

MONITORIZACION PER-OPERATORIA DEL CEREBRO Y LA MEDULA ESPINAL EN EL PACIENTE NEUROQUIRURGICO

Dra. Carmen Aguila M., Dr. Melchor Lemp M.***

* *Dpto. de Anestesia y Reanimación*

** *Dpto. de Neurología y Neurocirugía Hospital Clínico Universidad de Chile*

RESUMEN

Se presentan los diversos métodos para evaluar la función del S.N. y el flujo sanguíneo cerebral, durante el procedimiento anestésico de los pacientes portadores de una lesión del SN que requieran de un tratamiento quirúrgico. Hoy en día, es posible tener una aproximación muy fiel del funcionamiento y de las necesidades metabólicas del Sistema Nervioso, durante la anestesia general, a través de un monitoreo continuo de diversos parámetros, con técnicas cada vez más difundidas y al alcance de nuestros medios.

SUMMARY

We present different methods to assess the Nervous System function and the Cerebral Blood Flow during general anesthesia in the surgery of pathologies of the brain and spinal cord. Today, we have modern techniques that allow us to know the metabolic needs, the cerebral blood flow and some functions of the Central Nervous System when the patient is anesthetized or under sedation in the intensive care unit.

INTRODUCCION

En un paciente despierto se evalúa la función del sistema nervioso central y periférico a través del examen neurológico y algunos exámenes de Laboratorio, como el EEG y la RMN. El tratamiento quirúrgico de diversas lesiones del SN puede efectuarse bajo anestesia local, regional o general. Cuando se utiliza la anestesia general, es necesario

contar con diversas técnicas que permitan la evaluación inmediata de la función nerviosa o bien de su flujo sanguíneo. Por esta razón, en las últimas décadas se han comenzado a usar tests de laboratorios, previamente utilizados sólo en el diagnóstico de lesiones del SNC, para un monitoreo continuo intraoperatorio. Además, este monitoreo extiende su uso a la sala de cuidados intensivos, dado el uso de sedación necesaria para el manejo de lesiones del cerebro acompañadas de Hipertensión Endocraneana.

OBJETIVOS

Mostrar los diferentes métodos de monitorización del paciente neuroquirúrgico, haciendo especial énfasis en aquellos utilizados durante el acto quirúrgico, y que continúan en la Unidad de Cuidados Intensivos. También se describirá brevemente el fundamento neurofisiológico de ellos y su aplicación de acuerdo a la patología y la localización de la lesión.

DESCRIPCION

La monitorización básica habitual en un paciente neuroquirúrgico sometido a una anestesia general se muestra en la Tabla N° 1 y se refiere a la vigilancia de la función cardiovascular, respiratoria, renal, hidroelectrolítica, del metabolismo ácido-base y otras. Además comprende el monitoreo de la función neuromuscular que se afecta con el uso de fármacos relajantes musculares. El monitoreo cardiovascular invasivo se efectúa a través del cateterismo de una arteria periférica, de una vía venosa central y el catéter de Swan-Ganz. La disponibilidad de una vía venosa central se fundamenta en lo siguiente:

- a. Hipovolemia preexistente
- b. Intercambio de volúmenes intraoperatorios
- c. Riesgo de hemorragias

- d. Función miocárdica
- e. Vía terapéutica alternativa en caso de embolia aérea
- f. Uso de drogas vasoactivas.

Tabla Nº 1

Monitorización básica intraoperatoria

Capnógrafo: EtCO ₂	- Oxímetro de pulso: saturación de O ₂
Electrocardiograma	- Doppler precordial
Estetoscopio esofágico	- Termómetro esofágico
Estimulador de nervio periférico	- Vía venosa central y arterial periférica
PaO ₂ - pCO ₂ - pH - ELG	- Hematocrito-Glicemia
Diuresis horaria	- Dinamap

La función cerebral puede estimarse con diversas técnicas, cada una dirigida a controlar diferentes parámetros, las que en su conjunto permitirán aproximarse al estado funcional global del SNC. Por otra parte el flujo sanguíneo cerebral puede ser estimado con otros métodos (Tabla Nº 2)

Tabla Nº 2

Monitoreo del sistema nervioso

MONITOREO DE LA FUNCION

Examen neurológico discontinuo: wake-up test
Monitoreo neurofisiológico: EEG y Potenciales Evocados
Medición de la Presión intracraneal

MONITOREO DEL FLUJO SANGUINEO CEREBRAL

Doppler transcraneal
Saturación de O₂ de la vena yugular
Otras técnicas.

