duramadre, la membrana más externa.

Aracnoides, la membrana intermedia, bajo la duramadre.

Piamadre, la membrana más interna en íntimo contacto con la superficie del sistema nervioso central.

Duramadre: es una membrana gruesa formada de tejido conjuntivo denso. La duramadre raquídea se encuentra en el canal vertebral y encierra en su interior a la médula espinal. El espacio entre el periostio del canal vertebral y la duramadre se denomina *espacio epidural*. Contiene tejido conjuntivo laxo, células adiposas y el plexo venoso vertebral interno. La superficie interna de la duramadre está revestida por células planas y las fibras de colágeno se orientan longitudinalmente. Se observan menos fibras elásticas que en la duramadre cerebral.

La duramadre cerebral tiene dos capas (una externa o perióstica y una interna o meníngea), las cuales están fuertemente unidas en el adulto. Ambas están compuestas de fibras de colágeno y fibroblastos. La *duramadre perióstica* se une laxamente a la cara interna del cráneo. En la base del cráneo y en las suturas la unión es más fuerte. Contiene abundantes células y vasos sanguíneos y sus fibras de colágeno se agrupan en haces separados. La *duramadre meníngea* tiene sus fibras de colágeno formando una banda casi continua con dirección craneal y posterior desde la región frontal. Contiene pequeños vasos sanguíneos y fibroblastos de citoplasma oscuro y largas prolongaciones.

La capa meníngea de la duramadre craneal se repliega formando tabiques que dividen la cavidad craneal en compartimentos intercomunicados. La función de estos tabiques es limitar el desplazamiento del encéfalo en situaciones de aceleración y desaceleración asociados a los movimientos de la cabeza. Estos tabiques son:

1.- Hoz del cerebro. Lámina semilunar ubicada entre los hemisferios cerebrales. En su extremo anterior se inserta en la apófisis crista galli del etmoides. En su extremo posterior se fusiona en la línea media con la cara superior de la tienda del cerebelo. El seno sagital superior transcurre a lo largo de su margen superior. El seno sagital inferior lo hace en su margen inferior que es libre y cóncavo. El seno recto recorre a lo largo de la fusión de la hoz del cerebro con la tienda del cerebelo.

2.- Tienda del cerebelo. Lámina en forma de tienda que cubre al cerebelo, separándolo de los lóbulos occipitales del cerebro. En su borde anterior existe una brecha llamada incisura tentorial por la cual pasa el mesencéfalo. La inserción ósea de la tienda es en las apófisis clinoides posteriores, borde superior del peñasco, y margen del surco para el seno transversal del hueso occipital.

3.- **Tienda de la hipófisis.** Es una pequeña lámina circular horizontal de duramadre que forma el techo de la silla turca. Un pequeño orificio en su centro permite el paso del tallo de la hipófisis, la cual está localizada en este pequeño compartimento.

Inervación de la duramadre craneal. Esta está dada por las tres ramas del trigémino, algunas ramas de los tres primeros nervios cervicales y ramas del simpático cervical. Algunos autores describen también ramas del vago y del glossofaríngeo. En la fosa craneal anterior existen ramos de los nervios etmoidales anterior y posterior, en la fosa craneana media ramas de la división maxilar (meníngeo medio) y de la rama mandibular (espinoso). En la fosa craneana posterior ramas meníngeas ascendentes de los primeros nervios cervicales y probablemente de ramas de vago y glossofaríngeo.

Aracnoides: Esta membrana tiene dos componentes. La capa más externa o *capa aracnoidea* está formada por células muy agrupadas, cuyo espacio intercelular es casi nulo y muy abundante en uniones estrechas y desmosomas. La porción más interna de la aracnoides está formada por *células aracnoideas trabeculares*. Estas son fibroblastos modificados con largas prolongaciones que se unen entre sí y con las células de la capa aracnoidea, formando un entramado laxo que conforma ángulo recto con la capa aracnoidea y que atraviesa el espacio subaracnoideo.

Piamadre: Es una delicada lámina de tejido conjuntivo formada de fibroblastos planos modificados que se adosan a la superficie del encéfalo y médula espinal. Estas células tienen gran parecido a las células aracnoideas trabeculares. La piamadre contiene gran cantidad de vasos sanguíneos y se continúa con su capa peri vascular. Entre las células de la piamadre y el tejido nervioso existen pequeñas fibras de colágeno y elastina. Entre las células piales y la membrana basal glial de los vasos piales se observan numerosos macrófagos que presentan abundante pigmento amarillo en su citoplasma (reacción para demostración de hierro). También se encuentran mastocitos y pequeñas agrupaciones de linfocitos en las cercanías de los vasos piales. Ambas superficies de la aracnoides, las trabéculas aracnoideas y la superficie interna de la piamadre están cubiertas por un epitelio simple plano.

Los vasos piales y del plexo coroideo poseen una profusa inervación simpática proveniente de los plexos vertebral y carotídeo.

Espacios Meníngeos: En anatomía y en clínica suele nombrarse un *espacio subdural*, sin embargo, no existe espacio real entre la duramadre y la aracnoides. El *espacio subaracnoideo* se ubica entre la aracnoides y la piamadre. Este es atravesado por las trabéculas aracnoideas y contiene el líquido céfalo raquídeo (LCR). Es estrecho sobre los giros, pero es más profundo en los surcos cerebrales y a lo largo de toda la médula espinal. Las regiones en las cuales la aracnoides está bastante separada de la piamadre se denominan *cisternas* y en ellas se observan muy pocas trabéculas.

Sistema ventricular

El sistema ventricular corresponde a una serie de cavidades que se desarrolla en el interior del sistema nervioso central, en las cuales se está produciendo y circulando el líquido céfalo raquídeo. Estas cavidades están recubiertas por un epitelio endotelial, distinguiéndose:

1.- **Ventrículos laterales.** Estos están contenidos en cada hemisferio cerebral, tienen la forma de una letra C. Se describe en cada uno de ellos un cuerpo, en relación con el lóbulo parietal; una asta anterior en el lóbulo frontal; una asta posterior en el lóbulo occipital y una asta inferior en el lóbulo temporal. Cada ventrículo lateral se comunica hacia medial con el tercer ventrículo

a través del agujero interventricular o de Monroe. Desde este agujero hacia delante está el asta anterior en la cual se describe un techo un piso y una pared medial. El techo está formado por el cuerpo calloso (rodilla en el extremo anterior). El piso está formado por la cabeza del núcleo caudado y parte del rostrum del cuerpo calloso. La pared medial está formada por el septum pellucidum y pilar anterior del fornix.

