

FLUJO SANGUÍNEO CEREBRAL

* Jaime Ricardo González E.

RESUMEN

A puertas del siglo XXI, siglo de las neurociencias, se presenta en este artículo, una revisión sobre el Flujo Sanguíneo Cerebral. Se expondrán inicialmente algunos conceptos anatómicos, para luego tratar diferentes aspectos relacionados con la fisiología de la circulación cerebral, tales como el Flujo Sanguíneo Regional y los Mecanismos de Regulación, entre otros. Se presentan además algunas de las técnicas de imagenología, actualmente utilizadas en el estudio de la circulación cerebral.

Palabras clave: Flujo Sanguíneo Cerebral, Polígono de Willis, Microcirculación, Imagenología.

ABSTRACT

On the doorstep of the 21 st century, the era of the neurosciences, this article reviewing cerebral blood flow, is presented.

At the outset some anatomical concepts will be covered, followed by a discussion of different physiological aspects of cerebral blood flow, such as the Regional blood flow and regulatory mechanisms amongst others.

Also discussed, are some imaging techniques currently used in the study of cerebral blood flow.

Key Words: Cerebral blood flow, Circle of Willis, Microcirculation, Imaging Techniques.

* *Estudiante de Medicina 11 Semestre, Facultad de Medicina de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín - Colombia. S.A.*

Separatas: Calle 47C # 83-90. Medellín - Colombia. e-mail : jrgonzalez@epm.net.co

ASPECTOS ANATÓMICOS CIRCULACIÓN ARTERIAL

La irrigación cerebral en el hombre está dada por dos grandes sistemas: El sistema carotídeo y el sistema vértebro-basilar. (1, 2, 3, 4, 5)

Sistema Carotídeo

La arteria carótida primitiva nace del tronco braquiocefálico y se divide a nivel del seno carotídeo en carótida externa y carótida interna; esta última asciende por el cuello y entra al cráneo por el conducto carotídeo del hueso temporal, continúa su recorrido horizontalmente a través del seno cavernoso, dentro del cual describe un trayecto contorneado en "s" itálica conocido como el sifón carotídeo; posteriormente sale en la cara medial de la apófisis clinoides anteriores, luego entra en el espacio subaracnoideo y gira hacia atrás en dirección a la región de la sustancia perforada anterior del encéfalo en el extremo interno de la cisura lateral, dividiéndose en este punto en sus dos ramas terminales: La arteria cerebral anterior y la arteria cerebral media. Antes de su bifurcación, la arteria carótida interna da las siguientes ramas: (1,2, 3,6)

- Arteria Oftálmica
- Arteria Comunicante Posterior
- Arteria Coroidea Anterior

Sistema Vértebro-Basilar

La arteria vertebral, rama de la primera parte de la arteria subclavia, asciende por el cuello atravesando los agujeros de las apófisis transversas de las seis vértebras cervicales superiores, entra al cráneo a través del agujero occipital, atraviesa la durama-

dre y aracnoides para entrar en el espacio subaracnoideo y luego de un corto trayecto, a nivel del borde inferior de la protuberancia, se une con la arteria vertebral del lado opuesto para formar la arteria basilar; ésta a su vez avanza por la cara ventral de la protuberancia hasta su límite con el mesencéfalo donde se bifurca en sus dos ramas terminales: Las arterias cerebrales posteriores. (1,2,3,6)

En su trayecto, las arterias vertebral y basilar dan las siguientes ramas:

Arteria Vertebral:

- Ramas Meníngeas
- Arteria Espinal Anterior
- Arteria Espinal Posterior
- Arteria Cerebelosa Postero Inferior (PICA)
- Arterias Bulbares

Arteria Basilar:

- Arteria Auditiva Interna
- Arterias Pónticas
- Arteria Cerebelosa Antero Inferior
- Arteria Cerebelosa Superior

Estos dos sistemas se anastomosan, por medio de sus ramas, a nivel de la base del cráneo en el mesencéfalo para conformar el "Polígono de Willis" (ver fig-1), ubicado en la fosa interpeduncular y formado por las siguientes arterias: (1,2,3,6)

- Arterias Carótidas Internas
- Arterias Cerebrales Anteriores
- Arteria Comunicante Anterior
- Arterias Cerebrales Posteriores
- Arterias Comunicantes Posteriores
- Arteria Basilar

