



Revista Colombiana de Anestesiología

Colombian Journal of Anesthesiology

www.revcolanest.com.co



Revisión

Anestesia total intravenosa versus anestésicos inhalados en neurocirugía



Alix Zuleta-Alarcón^a, Karina Castellón-Larios^a, María Claudia Niño-de Mejía^b
y Sergio D. Bergese^{a,c,*}

^a Departamento de Anestesiología, Wexner Medical Center, Ohio State University, Columbus, OH, Estados Unidos

^b Departamento de Neuroanestesia, Hospital Universitario Fundación Santafé de Bogotá, Bogotá, Colombia

^c Departamento de Neurocirugía, Wexner Medical Center, Ohio State University, Columbus, OH, Estados Unidos

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 20 de mayo de 2014

Aceptado el 2 de julio de 2014

On-line el 29 de octubre de 2014

Palabras clave:

Anestesia intravenosa

Potenciales evocados

Neurocirugía

Anestesia

Columna vertebral

R E S U M E N

Introducción: La evolución en neurocirugía ha fomentado las técnicas anestésicas en pro del bienestar del paciente. Solo en Estados Unidos el volumen de neurocirugías ha aumentado de forma significativa, mostrando un crecimiento aproximado de 12.000 procedimientos de columna al año, y de otros procedimientos neuroquirúrgicos de 2.700/año. Esto enfrenta con mayor frecuencia a los anestesiólogos a la elección de la técnica neuroanestésica adecuada para cada paciente.

Objetivos: Esta revisión pretende realizar un análisis del rol de los anestésicos inhalados e intravenosos en procedimientos neuroquirúrgicos.

Metodología: Se realizó una búsqueda en PubMed utilizando TIVA, anestésicos inhalados, neurocirugía y cirugía de columna como términos de búsqueda.

Resultados: Los artículos revisados muestran que, la técnica anestésica adecuada, además de tener un rápido inicio de acción, ser fácilmente titulable, con mínimo efecto en la hemodinámica sistémica y cerebral; debe permitir monitorización neurofisiológica intraoperatoria, y un rápido despertar, con el fin de permitir una evaluación temprana de la función neurológica del paciente y mejorar su desenlace.

Conclusiones: Durante los últimos años la disyuntiva del uso de anestésicos inhalados versus intravenosos en neurocirugía ha producido el desarrollo de diversas investigaciones. Aunque TIVA es la técnica usada con mayor frecuencia, los anestésicos inhalados, también han mostrado ser seguros, titulables, proveer una adecuada monitorización intraoperatoria, y estabilidad hemodinámica cerebral. En pacientes con complacencia intracraneal normal los agentes inhalados, son una buena alternativa a la anestesia con TIVA, especialmente en lugares con recursos hospitalarios limitados.

© 2014 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia. Departamento de Anestesiología, Wexner Medical Center, The Ohio State University, Doan Hall N411, 410 W. 10th Avenue, Columbus OH 43210.

Correo electrónico: sergio.bergese@osumc.edu (S.D. Bergese).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rca.2014.07.011>

0120-3347/© 2014 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Total intravenous anaesthesia versus inhaled anaesthetics in neurosurgery

ABSTRACT

Keywords:

Anesthesia, Intravenous
Evoked potentials
Neurosurgery
Anesthesia
Spine

Introduction: The way neurosurgery has evolved has led to increased emphasis on anaesthetic techniques aimed at improving patient well-being. In the United States alone, the number of neurosurgeries has increased significantly, with growth reflected in approximately 12,000 spine procedures per year and another 2700 different neurosurgical procedures per year. For anaesthetists, this means that they are faced more frequently with the need to select the most adequate neuroanaesthesia technique for each patient.

Objectives: The purpose of this review is to analyze the role of inhaled and intravenous anaesthetics in neurosurgical procedures.

Methodology: A search was conducted in PubMed using the terms TIVA, inhaled anaesthetics, neurosurgery and spine surgery.

Results: The articles included in the review show that the adequate anaesthetic technique, besides ensuring a rapid onset of action, contributes to ease of titration with minimum effect on systemic and cerebral haemodynamics; it must enable intraoperative neurophysiological monitoring and rapid emergence, in order to allow early assessment of the patient's neurological function and improved outcome.