MONITOREO DE LA FUNCION DEL SISTEMA NERVIOSO.

Examen Neurológico

El wake-up test (1) se utiliza para evaluar la función

neurológica después de una manipulación quirúrgica reversible que potencialmente puede provocar un daño en el Sistema Nervioso. Utilizado con frecuencia en la cirugía de la Escoliosis, su sensibilidad está en duda. Esto se debe a que la interrupción parcial del FSC a la sustancia blanca de la médula, puede tomar varias horas para manifestar la pérdida de función y dado que el test sólo se aplica en forma intermitente, la detección del daño podría no ser advertida. Sin embargo, el test parece correlacionarse bien con los resultados neurológicos post-operatorios.

Monitoreo neurofisiológico

a. Electroencefalograma

Cuando la entrega de oxígeno disminuye por debajo del consumo promedio normal (CMRO₂), se altera la actividad eléctrica cerebral. Dado que esto se presenta antes que se pierda la integridad celular, el registro EG continuo constituye un buen sistema de alarma ante la hipoxemia o isquemia cerebrales y da oportunidad para corregirlas precozmente. Con la mayoría de las técnicas anestésicas, el trazado EEG se altera cuando el flujo sanguíneo cerebral normal, de 50 ml/100 gr/min, disminuye a 20 ml/100 gr, min. Cuando se usa isoflurane, estos cambios se producen en un nivel más bajo. La vitalidad celular no está amenazada hasta que el FSC no llegue a 12 ml/100 gr/min. Se deduce que existe un margen de seguridad entre el inicio de las anomalías del EEG y la amenaza de la vitalidad celular, lapso que permite efectuar las correcciones más adecuadas.

El registro continuo del trazado electroencefalográfico, tiene dos propósitos fundamentales:

- a. Determinar la profundidad anestésica, y
- b. Detección precoz de isquemia.

Esto último es de gran utilidad en la cirugía de carótida (endarterectomía).(2)

b. Potenciales Evocados

Se refieren a la actividad eléctrica del SNC que es evocada por un estímulo sensorial, ya sea eléctrico, auditivo o visual. Se expresan en términos de **latencia**, que es el tiempo medido desde la aplicación del estímulo y la máxima amplitud conseguida, y de **amplitud**, definida como la diferencia de voltaje

entre dos peaks de polaridad opuesta o en relación a un nivel 0 predeterminado. Los cambios de significación clínica se expresan como **aumento de la latencia y disminución de la amplitud**. (3)

Esta actividad eléctrica es de tres tipos:

1. **Periféricos** o de nervios craneales: Son potenciales de acción propagados y registrados directamente en el nervio o plexo y son de gran amplitud.
2. **Subcorticales**: son producidos por la actividad sináptica generada en células subcorticales y por potenciales de acción de vías nerviosas de conexión. Pueden registrarse sobre la médula espinal y el tronco cerebral y son de amplitud menor.
3. **Corticales**: producidos por la suma de potenciales postsinápticos en la capa piramidal de la corteza cerebral y también son de pequeña amplitud. Se registran sobre la corteza, filtrando y promediando las señales.

