

»



**IMPLICANCIAS MÉDICO-LEGALES DE LA MONITORIZACIÓN
NEUROFISIOLÓGICA INTRAOPERATORIA.
IMPORTANCIA EN EL DIAGNÓSTICO Y PREVENCIÓN DE DÉFICIT
NEUROLÓGICO POSTOPERATORIO EN CIRUGÍAS DE DEFORMIDAD ESPINAL
EN UN HOSPITAL PEDIÁTRICO.**

Carrera de Especialización en Medicina Legal

María Elena Talarico

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá y a mi papá, por su cariño eterno, su ayuda invaluable y por mostrarme el camino.

A mi hija y a mi marido, por el amor incondicional que me brindan día a día y por acompañarme en esta aventura llamada vida.

ÍNDICE

RESUMEN	4
PALABRAS CLAVE	4
ABSTRACT	4
KEY WORDS	4
INTRODUCCIÓN	5
Monitorización neurofisiológica intraoperatoria multimodal	5
Bases anatómicas de los PEM	5
Mecanismos de injuria en cirugía espinal	6
PROBLEMA	7
JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVOS	8
MARCO TEÓRICO	9
MÉTODOS	9
Selección de pacientes y evaluación neurológica	9
Manejo anestésico	10
Técnicas de estimulación y registro	10
RESULTADOS	11
DISCUSIÓN	12
CONCLUSIONES	13
BIBLIOGRAFÍA	14

RESUMEN

La monitorización neurofisiológica intraoperatoria (MNI) es una práctica médica considerada dentro de la lex artis para muchos procedimientos quirúrgicos en los cuales existe riesgo de daño neurológico, como sucede en las cirugías espinales. Sin embargo, algunos autores han cuestionado el valor de la MNI para prevenir la injuria neurológica intraoperatoria. Este trabajo tiene por objetivo abordar esta cuestión, analizando 122 cirugías espinales pediátricas consecutivas realizadas bajo MNI.

PALABRAS CLAVE

MNI – PEM – CIRUGÍA ESPINAL – LEX ARTIS

ABSTRACT

Intraoperative neurophysiological monitoring (INM) is considered the standard of care for many surgical procedures where there is risk of neurological damage, such as spine surgeries. However, some authors have questioned the value of INM to prevent intraoperative neurological injury. This work aims to approach this issue, by analyzing 122 consecutive spinal pediatric surgeries performed under INM.

KEY WORDS

INM – MEP – SPINAL SURGERY – STANDARD OF CARE

INTRODUCCIÓN

La monitorización neurofisiológica intraoperatoria (MNI) es una práctica médica que permite evaluar la integridad de las estructuras neurales durante procedimientos quirúrgicos. El objetivo de la MNI es identificar injuria neural intraoperatoria incipiente y permitir una intervención temprana, para eliminar o reducir de forma significativa el daño irreversible del sistema nervioso previniendo el déficit neurológico postoperatorio transitorio o permanente.¹

La información obtenida a partir de la MNI provee un marcador continuo de la integridad anatómica y funcional del sistema nervioso. Los cambios de señal constituyen alarmas que ponen en marcha acciones correctivas por parte del equipo quirúrgico, tendientes a revertir la injuria y evitar la lesión permanente.¹

Monitorización neurofisiológica intraoperatoria multimodal

La MNI utiliza diferentes técnicas que se complementan entre sí, por eso adopta el nombre de multimodal. En cirugía de columna, las modalidades más usadas son:²

- 1) Potenciales evocados motores (PEM) para la evaluación de la vía motora corticoespinal.
- 2) Potenciales evocados somatosensoriales (PESS) para la evaluación de la vía cordonal posterior somatosensitiva.
- 3) Electromiografía continua (EMGc) para la evaluación de raíces y nervios.

Los PEM constituyen la práctica más crítica. Son señales eléctricas que se registran en los músculos en respuesta a la activación de la vía motora corticoespinal a nivel central. Se obtienen realizando estimulación eléctrica transcraneana del cerebro a través de la calota intacta (scalp) y registrando posteriormente las respuestas evocadas en los músculos que se encuentran caudalmente a la zona de riesgo.

Bases anatómicas de los PEM

El tracto piramidal o corticoespinal se origina en neuronas de la corteza motora primaria y otras áreas frontoparietales. Los axones de la motoneurona superior descienden por la corona radiata y convergen en la cápsula interna,

continuando caudalmente por el pedúnculo cerebral y protuberancia hacia el bulbo raquídeo. El 75-90% de las fibras se cruza hacia el lado opuesto en la decusación piramidal y continúa su curso por la médula espinal formando el tracto lateral. Los axones restantes continúan ipsilateralmente y forman el tracto anterior o ventral. Los axones alcanzan luego a la motoneurona inferior en forma directa o a través de neuronas intermediarias localizadas en la sustancia gris anterior de la médula espinal. Representan la vía final común para la inervación muscular, integrando los inputs del tracto corticoespinal y de otras estructuras del sistema nervioso central como la corteza premotora, centros subcorticales y vías moduladoras agrupadas como sistema extrapiramidal.²

El tracto corticoespinal es la vía responsable de los movimientos voluntarios y es el principal determinante de la generación de señales durante el monitoreo con PEM transcraneanos.²

Mecanismos de injuria en cirugía espinal

Varios son los posibles mecanismos por los cuales puede producirse daño del sistema nervioso durante cirugías correctivas de deformidades espinales. Los más obvios son el trauma mecánico directo y la compresión por elementos o instrumental quirúrgico.

