

Saturación regional cerebral de oxígeno

Valencia Sola, L. **; Santana Suárez, R.Y.*; Navarro Navarro R.*; Navarro García, R.*; Barahona, D*.

*Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Hospital Universitario Insular Gran Canaria

**Servicio de Anestesiología y Reanimación. Hospital Universitario Dr. Negrín

Fundamentos básicos de la saturación regional cerebral de oxígeno

Los fundamentos de la oximetría cerebral fueron descubiertos por Frans Jobsis, Ph.D., en 1977. Es por tanto una tecnología que existe desde hace más de 25 años, pero es en esta última década cuando ha alcanzado más relevancia desde el punto de vista clínico y utilidad. También se conoce como oximetría cerebral o NIRS (siglas en inglés de nearinfraredspectroscopy, espectroscopia en la cercanía del espectro infrarrojo).

La oximetría cerebral o saturación regional cerebral de oxígeno, al igual que la pulsioximetría de la saturación arterial periférica de oxígeno, se mide por espectrometría. Se basa en el hecho de que la hemoglobina oxigenada absorbe menos luz roja (600-750 nm) y más luz infrarroja (850-1000nm) que la hemoglobina desoxigenada. Como resultado la hemoglobina desoxigenada tiene un pico de absorción de 740 nm, que la oxigenada no tiene. De esta manera se puede determinar la fracción de hemoglobina oxigenada, empleando ambas longitudes de onda [1]. Los datos son recogidos cada 10 segundos.

A diferencia de la pulsioximetría que solamente capta la señal pulsátil de las arterias, la SrcO₂ mide tanto las señales pulsátiles como las no pulsátiles de forma continua. Es decir, recoge la saturación de

	Pulsioximetría	Oximetría cerebral
Pulsatilidad	Pulsátil	No pulsátil
Transmisión de luz	Transmisión	Reflectancia
Longitud de onda	660/940 nm	730/810 nm
Componente arterial	Arterial	25% arterial/75% venoso
Saturación de oxígeno	Arterial	Venosa cerebral
Diodo emisor de luz	1 Fuente/1 detector	1 Fuente/dos detectores

Tabla 1

Comparación de la pulsioximetría y la oximetría cerebral.

la hemoglobina en todo el lecho tisular, incluyendo una mezcla de sangre arterial, venosa y tejido cerebral (Tabla 1).

Las características de transiluminación del cráneo permiten mediciones en el tejido cerebral. La luz infrarroja penetra en todos los tejidos y es necesario diferenciar entre los valores obtenidos del tejido cerebral y los del hueso y partes blandas. Esto se consigue con dos detectores a diferente distancia de la fuente de luz infrarroja, ya que la profundidad de penetración de los fotones de una fuente de luz infrarroja aplicada sobre la zona de la frente del paciente depende de la distancia con el detector. De esta manera, colocando dos detectores con distancia diferente de la fuente de luz, se puede sustraer la señal recibida en el superficial (señal extracerebral) y medir únicamente la señal cerebral, que es recibida en el profundo [2]. El detector más cercano (llamado superficial) se encuentra a 30 mm de la fuente de luz (profundidad de 2.5 cm), mien-

tras que el profundo se halla a 40 mm y obtiene información de 3-4 cm de profundidad.

Así se logra analizar tejido cerebral de la sustancia gris y blanca más superficial de la corteza central.

Los sensores se colocan en la frente del paciente, a ambos la línea media, intentando evitar el seno sagital superior, previa limpieza de la piel con una solución alcohólica tal y como se muestra en la figura siguiente. La zona que se monitoriza es la región perfundida por las arterias cerebrales media y anterior. La anatomía vascular cerebral en estas regiones las hace particularmente vulnerables a las deficiencias de aporte de oxígeno.