Conclusions: In recent years, the question regarding the use of inhaled vs. intravenous anaesthetics in neurosurgery has given rise to several research studies. Although TIVA is the technique used most frequently, inhaled anaesthetics have also been shown to be safe, titratable, and to provide for adequate intraoperative monitoring and cerebral haemodynamic stability. In patients with normal intracranial compliance, inhaled agents (IA) are a good alternative to TIVA, especially in places where hospital resources are limited.

© 2014 Sociedad Colombiana de Anestesiología y Reanimación. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Durante los últimos veinte años las tendencias en la práctica anestésica han evolucionado. En el 2007, las neurocirugías realizadas con mayor frecuencia fueron la fusión espinal, procedimientos endovasculares de la columna vertebral, craneotomías para patologías tumorales, craneotomías no asociadas a patologías tumorales y procedimientos endovasculares intracraneales (54, 20, 11, 9 y 1% respectivamente)¹. Al igual que en otras áreas de la medicina, la neurocirugía se inclina también hacia los procedimientos mínimamente invasivos, evidenciado en el crecimiento de un 32% de los procedimientos intracraneales endovasculares en el 2013¹.

En la práctica clínica diaria, los anestesiólogos se enfrentan con mayor frecuencia a la tarea de proporcionar anestesia a pacientes neuroquirúrgicos, donde con aras de preservar las funciones neurológicas, es fundamental evaluar el efecto de los anestésicos inhalados o intravenosos durante el procedimiento, el tiempo y la calidad de recuperación.

Un tema muy debatido en la actualidad ha sido cuál es el mejor método anestésico para este tipo de pacientes; tanto con patologías cerebrales como de columna vertebral y trauma craneoencefálico. El manejo anestésico se convierte en un punto crucial durante dichas cirugías. Proveer estabilidad hemodinámica es crucial para no dañar la autorregulación cerebral². Uno de los factores que afecta la autorregulación cerebrovascular es la presión parcial de CO₂ (PaCO₂), cambios

de 1 mmHg puede producir cambios de hasta 3-4% en flujo sanguíneo cerebral (FSC)¹.

Junto con la PaCO₂, la presión arterial media desempeña un papel muy importante. Esta última debe mantenerse entre los rangos de 60 a 150 mmHg (fig. 1)². Cuando estos rangos empiezan a fluctuar, se activan los diferentes mecanismos de contrarregulación como el sistema renina-angiotensina-aldosterona y el sistema nervioso simpático, con el fin de llevar la presión arterial de nuevo a la normalidad³.

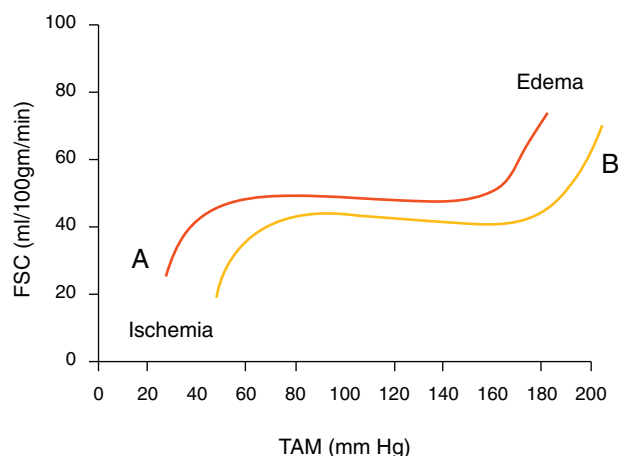


Figura 1 – Presión arterial media y flujo sanguíneo cerebral.
Fuente: autores.

Diferentes circunstancias hacen que esta autorregulación se pierda: el trauma craneoencefálico severo, tumores, hematomas, lesiones ocupantes de espacio en la bóveda craneana, infecciones, aumento en la presión arterial sistémica, etc.².