Por detrás del agujero interventricular está el cuerpo del ventrículo lateral. En este se describe un techo formado por el cuerpo calloso, un piso formado por cuerpo del núcleo caudado, y parte del tálamo, también se encuentra aquí el plexo coroideo que se proyecta luego hacia el asta inferior y por último una pared medial formada por la parte mas posterior del septum pellucidum.

El asta posterior está limitada por el cuerpo calloso hacia dorsal y radiación óptica hacia lateral.

El asta inferior tiene un techo formado por la cola del núcleo caudado, un piso formado, por la eminencia colateral y mas medialmente por el hipocampo.

2.- **Tercer ventrículo.** Esta es una cavidad única en forma de hendidura situada en la línea media entre ambos tálamos e hipotálamos. Está comunicada anteriormente con ambos ventrículos laterales y posteriormente con el cuarto ventrículo a través del acueducto cerebral. En el tercer ventrículo se describe: a) pared lateral formada por el tálamo hacia dorsal y posterior y por el hipotálamo hacia ventral y anterior.; b) pared superior o techo formado por una capa endimaria recubriendo a la tela coroidea del tercer ventrículo, de la cual se desprenden los plexos coroideos . sobre la tela coroidea está el fornix y el cuerpo calloso; c) pared inferior o piso formado desde adelante hacia atrás por quiasma óptico, tuber cinereum e infundíbulo y mas posteriormente los cuerpos mamilares, d) pared anterior formada por la lámina terminalis y la comisura blanca anterior; e) pared posterior donde se encuentra la entrada al acueducto cerebral y sobre esta la comisura blanca posterior y el receso supra-pineal.

3.- **Acueducto cerebral.** Es un conducto estrecho de aproximadamente 18 mm. de longitud que comunica el tercer con el cuarto ventrículo.

4.- **Cuarto ventrículo.** Cavidad situada entre el tronco encefálico y cerebelo. En el se describe un techo y un piso. En el techo se encuentra el cerebelo. En la zona mas anterior o superior se encuentra el velo medular superior y lateralmente a el los pedúnculos cerebelosos superiores. La zona inferior o posterior del techo se encuentra formada por el velo medular inferior, lámina delgada formada por un epitelio endimario revestido por piamadre. Este velo está perforado en la línea media formándose el orificio medial o agujero de Magendie que comunica el cuarto ventrículo con la cavidad sub aracnoidea de la cisterna magna o cerebelo medular .

El piso del cuarto ventrículo está formado por la cara posterior del puente y del bulbo raquídeo. Es una zona en forma romboidea con un surco en la línea media. A cada lado de este se encuentra la eminencia medial, mas lateralmente está el surco limitante homónimo del embrionario y más lateralmente aún el área vestibular. En esta zona y por sobre los pedúnculos cerebelosos inferiores se encuentra el receso lateral del cuarto ventrículo que se abre a través de loa agujeros laterales o de Lushka hacia el espacio subaracnoideo en la región ventral del tronco encefálico, específicamente en el ángulo pontocerebeloso. En la región mas caudal de la eminencia medial se encuentra el núcleo del nervio abducente, alrededor del cual los axones del nervio facial describen una vuelta. Esto se manifiesta como un sollevamiento redondeado hacia el piso del ventrículo el cual es denominado eminencia redonda o colículo facial.

En la zona mas caudal del surco limitante es posible ver el triángulo hipogloso y el triángulo del vago, áreas triangulares que corresponden a los núcleos de los nervios craneanos correspondientes. Lateral al triángulo vagal y en el borde del piso del cuarto ventrículo se encuentra el área postrema.

5.- **Conducto central o endimario.** Este conducto se origina en el extremo caudal del cuarto ventrículo y se extiende a lo largo del bulbo raquídeo y médula espinal, terminando en el cono medular en una zona ligeramente ensanchada denominada ventrículo terminal.

El líquido céfalo raquídeo (LCR) es producido en los plexos coroideos de las cavidades ventriculares. Una pequeña cantidad se produce en las células endimarias que recubren las cavidades ventriculares. Se sabe que la producción de LCR es un proceso activo que demanda gasto de energía. Se sabe que la concentración de electrolitos tales como K, Ca y Mg es diferente al encontrado en el plasma sanguíneo. Al LCR se le atribuye una función de protección mecánica dado que forma un verdadero colchón hidráulico alrededor y dentro del sistema nervioso central. Además permite que los materiales de desecho del metabolismo celular puedan ser eliminados, así como también puede distribuir a distancia las hormonas que se producen en el hipotálamo y glándula pineal.

En condiciones normales el LCR circula desde los ventrículos laterales hacia el tercer ventrículo, luego acueducto cerebral, cuarto ventrículo, luego desde allí se dirige ya sea hacia el conducto endimario o hacia el espacio subaracnoideo de las cisternas cerebelo medular y pontina, recorriendo luego el espacio que rodea a la médula espinal hacia caudal o hacia la convexidad de los hemisferios cerebrales. La reabsorción del LCR se realiza en las granulaciones aracnoideas que se encuentran en los senos venosos especialmente en el seno sagital superior.

Irrigación encefálica

El Sistema Nervioso Central del hombre recibe el 20% del débito cardíaco. El flujo es transportado al encéfalo por cuatro troncos arteriales: dos arterias carótidas internas y dos arterias vertebrales. El cerebro es irrigado por dos tipos de arterias: (1) grandes *arterias de conducción* que se extienden desde la superficie inferior del cerebro hacia las superficies laterales de los hemisferios, tronco encefálico y cerebelo (2) las *arterias perforantes* que se originan de las arterias de conducción y penetran al parénquima cerebral para irrigar áreas específicas. Existen interconexiones entre las arterias de conducción en el cuello a través de ramas musculares y en la base del cerebro a través de los vasos que conforman el polígono de Willis. También existen interconexiones entre las arterias de las superficies hemisféricas. El tamaño de esta circulación colateral y su capacidad de suplir territorios con obstrucción transitoria o permanente del flujo es muy variable.