Como en el cerebro el ratio de sangre venosa y arterial es 85:15, la saturación regional cerebral de oxígeno mide más bien la saturación cerebral venosa, reflejando el balance entre aporte y demanda cerebral [3]. Los valores obtenidos dependen de las variables que influyen el equilibrio entre la oferta y la demanda de oxígeno cerebral. Entre estos factores destacan: la presión arterial media, la oxigenación sistémica, la capacidad de transporte de O₂ por la hemoglobina, la presión parcial de CO₂

Correspondencia:

Valencia Sola, Lucía
C/ Almansa nº11 - Telde - Las Palmas 35200
Teléfono: 651 010 208
Email: ori98es@yahoo.es

y factores mecánicos (obstrucción arterial/venosa) como factores que afectan al aporte de oxígeno; y la temperatura, la profundidad anestésica, y la presencia de actividad comicial como factores que afectan al consumo de oxígeno [3]. Los factores que afectan al aporte y consumo de oxígeno se detallan a continuación en la siguiente tabla (Tabla 2).

Por tanto en términos generales, si no tenemos en cuenta factores como la temperatura y los fármacos empleados, los valores obtenidos en la saturación regional cerebral de oxígeno pueden verse afectados tanto por la oxigenación en sangre, el flujo sanguíneo cerebral, el contenido de hemoglobina como por el consumo metabólico cerebral. En condiciones fisiológicas existe un acoplamiento entre el flujo sanguíneo cerebral y el metabolismo cerebral, de tal modo que el flujo se adapta a las necesidades de metabolismo. Cuando se produce una lesión cerebral aguda, el consumo disminuye de manera proporcional a la lesión y se pueden alterar los mecanismos de regulación del flujo sanguíneo cerebral. La existencia o no de acoplamiento entre consumo y flujo sanguíneo cerebral, la podemos conocer de forma indirecta, sin conocer el flujo ni el metabolismo cerebral, mediante la determinación de la oxigenación cerebral con la oximetría cerebral.

Rango de normalidad de la saturación regional cerebral de oxígeno

Como en otros tipos de monitorización, el análisis de los da-

tos está basado en la definición de rangos normales y umbrales patológicos. De hecho, una de las grandes limitaciones que se atribuye a la saturación regional cerebral de oxígeno, es la falta de un valor simple y uniforme para identificar una desaturación patológica. Esto es debido a la gran variabilidad de valores basales de la saturación regional cerebral de oxígeno que existe de un paciente a otro, sin haberse hallado relación con la edad ni parámetros antropométricos.

Respecto a los límites más frecuentemente usados en la literatura, un descenso del 15-20% respecto al valor basal parece el umbral con el que se puede indicar un evento isquémico cerebral[4]. La saturación basal es el valor inicial de la saturación regional cerebral de oxígeno y sobre él se comparan los siguientes valores. Dicho valor se obtiene con el paciente en decúbito supino, en reposo y antes de ser sedoanalge-siado o anestesiado. Es importante comprobar que no existe asimetría en los valores basales, para poder detectar inmediatamente cualquier causa que pueda provocarla. Se considera anormal una asimetría basal de más 10 puntos.

A pesar de que a priori parece que debido a la gran variabilidad de la saturación regional cerebral de oxígeno basal entre sujetos, la definición de desaturación será en función de la saturación regional cerebral de oxígeno basal de cada individuo, hay algunos autores que prefieren no emplear un umbral relativo y han fijado el límite de la saturación regional cerebral de oxígeno con un número absoluto (por debajo del 50%).

Aplicaciones clínicas de la saturación regional cerebral de oxígeno

La oximetría cerebral nació hace muchos años, creando un interés en el campo de la neonatología. Sin embargo gracias a los resultados prometedores que obtuvo desde un principio, poco a poco sus indicaciones han ido ampliando en otros campos quirúrgicos, sobre todo con la idea de poder predecir isquemias cerebrales debidas a un desbalance entre aporte y demanda de oxígeno. Actualmente, las principales indicaciones y evidencias clínicas del empleo de esta tecnología en quirófano, son las siguientes.