La anestesia ideal para procedimientos neuroquirúrgicos debe tener las siguientes características: reducción del metabolismo cerebral, neuroprotección, estabilidad hemodinámica, preservación de la autorregulación cerebral, afectar de forma leve la presión intracraneana (PIC) y dar una rápida recuperación del paciente⁴. El efecto de los medicamentos anestésicos sobre cada una de estas características ha sido ampliamente estudiado.

Existen dos modalidades que se usan actualmente: anestesia total intravenosa (TIVA, por sus siglas en inglés) y anestésicos inhalados (AI). Ambas poseen ventajas y desventajas, las cuales serán explicadas a continuación.

Anestesia total intravenosa

Se llama TIVA cuando se utiliza la combinación de un agente hipnótico (propofol) y un opioide para la inducción y mantenimiento anestésico. Una de las combinaciones más utilizadas es propofol y remifentanilo, debido a que posee características similares al uso de AI⁵.

El propofol, potencia la actividad de los receptores GABA_A, tiene un rápido inicio de acción y su acción es de muy corta duración. Posee un efecto neuroprotectivo durante la isquemia cerebral disminuyendo la PIC, el FSC, metabolismo y edema cerebral, y mejorando la presión de perfusión cerebral y presión arterial media⁶⁻⁸.

Anestésicos inhalados

Los AI han mostrado disminuir la excitotoxicidad, incrementar la estabilidad fisiológica y relacionarse con un buen desenlace neurológico. Este efecto está mediado por su acción agonista GABA, antagonista NMDA, asimismo reducción del glutamato, activación de los canales de potasio dependientes de ATP, reducción en la tasa metabólica cerebral, regulación positiva de la óxido nítrico sintasa y factores reguladores proapoptóticos (PI3K-AKT, MAPK/ERK, p38)^{4,9}. Los AI producen un efecto en la autorregulación cerebral dependiente de la dosis y el agente usado¹⁰. Con una presión arterial media entre 70-150 mmHg el efecto de los anestésicos inhalados en el FSC es aceptable, con valores superiores a estos, se produce un incremento exponencial del FSC que podría conllevar a un cremento de la PIC.

A dosis de una concentración alveolar mínima (MAC) se alcanza un balance entre la disminución de la tasa metabólica cerebral y el aumento en el FSC. A dosis > de un MAC el FSC incrementa con valores de tasa metabólica cerebral que se mantienen reducidos. El potencial vasodilatador en orden ascendente es sevoflurano<isoflurano=desflurano<enflurano<halotano. En general en los pacientes con complacia intracraneal normal el efecto de los AI sobre la hemodinámica cerebral es mínimo. El uso de TIVA es preferible en pacientes donde la relación flujo-metabolismo esté alterada, PIC inestable, lesiones expansivas o grandes^{7,11}.

Cirugía intracraneana

TIVA posee características muy importantes para procedimientos quirúrgicos intracraneos, sin embargo posee limitaciones que hay que tomar en consideración cuando se contempla su uso⁵.

- 1) Debe ser empleada por anestesiólogos experimentados. La acumulación de propofol puede retrasar la recuperación anestésica de los pacientes; de la misma forma, si los niveles plasmáticos no son óptimos, el paciente puede presentar despertar intraoperatorio.
- 2) La infusión de propofol puede llevar al desarrollo de rabdomiolisis, acidosis láctica y falla renal.
- 3) Puede disminuir de manera considerable el volumen sanguíneo cerebral, lo cual puede llevar a complicaciones como sangrado epidural.
- 4) Los costes de TIVA son sustancialmente mayores a los AI.

Diferentes estudios han comparado ambos métodos anestésicos en procedimientos intracraneos. La medición de la presión en el espacio epidural fue realizada por Todd et al.¹². No se encontró una diferencia significativa de PIC entre ambos grupos (isoflurano-óxido nítrico versus propofol-fentanilo); aun así, se encontró una rápida recuperación anestésica, y una mayor incidencia de náuseas y vómitos postoperatorios (NVPO) en el grupo de TIVA. Petersen et al.¹³ evaluaron ambos anestésicos en el espacio subdural, durante craneotomías electivas de tumores supratentoriales. La PIC fue mucho menor en los pacientes que recibieron TIVA. Posteriormente demostraron que el uso de hiperventilación disminuyó la PIC de una manera significativa en pacientes que fueron tratados con AI¹⁴.