Las grandes arterias de conducción se originan a partir del tercer arco aórtico embrionario. La arteria carótida interna y sus ramas se desarrollan completamente a partir de este arco; por otro lado, la arteria carótida común se desarrolla de la conexión entre las raíces aórticas ventral y dorsal del tercer y cuarto arco aórtico, respectivamente. Las arterias vertebrales se originan de anastomosis laterales entre arterias intersegmentarias, constituyendo un remanente cervical de este sistema arterial que involuciona durante la embriogénesis. El desarrollo del flujo cerebral a partir de diversos constituyentes permite una variación significativa del carácter del flujo arterial y la existencia de un sistema de anastomosis que asegure el flujo.

Sistema Carotídeo

Las arterias carótidas irrigan la porción anterior del cerebro. La *arteria carótida común derecha* se origina a partir del tronco braquiocefálico, mientras la *izquierda* nace directamente del arco aórtico. Estos vasos ascienden por la porción lateral del cuello y se bifurcan a nivel del *ángulo de la mandíbula*, formando las arterias carótidas interna y externa. La *arteria carótida interna* se dirige hacia la porción anterior del cuello sin ramificarse y luego penetra a través del *canal*

carotídeo en la base del cráneo. Continúa su curso horizontalmente hacia delante a través del *seno cavernoso* y sale en la cara medial de la apófisis clinoides anterior perforando la duramadre. Luego, entra al espacio subaracnoideo atravesando la aracnoides y gira hacia atrás hasta alcanzar la región de la sustancia perforada anterior en el extremo interno de la cisura lateral. Aquí se divide en las arterias cerebrales anterior y media.

Ramas intracraneales de la Arteria Carótida interna

(1) arteria oftálmica: Nace inmediatamente fuera del seno cavernoso, tiene 3 a 5 mm de longitud, y se dirige hacia delante a través del agujero óptico hasta alcanzar la órbita e irrigar los músculos extraoculares y, a través de sus ramas terminales y arterias ciliares posteriores, la coroides y la retina. Pequeñas ramas penetrantes irrigan los dos tercios posteriores del nervio óptico. Sus ramas terminales irrigan el área frontal del cuero cabelludo, los senos etmoidal y frontal y el dorso de la nariz. Existen extensas anastomosis entre la arteria oftálmica y la carótida externa en la órbita, siendo lo suficientemente importantes como para formar un circuito de circulación colateral que lleve sangre desde la carótida externa a la carótida interna y de allí a los hemisferios cerebrales.

(2) arteria comunicante posterior: Es la segunda rama de la arteria carótida interna. Se dirige posteriormente por una corta distancia por encima del nervio oculomotor hasta conectar con la arteria cerebral posterior. Es la arteria con mayor cantidad de variantes anatómicas de todas las arterias que conforman el polígono de Willis. A veces está ausente o una de ellas es tan pequeña que su flujo es de poca relevancia. Constituye la principal interconexión entre el sistema circulatorio anterior y posterior del encéfalo. De ella se originan ramas que irrigan el hipotálamo y los pedúnculos cerebrales.

(3) arteria coroidea anterior: Se dirige posterolateralmente cerca de la cintilla óptica, penetra al asta inferior del ventrículo lateral y termina en el plexo coroideo. Irriga parte de las radiaciones ópticas, porciones variables del hipocampo, parte del núcleo caudado, el brazo anterior de la cápsula interna, la amígdala y el globo pálido.

Posteriormente, la arteria carótida interna se bifurca y origina sus dos ramas principales, las arterias cerebrales media y anterior, que irrigan la mayor parte de los hemisferios cerebrales.

(4) arteria cerebral anterior: Es la rama terminal más pequeña de la arteria carótida interna. Se dirigen anteriormente en la cisura interhemisférica por encima del quiasma óptico. Esta arteria emite pequeñas ramas que irrigan el quiasma óptico, la hipófisis y el septum pellucidum. Luego se dirige hacia arriba y atrás siguiendo al cuerpo calloso, emitiendo un número variable de *ramas corticales* que se extienden en la superficie medial del hemisferio cerebral para irrigar las porciones superior, medial y anterior de los lóbulos frontales y la superficie medial de los hemisferios cerebrales hasta el rodete del cuerpo calloso. También irrigan una porción de corteza de aproximadamente 2,5 cm de ancho en la superficie hemisférica lateral adyacente. Debido a que la porción de corteza sensitiva (giro postcentral) y motora (giro precentral) que se encuentra en la superficie medial del cerebro corresponde a las extremidades inferiores, la oclusión de esta arteria resulta en una parálisis o paresia de la extremidad inferior contralateral (hemiplejía o hemiparesia de predominio crural) con grados variables de hipoestesia. Un grupo de *ramas penetrantes* atraviesa la sustancia perforada anterior y ayuda a irrigar parte de los núcleos de la base y de la cápsula interna.

La arteria cerebral anterior emite una rama relativamente grande denominada *arteria estriada medial* (Arteria de Heubner) que penetra al parénquima e irriga la porción anterior de la cápsula interna, la porción lateral del núcleo caudado y parte de los núcleos de la base, especialmente el putamen.

Ambas arterias cerebrales anteriores se conectan a través de la *arteria comunicante anterior*, que suele ser lo suficientemente grande como para ser una importante vía de circulación colateral, conectando los sistemas carotídeos de ambos lados (es la arteria conectora anterior del polígono de Willis). Ocasionalmente, esta arteria está ausente, y ambas arterias cerebrales anteriores se originan de la arteria carótida interna correspondiente sin mayores interconexiones entre ambos sistemas carotídeos.