De acuerdo a estos conceptos, los exámenes más utilizados son:

- a. **Potenciales Evocados Somato Sensitivos (PESS)**: evalúan la sensibilidad del axis nervioso desde el nervio periférico hasta la corteza. Así, pueden monitorizarse el nervio periférico, la médula espinal, y estructuras subcorticales y corticales del cerebro. Las respuestas se registran en el nervio, el plexo, los cordones posteriores de la médula espinal, el tronco cerebral y la corteza cerebral. Se utilizan en cirugía vascular cerebral, como los aneurismas y malformaciones arterio-venosas. También tienen su aplicación en la cirugía de fosa posterior, tronco cerebral y médula espinal..
- b. **Potenciales Evocados Motores (PEM)**: evalúan la función de la vía motora durante la cirugía de columna vertebral y médula espinal.
- c. **Potenciales Evocados Auditivos (PEA)**: se utilizan para medir la función auditiva (8º nervio craneal) desde la porción coclear del nervio, su trayecto en el tronco cerebral y la proyección hasta la corteza del lóbulo temporal. Su uso indicado está en la cirugía de la fosa posterior.

d. **Potenciales Evocados Visuales (PEV)**: usados para estimar la vía visual desde retina a la corteza occipital, siendo útiles en cirugía de Hipófisis y de la región selar.

Se describen diferentes factores que pueden deteriorar los Potenciales evocados y que deben tenerse en cuenta para su interpretación correcta (4):

1. **Disfunción neuronal localizada**. En la zona quirúrgica las causas suelen ser por trauma, isquemia, hipotermia o hipertermia. En áreas no quirúrgicas las causas pueden deberse a compresión del nervio periférico secundario a una mala posición de una extremidad o el uso del tonosilómetro de Presión Arterial (Dinamap), y también por isquemia e hipotermia.
2. **Factores sistémicos**: anestésicos, hipotensión arterial, hipoxemia, hipotermia e hipocapnia.
3. **Factores técnicos**: cuando existe incapacidad de provocar o registrar estímulos o bien cuando se presentan artefactos en el registro, por el uso de algunos aparatos como la electrocoagulación, el trépano, el aspirador ultrasónico, etc.

Otros factores pueden ser la manipulación quirúrgica, movimientos del paciente y el Electrocardiograma. Dentro de los factores sistémicos que alteran los potenciales evocados están los anestésicos, cuyos efectos principales se resumen más adelante:

- I. **Fentanyl**: no modifican ni amplitud ni latencia.
- II. **Thiopental**: aumentan la latencia.
- III. **Propofol**: aumentan la latencia sin cambios en la amplitud.
- IV. **Halogenados**: aumentan la latencia y disminuyen la amplitud (dosis dependiente)
- V. **Oxido nitroso**: aumentan la latencia y disminuyen la amplitud.

La técnica anestésica utilizada en el registro de los Potenciales Evocados intraoperatorios debe provocar una supresión mínima de ellos, un registro adecuado de las señales y su uso de rutina no debe agregar complicaciones clínicas.

Medición de la Presión Intracraneana (PIC).

La presión intracraneana es una constante que depende del equilibrio entre los tres compartimentos o volúmenes intracraneales, es decir el Líquido céfaloorraquideo (LCR), el volumen sanguíneo (VSC) venoso y arterial y el parénquima cerebral. Según la doctrina de Monro-Kelly modificada, el aumento de uno de estos compartimentos se hace a expensas de los otros, de manera de mantener una PIC constante. Lo mismo sucede si aparece un volumen extra (hematoma intracraneal, edema cerebral, etc.) lo que provocará el desplazamiento de uno o más de ellos, de manera que la PIC se mantenga en valores normales (15 a 20 mmHg). Cuando se agotan estos mecanismos compensatorios, se dice que el cerebro disminuye su capacitancia ("compliance"), lo que en casos extremos lleva a una Hipertensión intracraneana inmanejable.(5)