También existen estudios que apoyan el uso de AI. En pacientes neuroquirúrgicos, el desflurano ha mostrado tener menor tiempo de extubación y recuperación en comparación con el sevoflurano e isoflurano¹⁵⁻¹⁷. Otro factor importante a considerar es la prevención de hipertensión arterial durante el cierre quirúrgico y despertar anestésico; para lo cual, bajas dosis de fentanilo han mostrado ser mejores que el propofol e isoflurano¹⁸. Asimismo, se ha demostrado otras ventajas con los AI: causan menos tos, lo cual evita un aumento considerable de la PIC¹⁹ y además, mantienen estabilidad cardiovascular superior a TIVA, preservando la relajación del ventrículo izquierdo, y por tanto, manteniendo estable el FSC.

Un estudio en pacientes sometidos a cirugía intracraneana intratentorial no encontró una diferencia significativa en la incidencia de NVPO entre TIVA y sevoflurano²⁰. Posteriormente, una revisión sistemática de 821 pacientes, obtuvo los mismos resultados, al demostrar más NVPO y uso de antieméticos en pacientes tratados con sevoflurano²¹. Un metaanálisis con 1,819 pacientes sometidos a craneotomía electiva mostró una menor incidencia de NVPO en los pacientes manejados con propofol²².

Cirugía de columna vertebral

La monitorización electrofisiológica intraoperatoria (MEI) desempeña un papel fundamental en la monitorización continua de la integridad y función neuronal de las estructuras

en riesgo durante el acto quirúrgico. En pacientes sometidos a cirugías de médula espinal, factores como instrumentación, manipulación quirúrgica, hipervascularidad e hipercoagulabilidad incrementan el riesgo de complicaciones como el daño neurológico permanente. La MEI facilita la detección y corrección temprana de los daños potencialmente reversibles. Está indicada para la corrección de anomalías congénitas de columna, corrección de escoliosis con ángulo mayor a 45°, resección de tumores intra y extramedulares y descompresión de estenosis espinal²³⁻²⁷.

Actualmente los potenciales evocados somatosensoriales (PESS) y los potenciales evocados motores (PEM) hacen parte del protocolo neuroquirúrgico estándar²⁸. Los PEM han mostrado correlacionarse de una mejor forma con la función motora y ser más sensibles a la alteración de la perfusión de la médula espinal, isquemia e hipotermia²⁹⁻³¹.

Con el fin de obtener PESS y PEM adecuados, es importante utilizar una técnica anestésica que no suprima o altere la amplitud o latencia de los mismos³². En general, las vías neurológicas más sensibles a los cambios fisiológicos y farmacológicos son las vías con mayores sinapsis y mayor longitud. Frecuentemente, las señales de los miembros inferiores son más difíciles de obtener que las de los miembros superiores⁸.

En cirugía de columna para tumores epidurales de la médula espinal, Avila et al.²³ encontraron que la preservación de las señales de la MEI son sugestivas de un buen desenlace neurológico. Cambios en la señal de los PESS en amplitud y latencia pueden indicar el inicio de daño neurológico y deben alertar al equipo neuroquirúrgico a indagar el efecto de la anestesia, instrumentación, presión arterial y temperatura²³.

Los AI han mostrado suprimir con facilidad los PEM, así como disminuir la amplitud y prolongar la latencia de los PESS de forma dosis y agente dependiente, siendo el isoflurano e sevoflurano los agentes más potentes³³. En cirugía de escoliosis MAC de hasta un uno han mostrado ser compatibles con la monitorización. Además al comparar^{8,34} desflurano y TIVA, la amplitud de los PEM ha mostrado ser significativamente mayor en los pacientes anestesiados con desflurano ($p > 0,0001$). Recientemente, Sloan et al.³⁵ compararon el efecto de TIVA y desflurano 3% sobre los potenciales evocados en pacientes sometidos a cirugía de columna. No se encontró una diferencia significativa en las amplitudes de los PESS y PEM eléctricos transcraneales (TCe-MEP) y los voltajes de estimulación de los TCe-PEM entre los dos grupos. En pacientes pediátricos sometidos a artrodesis vertebral Clapcich et al.³⁶ demostraron que TIVA basada en propofol es mejor que el isoflurano como monoterapia o el isoflurano y óxido nítrico en la preservación de los PESS.