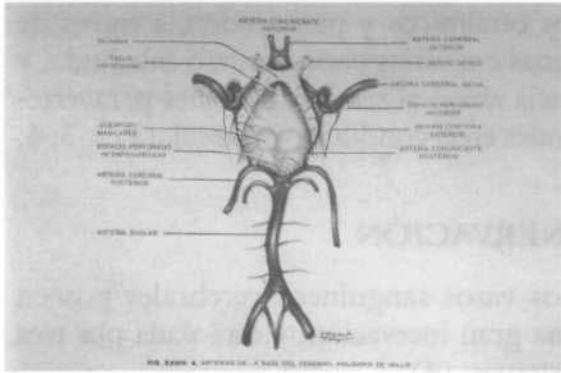


Figura 1: Arterias que conforman el "Polígono de Willis".

A partir de él, se originan ramas corticales y centrales que van a irrigar todo el encéfalo. El "Polígono de Willis" permite que la sangre que entra por cualquiera de las arterias carótidas internas o vertebrales sea distribuida hacia cualquier parte de los hemisferios. Esta propiedad es especialmente importante, ya que, en situaciones de isquemia, causadas por la obstrucción (trombosis, embolias, etc.) de una de las arterias que conforman el polígono, puede suplirse esta deficiencia por medio de circulación colateral.

Característica de los sistemas Carotídeo y Vertebro-Basilar

Estos dos sistemas poseen algunas características que los diferencian:

Sistema Carotídeo

Nace maduro, posee gran inervación autonómica y a medida que se va ramificando, sus vasos cambian de diámetro de manera progresiva.

Sistema Vertebro-Basilar

Nace inmaduro, tiene poca inervación autonómica y en contraste con el sistema an-

terior, sus vasos sufren un cambio abrupto de diámetro.

Con base en las características anteriores, Hachinski, plantea en su teoría del centro-encéfalo, que el sistema vertebro-basilar, no maneja tan bien las sobrecargas de presión, como lo hace el sistema carotídeo.

CIRCULACIÓN VENOSA

El drenaje venoso del cerebro comprende dos sistemas: Un sistema superficial, que recoge la sangre de la región cortical y un sistema profundo que drena los núcleos centrales. (1,2,3,6)

Sistema Venoso Superficial

Se inicia como un plexo de pequeñas venas en la Pía, que confluyen para formar venas mayores que desembocan en los senos de la Duramadre.

Está conformado por tres grupos de venas según su localización:

Grupo Superior: Formado por ocho a diez venas que drenan al Seno Longitudinal Superior.

Grupo Lateral: Conformado principalmente por la Vena Cerebral Media Superficial o Vena Lateral, que sigue el curso de la fisura lateral del cerebro y cuya sangre pasa al Seno Cavernoso.

Grupo Basal : Representado por la Vena Basal de Rosenthal que drena la superficie basal del lóbulo temporal y de la ínsula; la Vena Basal, a nivel del cuerpo calloso, se une con la Vena Cerebral Interna, principal colector del sistema profundo para formar la gran Vena Cerebral de Galeno; ésta, tras un corto trayecto se abre en el Seno Recto.

Las venas de este sistema superficial son variables en cuanto a número y posición, y tienen anastomosis también variables, entre estas, las más constantes son: La Vena Anastomótica Superior (o Vena de Trolard) que une la Vena Cerebral Media Superficial con el Seno Longitudinal Superior y la Vena Anastomótica Inferior (o Vena de Labbé) que comunica la Vena Cerebral Media con el Seno Transverso. (1,2,3,6)

Sistema Venoso Profundo

Conformado por las Venas Terminal y Cerebral Interna; en su recorrido, estas venas reciben afluentes del núcleo caudado, núcleo lenticular, de la cápsula interna, del septum pelúcido, del tálamo y de los plexos coroideos.

La sangre de este sistema profundo es tributaria del Seno Recto, a través de la Vena Cerebral Magna (o de Galeno). (1, 2, 3, 6)

Este drenaje venoso luego de pasar por los senos de la Duramadre (ver fig-2), se vacía principalmente en las Venas Yugulares Internas; una cantidad reducida de sangre venosa drena a través de los plexos veno-