Métodos para medir la PIC

1. **Sistema intraparenquimatoso:** Basado en la colocación de una fibra óptica a 13-14 mm de la corteza a través de un trépano. Se prefiere ubicarlo ipsilateral a la lesión. Sus ventajas radican en su colocación fácil y la fidelidad de la medición. No sirve para drenar LCR.
2. **Catéter ventricular:** Se instala un catéter en el sistema ventricular, de preferencia en el cuerno frontal derecho (hemisferio no dominante), basado en el hecho que los ventrículos representan la presión media del cerebro. La enorme ventaja es la de permitir drenar LCR cuando es necesario. Sus desventajas son la colocación difícil cuando los ventrículos están colapsados y el riesgo de infección.
3. **Captor subdural:** La colocación de una lengüeta en el espacio subdural es sencilla, y el riesgo de infecciones del sistema es menor, pero puede no ser muy fiel en las mediciones y no permite el drenaje de LCR.
4. **El tornillo epidural** de Richmond es menos invasivo y sus cualidades lo asemejan al captor subdural.

El registro continuo de la PIC permite obtener una curva que tiene una configuración característica que resulta de la respuesta del compartimento cerebral a los cambios de volumen provocados por el flujo de sangre durante la sístole. De esta manera refleja la capacitancia («compliance») dinámica del cerebro. La curva normal tiene tres puntas típicas, P1, P2 y P3, de origen arterial, que en caso de una situación normal decrecen en amplitud de P1 a P3. En casos que existe compromiso de la capacitancia, las amplitudes de P2 y P3 aumentan en relación a P1, cambiando la forma de la curva, lo que significa una información de gran valor en el manejo de un paciente inconsciente con HiC (Fig 1).

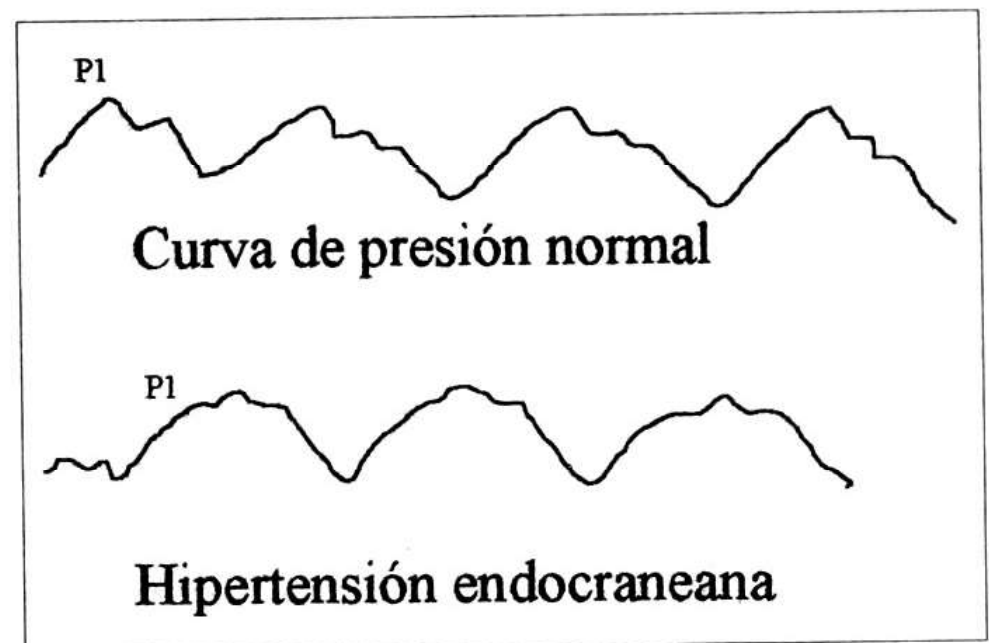


Figura N°1. Monitoreo de la Presión Intracraneana

Los objetivos básicos del registro continuo permiten prevenir y/o adelantarse a episodios de herniación cerebral y optimizar el manejo de la HIC. Las principales indicaciones de monitoreo de la PIC son:

1. TEC grave: Glasgow ≤ 8 .
2. Post-operatorio de Tumores cerebrales o Hemorragias intracraneales.
3. Hidrocefalia hipertensiva
4. Hipertensión intracraneana de otro origen : por ej. Insuficiencia Hepática en la Hepatitis fulminante.