Las ramas terminales de esta arteria (leptomeníngicas) se interconectan con ramas similares de la arteria cerebral media en la superficie lateral de la corteza frontal y en el borde superior de los hemisferios cerebrales; estas ramas terminales también se interconectan con ramas similares de la arteria cerebral posterior en la región cortical parieto-occipital medial.

(5) arteria cerebral media: Siguiendo la bifurcación de la carótida interna, esta arteria se dirige lateralmente en la base de los hemisferios a través del surco lateral, donde se divide en 2 o 3 grandes *ramas corticales* (bifurcación o trifurcación de la arteria cerebral media) que proporcionan la irrigación para casi toda la superficie lateral de los hemisferios cerebrales, exceptuando la estrecha banda irrigada por la arteria cerebral anterior, el polo occipital y la cara inferolateral del hemisferio que están irrigados por la arteria cerebral posterior. Antes de dividirse, la arteria cerebral media emite alrededor de 20 *ramas perforantes* que se denominan *arterias lentículoestriadas*, que penetran al parénquima para irrigar la cabeza y cuerpo del núcleo caudado, globo pálido, putámen, , una pequeña porción del tálamo y la rodilla y brazo posterior de la cápsula interna.

Existen pequeñas ramas de la cerebral media que irrigan porciones del hipotálamo. Las arterias perforantes que emergen de las ramas frontal, temporal y parietal de la cerebral media irrigan la corteza cerebral y sustancia blanca adyacente de gran parte de la superficie hemisférica lateral. Existen anastomosis de estas ramas perforantes a nivel capilar. Debido a esta distribución, la arteria cerebral media irriga la porción de la corteza motora y sensitiva correspondiente a la extremidad superior, cara, lengua y parte superior de la extremidad inferior. Por ello, la oclusión de esta arteria ocasiona una parálisis o paresia (hemiplejía o hemiparesia facio-braquiocrural de predominio braquial) e hipoestesia variable de la hemicara, extremidad superior e inferior contralateral. La oclusión de la cerebral media del hemisferio dominante puede causar alteraciones del lenguaje (afasia). Por otra parte, la oclusión aguda de la arteria cerebral media en su origen casi siempre causa gran déficit motor y sensitivo debido al gran territorio comprometido. La oclusión de ramas penetrantes causa una gran variedad de síndromes clínicos, los cuales dependen del área que quede isquémica, del tamaño de la arteria ocluida y de la presencia de circulación colateral.

Existen anastomosis entre las ramas leptomeníngicas de la arteria cerebral media con la cerebral posterior en la porción posterior de la superficie hemisférica lateral. La porción más lateroposterior del lóbulo occipital puede ser irrigado tanto por la arteria cerebral media como por la cerebral posterior.

(6) En la base del cráneo, la arteria carótida interna emite numerosas ramas pequeñas que irrigan el nervio trigémino, la hipófisis y el oído medio.

Polígono de Willis

Este polígono constituye la principal conexión arterial de circulación cerebral colateral, permitiendo la interconexión de los sistemas carotídeos (circulación anterior) y vertebrobasilar (circulación posterior) de ambos lados. Se ubica en la fosa interpeduncular en la base del encéfalo y está constituido por (1) la arteria comunicante anterior (2) las arterias cerebrales anteriores (3) una pequeña porción de ambas arterias carótidas internas (4) las arterias comunicantes posteriores (5) las arterias cerebrales posteriores.

Sistema Vertebrobasilar

La porción posterior del cerebro es irrigada por las *arterias vertebrales*. Estas arterias se originan en la primera porción de las arterias subclavias y ascienden por la región lateral de la columna vertebral, entrando al agujero transverso de las vértebras cervicales. Abandonan el mencionado agujero en la vértebra C1, luego giran medialmente para penetrar al cráneo a través del foramen magno, atravesando las meninges hasta alcanzar el espacio subaracnoideo y localizarse a cada lado de la cara ventral del bulbo raquídeo, lateralmente a las pirámides. En el extremo rostral del bulbo raquídeo ambas arterias vertebrales se unen y conforman la *arteria basilar*, la cual asciende en un surco en la cara anterior del puente. En el límite superior del puente se divide en las dos arterias cerebrales posteriores. Frecuentemente, hay una gran arteria vertebral (generalmente la izquierda) y otra pequeña, existiendo una gran variabilidad en el tamaño de estas arterias. Existen anastomosis entre la circulación carotídea y vertebrobasilar a nivel de las arterias comunicantes posteriores y entre las ramas leptomeníngeas sobre los hemisferios que interconectan flujo de las arterias cerebrales media y posterior.

Las arterias vertebrales y la arteria basilar proporcionan la irrigación al tronco encefálico y al cerebelo a través de tres tipos de arterias: (1) las arterias medianas (2) las arterias paramedianas, y (3) las arterias circunferenciales. Las *arterias medianas* irrigan estructuras adyacentes a la línea media y se dirigen dorsalmente hacia el piso del cuarto ventrículo. No cruzan la línea media, por lo que cada mitad del tronco encefálico tiene irrigación independiente. Estas ramas irrigan la mayoría de los núcleos motores, el lemnisco medial y el fascículo longitudinal medial. En el extremo caudal del bulbo raquídeo, ramas medianas que se originan en las arterias vertebrales se unen para formar la arteria espinal anterior.

Las *arterias paramedianas* irrigan el área lateral a la línea media, cercano a la mitad entre los segmentos ventral y dorsal del tronco encefálico. En el bulbo raquídeo, esta área incluye los núcleos olivares y parte del tracto piramidal. En el puente, esta área contiene los núcleos pontinos y las fibras pontocerebelosas. En el mesencéfalo, las ramas paramedianas de las arterias cerebrales posteriores irrigan la porción medial de los pedúnculos cerebrales, la sustancia negra, el núcleo rojo y fibras del nervio oculomotor.