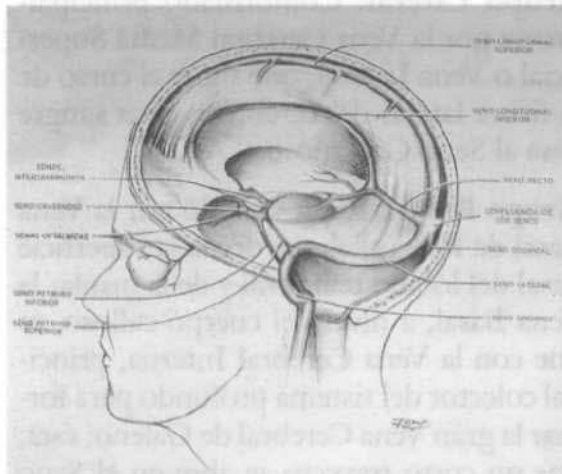


Figura 2: Senos venosos de la Duramadre.

sos oftálmicos y pterigoideo, a través de venas emisarias hacia el cuero cabelludo, y hacia abajo al sistema de venas paravertebrales en el conducto vertebral. (1, 2, 3, 4, 6)

INERVACIÓN

Los vasos sanguíneos cerebrales poseen una gran inervación, y está dada por tres sistemas: (4)

Neuronas Simpáticas: sus cuerpos celulares están ubicados en los ganglios cervicales superiores y utilizan como neurotransmisores la noradrenalina y el neuropeptido; su función es vasoconstrictora. (1,2,4,5,7,8)

Neuronas Colinérgicas: Sus cuerpos celulares están ubicados en los ganglios esfenopalatinos y utilizan como neurotransmisores la acetil-colina y el PVI (Péptido Vaso Activo Intestinal); su función es vasodilatadora. (4)

Nervios Sensitivos: Proporcionan inervación principalmente a las arterias más distales, sus cuerpos celulares están ubicados en los ganglios del trigémino y emplea como neuro transmisores la sustancia P y la neurocinina A; como consecuencia de esta inervación, tocar o tirar de los vasos sanguíneos cerebrales produce dolor. (4)

CAPILARES CEREBRALES (MICROCIRCULACIÓN)

- Los capilares cerebrales presentan algunas características especiales que los diferencian de otras zonas vasculares. (4, 5, 7)

- Su pared presenta un revestimiento continuo de células endoteliales, íntimamente adosadas, sin dejar espacios intercelulares.
- La unión de estas células endoteliales se da mediante las zónulas ocludens que cierran el espacio intercelular.
- Están rodeados en 85% de su superficie por los pies terminales de los astrocitos (Glia Perivascular) que se unen íntimamente a la membrana basal de los capilares.(ver fig-3)

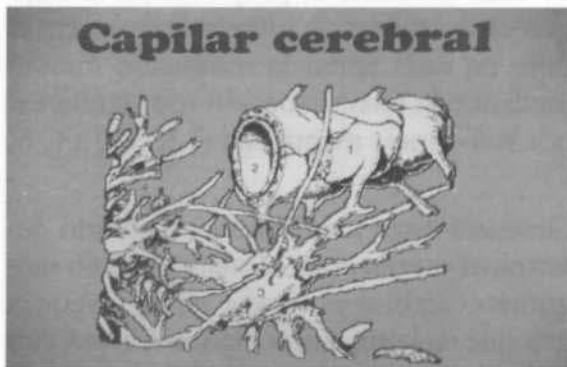


Figura 3: Capilar cerebral. 1) Terminación de un Astrocito, alrededor del capilar. 2) Célula Endotelial. 3) Neuronas Perivasculares.

- El citoplasma endotelial presenta una cantidad relativamente reducida de vesículas; debido a esto, el transporte vesicular es escaso.
- En los plexos coroideos hay espacios entre las células endoteliales y la pared capilar, pero las células epiteliales coroideas que los separan del líquido cefalorraquídeo están conectadas entre sí por medio de uniones cerradas.

Estas características de los capilares cerebrales constituyen la base de la barrera hemato-encefálica, que impide el paso de múltiples sustancias y fármacos de alto peso molecular al sistema nervioso central. (4, 5, 7)

FISIOLOGÍA DE LA CIRCULACIÓN CEREBRAL

El cerebro es uno de los órganos del cuerpo humano con mayor requerimiento de oxígeno, con cifras de 3.3. ml/gr./min., lo cual representa cerca de un 15-20% del consumo de oxígeno del organismo en reposo. (1,2, 4, 5, 7)

Es a su vez altamente susceptible a la anoxia, mostrando cambios en el electroencefalograma con sólo 10-20 segundos de isquemia, y produciendo inconsciencia en 5-10 segundos de cese total del flujo. Siendo las zonas más sensibles las neuronas de la corteza, el stratum, tálamo, hipocampo, cerebelo y las neuronas de la formación reticular del tallo cerebral. (1,2,4)