La inserción de tornillos pediculares puede dañar la pared del pedículo vertebral y penetrar el foramen neural o el canal medular.

Las maniobras de corrección con barras de deformidades como escoliosis o cifosis, así como la tracción halo-femoral, pueden provocar hipoflujo e isquemia de la médula espinal a través de la elongación de la arteria espinal anterior.³

Algunas escoliosis o cifosis de grados severos pueden requerir la realización de osteotomías extensas, con el riesgo de trauma directo de la médula espinal o nervios.

La isquemia medular regional puede manifestarse con distribución segmentaria, especialmente en las regiones conocidas como watershed (límitrofes) de la región toracolumbar.

La hipotensión sistémica y la pérdida sanguínea intraoperatoria son otras posibles causas de compromiso medular.³

PROBLEMA

Los PEM intraoperatorios permiten detectar injuria inminente de la médula espinal en cirugías de deformidad de la columna. La mayoría de los reportes acerca de deterioro reversible de los PEM detectado por la MNI en los cuales se toman conductas intraoperatorias y el paciente despierta de la anestesia sin déficit motor, aportan importante evidencia acerca del rol preventivo de los mismos en cuanto a daño neurológico postoperatorio.⁴ Esto ubicaría a la MNI dentro de la *lex artis*, es decir el *standard of care* (de la literatura anglosajona) de la buena práctica médica en cirugías en las cuales existe riesgo de daño de alguna estructura del sistema nervioso central o periférico.⁵

Otros autores, sin embargo, han cuestionado este valor preventivo, desestimando y desanimando la utilización de la MNI sumado a su costo elevado por requerir equipamiento y personal médico y técnico experimentado y especializado.⁶

El presente estudio pretende abordar y traer luz acerca de esta problemática y controversia, investigando el rol diagnóstico y preventivo de la MNI en relación a daño neurológico en cirugías de deformidad espinal y su inclusión como práctica médica dentro de la *lex artis* para este tipo de procedimientos.

JUSTIFICACIÓN

La responsabilidad médica es la obligación que tienen los profesionales que ejercen la medicina de responder por las consecuencias derivadas de su actuación profesional (daños en el cuerpo o en la salud o muerte de los pacientes que estaban bajo la asistencia médica). Las obligaciones pueden ser de medios o de resultados. Salvo excepciones (como sucede en cirugía plástica, oftalmología para cirugía de blefaroplastia, anatomía patológica y diagnóstico por imágenes) la obligación del médico es de medios y no de resultados. El médico contrae una obligación de medios, consistente en la aplicación de su saber y de su proceder en favor de la salud del enfermo. El médico tiene entonces el compromiso de poner todo su empeño y su técnica al servicio del paciente.⁷

En cirugía de columna específicamente, uno de los objetivos de la medicina moderna debería ser el de reducir el riesgo de déficit neurológico postoperatorio utilizando todos los medios disponibles con que se cuente.⁸

El médico tiene el deber de preservar la salud del paciente. Si bien el resultado no siempre está en sus manos, sí tiene que cumplir en su práctica médica con ciertos estándares mínimos orientados a la curación. El médico no puede apartarse injustificadamente de esos estándares o reglas básicas, que en términos jurídicos se conocen como la *lex artis*. De acuerdo a la *lex artis*, el profesional de la medicina tiene la obligación de actuar con la debida diligencia. Ésta se vulnera cuando no se realizan las funciones que las técnicas de la salud aconsejan emplear, en aplicación de la deontología médica y del sentido común.

La *lex artis* es un estándar, un tipo de norma que no exige un resultado ni indica qué se debe hacer, sino que prescribe cómo debería actuar el profesional: un ejercicio diligente, prudente y razonable que se define en cada caso y en cada paciente. La *lex artis* es un saber cómo, que ratifica que el ejercicio profesional y el razonamiento médico siguen siendo ejemplos de sabiduría práctica.

