
Monitorización neurofisiológica intraoperatoria: métodos en neurocirugía

Intraoperative neurophysiological monitoring: methods in neurosurgery

J. Urriza, L. Imirizaldu, R.M. Pabón, O. Olaziregi, I. García de Gurtubay

RESUMEN

La monitorización neurofisiológica intraoperatoria (MIO) utiliza las distintas técnicas neurofisiológicas en el quirófano para monitorizar la función nerviosa durante la cirugía, evitando posibles lesiones neurológicas, con lo que disminuye la morbilidad y mejora el manejo quirúrgico, permitiendo cirugías más agresivas y mejorando las estrategias quirúrgicas. Existen dos tipos de técnicas en la monitorización neurofisiológica, las de mapeo –que identifican las estructuras en riesgo– y las de monitorización propiamente dichas –que proveen un feed-back continuo de la función– así como sus complicaciones, que aunque infrecuentes, existen. Se exponen las técnicas quirúrgicas que se pueden utilizar en la monitorización así como una posible guía orientativa sobre su uso según la zona quirúrgica y las estructuras en riesgo. La MIO constituye uno de los avances más importantes que ha tenido lugar en la neurocirugía moderna.

Palabras clave. Monitorización neurofisiológica intraoperatoria. Técnicas de monitorización.

ABSTRACT

IONM uses different neurophysiological techniques during surgery time, thus avoiding possible lesions to the neurological structures, making surgery safer and better. We describe two types of IONM: mapping techniques and monitoring techniques, as well as their advantages, disadvantages and complications. We look into the more useful techniques in this field, as well as providing orientation about its use according to the surgical areas and the neurological structures under risk. In conclusion, we affirm that IONM is one of the most important advances in modern neurosurgery.

Key words. Intraoperative neurophysiological monitoring. Monitoring techniques.

An. Sist. Sanit. Navar. 2009; 32 (Supl. 3): 115-124

Servicio de Neurofisiología Clínica.
Hospital Virgen del Camino. Pamplona.

Correspondencia
Javier Urriza Mena
Servicio de Neurofisiología Clínica
Hospital Virgen del Camino
Irunlarrea, 4
31008 Pamplona
E-mail: xabi.urriza@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La neurofisiología es una ciencia relativamente joven. Su aplicación dentro del quirófano es aún más reciente, constituyendo por sí sola una subespecialidad que se conoce como monitorización neurofisiológica intraoperatoria (MIO). Ésta es la parte de la misma que se dedica a monitorizar la función de las estructuras nerviosas durante las operaciones quirúrgicas que puedan poner en riesgo dichas estructuras. Además de disminuir la morbilidad^{1,2}, mejora el manejo quirúrgico, ya que permite cirugías más agresivas y, en el caso de que no se pueda evitar el daño, documenta cuándo sucedió, lo cual nos permite entender retrospectivamente los mecanismos del mismo y confirmar si una estrategia quirúrgica es adecuada y ajustarla en el futuro. Su incorporación al equipo de quirófano ha significado un notable aumento de la seguridad quirúrgica y constituye uno de los mayores aportes al avance de la neurocirugía moderna, aunque se aplica también en otras especialidades.

Los primeros pasos de la neurofisiología dentro del quirófano tuvieron lugar durante los años 30 con las investigaciones llevadas a cabo por Penfield y Jasper en Canadá realizando mapeo cortical cerebral por estimulación eléctrica directa en pacientes despiertos. Kelly registró sobre córtex expuesto en el quirófano por primera vez en 1965 los potenciales somatosensoriales o PESS (descritos por Dawson en 1947). Los años 70 asistieron al gran empuje de este tipo de técnicas sobre todo en cirugía de columna, que concluyeron con el primer simposium internacional sobre monitorización de la médula espinal, que tuvo lugar en 1977 en Tokio.

En 1986, Lesser y col comunicaron por primera vez en un artículo crucial³ la posibilidad de sufrir déficits neurológicos post-operatorios a pesar del registro durante toda la cirugía de PESS normales. Esta comunicación empujó definitivamente la investigación para poder desarrollar técnicas de vigilancia de los haces motores. El desarrollo clave en este campo lo realizaron Merton y Morton en 1980, con el de-

sarrollo de la estimulación eléctrica transcraneal, y Baker en 1985, con el desarrollo de la estimulación magnética transcraneal, aunque estas técnicas no encontraron una aplicación clínica inmediata en el quirófano por no poder producir potenciales en pacientes anestesiados.