El flujo sanguíneo cerebral (F.S.C.) promedio en adultos jóvenes es de 54ml/100g/min; el encéfalo adulto posee un peso alrededor de 1400 gr., por lo cual el flujo encefálico total es de cerca de 756 ml/min. (1, 2, 4, 5, 7)

El F.S.C. se calcula de acuerdo con el "método Kety". Este se basa en el "principio de Fick" que plantea: " El flujo sanguíneo de cualquier órgano puede medirse determinando la cantidad de una sustancia dada (Qx) retirada de la corriente circulatoria por el órgano, por unidad de tiempo, y dividiendo ese valor por la diferencia entre la concentración de la sustancia en la sangre arterial y la concentración en la sangre

venosa del órgano.

([Ax] - [Vx]). Por tanto:

$$\text{E.S.C. (Flujo Sanguíneo Cerebral)} \\ = \frac{Q_x}{[Ax] - [Vx]}$$

Para medir el E.S.C., se utilizan cantidades subanestésicas de óxido Nitroso (N₂O), la cual, después de ser inhalada y gracias a que posee características especiales de difusión en el sistema nervioso central, es captada rápidamente por el encéfalo. (4, 5, 7)

FLUJO CEREBRAL REGIONAL

Se ha reconocido que el flujo sanguíneo es diferente en distintas zonas del cerebro, y que varía de acuerdo con el estado funcional de cada región. (1, 2, 4, 5, 7)

En la actualidad se utilizan diferentes métodos con el fin de medir el flujo sanguíneo regional, entre ellos, tenemos:

- La Tomografía por Emisión de Positrones.
- La Tomografía con Emisión de Fotón Único. (2, 4, 5, 7).

La tomografía por emisión de positrones (T.E.P.). Esta técnica, teniendo en cuenta que el flujo sanguíneo está estrechamente relacionado con el metabolismo encefálico, considera que la captación local de 2-desoxiglucosa en diferentes zonas del cerebro, es un buen índice para medir el flujo sanguíneo. La 2-desoxiglucosa es marcada con un emisor de positrones de semidesintegración corta, como ¹⁸F, ¹¹O, ¹⁵O, posteriormente puede vigilarse su concentración en cualquier parte del encéfalo mediante T.E.P., a través del cráneo intacto en sujetos vivos. (4, 5, 7)

Otro método empleado para medir el flujo cortical cerebral local, lo constituye la Tomografía con Emisión de Fotón Único (T.C.E.F.U.), que mediante la administración intracarotídea de Xenón (¹³³Xe), Yodoanfetamina, marcada con ¹²³I (¹²³I-IMP), u otros marcadores y la colocación de detectores de centelleo ubicados en diversas partes del cráneo, puede encontrarse su distribución a nivel de la corteza cerebral. Las imágenes son reproducidas por medio de un computador que las proyecta a una pantalla de televisión a colores, de manera que el color que corresponde a la localización de cada detector, es proporcional al flujo que está detectando, determinando así, el flujo en cada zona; la resolución mejora mediante la reconstrucción tomográfica o por resonancia magnética (I.R.M.) (4, 5, 7)

Gracias a estos métodos se ha podido determinar que en el ser humano, el flujo sanguíneo cerebral es mayor en la sustancia gris que en la sustancia blanca. Cuando un individuo está en reposo, el flujo sanguíneo promedio en la sustancia gris es de 69 ml/100gr/min en comparación con 28 ml/100gr/min en la sustancia blanca.

La zona con mayor irrigación en el cerebro la constituye el tubérculo cuadrigémino inferior con cifras de 1.80 ml/g/min.

Durante el cierre voluntario de la mano derecha, se produce un incremento inmediato del flujo sanguíneo en el área correspondiente a la mano en la corteza motora izquierda y en las áreas sensitivas correspondientes en la circunvolución post-rolándica. La lectura de un libro incrementa el flujo sanguíneo en múltiples áreas del encéfalo, en especial en la corteza occipital y en las áreas del lenguaje de la corteza temporal.

En personas que están despiertas, pero en reposo, los sitios que se encuentran con mayor irrigación, son las regiones premotora y frontal; estas son las zonas del encéfalo que se consideran relacionadas con la decodificación y análisis de los impulsos aferentes y con la actividad intelectual.