Cirugía cardiaca

Los déficits cognitivos en pacientes de edad avanzada tras la cirugía de revascularización coronaria son frecuentes y persisten durante meses en algunos casos. La oximetría cerebral durante la circulación extracorpórea en cirugía cardiaca, puede identificar periodos vulnerables que los anestesiólogos deben percatarse. La etiología es multifactorial, y se han identificados varios factores predictores de complicaciones cognitivas, como el padecer Diabetes Mellitus, severidad y duración de la cirugía cardiaca, historia de enfermedad neurológica previa [4]. Los resultados publicados hasta el momento en la literatura, han conseguido demostrar que las actuaciones derivadas de la observación de una desaturación con este tipo de neuromonitorización, han disminuido tanto los déficits cognitivos postoperatorios como la estancia hospitalaria.

En el último estudio publicado en la literatura al respecto, De Tournay-Jetté et al [5] revisaron prospectivamente un total de 61 pacientes de edad avanzada que iban a ser sometidos a cirugía de revascularización coronaria. Se le realizó preoperatoriamente, una evaluación neurocognitiva con el Mini Mental Test el día anterior de la cirugía y a la semana y mes

Factores que afectan al aporte de oxígeno	Factores que afectan al consumo de oxígeno
SatO ₂ Hemoglobina PAM Gasto cardiaco PaCO ₂	Profundidad anestésica Agente anestésico Temperatura

Tabla 2
Factores que afectan al aporte y consumo de oxígeno cerebral.

siguiente. Los resultados mostraron, que un 80% de los pacientes presentaron déficits cognitivos a la semana y un 38% tardíos. Además observaron que existía relación entre desaturación (saturación regional cerebral de oxígeno <50%) y disminución del índice neurocognitivo a la semana. Una disminución del 30% de la saturación regional cerebral de oxígeno respecto al valor basal, se asoció a déficit cognitivo al mes. Por tanto, la desaturación de oximetría cerebral durante este tipo de cirugía en pacientes de edad avanzada, se relaciona con déficits neurocognitivos tanto tempranos como tardíos, constituyendo la saturación regional cerebral de oxígeno una herramienta prometedora en la predicción de déficits neuropsicológicos.

Cirugía torácica

Durante la ventilación unipulmonar y la posición de decúbito lateral empleada en la cirugía torácica, se producen grandes alteraciones fisiopatológicas como la vasoconstricción pulmonar hipóxica en el pulmón no ventilado, descensos de la pO₂, cambios en la diferencia alveolo-arterial de oxígeno, activación de procesos inflamatorios y otros. La aplicación de la saturación regional cerebral de oxígeno en cirugía torácica surgió para conocer la posible repercusión de la ventilación unipulmonar sobre la oxigenación cerebral.

Con este propósito, Hemmerling et al [6] publicaron en el 2008 un estudio prospectivo de 20 pacientes sometidos a cirugía de resección pulmonar con ventilación unipulmonar. Los resultados mostraron que todos sus pacientes presentaban una disminución del 15 % de la saturación regional cerebral de oxígeno en ventilación unipulmonar y hasta un 70% del 20% de la saturación regional cerebral de oxígeno.

En un estudio publicado [7] recientemente se seleccionaron 40 pacientes sometidos a lobectomía pulmonar bajo anestesia general o combinada con epidural. Se recogió el porcentaje de volumen es-

piratorio en el primer segundo, el porcentaje de la capacidad vital, la pO₂ y la pCO₂ basal. Los resultados mostraron que solo en un 70% de los pacientes se hallaron valores de saturación regional cerebral de oxígeno menores que las basales durante la ventilación unipulmonar, pero que dicho descenso de la saturación regional cerebral de oxígeno durante la ventilación unipulmonar (-4.68% ± 13.5%) mostró una correlación negativa con el volumen espiratorio en el primer segundo y la pO₂.