En 1954, Paton y Amassian⁴ ya habían descrito la existencia de la onda D y las ondas I de los haces corticoespinales descendentes. Los grupos japoneses desarrollaron notablemente la técnica de la onda D, que no necesita sino un estímulo único. Aún así, esta técnica es incapaz de producir respuestas motoras periféricas. Basándose en trabajos de 1964 de Porter y Lemon, que propusieron la sumación temporal de la onda D mediante el estímulo por trenes como un método factible para la obtención de potenciales motores en el laboratorio, un grupo alemán consiguió por fin en 1993 producir respuestas por estímulo cortical primero⁵ y por estímulo transcraneal, como lo conocemos ahora, tres años después⁶.

Aunque el pilar fundamental de la MIO lo constituye la monitorización de los potenciales motores y sensitivos, se han usado también desde hace mucho tiempo otras muchas técnicas neurofisiológicas, como por ejemplo el electroencefalograma o EEG (en endarterectomías⁷ o en aneurismas intracraneales⁸), los potenciales evocados visuales o PEV⁹, los potenciales evocados auditivos de tronco cerebral o PEATC¹⁰, y sobre todo, el electromiograma (EMG) y las técnicas de mapeo, utilizados en rizotomías posteriores¹¹, en cirugías del tiroides¹², en cirugía del conus medullaris y raíces sacras¹³ o en la monitorización del nervio facial¹⁴.

CONCEPTOS GENERALES

El fin de la MIO es la identificación durante la cirugía de cualquier alteración en el sistema nervioso que nos permita una intervención temprana dirigida a evitar déficits neurológicos permanentes. Podemos considerar que existen dos tipos de técnicas en la monitorización neurofisiolo-

lógica: las técnicas de mapeo (*mapping*), que se usan en la identificación puntual de estructuras en riesgo e implican detener la cirugía mientras se realizan, y las de monitorización propiamente dicha, que proveen un *feed-back* continuo de la integridad funcional de las estructuras nerviosas durante todo el tiempo quirúrgico. Obviamente, esta última forma será la deseable siempre que sea posible, ya que asegura la detección inmediata del daño quirúrgico y aumenta las posibilidades de su corrección.

Las técnicas neurofisiológicas que usamos deberán aportar información adecuada en tiempo real, así como ser simples en su uso y lo suficientemente sensibles y específicas de acuerdo a la zona en riesgo como para poder detectar el daño a tiempo. Siempre habrá que intentar tener al menos una modalidad (y mejor dos) que nos sirva de control, sin olvidar que son posibles las lesiones lejos del campo quirúrgico (la monitorización de los miembros superiores en la cirugía espinal, que en principio no están en riesgo, puede poner de manifiesto una posible plexopatía braquial posicional)¹⁵.

De este modo, la MIO incrementa la seguridad quirúrgica, no sólo en el área de la neurocirugía, sino también en otras áreas quirúrgicas, como por ejemplo en traumatología¹⁶⁻¹⁸, radiología intervencionista^{19,20}, cirugía vascular^{21,22}, ORL^{23,24}, cirugía maxilofacial²⁵ o urología²⁶.

A pesar del avance en la seguridad quirúrgica que han representado, estas técnicas no están exentas de complicaciones, aunque no son numéricamente importantes²⁷. Se pueden producir mordeduras de la lengua o, lo que es más grave, del mismo tubo de intubación orotraqueal, daño en el campo quirúrgico debido al movimiento inducido por la estimulación, crisis convulsivas intraquirúrgicas, quemaduras en los lugares donde se encuentran los electrodos o alteraciones cardiovasculares. Sin embargo, la complicación más importante son los falsos negativos y positivos: los primeros porque tendrían consecuencias terribles para el paciente, ya que no se ha detectado el daño y se ha proseguido con la cirugía, y los segundos, aún sin consecuencias fisi-

cas para el paciente, porque van minando la confianza del cirujano en el neurofisiólogo, desestructurando el equipo.