Los AI han mostrado ser un factor de confusión en la interpretación de los TCe-MEP, ya que aumentan sus falsos positivos en pacientes de cirugía de columna, lo que conlleva a cambios en el abordaje, tiempo quirúrgico y administración de medicamentos innecesarios³⁷.

En general, TIVA permite la realización con facilidad de la MEI. En cirugías como la artrodesis vertebral, la dexmedetomidina no ha mostrado alterar de forma significativa los TCe-MEP al ser administrada con una dosis de 0,4 ng/ml, sin embargo a dosis superiores ha mostrado interferir con la interpretación de los TCe-MEP al atenuar su amplitud^{38,39}. Los opioides

producen un leve incremento de la latencia y una leve disminución de la amplitud en los PEM y PESS^{7,33,36,40-42}.

En el manejo anestésico de cirugía de columna, también es importante utilizar un agente que permita una adecuada estabilidad hemodinámica, una adecuada recuperación, con baja incidencia NVPO y adecuado manejo del dolor. En este procedimiento el propofol y desflurano han mostrado mantener una mejor estabilidad hemodinámica en comparación con el isoflurano^{43,44}. Además, el propofol ha mostrado incrementar el flujo sanguíneo a nivel de los músculos paravertebrales sin producir un incremento en el volumen de pérdidas sanguíneas o el sangrado percibido por el cirujano⁴⁵.

En cirugía de columna cervical la incidencia y severidad de la tos es menor en pacientes manejados con propofol en comparación con sevoflurano⁴⁶. Sin embargo, en pacientes sometidos a espondilolistesis se ha documentado una menor incidencia de tos y menores valores de escala visual análoga en el grupo anestesiado con sevoflurano⁴⁷. La probabilidad de presentar tos ha mostrado ser dependiente de la concentración residual del anestésico en la extubación y es significativamente mayor en los pacientes mayores. Es por esto que algunos autores recomiendan el uso de TIVA en los pacientes con alto riesgo de presentar tos postoperatoria con el fin de prevenir potenciales complicaciones⁴⁶.

Trauma craneoencefálico

El trauma craneoencefálico (TCE) es una entidad altamente prevalente a nivel mundial, en Estados Unidos afecta a 1,4 millones de pacientes cada año. En Colombia, el TCE tiene una mortalidad del 14% y se presenta en un 51,2% de los pacientes como resultado de accidentes de tránsito^{48,49}. Con frecuencia el TCE produce daños neurológicos permanentes¹¹.

Grathwohl et al.¹¹ compararon TIVA versus AI en el manejo quirúrgico del TCE en combate. Se demostró, una menor mortalidad (5% versus 16% $P = 0,02$) en los pacientes manejados con TIVA, sin encontrar relación con TIVA y un mejor desenlace neurológico.

Conclusión

La neuroprotección es la piedra angular del manejo anestésico en neurocirugía. La literatura revisada demuestra que ambas modalidades anestésicas tienen propiedades neuroprotectoras. Actualmente TIVA se utiliza con mayor frecuencia en neurocirugía, pues permite un rápido inicio de acción y facilita la monitorización continua de estructuras neuronales mediante el uso de técnicas de monitorización neurofisiológica intraoperatoria. Es importante recalcar que en pacientes con adecuada complacencia intracraneal el uso de AI a dosis igual o menor a un MAC no solo ha mostrado interferir de forma mínima en la autorregulación del flujo sanguíneo cerebral, volumen sanguíneo cerebral y la PIC; sino también ser compatible con la monitorización intrafisiológica intraoperatoria, en el ambiente neuroquirúrgico habitual.