Presión de perfusión, flujo sanguíneo y autorregulación cerebral.

La Presión de Perfusión Cerebral (PPC) es influida y va a depender de la Presión Arterial media (PAM), A su vez ,la PPC también es influida directamente

por la PIC, especialmente cuando los valores de esta última tienden a igualar a la Presión Arterial Media (PAM), lo que se expresa en la siguiente fórmula (6):

$$PPC = PAM - PIC$$

Por otra parte, el flujo sanguíneo cerebral (FSC) se autoregula a través de dos mecanismos. El primero de ellos es la autoregulación de presión, la que permite al cerebro mantener un FSC estable dentro de un rango amplio de presiones de perfusión mediante la variación del grado de vasoconstricción arteriolar. En situación normal estas presiones varían entre 50 y 150 mm Hg. Cuando se pierde esta autoregulación (por ej. en un trauma cerebral severo) la relación entre el FSC y la PPC se hace lineal. (Fig. N° 2). Es decir, nuevos aumentos del FSC por aumento de la demanda, pueden resultar en elevaciones de la PIC especialmente cuando la capacidad de tolerar nuevos volúmenes («compliance») del cerebro está agotada, anulando los beneficios del incremento del FSC al aumentar el volumen sanguíneo cerebral (VSC). En la mayoría de los casos, el punto inferior de la curva se desvía hacia PPC mayores: preservación parcial de la autoregulación por presión.

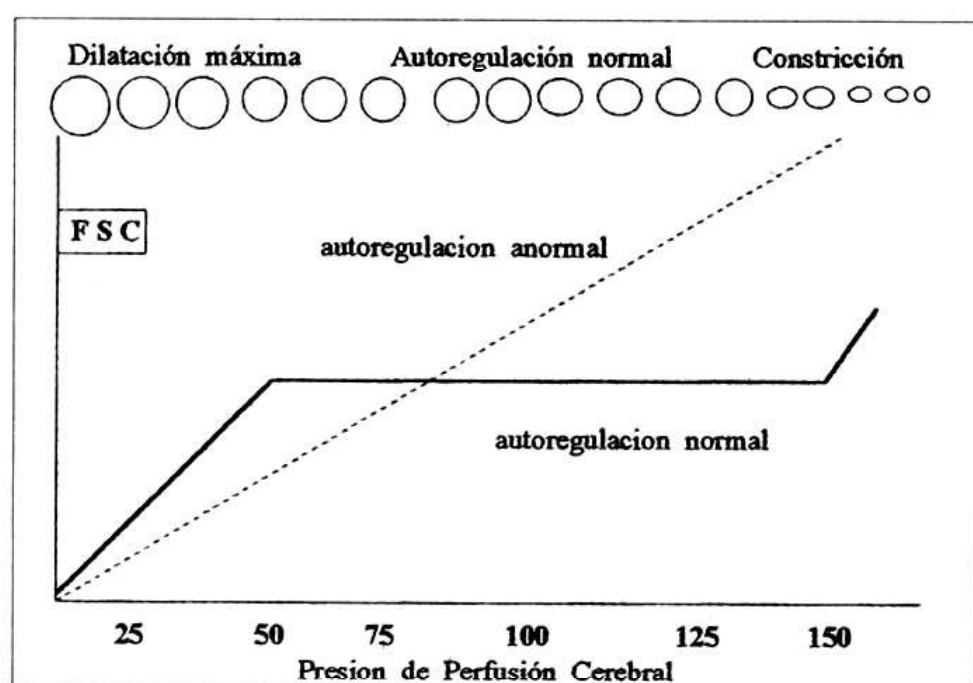


Figura N° 2

El otro mecanismo de la autoregulación del FSC es la llamada autoregulación metabólica, la que modula el FSC según las necesidades metabólicas del SNC. De esta manera se produce una vasodilatación frente a la isquemia, la hipoxia y la hipercapnia. Sin embar-

go, en caso de disminución de la capacitancia, este aumento del volumen sanguíneo puede llevar a incrementos indeseables de la PIC. El caso típico ocurre en un traumatizado severo que está ventilando mal por obstrucción de la vía aérea. Este mecanismo de autoregulación también lleva a la vasoconstricción durante la alcalosis inducida por hiperventilación, mecanismo relativamente resistente al trauma, que se preserva generalmente en los TEC severos y constituye una de las herramientas terapéuticas en estos casos, vía disminución del VSC.