REQUERIMIENTOS Y CONDICIONES

La MIO no es una disciplina con grandes requerimientos. Por un lado, las necesidades técnicas y tecnológicas necesarias para su realización no son muy exigentes, aunque lo ideal es una máquina con al menos 16 canales de registro (preferible 32) y varios estimuladores integrados, al menos uno de alta potencia (220 mA) con posibilidad de producir trenes de estímulos para la estimulación eléctrica transcranial. En la situación ideal tanto la máquina como un neurofisiólogo, con ayuda de una enfermera, deberían estar dedicados a tiempo completo a quirófano, aunque esto no es asumible por muchos servicios de neurofisiología clínica en nuestro país, al menos por el momento. Es importante que el personal al cargo de la MIO tenga unos conocimientos y experiencia amplia en el campo y que conozca las técnicas quirúrgicas que se van a emplear, ya que los problemas con lo que se puede encontrar son totalmente diferentes a los de la consulta.

Para su aplicación en cirugía es necesario poseer la máquina y la presencia de un neurofisiólogo en el quirófano.

El régimen anestésico que se ha demostrado más efectivo es la combinación de propofol (100-150 mg/Kg/min) y remifentanilo (1mg/Kg/h), con uso de relajantes musculares de acción corta sólo durante la intubación^{28,29}. Además hay que tener en cuenta que se debe evitar la administración de medicamentos en bolo, los gases halogenados (por su actuación a nivel de las sinapsis centrales) y los relajantes musculares más allá del momento de la intubación (por su característica inactivación de las sinapsis periféricas). Existen muchas dudas sobre el uso del óxido nitroso³⁰, aunque parece que hay datos que apoyan su acción inactivando los potenciales motores, al igual que los halogenados³¹.

TIPOS DE ESTIMULACIÓN Y REGISTRO

Los estímulos que utiliza la neurofisiología en el quirófano son de tres tipos: eléctrico, sonoro y luminoso. El más utilizado, sin duda, es el estímulo eléctrico, que aprovecha las características eléctricas del tejido nervioso. Dependiendo de la localización en la cual aplicamos el estímulo existen la estimulación transcraneal, la estimulación cortical directa, la estimulación nerviosa transcutánea, la estimulación directa de nervio periférico, la estimulación cerebral profunda o la estimulación muscular directa.

Durante el proceso de la MIO podemos registrar, también mediante distintos electrodos de aguja o de superficie, dos tipos de fenómenos: fenómenos provocados por nuestros estímulos (potenciales evocados) o fenómenos espontáneos (actividad electroencefalográfica y descargas anormales del electromiograma).

DESCRIPCIÓN SOMERA DE LAS TÉCNICAS

Frente al concepto que muchos cirujanos tienen aún de que la monitorización en el quirófano se reduce a la realización de PESS, hay que aclarar que las técnicas en MIO son muy numerosas. Tanto es así que sería demasiado prolijo describir todas y cada una de ellas, por lo que vamos a hacer aquí un pequeño repaso de las más usadas y validadas, en qué consisten y de cuáles podrían ser sus aplicaciones, tanto a nivel de técnicas de monitorización como de técnicas de mapeo.

TÉCNICAS DE MONITORIZACIÓN

PESS transcraneales (t-PESS)³²

- Qué valoran: vías largas sensitivas, especialmente los cordones posteriores.
- Indicaciones: cirugías con riesgo de daño mecánico directo³³ sobre las vías sensitivas a cualquiera de sus

niveles, así como en procesos quirúrgicos vasculares que pongan en riesgo la irrigación de la vía³⁴.

- Pros y contras: son muy útiles en la monitorización de la isquemia. Sin embargo, es posible que, debido a la diferente irrigación de la médula anterior y posterior, puedan producirse déficits motores sin alteración de los PESS. Por otro lado, debido a que presentan una amplitud muy pequeña, es necesario que se sumen mediante técnicas de promediación, por lo que no es posible detectar un daño en el momento exacto en que se produce. Son de muy escaso o nulo valor en la cirugía de raíces, puesto que los nervios que se estimulan tienen fibras de diferentes raíces, por lo que la lesión de una sola de ellas no evita que las restantes produzcan el mismo potencial.