Por tanto, los estudios publicados hasta el momento en cirugía torácica son únicamente atractivos y se precisan más que corroboren el descenso de la saturación regional cerebral de oxígeno durante la ventilación unipulmonar y las posibles repercusiones de sobre déficits cognitivos postoperatorios.

Cirugía abdominal mayor

Cada vez son más frecuentes las intervenciones quirúrgicas de alto riesgo en pacientes de edad avanzada, conllevando un mayor número de complicaciones y alargando la estancia hospitalaria. Uno de los caminos para conseguir un descenso de la estancia hospitalaria ha sido estudiar el impacto la saturación regional cerebral de oxígeno sobre los déficits cognitivos postoperatorios y su repercusión sobre la estancia hospitalaria. Desde hace varios años, están surgiendo publicados numerosos artículos [8] en pacientes de edad avanzada y en cirugía no cardiaca ni vascular cuyos resultados han mostrado que la desaturación cerebral intraoperatoria se asocia con un descenso de la función cognitiva a la semana de la cirugía y un retraso en el alta.

Cirugía carotídea

La isquemia cerebral perioperatoria durante la endarterectomía-carotídea muestra una incidencia alrededor del 5%, siendo la principal causa la hipoperfusión cerebral que se produce durante el clampaje carotídeo. La necesidad de dicho

clampaje puede provocar un daño neurológico debido a un insuficiente flujo colateral de sangre por lo que la monitorización neurológica se hace indispensable en este tipo de cirugía.

Los estudios publicados muestran que la oximetría cerebral puede ser una herramienta útil en pacientes intervenidos de endarterectomía carotídea bajo anestesia general.

Cho et al [9], en un estudio realizado en 29 pacientes sometidos a endarterectomía bajo anestesia general, objetivaron que una disminución de 10 unidades de la saturación regional cerebral de oxígeno o un valor absoluto menor de 50% de los valores basales era lo suficientemente fuerte como para mostrar un decremento de la amplitud de los potenciales evocados somatosensoriales, indicativo de isquemia cerebral. Posteriormente Rigamonti et al [10] compararon la saturación regional cerebral de oxígeno y datos de EEG durante el clampajecarotídeo, en un total de 50 pacientes bajo anestesia regional. Identificaron un umbral del 15% del valor basal, correlacionándolo con signos de isquemia clínicos y en el EEG para el desarrollo de complicaciones neurológicas, objetivando una baja especificidad y sensibilidad pero un alto valor predictivo negativo.

Por último, en una revisión publicada [11] recientemente en la que se seleccionaron 14 estudios que comparaban la saturación regional cerebral de oxígeno con otra monitorización (Doppler transcranial y EEG), se concluyó que a pesar de que la oximetría cerebral puede ser prometedora, actualmente no se pueden definir umbrales para detectar isquemias cerebral intraoperatoria. Por tanto, la saturación regional cerebral de oxígeno no puede emplearse únicamente para establecer de necesidad de colocar un shunt durante el clampaje carotídeo y predecir eventos isquémicos.

Cirugía traumatológica y ortopédica

Los estudios realizados en este tipo de cirugía han sido llevados

a cabo en artroscopia de hombro. Existen varios casos descritos en la literatura de daños neurológicos [12] [13] tras cirugía de hombro en la posición de tumbona o semisedeste. La fisiopatología de estos eventos no está del todo definida aunque muchos autores justifican estos hallazgos en el contexto de isquemia cerebral por disminución del gasto cardiaco, de la presión arterial media y de la presión de perfusión cerebral debido probablemente a que el hecho de que los pacientes estén sometidos a una anestesia general conlleva vasodilatación farmacológica y atenuación de la respuesta del sistema nervioso autónomo [14]. Dado que este tipo de pacientes en la artroscopia de hombro padecen riesgo de sufrir daños cerebrales, en los últimos años han surgido estudios con la idea de poder monitorizar el sistema nervioso central de una manera no invasiva con la oximetría cerebral. Se ha objetivado que durante estos procedimientos al colocar al paciente en posición semisedeste, se han producido decrementos importantes en la saturación regional cerebral de oxígeno que han remitido tras la administración de fármacos vasoactivos. A la espera de futuros estudios que demuestren las consecuencias de estos hallazgos, parece razonable hoy en día monitorizar el sistema nervioso central mediante la saturación regional cerebral de oxígeno en este tipo de cirugía por la delicada posición del paciente [15].