Cuando las personas hablan, hay un aumento bilateral en el flujo sanguíneo en las áreas de la corteza motora, premotora y sensitiva correspondientes a la cara, lengua y boca en el hemisferio dominante (de ordinario el izquierdo). Cuando el habla es creativa, o sea que contiene ideas, el flujo se aumenta en las áreas sensitivas del lenguaje de Wernicke y en el área motora del lenguaje de Broca, ubicadas en la mayoría de las personas en el hemisferio izquierdo o dominante. (4, 5, 7)

Las técnicas de T.E.P. y T.C.E.F.U. han sido de gran utilidad clínica en el estudio de varias enfermedades neuro-psiquiátricas.

En pacientes epilépticos durante una crisis aguda de convulsiones, los focos epileptogénicos son hiperémicos (ver fig-4). En la enfermedad de Alzheimer, el cambio más temprano que se observa es la disminución del metabolismo y del flujo sanguíneo en la corteza parietal superior con propagación posterior a la corteza temporal y finalmente a la frontal. En la enfermedad de Huntington, hay una reducción bilateral en el flujo sanguíneo al núcleo caudado, alteración que se da tan tempranamente en la enfermedad, que probablemente puede ser un marcador predictor de gran importancia para detectar individuos asintomáticos en riesgo de padecer esta enfermedad. En los maníaco-depresivos hay una disminución general en el flujo sanguí-

neo cortical cuando los pacientes están deprimidos. Finalmente, en la esquizofrenia, hay cierta evidencia de disminución del flujo sanguíneo en los lóbulos frontales, temporales y ganglios basales. (4, 5, 7, 9)

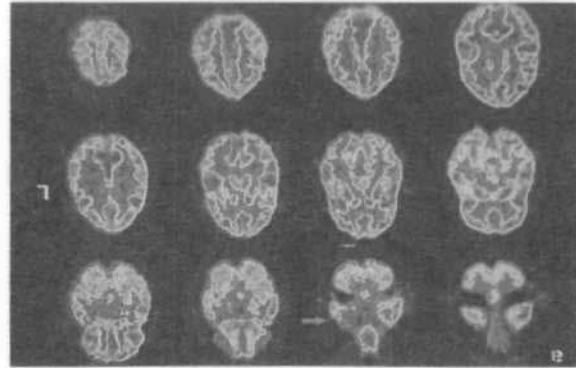


Figura 4: Tomografía por Emisión de Positrones (T.E.P.), de paciente con convulsión. Los colores rojo y azul, representan, aumento y disminución, del flujo sanguíneo respectivamente.

FACTORES QUE AFECTAN EL FLUJO SANGUÍNEO CEREBRAL

Diversos factores afectan el flujo sanguíneo cerebral total; son ellos: La presión arterial y venosa a nivel encefálico, la presión intracraneal, la viscosidad de la sangre y el grado de constricción o dilatación activa de las arteriolas cerebrales. (Ver fig-5) (1, 2, 4, 5, 7, 8)

En el ser humano, tanto el cerebro, como la médula y el líquido cefalorraquídeo están encerrados junto con los vasos cerebrales en la rígida cavidad craneal, la cual contiene normalmente un encéfalo con peso aproximado de 1.400 gr., 75 ml. de sangre y 75 ml. de líquido cefalorraquídeo.



Figura 5: Factores que afectan el Flujo Sanguíneo Cerebral.

De acuerdo con la doctrina del Monro-Kellie, el tejido encefálico y el líquido cefalorraquídeo son esencialmente incompresibles, por lo tanto, el volumen de sangre, líquido cefalorraquídeo y encéfalo, en el cráneo, deben ser constantes en cualquier momento. Cuando aumenta la presión intracraneana a más de 33 mm Hg, los vasos cerebrales son comprimidos, reduciendo significativamente el flujo sanguíneo cerebral; la isquemia que se produce como resultado, estimula el área vasomotora aumentando la presión arterial sistémica y generando un estímulo vagal que produce bradicardia y la respiración se hace más lenta. Al elevarse la presión arterial ayuda a mantener el flujo sanguíneo cerebral, lo cual fue descrito por Cushing. (1, 4, 5)

En caso de no controlarse la causa que genera el aumento de la presión intracraneana, finalmente se alcanza un punto en el cual ésta supera la presión arterial llevando a un cese de la circulación cerebral.

Otro importante factor que puede modificar el F.S.C., lo constituye, el grado de dilatación o constricción de las arterias, aumentándolo o disminuyéndolo respectivamente.