Potenciales evocados motores transcraneales (t-PEM)

- Qué valoran: vías largas motoras (vía corticoespinal) a cualquier nivel central.
- Indicaciones: cirugías que pongan en riesgo la corteza motora, los cordones motores en la médula o cualquier parte de la vía entre ambos lugares^{35,36}.
- Pros y contras: muy sensibles en la valoración de la función motora y, en conjunción con la onda D, imprescindibles para poder predecir el pronóstico en la cirugía intramedular. Sin embargo, son muy susceptibles a pequeños cambios en la anestesia, y especialmente a gases halogenados y relajantes musculares, por lo que mínimos cambios en ésta pueden dar al traste con la monitorización. Por otro lado, un estímulo único es incapaz de producirlos, por lo que necesitamos un tren de estímulos, lo que produce un cierto movimiento en el paciente que puede molestar al cirujano. Muy importante: en prin-

cipio estarían contraindicados en cirugía supratentorial por el peligro de que la sobreestimulación excite la vía motora por debajo de la lesión. No valoran problemas en la parte sensitiva ascendente y son, al igual que los PESS, de muy escaso o nulo valor en la valoración de raíces.

PEM por estímulo directo cortical (c-PEM)³⁷

- Qué valoran: lo mismo que los t-PEM.
- Indicaciones: cirugías supratentoriales donde estén en riesgo las vías motoras.
- Pros y contras: es la técnica de elección en la monitorización motora en cirugía supratentorial porque es la única que deja la lesión entre el estímulo y el registro. Es sumamente importante que el electrodo de estimulación (grid) no se mueva, puesto que esto hará que los umbrales de estimulación varíen sin una base patológica, induciendo a error.

PESS corticales (c-PESS)

- Qué valoran: lo mismo que los PESS.
- Indicaciones: cirugías supratentoriales.
- Pros y contras: los c-PESS son de mucha mayor amplitud que los t-PESS. Las mismas consideraciones sobre el grid que en los c-PEM.

PEM córtico-bulbares³⁸

- Qué valoran: las vías motoras desde la corteza hasta los núcleos de los pares craneales.
- Indicaciones: cirugías que pongan en riesgo la vía corticobulbar, fundamentalmente cirugías del troncoencéfalo.
- Pros y contras: la colocación de los electrodos es muy laboriosa, aumentando el tiempo quirúrgico y técni-

camente son muy difíciles de utilizar. Además son muy sensibles a la anestesia. Pero a su favor cuenta que son muy específicos de la vía que estudian.

Onda D³⁹

- Qué valora: vía corticoespinal.
- Indicaciones: cirugías intramedulares que pongan en riesgo las columnas motoras.
- Pros y contras: es la onda viajera de la vía corticoespinal, y la manera más fiable de monitorizar la vía motora espinal. No necesita un tren de estímulos para su producción, por lo que no produciendo movimiento en el paciente. Técnicamente no es complicada de obtener, pero a veces el artefacto de estímulo puede no dejarnos valorarla correctamente y hay que tener en cuenta que por debajo de T10, aproximadamente, ya no es posible obtenerla porque no hay suficientes axones como para registrar la onda viajera.

Reflejo del parpadeo (Blink Reflex, BR)⁴⁰

- Qué valora: arco reflejo del parpadeo.
- Indicaciones: cirugías que pongan en riesgo cualquiera de las estructuras del arco. También se puede usar como adyuvante en la monitorización de la profundidad anestésica.
- Pros y contras: valora los pares craneales V, VII y sus conexiones troncoencefálicas. Muy sensible a los cambios anestésicos.

Reflejo bulbo-cavernoso (RBC)⁴¹

- Qué valora: aferencias y eferencias del arco reflejo, así como sus conexiones.
- Indicaciones: cirugías de cola de caballo o de los nervios periféricos implicados.

- Pros y contras: valora las raíces que gobiernan hechos fisiológicos tan cruciales para la calidad de vida como son la micción, la defecación o la erección-lubricación (SII a SIV). Tanto el estímulo como el registro están fuera del campo quirúrgico, lo que elimina muchos factores de confusión. Por contra, son muy sensibles a la anestesia.