La elección del agente anestésico apropiado en neurocirugía depende de los factores de riesgo inherentes al paciente y al procedimiento. Es fundamental mantener un balance entre el FSC y la demanda metabólica, valores de presión arterial

y hemodinámica cerebral durante el procedimiento, evitando cambios súbitos de estos, que pueden influir en el desenlace neurológico del paciente. Parece lógico considerar que una técnica combinada de TIVA e inhalados pueda resultar ser fácilmente titulable, permita combinar el efecto neuroprotector de ambos agentes y disminuir la dosis anestésica usada. Estudios enfocados a encontrar la técnica anestésica ideal para neurocirugía aún son necesarios.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Hughey AB, Lesniak MS, Ansari SA, Roth S. What will anesthesiologists be anesthetizing? Trends in neurosurgical procedure usage. *Anesth Analg*. 2010;110:1686-97.
- Paulson OB, Strandgaard S, Edvinsson L. Cerebral autoregulation. *Cerebrovasc Brain Metab Rev*. 1990;2:161-92. Summer.
- Dagal A, Lam AM. Cerebral autoregulation and anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2009;22:547-52.
- Schifilliti D, Grasso G, Conti A, Fodale V. Anaesthetic-related neuroprotection: intravenous or inhalational agents? *CNS Drugs*. 2010;24:893-907.
- Cole CD, Gottfried ON, Gupta DK, Couldwell WT. Total intravenous anesthesia: advantages for intracranial surgery. *Neurosurgery*. 2007;61 5 Suppl 2:369-77, discussion 377-8.
- Petersen KD, Landsfeldt U, Cold GE, Petersen CB, Mau S, Hauerberg J, et al. Intracranial pressure and cerebral hemodynamic in patients with cerebral tumors: a randomized prospective study of patients subjected to craniotomy in propofol-fentanyl, isoflurane-fentanyl, or sevoflurane-fentanyl anesthesia. *Anesthesiology*. 2003;98:329-36.
- Hans P, Bonhomme V. Why we still use intravenous drugs as the basic regimen for neurosurgical anaesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2006;19:498-503.
- Deiner S. Highlights of anesthetic considerations for intraoperative neuromonitoring. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*. 2010;14:51-3.
- Matchett GA, Allard MW, Martin RD, Zhang JH. Neuroprotective effect of volatile anesthetic agents: molecular mechanisms. *Neurol Res*. 2009;31:128-34.
- Schlünzen L, Cold GE, Rasmussen M, Vafaee MS. Effects of dose-dependent levels of isoflurane on cerebral blood flow in healthy subjects studied using positron emission tomography. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2006;50:306-12.
- Grathwohl KW, Black IH, Spinella PC, Sweeney J, Robalino J, Helminiak J, et al. Total intravenous anesthesia including ketamine versus volatile gas anesthesia for combat-related operative traumatic brain injury. *Anesthesiology*. 2008;109:44-53.
- Todd MM 1, Warner DS, Sokoll MD, Maktabi MA, Hindman BJ, Scamman FL, et al. Prospective, comparative trial of three anesthetics for elective supratentorial craniotomy Propofol/fentanyl, isoflurane/nitrous oxide, and fentanyl/nitrous oxide. *Anesthesiology*. 1993;78:1005-20.
- Petersen KD, Landsfeldt U, Cold GE, Pedersen CB, Mau S, Hauerberg J, et al. ICP is lower during propofol anaesthesia compared to isoflurane and sevoflurane. *Acta Neurochir*. 2002; Suppl 81:89-91.