Son varios los agentes que pueden afectar el calibre de los vasos sanguíneos cerebrales. Merecen especial atención, las sustancias producidas por el endotelio, las cuales pueden tener efectos vasodilatadores, como el óxido Nítrico y las Prostaglandinas, o, vasoconstrictores, como la endotelina y los tromboxanos. Adicionalmente pueden encontrarse otros factores que pueden modificar el calibre de los vasos, como son, el péptido Angiotensina II, los iones Potasio y la temperatura.

Siendo la presión venosa, a nivel encefálico, otro importante factor que afecta el F.S.C., debemos tener en cuenta que cualquier cambio en la presión venosa causa rápidamente un cambio similar en la presión intracraneal; debido a esto, cuando aumenta la presión venosa disminuye el flujo sanguíneo cerebral, ya que se disminuye la presión de perfusión efectiva y además se genera compresión de los vasos cerebrales. (4,5)

REGULACIÓN DEL FLUJO SANGUÍNEO CEREBRAL

El sistema nervioso central es extremadamente sensible a la hipoxia, por esto es indispensable mantener el flujo sanguíneo cerebral dentro de unos niveles estrictos. Para regularlo se requiere de varios mecanismos: (2, 4, 5, 7, 8)

- Autorregulación
- Control Metabólico
- Control Nervioso

Autorregulación

Mediante un mecanismo intrínseco, el F.S.C. está muy bien autorregulado entre

los límites de presión arterial media, de 60 a 150 mm. Hg, es decir, la presión arterial puede disminuir en forma brusca hasta 60 mm. Hg o se puede aumentar hasta 150 mm. Hg sin que ocurra una modificación importante en el F.S.C. En este rango de presión los vasos sanguíneos producen una vasoconstricción como respuesta a elevaciones de la presión, evitando así que se transmitan presiones altas a los vasos de pequeño calibre y puedan ocasionar un estiramiento exagerado y grave de los vasos sanguíneos generando A.V.C. (Accidente Vascular Cerebral) hemorrágico; cuando la presión cae, hay una vasodilatación, evitando que se presenten lesiones isquémicas. Este mecanismo vascular es adecuado para mantener el F.S.C. en niveles normales, y la respuesta completa se presenta entre 15-30 segundos. (4, 5, 7, 8)

Control Metabólico

El flujo sanguíneo cerebral está muy relacionado con el mecanismo de este tejido. Son tres los factores que ejercen efectos potentes para controlar el F.S.C.; son ellos: La concentración de dióxido de carbono, la de hidrogeniones y la concentración de oxígeno.

Un incremento de la concentración de dióxido de carbono en la sangre arterial, que perfunde el cerebro, aumenta mucho su flujo sanguíneo; se cree que el mecanismo por el cual sucede este aumento es el siguiente: el dióxido de carbono al combinarse con el agua de los líquidos corporales forma ácido carbónico, éste a su vez, se disocia, produciendo hidrogeniones, los que generan finalmente vasodilatación cerebral, en un grado casi directamente proporcional a la concentración de hidrogeniones.

Así mismo, cualquier otra sustancia que aumente la acidez del tejido encefálico y como consecuencia también la concentración de hidrogeniones, incrementa el F.S.C.; entre estas sustancias se incluyen el ácido láctico y el ácido pirúvico.

El descenso en la concentración de CO₂, genera vasoconstricción; este mecanismo es importante en los estados de hiperventilación.

La utilización de oxígeno por el tejido cerebral se mantiene en unos límites muy estrechos, debido a esto si el F.S.C no aporta la cantidad adecuada de éste, se produce una vasodilatación cerebral que tiende a normalizar el aporte de oxígeno al tejido cerebral. (4, 5, 7, 8)

Regulación Nerviosa

Los vasos sanguíneos cerebrales poseen una intensa inervación simpática, proveniente de los ganglios simpáticos cervicales. Esta inervación se da principalmente a nivel de las arterias mayores y en las arteriolas de la Pía.