Limitaciones de la saturación regional cerebral de oxígeno

Los grandes avances en la tecnología han permitido mejorar la medición de la oximetría cerebral. Sin embargo, todavía la saturación regional cerebral de oxígeno presenta ciertas limitaciones, que debemos conocer para poder interpretar correctamente la información que nos provee. Dichas limitaciones se exponen a continuación:

- Como ya comentamos en el apartado anterior, la gran limitación que posee la saturación regional cerebral de oxígeno es la dificultad para fijar un umbral universal debido a la gran variabilidad interindividual. Esta discrepancia de unos pacientes a otros, se debe principalmente a las diferentes características ópticas de los tejidos extra cerebrales de cada individuo, como el cuero cabelludo, el cráneo y la cantidad de líquido cefalorraquídeo por debajo del cráneo de cada paciente[16]. Sin embargo, los nuevos avances tecnológicos han sido capaces parcialmente de eliminar esta “contaminación de fuentes extracerebrales”, gracias a la resolución espacial. Otro punto actual de investigación, prometedor pero controvertido hasta la fecha de hoy, ha sido la incorporación en la monitorización de la saturación regional cerebral de oxígeno de medidores citocromo c oxidasa, que han permitido, conseguir señales más fiables provenientes el tejido cerebral. Su utilidad se basa en la capacidad de diferenciar tejidos con alta tasa metabólica con una gran densidad mitocondrial a otras con menor, como los tejidos extracerebrales[17].
- Otra limitación de la saturación regional cerebral de oxígeno, es que solo nos proporciona información de una pequeña zona del córtex. Esto es importante debido a que este tipo de neuromonitorización, puede fallar a la hora de detectar zonas de isquemias lejanas al lugar de colocación del sensor. Es decir, si lo colocamos en la zona frontal del paciente, nuestra monitorización no será capaz de objetivar disminución de la saturación regional cerebral de oxígeno en otras partes del cerebro como por ejemplo los lóbulos occipitales.
- La colocación del sensor es muy importante y requiere una limpieza de la zona y una colocación muy minuciosa. Cualquier superposición tipo hematoma subdural o hígroma, impide su utilización. En caso de contusión frontal o alteraciones congénitas del cráneo la medida tampoco es fiable. Evidentemente, tampoco nos será de utilidad en el postoperatorio de pacientes que hayan sufrido una craneotomía o cualquier tipo de cirugía sobre la zona a implantar el sensor. Otros posibles artefactos son estenosis de la arteria carótida o de otras arterias cerebrales, y por último, lesiones ocupantes de espacio o extrema rotación de la cabeza del paciente durante una intervención quirúrgica.
- La lectura del sensor se puede ver afectada cuando el sujeto presente en sangre tanto componente del grupo Hemo (metahemoglobinemia, carboxihemoglobinemia, hemoglobina fetal) como de otros (biliverdina, bilirrubina). También puede verse alterada por luz ambiente de gran intensidad, electrobisturí, o contrastes vasculares.
- Los valores de saturación regional cerebral de oxígeno obtenidos con los equipos de las diferentes casas comerciales no coinciden, probablemente debido al empleo de distintos algoritmos de evaluación y técnicas de medición. Debido a esta discrepancia probablemente sea difícil comparar los resultados de estudios que hayan empleado diferentes monitores. Los sistemas comercializados en la actualidad son : INVOS 4100TM/INVOS 5100 TM (Somnethicscorporation USA), el OSM-3 TM (Radiometer Medical a/M Denmark) y los NIRO 1000 TM / NIRO 500 TM /NIRO 300 TM (HamamatsuPhotonics, Japan).