El aumento del VSC en respuesta a stress metabólicos secundarios a un FSC inadecuado puede provocar o aumentar una Hipertensión intracraneana (HIC). En estos casos se puede observar que, mejorando el FSC por aumento de la PPC, se reduce el VSC y consecuentemente disminuye la PIC. De ahí que una estimación de la PPC en este tipo de pacientes es mandatorio, para lo cual es imprescindible monitorizar la PIC, la saturación de O₂ en el golfo de la vena yugular y otros parámetros, como el Doppler transcraneal.

Isquemia cerebral

Se produce cuando el FSC es insuficiente para cubrir las demandas metabólicas del encéfalo. En esta situación se produce una perfusión tisular disminuida y entrega inadecuada de O₂, con aumento de la extracción de oxígeno y remoción insuficiente de CO₂. Esto lleva a un metabolismo anaeróbico, con aumento de la producción de ácido láctico intracelular, disminuyendo la síntesis y reserva de fosfatos de alta energía. También se activan los canales de Ca⁺⁺ con su entrada masiva a la célula. Hay una elevación de las fosfolipasas y se produce destrucción de membranas, llevando a una ruptura de la barrera hematoencefálica.

MONITOREO DEL FLUJO SANGUÍNEO CEREBRAL

Para tener una estimación del flujo sanguíneo cerebral existen diversas técnicas. Unas son de tipo indirecto, como el examen neurológico que permite pesquisar

trastornos de la conciencia y los signos focales. También son útiles el registro del EEG, los Potenciales Evocados y la presión de perfusión cerebral. Otros métodos de medición son más directos, como los basados en las técnicas tomográficas entre las que está la por emisión de Positrones (PET), la por emisión single photon (SPECT) y las imágenes por resonancia magnética.

Sin embargo, los métodos más utilizados durante una anestesia son:

a. Doppler ultrasónico transcraneal. Se trata de una técnica fácil de aplicar, directa y no invasiva. Las ondas ultrasónicas, sirven para medir la velocidad del flujo sanguíneo en las arterias basales del cerebro. Para que esta medición tenga una relación directa con el FSC, deben hacerse dos presunciones: Primero, que el flujo y la velocidad de este flujo están directamente relacionados, solamente si el diámetro de la arteria en el punto de medición de la velocidad y el ángulo de medición del Doppler permanece constante. Segundo, que el flujo medido en las arterias basales esté en relación directa con el FSC cortical. Aunque ninguna de estas dos presunciones ha sido probada, esta técnica muestra promisorios resultados.

b. Saturación de Oxígeno en el bulbo de la vena yugular. (SjvO₂). Las demandas de oxígeno por parte del cerebro varían de acuerdo a las condiciones cambiantes del SNC. La disminución de 5° en la T° cerebral, puede reducir las necesidades de O₂ en un 35 % o más. El aporte de O₂ al cerebro varía con el FSC y con el contenido de aquél en la sangre. La función cerebral está determinada por el balance entre la demanda y el aporte de oxígeno. De esta manera, tomando en forma aislada valores numéricos de FSC, ello no garantiza ni preservación ni pérdida de función: ellos deben ser analizados en función de la demanda y el aporte de O₂. La medición de la demanda de oxígeno por el cerebro, no está disponible aún. Indirectamente puede utilizarse el EEG, de acuerdo a lo señalado en párrafos anteriores.