Potenciales evocados auditivos de tronco cerebral (PEATC)¹⁰

- Qué valoran: vía auditiva hasta mesencéfalo.
- Indicaciones: cirugías que pongan en riesgo las vías auditivas, especialmente en cirugías del nervio auditivo (neurinomas) y de troncoencéfalo (localizadas en protuberancia o mesencéfalo), aunque igualmente se usan en la cirugía de descompresión microvascular del trigémino por su cercanía al nervio auditivo.
- Pros y contras: no se pueden usar mientras se utiliza la fresa en la mastoides. Necesaria la promediación.

Electromiografía (EMG)^{11,13,14,24}

- Qué valora: el daño a raíces o nervios específicos.
- Indicaciones: cirugías que pongan en riesgo raíces medulares o nervio periférico, como por ejemplo la cirugía lumbar o cirugías del facial.
- Pros y contras: es una técnica sencilla, y única en algunas. Detecta la presencia de descargas neurotónicas, pero su especificidad y sensibilidad son limitadas, ya que una sección del nervio no necesariamente produce descargas de ningún tipo en los músculos diana.

Electroencefalografía (EEG)⁴²

- Qué valora: la actividad cortical cerebral.

- Indicaciones: cirugías supratentoriales para registro de corticografía, la cual puede detectar tras el estímulo eléctrico posibles post-descargas generadoras de crisis convulsivas. Igualmente la corticografía se usa en la valoración de la exéresis en cirugía de la epilepsia. También valora la profundidad anestésica y en ciertos casos la isquemia.
- Pros y contras: su interpretación no es en absoluto igual a la de la consulta por la presencia de la anestesia. Los canales disponibles son muy limitados en número. Las técnicas computarizadas (CSA, DSA) permiten la valoración de la profundidad anestésica de acuerdo con el anestesista de cara a la obtención de otros potenciales.

TÉCNICAS DE MAPEO

Mapeo cortical⁴³

- Qué valora: zonas elocuentes del córtex, bien motoras o bien del lenguaje.
- Indicaciones: cuando se necesita delimitar los bordes o la topografía de una zona (principalmente en cirugía neurooncológica y en cirugía de la epilepsia).
- Pros y contras: permite una exéresis más exacta. Su inconveniente más importante es intrínseco a la técnica, ya que cualquier mapeo necesita parar la cirugía para realizarse por lo que nunca ha de utilizarse como técnica única.

Mapeo subcortical

- Qué valora: localización en profundidad de las vías motoras descendentes y distancia a ellas.
- Indicaciones: valoración de bordes de exéresis en profundidad.
- Pros y contras: los mismos que el mapeo cortical.

Técnica de inversión de fase de los PESS (*Phase-Reversal*)⁴³

- Qué valora: la localización de los bancos motor y sensitivo en la corteza.
- Indicaciones: cirugías supratentoriales.
- Pros y contras: necesita de la colocación del electrodo de estimulación cortical (grid) sobre la corteza, lo cual implica muchas veces deslizarlo a ciegas por debajo de la duramadre, con lo que la colocación no es del todo exacta, además de que, en algunas condiciones patológicas, podemos lacerar la duramadre o el córtex. No obstante, es el método ideal para la correcta localización del punto motor de menor umbral, necesario para la monitorización cortical continua.

Mapeo de los núcleos del IV ventrículo⁴⁴

- Qué valora: la localización de dichos núcleos.
- Indicaciones: cirugías que expongan el suelo del IV ventrículo.
- Pros y contras: imprescindible en esta localización porque una lesión puede desplazar los núcleos de su situación natural, lo que afectará a la estrategia de la exéresis. Al igual que los otros mapeos no es una monitorización, por lo que no evita daños si se usa en solitario.

Mapeo de columnas dorsales⁴⁵

- Qué valora: la localización del surco posterior de la médula espinal.
- Indicaciones: cirugías con necesidad de medulotomía donde los referentes anatómicos de la línea media estén desdibujados.
- Pros y contras: localiza eléctricamente el surco posterior de manera fiable. No obstante, el electrodo es muy específico y difícil de conseguir

y el procedimiento es muy delicado puesto que hay que conseguir que no se mueva de su posición sobre la médula.

Mapeo de raíces y de tornillos pediculares

- Ver la parte correspondiente a MIO en cirugía del raquis en este mismo número.

Mapeo de nervio periférico⁴⁶

- Qué valora: la continuidad del nervio; también se usa en identificación de estructuras.
- Indicaciones: en cirugía de nervio periférico (tumores, reparación, liberación...).
- Pros y contras: igual que el mapeo de raíces (ver MIO en cirugía del raquis).