Las *arterias circunferenciales* rodean el tronco encefálico para irrigar la mayor parte de la región dorsal. Corresponden a las arterias cerebelosa inferior posterior en el bulbo, cerebelosa inferior anterior en el puente, y cerebelosa superior en el mesencéfalo. En la porción caudal del bulbo raquídeo irrigan los tractos espinocerebelosos, tractos espinotalámicos y los núcleos sensitivos del trigémino. En la porción rostral del bulbo, estas ramas irrigan los núcleos vestibulares, las vías auditivas y las fibras del nervio facial. En el puente irrigan la porción lateral del tegmento pontino, mientras en el mesencéfalo irrigan parte del pedúnculo cerebeloso superior, los colículos superiores y el cerebelo.

Ramas de la porción craneal de la arteria vertebral

(1) arteria espinal anterior: se forma de la unión de una rama contribuyente de cada arteria vertebral cerca de su terminación. La arteria única desciende por la cara anterior del bulbo raquídeo y médula espinal incluida en la piamadre, a lo largo del surco medio anterior. Es reforzada por arterias radiculomedulares que entran al canal raquídeo a través de los agujeros intervertebrales.

(2) arteria espinal posterior: puede originarse en la arteria vertebral o en la arteria cerebelosa posterior inferior. Desciende sobre la cara posterior de la médula espinal cerca de las raíces

posteriores. Es reforzada por arterias radiculomedulares que entran al canal raquídeo a través de los agujeros intervertebrales.

(3) arteria cerebelosa posterior inferior (PICA): es la rama más grande de la arteria vertebral. Tiene un curso irregular entre el bulbo raquídeo y el cerebelo. Irriga la cara inferior del vermis, los núcleos centrales del cerebelo y la superficie inferior de los hemisferios cerebelosos; también irriga el bulbo raquídeo y el plexo coroideo del cuarto ventrículo.

(4) arterias bulbares: son ramas muy pequeñas que se distribuyen en el bulbo raquídeo.

(5) ramas meníngeas: estas pequeñas arterias irrigan el hueso y la duramadre en la fosa craneal posterior.

Ramas de la arteria basilar

(1) arterias pontinas: son numerosas ramas pequeñas que penetran al puente.

(2) arteria laberíntica (auditiva interna): es una arteria larga y estrecha que acompaña a los nervios facial y vestibulococlear en el conducto auditivo interno, donde se divide en dos ramas: una irriga la cóclea y la otra el laberinto. A menudo nace de la arteria cerebelosa anterior inferior, pero ocasionalmente emerge directamente de la arteria basilar.

(3) arteria cerebelosa anterior inferior (AICA): se dirige hacia atrás y lateralmente para irrigar la porción anterior e inferior del cerebelo. Algunas ramas se dirigen al puente y porción rostral del bulbo raquídeo. En la superficie del cerebelo existen algunas interconexiones entre ramas de esta arteria y de la arteria cerebelosa posterior inferior.

(4) arteria cerebelosa superior: se origina cerca del extremo rostral de la arteria basilar. Pasa alrededor del pedúnculo cerebral e irriga la superficie superior del cerebelo, los pedúnculos cerebelosos superior y medio, el puente, la epífisis y el velo medular superior. Por sobre los colículos superiores ramas de esta arteria se anastomosan con ramas de la arteria cerebral posterior.

(5) arteria cerebral posterior: en el hombre, esta arteria se origina como rama terminal de la arteria basilar y rara vez constituye una rama directa de la carótida interna. El origen puede ser asimétrico, emergiendo de la basilar en un lado y de la carótida interna en el otro. Luego se curva lateralmente y hacia atrás alrededor del mesencéfalo y se une con la rama comunicante posterior de la arteria carótida interna. *Ramas corticales* irrigan las superficies inferolateral y medial del lóbulo temporal y las superficies lateral y medial del lóbulo occipital. Las ramas más distales de la arteria cerebral posterior irrigan la corteza calcarina (corteza visual primaria). *Ramas penetrantes* irrigan los pedúnculos cerebrales, la porción posterior del tálamo, núcleo lenticular, Glándula pineal y cuerpo geniculado medial. Una *rama coroidea posterior* entra en el asta inferior del ventrículo lateral e irriga el plexo coroideo; también irriga el plexo coroideo del tercer ventrículo.

Circulación Colateral del Encéfalo

La principal fuente de circulación colateral potencial en el cuello es la conexión entre la arteria carótida externa y las ramas extracraneales de la arteria vertebral. La arteria carótida interna no tiene ramas en el cuello. Si se ocluye una arteria carótida común, las anastomosis a través de las ramas musculares de ambas carótidas externas permiten un flujo a la carótida interna sobre la oclusión. También existen anastomosis entre las arterias musculares del cuello y ramas occipitales de las arterias vertebrales, las cuales pueden permitir el flujo en una arteria vertebral ocluida en su porción más proximal.

La principal vía de circulación colateral desde fuera del cráneo hacia adentro se establece a través de la órbita. Ante la oclusión de una arteria carótida interna proximal al origen de la arteria oftálmica, el flujo puede restablecerse sobre la oclusión a través de la arteria oftálmica

(con flujo en sentido reverso), la cual recibe flujo desde varios vasos orbitales que se originan en la carótida externa ipsilateral.

El polígono de Willis es la principal conexión anastomótica entre el sistema carotídeo y el vertebrobasilar, aunque son frecuentes anomalías en la composición fundamental del polígono. El entrecruzamiento de un sistema carotídeo y otro permite que la oclusión de una arteria carótida interna no sea un suceso catastrófico desde el punto de vista de la irrigación encefálica y los posibles extensos déficits neurológicos.

Las arterias cerebrales anterior, media y posterior tienen importantes conexiones entre ellas a través de sus ramas leptomenígeas. Ramas de la cerebral media se anastomosan con ramas de la cerebral anterior en las cercanías del polo frontal, dorsalmente a lo largo del vértice del lóbulo frontal y sobre los giros pre y post central. Igualmente, ramas de la cerebral media se anastomosan con ramas de la cerebral posterior en la región occipital y a lo largo de la superficie inferior del lóbulo temporal. Si bien estos vasos no son visibles fácilmente en la inspección, la angiografía permite distinguirlos fácilmente. En la superficie medial de los hemisferios, en la región rostral al surco parieto-occipital y al rodete del cuerpo caloso, existen importantes conexiones entre ramas de la cerebral anterior y ramas de la cerebral posterior. Aunque las arterias cerebrales se anastomosan entre sí en el polígono de Willis y por medio de ramas en la superficie de los hemisferios cerebrales, una vez que entran en el parénquima del encéfalo ya no se producen más anastomosis (circulación terminal).