- Petersen KD, Landsfeldt U, Cold GE, Pedersen CB, Mau S, Hauerberg J, et al. Intracranial pressure and cerebral hemodynamic in patients with cerebral tumors: A randomized prospective study of patients subjected to craniotomy in propofol-fentanyl, isoflurane-fentanyl, or sevoflurane-fentanyl anesthesia. *Anesthesiology*. 2003;98:329-36.
- Magni G, Rosa IL, Melillo G, Savio A, Rosa G. A comparison between sevoflurane and desflurane anesthesia in patients undergoing craniotomy for supratentorial intracranial surgery. *Anesth Analg*. 2009;109:567-71.
- Kaye A, Kucera JJ, Heavner J, Gelb A, Anwar M, Duban M, et al. The comparative effects of desflurane and isoflurane on lumbar cerebrospinal fluid pressure in patients undergoing craniotomy for supratentorial tumors. *Anesth Analg*. 2004;98:1127-32, table of contents.
- Bilotta F, Doronzio A, Cuzzone V, Caramia R, Rosa G, PINOCCHIO Study Group. Early postoperative cognitive recovery and gas exchange patterns after balanced anesthesia with sevoflurane or desflurane in overweight and obese patients undergoing craniotomy: a prospective randomized trial. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2009;21: 207-13.
- Bhagat H, Dash HH, Bithal PK, Chouhan RS, Pandia MP. Planning for early emergence in neurosurgical patients: a randomized prospective trial of low-dose anesthetics. *Anesth Analg*. 2008;107:1348-55.
- Engelhard K, Werner C. Inhalational or intravenous anesthetics for craniotomies? Pro inhalational. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2006;19:504-8.
- Magni G, Baisi F, La Rosa I, Imperiale C, Fabbrini V, Pennacchiotti ML, et al. No difference in emergence time and early cognitive function between sevoflurane-fentanyl and propofol-remifentanyl in patients undergoing craniotomy for supratentorial intracranial surgery. *J Neurosurg Anesthesiol*. 2005;17:134-8.
- Gupta A, Stierer T, Zuckerman R. Comparison of recovery profile after ambulatory anesthesia with propofol, isoflurane, sevoflurane and desflurane: a systematic review. *Anesth Analg*. 2004;98:632-41.
- Chui J, Mariappan R, Mehta J, Manninen P, Venkatraghavan L. Comparison of propofol and volatile agents for maintenance of anesthesia during elective craniotomy procedures: systematic review and meta-analysis. *Can J Anaesth*. 2014.
- Avila EK, Elder JB, Singh P, Chen X, Bilsky MH. Intraoperative neurophysiologic monitoring and neurologic outcomes in patients with epidural spine tumors. *Clin Neurol Neurosurg*. 2013;115:2147-52.
- Pastorelli F, Di Silvestre M, Plasmati R, Michelucci R, Gregg T, Morigi A, et al. The prevention of neural complications in the surgical treatment of scoliosis: the role of the neurophysiological intraoperative monitoring. *Eur Spine J*. 2011;20 Suppl 1:S105-14.
- Sutter M, Deletis V, Dvorak J, Eggspuehler A, Grob D, Macdonald D, et al. Current opinions and recommendations on multimodal intraoperative monitoring during spine surgeries. *Eur Spine J*. 2007;16 Suppl 2:S232-7. Epub 2007 Aug 15.
- Malhotra NR, Shaffrey CI. Intraoperative electrophysiological monitoring in spine surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35:2167-79.
- Fehlings MG, Brodke DS, Norvell DC, Dettori JR. The evidence for intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: does it make a difference? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35 9 Suppl:S37-46.
- Sala F, Krzan MJ, Deletis V. Intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric neurosurgery: why, when, how? *Childs Nerv Syst*. 2002;18(6-7):264-87. Epub 2002 Jun 13.