METODOLOGÍAS APLICADAS A PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS

Se exponen algunas técnicas que pueden variar en función de las estructuras que se ponen a riesgo.

Cirugía supratentorial

- t-PEM y c-PEM, t-PES y c-PES, mapeo motor (cortical y subcortical) o del lenguaje, EEG, electrocorticografía y reflejo del parpadeo. En estudio los PEV.

Cirugía de troncoencéfalo

- t-PEM, PEM corticobulbares, t-PES, EEG, PEATC, reflejo del parpadeo y mapeo motor de los nervios y de los núcleos del suelo del IV ventrículo.

Cirugía de médula espinal

- t-PEM, onda D, t-PES, mapeo de las columnas dorsales, EEG.

Cirugía de columna

- t-PEM, t-PESS, mapeo de raíces y de tronillos pediculares y EEG.

Cirugía de procesos vasculares

- No son específicos de neurocirugía; también se desarrollan en el entorno de la radiología intervencionista o la cirugía vascular. Dependiendo de la localización (aneurismas cerebrales, aórticos, malformaciones vasculares cerebrales, espinales, etc.) usaremos t-PEM y c-PEM, t-PESS y c-PESS, EEG y electrocorticografía. Especialmente, los PEM y los PESS se pueden usar asociados a pruebas de provocación con diferentes anestésicos, sobre todo en procedimientos de embolización en radiología intervencionista¹⁶.

Cirugía de raíces y nervio periférico

- t-PEM, t-PESS, mapeo (raíces, plexo, nervio periférico o tornillos pediculares)

CONSIDERACIONES FINALES

Como conclusión final podemos decir que, junto a la aparición del microscopio electrónico o los neuronavegadores, la MIO constituye uno de los avances más importantes que ha tenido lugar en la neurocirugía de finales del siglo XX. Su desarrollo ha permitido cirugías mucho más agresivas y mucho más seguras, incidiendo de forma clave en la mejora de la morbi-mortalidad neuroquirúrgica, por lo que es de esperar que en los próximos años asistamos en nuestro medio a un despegar de esta disciplina que redunde en mejores técnicas quirúrgicas y en una mejora importante de la calidad de la atención al paciente.

BIBLIOGRAFÍA

1. SALA F, PALANDRI G, BASSO E, LANTERI P, DELETIS V, FACCIOLI F, BRICOLI A. Motor evoked potential monitoring improves outcome after surgery

for intramedullary spinal cord tumors: a historical control study. *Neurosurgery* 2006; 58: 1129-1143.

2. NEULOH G, SIMON M, SCHRAMM J. Stroke prevention during surgery for deep-seated gliomas. *Neurophysiol Clin* 2007; 37: 383-389.
3. LESSER RP, RAUDZENS P, LÜDERS H, NUWER MR, GOLDIE WD, MORRIS HH 3RD et al. Postoperative neurological deficits may occur despite unchanged intraoperative somatosensory evoked potentials. *Ann Neurol* 1986; 19: 22-25.
4. PATTON HD, AMASSIAN VE. Single and multiple-unit analysis of cortical stage of pyramidal tract activation. *J Neurophysiol* 1954; 17: 345-363.
5. TANIGUCHI M, CEDZICH C, SCHRAMM J. Modification of cortical stimulation for motor evoked potentials under general anesthesia: technical description. *Neurosurgery* 1993; 32: 219-226.
6. PECHSTEIN U, CEDZICH C, NADSTAWEK J, SCHRAMM J. Transcranial high-frequency repetitive electrical stimulation for recording myogenic motor evoked potentials with the patient under general anesthesia. *Neurosurgery* 1996; 39: 335-343; discussion 343-344.
7. PÉREZ-BORJA C, MEYER JS. Electroencephalographic monitoring during reconstructive surgery of the neck vessels. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1965; 18: 162-169.
8. JONES TH, CHIAPPA KH, YOUNG RR, OJEMANN RG, CROWELL RM. EEG monitoring for induced hypotension for surgery of intracranial aneurysms. *Stroke* 1979; 10: 292-294.
9. FEINSOD M, SELHORST JB, HOYT WF, WILSON CB. Monitoring optic nerve function during craniotomy. *J Neurosurg* 1976; 44: 29-31.
10. MOLLER AR. Monitoring auditory function during operations to remove acoustic tumors. *Am J Otol* 1996; 17: 452-460.
11. PRIVAT JM, BENEZECH J, FREREBEAU P, GROS C. Sectorial posterior rhizotomy, a new technique of surgical treatment for spasticity. *Acta Neurochir (Wien)* 1976; 35: 181-195.
12. HERMANN M, HELLEBART C, FREISSMUTH M. Neuro-monitoring in thyroid surgery: prospective evaluation of intraoperative electrophysiological responses for the prediction of recurrent laryngeal nerve injury. *Ann Surg* 2004; 240: 9-17.
13. JAMES HE, MULCAHY JJ, WALSH JW, KAPLAN GW. Use of anal sphincter electromyography during operations on the conus medullaris and sacral nerve roots. *Neurosurgery* 1979; 4: 521-523.