En 1951, McDonald y Potter demostraron que la irrigación de cada mitad del encéfalo proviene de las arterias carótidas interna y vertebral ipsilateral y que sus respectivos flujos se unen en la arteria comunicante posterior en un punto donde la presión de ambas es igual y no se mezclan. Sin embargo, si se obstruye la arteria carótida interna o la arteria vertebral, la sangre se dirige hacia adelante o hacia atrás a través de ese punto para compensar la reducción del flujo. También se ha demostrado que las dos corrientes de sangre desde las arterias vertebrales permanecen separadas y en el mismo lado de la luz de la arteria basilar y no se mezclan.

Inervación de las arterias cerebrales

Las arterias cerebrales están ricamente inervadas por fibras simpáticas postganglionares que se originan en el ganglio simpático cervical superior. La estimulación de estos nervios produce vasoconstricción de las arterias cerebrales. En condiciones normales, el flujo sanguíneo local es controlado principalmente por las concentraciones de CO_2 , O_2 y H^+ presentes en el tejido nervioso; una elevación en las concentraciones de CO_2 y H^+ , o una reducción de la presión de O_2 producen una vasodilatación.

Circulación y Metabolismo Cerebral

El flujo cerebral, como cualquier otro flujo, está determinado por principios físicos como la ley de Laplace de la hidrostática y la ley de Poiseuille de la hidrodinámica. La ley de Laplace muestra que la velocidad del flujo es proporcional al diámetro del vaso y a la viscosidad de la sangre. Si bien la sangre no es un fluido Newtoniano, cumple casi todos los requerimientos de esta ley y puede ser válidamente utilizada. El flujo es modificado considerablemente por la viscosidad de la sangre, la cual depende fundamentalmente del hematocrito. De hecho, un incremento del hematocrito aumenta la viscosidad de la sangre, y por ende, disminuye el flujo. Con hematocritos sobre 60% la sangre ya no se comporta como un fluido.

Bajo condiciones normales el flujo cerebral depende de: (1) la presión de perfusión (presión arterial media o PAM) en la base del cerebro (2) la resistencia vascular (RV), determinada por el diámetro arterial y la viscosidad de la sangre. La PAM en la base cerebral estando en decúbito es de 90 mmHg, a la cual se le debe restar los 10 mmHg de presión venosa. Este valor cambia poco

con los cambios de posición ya que ocurren modificaciones en la circulación periférica que permiten una perfusión cerebral constante.

El flujo sanguíneo cerebral puede medirse por medio de una inyección intracarotídea o inhalación de criptón o xenón radiactivos. Suele expresarse como flujo por 100 g. de cerebro en 1 minuto, usando el peso cerebral normal para la edad. En un adulto joven sano, el flujo sanguíneo cerebral normal es de de 900 a 1.000 ml/min o 55 a 60 ml/100 g de encéfalo/min (15 a 20% del gasto cardíaco en reposo).

El flujo cerebral es relativamente constante e independiente de la presión arterial periférica en un amplio rango de valores (entre 40 y 160 mmHg). Este mecanismo se denomina *autorregulación del flujo cerebral* y consiste en que ante una caída del PAM, ocurre una vasodilatación cerebral; lo contrario ocurre cuando aumenta la PAM.

Existen numerosos factores que pueden aumentar o disminuir el flujo sanguíneo cerebral:

- (1) el aumento en la presión arterial de *dióxido de carbono* (PaCO_2) es el estímulo más potente para aumentar el flujo cerebral. Así, un aumento en el 5% de la PaCO_2 aumenta en un 50% el flujo cerebral; por otro lado, una caída de la PaCO_2 del 50% reduce el flujo cerebral en un 30%. Estos cambios se explican porque cuando aumenta la PaCO_2 se genera una vasodilatación cerebral, y viceversa.
- (2) La presión arterial de *oxígeno* (PaO_2) también modifica el flujo cerebral, pero en menor cuantía que el CO_2 . Aumentos en la PaO_2 inspirando oxígeno al 100% disminuye el flujo cerebral en un 10 a 15%.
- (3) El flujo cerebral local puede ser modificado por *metabolitos locales* como lactato, ADP, cambios en el pH o CO_2 . Un aumento en la actividad metabólica local genera una vasodilatación de las arteriolas regionales, aumentando el flujo.
- (4) El aumento de la *presión intracraneana* (PIC) genera un aumento reflejo de la PAM, lo que permite mantener el flujo en niveles normales. Sin embargo, cuando la PIC supera los 450 mm de LCR el flujo disminuye considerablemente.
- (5) También existe un *control neural* sobre el flujo cerebral. Existe inervación simpática (adrenérgica) y parasimpática (colinérgica) sobre los vasos cerebrales más grandes en la base del cerebro y en la superficie hemisférica (vasos de resistencia), sin embargo, parece haber evidencia de una rica inervación a nivel de la microcirculación. La mayoría de las fibras provienen de la cadena simpática periférica, aunque cierta parte de ellas se originan dentro del cráneo. Si bien la estimulación simpática produce cambios evidentes en los vasos, pareciera ser que los cambios en el flujo cerebral son leves, a diferencia de lo que sucede con la estimulación de metabolitos. Existe cierta evidencia de que existiría un centro regulador del flujo cerebral en el tronco encefálico. Algunos estudios experimentales han mostrado que la estimulación del núcleo fastigio genera un aumento del flujo cerebral; también existirían algunas fibras del locus coeruleus que inervan pequeños vasos cerebrales.
- (6) Los cambios en la *temperatura corporal* también modifican el flujo cerebral, como fenómeno relacionado a un cambio en el metabolismo cerebral. La hipertermia se asocia a un aumento del flujo cerebral; sin embargo, si la temperatura supera los 42° C el metabolismo cerebral cae y el flujo disminuye.
- (7) Algunas drogas pueden modificar el flujo cerebral a través de cambios en el metabolismo del tejido nervioso.