Se pueden efectuar mediciones que reflejan el balance

entre la demanda y aporte de O₂, midiendo la saturación de O₂ en la sangre de la vena yugular que sale del cerebro. Cuando el aporte de O₂ al cerebro disminuye, sea por hipoxemia o isquemia, la extracción de oxígeno aumenta. Esto se traduce en una disminución de la SjvO₂.

La medición de la saturación de O₂ de la vena yugular (SjvO₂) a través de una fibra óptica requiere de la inserción de un catéter en el bulbo de la vena yugular (7). Los valores normales de la saturación O₂ venosa de la yugular son de 55 a 71 %, con valores promedios de 62 %. Las causas más comunes de desaturación (< de un 50 %) son la hipotensión arterial, los aumentos de la PIC y la hipocapnia. Se ha demostrado que los episodios de desaturación venosa de la yugular (8), son frecuentes durante los primeros 5 días posteriores a un TEC severo y corresponden tanto a causas sistémicas como cerebrales, algunas de las cuales son tratables. Estos episodios se asocian frecuentemente a un pronóstico más desfavorable. Es razonable entonces, sostener que la monitorización de la SjvO₂ permite la identificación precoz y el tratamiento oportuno de una serie de causas que provocan lesiones secundarias en el tejido cerebral.

Las indicaciones actuales de esta técnica son:

1. TEC grave.
2. Encefalopatía hipóxico-isquémica.
3. Hemorragias intracraneales.
4. Aneurismas cerebrales.
5. Infarto cerebral.

Las complicaciones más frecuentes son la punción de la arteria carótida, sepsis, neumotórax y lesión del ganglio estrellado. Otra complicación es la trombosis de la vena yugular.

Por otra parte, con el registro continuo de la diferencia arterio-venosa de O₂ cerebral, (AVDO₂) puede estimarse el FSC adecuado. Cuando el FSC está normalmente acoplado y es apropiado para el metabolismo cerebral, la AVDO₂ está normal (9). Si el FSC cae a niveles de isquemia la AVDO₂ aumenta. En los casos de FSC excesivo para la demanda (hiperemia) se produce una disminución de

la AVDO₂. Si existe un consumo metabólico de Oxígeno cerebral constante, los cambios relativos del FSC se reflejan en forma inversamente proporcional a la AVDO₂.

REFERENCIAS

1. Hall JE: Intraoperative awakening to monitor spinal cord function during Harrington instrumentation and spine fusion. *J Bone Joint Surg Am* 1978; 60:533-536.
2. Lam AM: Monitoring electrophysiologic function during carotid endarterectomy: a comparison of somatosensory evoked potentials and conventional Electroencephalogram. *Anesthesiology* 1991; 75: 15-21.
3. Mc Pherson R. Neurophysiologic Brain Monitoring: Evoked Potentials, in Cottrell J. Smith D Anesthesia and Neurosurgery. 3er Ed. St. Louis: Mosby ,1994: 210-227.
4. Legatt AD.: Intraoperative neurophysiologic monitoring. In Frost E. Clinical Anesthesia in Neurosurgery, 2nd de. New York: Frost E., 1991: 63- 127.
5. Erhard W, Lang MD: Intracranial Pressure. Monitoring and Management. *Neurosurgery Clinics of North America*. 1994; 5: 573-605.
6. Neil AM, Doberstein C: Cerebral blood flow measurement in neurosurgical intensive care. *Neurosurgery Clinics of North America*. 1994; 5: 607-618.
7. Sheinberg M, Kanter M: Continous monitoring of jugular venous oxygen saturation in head injured patients. *J. of Neurosurgery* 1992; 76: 212-217.
8. Gopinath SP, Robertson CS: Jugular venous desaturation aud outcome after head injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 1994; 57: 717-723.
9. Robertson CS, Narayan RK: Cerebral Arterio-venous oxygen difference as an estimate of cerebral blood flow in comatose patients. *Neurosurgery*. 1989; 70: 222-230.