29. Schwartz DM, Auerbach JD, Dormans JP, Flynn J, Drummond DS, Bowe JA, et al. Neurophysiological detection of impending spinal cord injury during scoliosis surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:2440-9.
30. Sloan TB, Heyer EJ. Anesthesia for intraoperative neurophysiologic monitoring of the spinal cord. *J Clin Neurophysiol.* 2002;19:430-43.
31. Sloan TB, Janik D, Jameson L. Multimodality monitoring of the central nervous system using motor-evoked potentials. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2008;21:560-4.
32. Adhikary SD, Thiruvengkatarajan V, Babu KS, Tharyan P. The effects of anaesthetic agents on cortical mapping during neurosurgical procedures involving eloquent areas of the brain. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011: CD006679.
33. Wang AC, Than KD, Etame AB, La Marca F, Park P. Impact of anesthesia on transcranial electric motor evoked potential monitoring during spine surgery: a review of the literature. *Neurosurg Focus.* 2009;27:E7.
34. Lo YL, Dan YF, Tan YE, Nurjannah S, Tan SB, Tan CT. Intraoperative motor-evoked potential monitoring in scoliosis surgery: comparison of desflurane/nitrous oxide with propofol total intravenous anesthetic regimens. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2006;18:211-4.
35. Sloan TB, Toleikis JR, Toleikis SC, Koht A. Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery with total intravenous anesthesia or balanced anesthesia with 3 % desflurane. *J Clin Monit Comput.* 2014.
36. Clapcich AJ, Emerson RG, Roye DP Jr, Xie H, Gallo EJ, Dowling KC, et al. The effects of propofol, small-dose isoflurane, and nitrous oxide on cortical somatosensory evoked potential and bispectral index monitoring in adolescents undergoing spinal fusion. *Anesth Analg.* 2004;99:1334-40, table of contents.
37. Tamkus AA, Rice KS, Kim HL. Differential rates of false-positive findings in transcranial electric motor evoked potential monitoring when using inhalational anesthesia versus total intravenous anesthesia during spine surgeries. *Spine J.* 2013.
38. Mahmoud M, Sadhasivam S, Salisbury S, Nick TG, Schnell B, Sestokas AK, et al. Susceptibility of transcranial electric motor-evoked potentials to varying targeted blood levels of dexmedetomidine during spine surgery. *Anesthesiology.* 2010;112:1364-73.
39. Bala E, Sessler DI, Nair DR, McLain R, Dalton JE, Farag E. Motor and somatosensory evoked potentials are well maintained in patients given dexmedetomidine during spine surgery. *Anesthesiology.* 2008;109:417-25.
40. Bekker A, Sturaitis MK. Dexmedetomidine for neurological surgery. *Neurosurgery.* 2005;57 1 Suppl:1-10, discussion 1-10.
41. Rozet I. Anesthesia for functional neurosurgery: the role of dexmedetomidine. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2008;21:537-43.
42. Zaarour C, Engelhardt T, Strantzis S, Pehora C, Lewis S, Crawford MW. Effect of low-dose ketamine on voltage requirement for transcranial electrical motor evoked potentials in children. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007;32. E627-30.
43. Mishra L, Pradhan S, Pradhan C. Comparison of propofol based anaesthesia to conventional inhalational general anaesthesia for spine surgery. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.* 2011;27:59-61.
44. Beaussier M, Paugam C, Deriaz H, Mestari M, Chandon M, Sautet A, et al. Haemodynamic stability during moderate hypotensive anaesthesia for spinal surgery. A comparison between desflurane and isoflurane. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2000;44:1154-9.
45. Albertin A, La Colla L, Gandolfi A, Colnaghi E, Mandelli D, Gioia G, et al. Greater peripheral blood flow but less bleeding with propofol versus sevoflurane during spine surgery: a possible physiologic model? *Spine (Phila Pa 1976).* 2008;33:2017-22.
46. Hans P, Marechal H, Bonhomme V. Effect of propofol and sevoflurane on coughing in smokers and non-smokers awakening from general anaesthesia at the end of a cervical spine surgery. *Br J Anaesth.* 2008;101:731-7.
47. Konstantopoulos K, Makris A, Moustaka A, Karmaniolou I, Konstantopoulos G, Mela A. Sevoflurane versus propofol anesthesia in patients undergoing lumbar spondylodesis: a randomized trial. *J Surg Res.* 2013;179:72-7.
48. Guzmán F. Fisiopatología del trauma craneoencefálico. *Colomb. Med.* [online]. 2008, vol.39, suppl.3 [citado 8 Feb 2014], pp. 78-84. Disponible en: <<http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci.arttext&pid=S1657-95342008000700011&lng=en&nrm=iso>>. ISSN 1657-9534.
49. Guzmán F, Moreno M, Montoya A. Traumatic brain injury patients at Hospital Universitario del Valle: a 12 months study. *Colombia Médica, North America,* 39, Nov. 2009.[consultado 8 Feb 2014] Disponible en: <http://colombiamedica.univalle.edu.co/index.php/comedica/article/view/602/880>.