En condiciones metabólicas normales, el principal sustrato metabólico del encéfalo es la glucosa, la cual se metaboliza en un 90% aeróbicamente y un 10% anaeróbicamente. El cerebro usa glucosa en rangos de 5.5 mg/100 g de cerebro/min. Existe una fuerte interrelación entre el

flujo cerebral y la actividad metabólica local, que puede verse seriamente alterada en episodios de isquemia.

Venas

Las delgadas paredes de las venas encefálicas no tienen capa muscular ni poseen válvulas. Salen del encéfalo y se ubican en el espacio subaracnoideo; luego atraviesan la aracnoides y la capa meníngea de la duramadre y drenan en los senos venosos craneales.

El sistema de drenaje venoso del encéfalo consta de un *sistema superficial* y de un *sistema profundo*. Ambos sistemas drenan a un sistema colector de *senos venosos*. Este sistema colector finalmente drena la sangre del encéfalo hacia las venas yugulares internas que dejan el cráneo a través de agujero yugular. Una pequeña porción de la sangre abandona el cráneo a través de anastomosis entre los senos duros y venas del cuero cabelludo, venas diploicas y venas emisarias.

Sistema de Drenaje Venoso Superficial

Está compuesto por grandes venas superficiales que se agrupan de la siguiente manera: (1) el *grupo superior* está conformado por las **venas cerebrales superiores** se dirigen hacia arriba sobre la superficie lateral del hemisferio cerebral y drenan en el seno sagital superior. (2) el *grupo horizontal*, también denominado medio, está conformado por la **vena cerebral media superficial** que drena la superficie lateral del hemisferio cerebral. Discurre por debajo de la cisura lateral y se vacía en el seno cavernoso (3) el *grupo inferior* está conformado por la **vena cerebral media profunda** que drena la ínsula y se une con las **venas cerebral anterior** y **del cuerpo estriado** para formar la **vena basal** (de Rosenthal).

Sistema de Drenaje Venoso Profundo

Este sistema puede tener algunas ramas dirigidas hacia las venas superficiales, sin embargo, el sistema se vacía principalmente hacia venas ventriculares bastante grandes. Cerca del agujero interventricular, se unen un conjunto de venas (*terminal, septal anterior, caudada anterior y talamoestriada*) para dar origen a dos **venas cerebrales internas**, que discurren posteriormente en la tela coroidea del tercer ventrículo y se unen por debajo del rodete del cuerpo calloso para formar la **vena cerebral magna** (de Galeno), la cual drena en el seno recto. La **vena basal** drena la sangre de la región preóptica, hipotálamo y mesencéfalo rostral hacia la vena cerebral magna, o incluso directamente en el seno recto.

Senos Venosos

Los senos venosos duros son grandes sistemas colectores que drenan la sangre del encéfalo hacia las venas yugulares internas.

El **seno sagital superior** comienza anteriormente a la crista galli y se extiende sobre el cerebro entre ambos hemisferios, recibiendo la sangre de las venas cerebrales superiores. A través de las venas diploicas, este seno se conecta con venas del cuero cabelludo. Termina vaciándose en la *confluencia de los senos* en la protuberancia occipital interna.

El **seno sagital inferior** se une a la vena cerebral magna para formar el **seno recto**. Este seno se dirige posteriormente en medio del tejido formado por la unión de la hoz del cerebro y la tienda del cerebelo, hasta vaciarse en la confluencia de los senos. La sangre abandona la confluencia a través de dos **senos transversos**. La sangre del seno sagital superior suele hacerlo por el seno transverso derecho, mientras que el izquierdo drena la sangre del seno recto. El pequeño **seno occipital** también drena en la confluencia desde abajo. Cada seno transverso avanza por el margen lateral de la tienda del cerebelo hasta alcanzar la base de la pirámide petrosa, en donde

gira inferiormente y pasa a denominarse *seno sigmoide*, al cual drena la sangre del *seno petroso superior* que trae la sangre del oído medio y áreas adyacentes. En el agujero yugular el seno sigmoide pasa a denominarse vena yugular interna. En la primera porción de esta vena, denominada bulbo yugular, drena el *seno petroso inferior* que trae la sangre desde el seno cavernoso, oído interno, puente y estructuras adyacentes.

El *seno cavernoso* es un espacio venoso irregular en la duramadre a cada lado de la silla turca, que se extiende desde la fisura orbitaria superior hasta la porción petrosa del temporal. A través de este seno pasan las siguientes estructuras: (1) rama oftálmica del trigémino (2) nervio oculomotor (3) nervio abducente (4) nervio troclear (5) arteria carótida interna. Este seno recibe la sangre de la órbita a través de las venas oftálmicas, y de la porción anterior de la base del cerebro a través de las venas cerebrales medias; finalmente drena a las venas yugulares internas a través de los senos petrosos.

El sistema de drenaje venoso encefálico puede ser afectado por los siguientes elementos patológicos: (1) La oclusión trombótica del seno sagital superior puede alterar la reabsorción del LCR, con el consecuente daño cerebral por hidrocefalia.

(2) La afección del hueso temporal puede generar una trombosis del seno transversal

(3) La oclusión de las venas cerebrales profundas o de la vena cerebral magna se asocia a encefalomalacia hemorrágica de estructuras profundas.

(4) La oclusión séptica o estéril del seno cavernoso afecta el drenaje venoso de la órbita, causando edema del tejido orbitario.

Correlatos Clínicos

Las lesiones vasculares del encéfalo son, junto al infarto al miocardio, la principal causa de muerte en nuestro país. Estudios clínicos y post mortem han llamado la atención sobre la alta frecuencia de lesiones en las arterias carótidas comunes, carótidas internas y vertebrales en el cuello.

La alteración del flujo sanguíneo cerebral puede ser causada por muchas enfermedades, siendo las más importantes: (1) enfermedad aterosclerótica (2) embolia cerebral (3) ruptura de vasos cerebrales (accidente vascular encefálico (AVE) hemorrágico) (4) lipohialinosis de arterias penetrantes producto de la hipertensión arterial.