14. DELGADO TE, BUCHHEIT WA, ROSENHOLTZ HR, CHRISSIAN S. Intraoperative monitoring of facial muscle evoked responses obtained by intracranial stimulation of the facial nerve: a more accurate technique for facial nerve dissection. *Neurosurgery* 1979; 4: 418-421.
15. SCHWARTZ DM, DRUMMOND DS, HAHN M, ECKER ML, DORMANS JP. Prevention of positional brachial plexopathy during surgical correction of scoliosis. *J Spinal Disord* 2000; 13: 178-182.
16. HERDMANN J, DELETIS V, EDMONDS H, MOROTA N. Spinal cord and nerve root monitoring in spine surgery and related procedures. *Spine (Phila Pa 1976)* 1996; 21: 879-885.
17. 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): 232S-237S.
18. MACDONALD DB, AL ZAYED Z, KHOUDIR I, STIGSBY B. Monitoring scoliosis surgery with combined multiple pulse transcranial electric motor and cortical somatosensory evoked potentials from the lower and upper extremities. *Spine* 2003; 28: 194-203.
19. NIMI Y, SALA F, DELETIS V, SETTON A, DE CAMARGO AB, BERENSTEIN A. Neurophysiologic monitoring and pharmacologic provocative testing for embolization of spinal cord arteriovenous malformations. *Am J Neuroradiol* 2004; 25: 1131-1138.
20. SALA F, BELTRAMELLO A, GEROSA M. Neuroprotective role of neurophysiological monitoring during endovascular procedures in the brain and spinal cord. *Neurophysiol Clin* 2007; 37: 415-421.
21. SALMIAN AJ, TAYLOR DC, HSIANG YN, HILDEBRAND HD, LITHERLAND HK, HUMER MF et al. Selective shunting with EEG monitoring is safer than routine shunting for carotid endarterectomy. *Cardiovasc Surg* 1997; 5: 481-485.
22. DONG CC, MACDONALD DB, JANUSZ MT. Intraoperative spinal cord monitoring during descending thoracic and thoracoabdominal aneurysm surgery. *Ann Thorac Surg* 2002; 74: S1873-1876; discussion S1892-1898.
23. NAKAO Y, PICCIRILLO E, FALCIONI M, TAIBAH A, KOBAYASHI T, SANNA M. Electromyographic evaluation of facial nerve damage in acoustic neuroma surgery. *Otol Neurotol* 2001; 22: 554-557.
24. HARPER CM, DAUBE JR. Facial nerve electromyography and other cranial nerve monitoring. *J Clin Neurophysiol* 1998; 15: 206-216.
25. JÄÄSKELÄINEN SK. A new technique for recording sensory conduction velocity of the inferior alveolar nerve. *Muscle Nerve* 1999; 22: 455-459.
26. RODI Z, VODUSEK DB. Intraoperative monitoring of the bulbocavernosus reflex: the method and its problems. *Clin Neurophysiol* 2001; 112: 879-883.
27. MACDONALD DB. Safety of intraoperative transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring. *J Clin Neurophysiol* 2002; 19: 416-429.
28. SCHEUFLER KM, ZENTNER J. Total intravenous anesthesia for intraoperative monitoring of the motor pathways: an integral view combining clinical and experimental data. *J Neurosurg* 2002; 96: 571-579.
29. SLOAN TB, HEYER EJ. Anesthesia for Intraoperative Neurophysiologic Monitoring of the Spinal Cord. *J Clin Neurophysiol* 2002; 19: 430-443.
30. VAN DONGEN EP, TER BEEK HT, SCHEPENS MA, MORSHUIS WJ, LANGEMEIJER HJ, KALKMAN CJ et al. EH. The influence of nitrous oxide to supplement fentanyl/low-dose propofol anesthesia on transcranial myogenic motor-evoked potentials during thoracic aortic surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1999; 13: 30-34.
31. KALKMAN CJ, DRUMMOND JC, RIBBERINK AA. Low concentrations of isoflurane abolish motor evoked responses to transcranial electrical stimulation during nitrous oxide/opioid anesthesia in humans. *Anesth Analg* 1991; 73: 410-415.
32. TOLEIKIS JR. American Society of Neurophysiological Monitoring. Intraoperative monitoring using somatosensory evoked potentials. A position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *J Clin Monit Comput* 2005; 19: 241-258.
33. TAUNT CJ, SIDHU KS, ANDREW SA. Somatosensory evoked potential monitoring during anterior cervical discectomy and fusion. *Spine* 2005; 30: 1970-1972.
34. POLLOCK JC, JAMIESON MP, McWILLIAM R. Somatosensory evoked potentials in the detection of spinal cord ischemia in aortic coarctation repair. *Ann Thorac Surg* 1986; 41: 251-254.
35. DE HAAN P, KALKMAN CJ, DE MOL BA, UBAGS LH, VELDMAN DJ, JACOBS MJ. Efficacy of transcranial motor-evoked myogenic potentials to detect spinal cord ischemia during operations for thoracoabdominal aneurysms. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1997; 113: 87-100; discussion 100-101.