Este sistema de regulación simpática del F.S.C. se reviste de gran importancia en los casos en los cuales el mecanismo autorregulador no alcanza a compensar adecuadamente situaciones de estrés en el aporte sanguíneo cerebral. Un ejemplo en el cual este sistema de regulación actúa, ocurre cuando durante el ejercicio extenuante la presión arterial aumenta hasta niveles muy altos: una descarga simpática genera la contracción de las arterias de mayor calibre, evitando así que presiones altas alcancen los vasos sanguíneos más pequeños. (4, 5, 7, 8)

IMAGENOLOGÍA DE LA CIRCULACIÓN CEREBRAL

Se cuenta con diferentes métodos de imagenología que permiten visualizar los vasos sanguíneos y sus alteraciones, como son: La angiografía cerebral, que mediante inyección previa de un medio de contraste en las arterias cerebrales y realizando exposiciones radiológicas sucesivas, permite observar los troncos arteriales principales y sus ramas, lo mismo que el llenado de las venas y senos de la Duramadre. Mediante este método se pueden visualizar alteraciones vasculares, como aneurismas u obstrucciones, fístulas arterio-venosas, o por desplazamiento de los vasos localizar lesiones que ocupan espacio dentro del cerebro, como tumores, hematomas, o dilataciones de los ventrículos. Adicionalmente, la angiografía cerebral se reviste de gran importancia ya que permite el tratamiento, por métodos de terapia endovascular, de diferentes enfermedades (Aneurismas, fístulas, etc.) (Ver fig-6) (1, 2, 10)

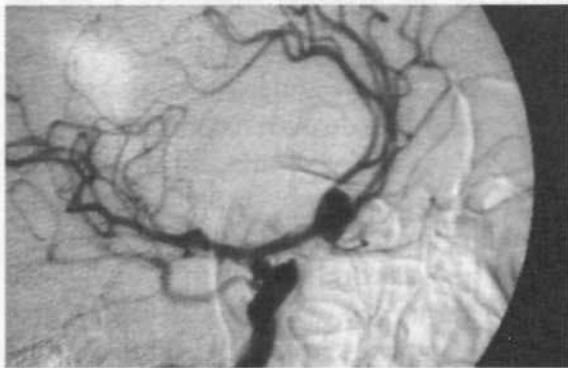


Figura 6: Angiografía que demuestra Aneurisma de la Arteria comunicante anterior.

Otro método empleado actualmente en nuestro medio es la angiorresonancia mag-

nética, técnica que permite analizar trayectos vasculares cortos y largos mediante sus técnicas de contraste de fase y tiempo de vuelo respectivamente, tanto en vasos arteriales como venosos; es de gran utilidad para observar con mayor nitidez sitios de curvas y bifurcación de arterias, lo mismo que todo tipo de alteraciones en los vasos sanguíneos cerebrales. (Ver figs. 7 y 8) (11, 12, 13,15)

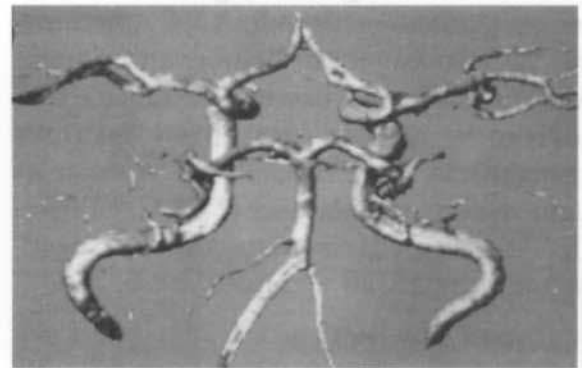


Figura 7: Angiorresonancia cerebral, en la cual se observa el "Polígono de Willis", y un pequeño aneurisma localizado en la bifurcación de la arteria cerebral media.

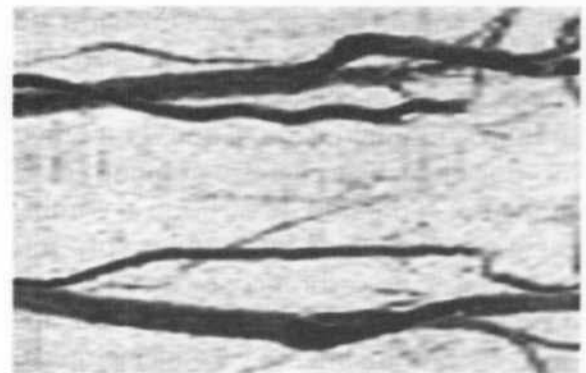


Figura 8: Angiorresonancia cerebral mostrando las arterias carótidas y su bifurcación.