Fisiopatología y anatomía patológica: El cerebro necesita un flujo sanguíneo constante (55 L/g/min), de forma que la ausencia persistente de flujo o su disminución bajo los 10 mL/g/min origina una zona de necrosis isquémica o "infarto anémico". No se conoce el tiempo necesario de isquemia para que se produzca un infarto, pero según datos experimentales en animales se estima en 3 a 4 horas.

Durante las primeras horas de isquemia, la zona de infarto está rodeada de una *zona de penumbra isquémica*, en la que las estructuras nerviosas no mueren, pero no funcionan adecuadamente. El porvenir funcional de la zona de penumbra depende de varios factores, entre ellos, la circulación colateral al área infartada. Cuando la isquemia es causada por la oclusión súbita de un vaso cerebral de gran tamaño, como ocurre en la cardioembolia, se puede originar un "infarto rojo" por la extravasación de sangre. Su génesis se atribuye a la migración periférica del trombo en el árbol vascular y la restauración de flujo sanguíneo en vasos que han sufrido lesiones isquémicas. El infarto anémico es más frecuente en las trombosis arteriales, pero, a veces, ambos tipos de infarto se observan en una lesión isquémica, por lo que la diferenciación carece de utilidad práctica.

La morfología de los infartos cerebrales depende de la localización de la obstrucción vascular. En general, tienen una disposición “triangular” con el vértice en la obstrucción y la base en la corteza. Este tipo de infarto evoluciona hacia la sustitución de la zona necrótica por una gliosis fibrilar y/o a la cavitación. En ocasiones, la trombosis de un vaso grande, sobre todo de las carótidas común o interna, origina *infartos laminares* en el territorio limítrofe de las arterias cerebrales. Otro tipo de infartos cerebrales son los *infartos lacunares*, los cuales consisten en pequeñas *lagunas* de 1 a 15 mm producidas por la oclusión de arteriolas penetrantes en el tálamo, núcleos de la base y tronco encefálico. La oclusión se produce por la hialinosis de dichos vasos generada por la HTA y/o la diabetes. La existencia de múltiples lesiones de este tipo se denomina *état lacunaire* de Pierre-Marie. Otras lesiones isquémicas son la atrofia cortical granular, consecuencia de isquemia y/o hipoxia como la que se produce en lesiones de grandes vasos o en la insuficiencia cardíaca grave, y la desmielinización isquémica de la sustancia blanca. Al parecer, estas lesiones desmielinizantes pueden tener una etiología múltiple: alteraciones isquémicas (hialinosis de arteriolas, angiopatía amiloídea), ensanchamiento de espacios perivasculares y atrofia cortical. El hecho es que estas lesiones miélicas son constantes en la encefalopatía de Binswanger.

Cuadro clínico: Las manifestaciones clínicas de la isquemia cerebral focal dependen de: (1) la ubicación de la lesión (2) la extensión (3) la intensidad de la isquemia.

Los principales síndromes de isquemia cerebral focal son:

Territorio de la arteria carótida interna

- (1) *Síndrome superficial de la arteria cerebral media:* hemiparesia (o hemiplejía) de predominio braquial, con compromiso facial, hemihipoestesia contralateral y hemianopsia o cuadrantanopsia; si afecta el hemisferio dominante (generalmente el izquierdo) hay afasia.
- (2) *Síndrome profundo de la arteria cerebral media:* Hemiparesia o plejía aislada contralateral, que compromete de forma análoga la cara, el brazo y la pierna (hemiplejía "armónica"), sin afección visual.
- (3) *Síndrome completo de la arteria cerebral media:* Combina los dos síndromes anteriores (hemiplejía asociada a hemihipoestesia contralateral y hemianopsia).
- (4) *Síndrome de la arteria cerebral anterior:* Hemiparesia de predominio crural, contralateral asociada con frecuencia a incontinencia urinaria.

Territorio vertebrobasilar

- (1) *Síndrome de la arteria cerebral posterior:* Hemianopsia contralateral, hemihipoestesia contralateral y, en ocasiones, dependiendo del tamaño del infarto, paresia leve (la arteria cerebral posterior puede provenir de la carótida interna).
- (2) *Otros síndromes:* Es característico de los síndromes del tronco encefálico la afectación ipsilateral de pares craneales más hemiparesia contralateral (Síndrome alterno), el nistagmo y/o el compromiso de conciencia (alteración de la formación reticular). Uno de los síndromes más constantes es el que se produce por la oclusión de la arteria cerebelosa inferior posterior, con infarto de la porción lateral del bulbo (*síndrome de Wallenberg*). Se presenta con ataxia cerebelosa, hemihipoestesia facial y síndrome de Horner ipsilaterales y disminución de la termalgesia en el hemicuerpo contralateral, además de nistagmo, disfagia, disartria, náuseas, vómitos, singulto (hipo) y preservación motora (las vías motoras son mediales). En el síndrome de *cautiverio* o *locked-in*, el paciente queda consciente y tetrapléjico debido al compromiso motor pontino con preservación de la formación reticular. Los síndromes talámicos son muy variados y su espectro comprende desde un síndrome amnésico o confusional, hasta cuadros de déficit sensitivos y motor contralateral. El infarto

cerebeloso tiene interés clínico ya que es posible tratarlo quirúrgicamente dado que si se asocia a edema secundario progresivo puede comprimir el tronco encefálico; por ello, a los signos de hemiataxia e hipotonía ipsilateral se pueden añadir los de disfunción de tronco: pares craneales, vías largas y compromiso de conciencia. No es posible diferenciarlo de la hemorragia cerebelosa sin ayuda de la TAC cerebral. El *robo de la subclavia* se produce por la desviación del flujo sanguíneo desde la arteria vertebral hacia la subclavia cuando se realiza ejercicio físico con el brazo ipsilateral producto de una estenosis grave de la arteria subclavia antes de la salida de la vertebral. En ocasiones, puede originar síndromes de isquemia en el territorio vertebrobasilar, aunque la mayoría de las veces es asintomática.