36. SZELENYI A, BUENO DE CAMARGO A, FLAMM E, DELETIS V. Neurophysiological criteria for intraoperative prediction of pure motor hemiplegia during aneurysm surgery. Case report. *J Neurosurg* 2003; 99: 575-578.
37. SZELENYI A, KOTHBAUER K, DE CAMARGO AB, LANGER D, FLAMM ES, DELETIS V. Motor evoked potential monitoring during cerebral aneurysm surgery: technical aspects and comparison of transcranial and direct cortical stimulation. *Neurosurgery* 2005; 57 (Suppl. 4): 331-338.
38. DELETIS V, FERNÁNDEZ-CONEJERO I, ULKATAN S, COSTANTINO P. Methodology for intraoperatively eliciting motor evoked potentials in the vocal muscles by electrical stimulation of the corticobulbar tract. *Clin Neurophysiol* 2009; 120: 336-341.
39. DELETIS V, SALA F. Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery: an update. *Current Opin Orthopaedics* 2004; 15: 154-158.
40. DELETIS V, URRIZA J, ULKATAN S, FERNÁNDEZ-CONEJERO I, LESSER J, MISITA D. The feasibility of recording blink reflexes under general anesthesia. *Muscle Nerve* 2009; 39: 642-646.
41. RODI Z, VODUSEK DB. Intraoperative monitoring of the bulbocavernosus reflex: the method and its problems. *Clin Neurophysiol* 2001; 112: 879-883.
42. FLORENCE G, GUERIT JM, GUEGUEN B. Electroencephalography (EEG) and somatosensory evoked potentials (SEP) to prevent cerebral ischaemia in the operating room. *Neurophysiol Clin* 2004; 34: 17-32.
43. KROMBACH GA, SPETZGER U, ROHDE V, GILSBACH JM. Intraoperative localization of functional regions in the sensorimotor cortex by neuronavigation and cortical mapping. *Comput Aided Surg* 1998; 3: 64-73.
44. MOROTA N, DELETIS V, LEE M, EPSTEIN FJ. Functional anatomic relationship between brain-stem tumors and cranial motor nuclei. *Neurosurgery* 1996; 39: 787-93; discussion 793-794.
45. DELETIS V, SALA F. Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: a review focus on the corticospinal tracts. *Clin Neurophysiol* 2008; 119: 248-264.
46. CRUM BA, STROMMEN JA. Peripheral nerve stimulation and monitoring during operative procedures. *Muscle Nerve* 2007; 35: 159-170.