BIBLIOGRAFIA

1. **Casati, A.**, et al., New technology for noninvasive brain monitoring: continuous cerebral oximetry. *Minerva Anesthesiol*, 2006. 72(7-8): p. 605-25.
2. **Sanabria, P.**, Casos clínicos. Oximetría cerebral transcutánea. 2010, Madrid.
3. **Rodriguez, L.**, et al., Behaviour of near-infrared cerebral oximetry readings during percutaneous carotid angioplasty. *Rev Esp Anesthesiol Reanim*, 2006. 53(10): p. 633-8.
4. **Edmonds, H.L., Jr., B.L. Ganzel, and E.H. Austin**, 3rd, Cerebraloximetry for cardiac and vascular surgery. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*, 2004. 8(2): p. 147-66.
5. **Smith, M. and C. Elwell**, Near-infrared spectroscopy: shedding light on the injured brain. *Anesth Analg*, 2009. 108(4): p. 1055-7.
6. **de Tournay-Jette, E.**, et al., The Relationship Between Cerebral Oxygen Saturation Changes and Postoperative Cognitive Dysfunction in Elderly Patients After Coronary Artery Bypass Graft Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2011. 25(1): p. 95-104.
7. **Hemmerling, T.M.**, et al., Significant decrease of cerebral oxygen saturation during single-lung ventilation measured using absolute oximetry. *Br J Anaesth*, 2008. 101(6): p. 870-5.
8. **Suehiro, K. and R. Okutai**, Cerebral Desaturation During Single-Lung Ventilation Is Negatively Correlated With Preoperative Respiratory Functions. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2011. 25(1): p. 127-130.
9. **Casati, A.**, et al., Monitoring cerebral oxygen saturation in elderly patients undergoing general abdominal surgery: a prospective cohort study. *Eur J Anaesthesiol*, 2007. 24(1): p. 59-65.
10. **Cho, H.**, et al., Cerebral monitoring by means of oximetry and somatosensory evoked potentials during carotid endarterectomy. *J Neurosurg*, 1998. 89(4): p. 533-8.
11. **Rigamonti, A.**, et al., A clinical evaluation of near-infrared cerebral oximetry in the awake patient to monitor cerebral perfusion during carotid endarterectomy. *J Clin Anesth*, 2005. 17(6): p. 426-30.
12. **Pennekamp, C.W.**, et al., The value of near-infrared spectroscopy measured cerebral oximetry during carotid endarterectomy in perioperative stroke prevention. A review. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2009. 38(5): p. 539-45.
13. **Pohl, A. and D.J. Cullen**, Cerebral ischemia during shoulder surgery in the upright position: a case series. *J Clin Anesth*, 2005. 17(6): p. 463-9.
14. **Friedman, D.J.**, et al., Prevalence of cerebrovascular events during shoulder surgery and association with patient position. *Orthopedics*, 2009. 32(4).
15. **Murphy, G.S.**, et al., Cerebral oxygen desaturation events assessed by near-infrared spectroscopy during shoulder arthroscopy in the beach chair and lateral decubitus positions. *Anesth Analg*, 2010. 111(2): p. 496-505.
16. **Fischer, G.W.**, et al., The use of cerebral oximetry as a monitor of the adequacy of cerebral perfusion in a patient undergoing shoulder surgery in the beach chair position. *Pain Pract*, 2009. 9(4): p. 304-7.
17. **Okada, E. and D.T. Delpy**, Near-infrared light propagation in an adult head model. II. Effect of superficial tissue thickness on the sensitivity of the near-infrared spectroscopy signal. *Appl Opt*, 2003. 42(16): p. 2915-22.
18. **Smith, M. and C. Elwell**, Near-infrared spectroscopy: shedding light on the injured brain. *Anesth Analg*, 2009. 108(4): p. 1055-7.