También se cuenta con el AngioT.A.C, técnica que permite una clara visualización de placas calcificadas en las arterias; se utiliza además para observar curvas y bifurcaciones arteriales. (12)

Métodos más recientes no invasivos como son el Doppler transcraneano y el Dúplex, nos permiten, el primero de estos, evaluar con importante precisión la hemodinamia de las arterias intracraneanas; y el segundo, la tecnología dúplex, nos permite evaluar el territorio de vasos extracraneanos, de gran utilidad para observar alteraciones en la región carotídea. (14)

Gracias a los importantes adelantos en el campo de la radiología, se han desarrollado técnicas para vigilar el flujo sanguíneo regional cerebral, en personas vivas. Dichas técnicas son la Tomografía por Emisión de Positrones (T.E.P.) y la Tomografía Computarizada por Emisión de Fotón Único (T.C.E.F.U.) ya expuestas anteriormente, mediante las cuales se realiza un mapeo, del comportamiento del flujo sanguíneo cerebral en diversas zonas del encéfalo, durante situaciones de reposo, movimiento y patológicas. Han tenido gran repercusión clínica en el estudio de varias enfermedades neuro-psiquiátricas, tales como Epilepsia, Alzheimer, Huntington, Esquizofrenia, etc.(2, 4, 5, 7) ■

REFERENCIAS

1. Bustamante, Jairo. Irrigación Cerebral. En: Neuroanatomía Funcional, 1 Ed. Bogotá: Fondo Educativo Interamericana, S.A., 1978; 273-281
2. Bustamante, Jairo. Irrigación Cerebral. En: Neuroanatomía Funcional, 2 Ed. Bogotá: Celsus, 1994; 405-430.
3. Snell, Richard. Irrigación del Encéfalo. En: Neuroanatomía Clínica, 3. Ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 1995; 496-514.
4. Ganong, William. Circulación Cerebral. En: Fisiología Médica, 15. Ed. México, D.F: Manual Moderno, S.A., 1996; 670-680.
5. Tresguerres, J. A. F. Circulación Cerebral. En: Fisiología Humana, 1. Reimpresión. España: Interamericana-McGraw -Hill, 1993; 638-640.
6. Sobotta. Duramadre Craneal y Senos de la Duramadre, Arterias del Encéfalo, Encéfalo. En: Atlas de Anatomía Humana, 2a Ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 1994; 251-275
7. Guyton, Arthur. C. Flujo Sanguíneo Cerebral, Líquido Cefalorraquídeo y Metabolismo Encefálico. En: Anatomía y Fisiología del sistema Nervioso, 2. Ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 1994; 335-343.
8. Williams, John. L.; Furlan, Anthony J. Cerebral Vascular Physiology in Hypertensive Disease. Neurosurg Clin North Am 1992; 3 :509-520.
9. Savic, Invanca., Shuler, Lori., Baxter, Lew., Engel, Jerome. Pattern of Interictal Hypometabolism in P.E.T. scans with Fludeoxyglucose F-18 Reflects Prior Seizure Types in Patients with Mesial Temporal Lobe Seizures. Arch. Neurol. 1997; 54: 135.

10. Gómez, Juan. F Diagnóstico por imágenes del Trauma Encefalocraneano. En: Patiño., J; En: Actualización en Image-nología, 1. Ed. Medellín: Editorial Uni-versidad de Antioquia, 1995; 58.
11. Edwards, M. Magnetic Resonance Im-aging of the Children. B.C. Decker, 1990.
12. Haward Lee., S; Krishna., R; Zimmer-man., R. M.R.I. and C.T., 3 Ed. McGraw-Hill , 1994.
13. Vargas, Sergio. Evolución de la Image-nología en Neurología. En: Uribe., Car-los. S; Arana.,Abraham; Lorenzana., Pablo; eds. Fundamentos de Medicina-Neurología, 5. Ed. Medellín: CIB. Im-pre-Andes, 1996; 63-93.
14. Gómez, Luis. F Técnicas Diagnósticas no Invasivas en la E.C.V. En: Arana., A; Lo-pera., F; eds. V curso de Actualización en Neurología. 5 Ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, 1996; 167-174.
15. Maeder, Philippe., Meuli, Reto., Tribol-et, Nicolas. Three-dimensional volume rendering for Magnetic Resonance An-giography in the screening and preope-rative workup of intracranial aneurysms. J. Neurosurg. 1996; 58:1050-1055.

REFERENCIAS

1. Burtman, John Imagen Central. En: Neuroanatomía Funcional, 1 Ed. Bogotá: Fondo Educativo Interameri-cano S.A., 1978; 375-381