En esta línea, la MNI es considerada por muchos autores dentro de la *lex artis* para procedimientos en los que existe riesgo de daño neurológico, como cirugías espinales, intracraneales o vasculares, por ejemplo. Dentro de las modalidades realizadas y refiriéndonos específicamente a procedimientos correctivos de deformidades espinales, los PEM transcraneales constituyen un componente esencial de la monitorización multimodal para diagnosticar y eventualmente prevenir el daño neurológico inducido quirúrgicamente.^{9,10}

OBJETIVOS

Se llevó a cabo un estudio de casos consecutivos, de tipo retrospectivo, observacional y no controlado, de pacientes en los que se realizó cirugía de deformidades espinales en un hospital público pediátrico de alta complejidad de la Ciudad de Buenos Aires. Los objetivos fueron (1) determinar la edad y sexo promedio de los pacientes; (2) identificar los diagnósticos preoperatorios más frecuentes; (3) determinar si ocurrieron eventos neurofisiológicos significativos; (4) determinar si dichos eventos se tradujeron en déficit clínico neurológico en el examen postoperatorio; (5) establecer los procedimientos quirúrgicos realizados; (6) determinar las conductas intraoperatorias llevadas a cabo y las medidas neuroprotectoras; (7) establecer si la MNI permitió anticipar y diagnosticar, en el contexto intraoperatorio, los cambios clínicos postoperatorios observados; (8)

discutir el rol preventivo de la MNI en los casos de deterioro de las respuestas motoras que no presentaron déficit neurológico postoperatorio; (9) describir la evolución clínica postoperatoria mediata de los pacientes que presentaron déficit neurológico postoperatorio inmediato.

MARCO TEÓRICO

Se considera evento neurofisiológico significativo al deterioro en la amplitud del PEM >80% en relación a los valores basales, presente en cualquiera de los registros evaluados. Pérdida del PEM es la desaparición de las respuestas motoras en cualquiera de los registros evaluados. Por otro lado, se considera cambio reversible tanto al deterioro como a la desaparición de las respuestas motoras que recupera por lo menos el 20% de amplitud en relación a los valores basales. Por el contrario, se conoce como cambio irreversible tanto al deterioro como a la desaparición de las respuestas motoras que no recupera por lo menos el 20% de amplitud en relación a los valores basales.¹⁰

MÉTODOS

Selección de pacientes y evaluación neurológica

Desde el 2 de enero al 9 de noviembre de 2023, se realizaron en total 124 cirugías consecutivas de deformidades espinales en un hospital público pediátrico de alta complejidad de la Ciudad de Buenos Aires. Se excluyó una cirugía que debió suspenderse luego de obtener los registros basales pero antes de realizarse la incisión de piel, debido a que la paciente presentó broncorrea con obstrucción de la vía aérea. Otra cirugía fue excluida debido a que, por la patología de base de la paciente (atrofia muscular espinal tipo I), no se pudieron registrar potenciales basales.

Se analizaron 122 cirugías en 119 pacientes debido a que 3 fueron operados en dos oportunidades cada uno. La edad promedio fue de 12,1 años (rango 3-21 años); 89 fueron de sexo femenino y 30 de sexo masculino.

Los diagnósticos preoperatorios incluyeron escoliosis idiopática del adolescente (n=39), escoliosis neuromuscular (n=28), escoliosis sindrómica (n=27), escoliosis congénita (n=9), cifosis (n=6), escoliosis idiopática infantil (n=5), inestabilidad occipitocervical (n=3), escoliosis asociada a otras patologías

(n=2), compresión medular dorsal (n=1), espondilolistesis (n=1), osteoma osteoide (n=1). Todas las cirugías fueron realizadas por cirujanos traumatólogos del Servicio de Patología Espinal de la institución. Todos los monitoreos neurofisiológicos intraoperatorios fueron llevados a cabo por neurólogos pertenecientes al Servicio de Estudios Neurofisiológicos de la institución.

En todos los casos se realizó un examen neurológico preoperatorio y, luego de la cirugía al despertar el paciente de la anestesia, un examen postoperatorio inmediato para determinar la existencia de déficit neurológico agregado.

Manejo anestésico

En todas las cirugías se utilizó anestesia intravenosa total con propofol (4-6 mg/kg/hora) y remifentanilo. No se administraron relajantes musculares. La presión arterial media fue mantenida entre 60 y 80 mmHg.

Técnicas de estimulación y registro

En todos los pacientes se realizó MNI multimodal que incluyó PEM, PESS, EMGc, EEG (electroencefalografía) y TOF (tren de cuatro), utilizando un equipo monitorización neurofisiológica de 16 canales y un estimulador transcraneano de corriente constante.

Para la obtención de PEM se utilizaron electrodos de estimulación de tipo cork-screw colocados en C3-C4 o M1-M2 (Sistema Internacional 10-20), realizándose estimulación eléctrica transcraneana con una intensidad que estuvo en el rango entre los 500 y 1000 mA. Los registros se obtuvieron con electrodos de superficie colocados en los músculos abductor corto del pulgar, abductor del meñique, cuádriceps, tibial anterior y abductor del hallux. En pacientes con patología cervical se obtuvieron adicionalmente registros con electrodos de aguja monopolares en los músculos deltoides y bíceps braquial.

Una vez intubado, bajo anestesia general y encontrándose el paciente en decúbito supino, se obtuvieron PEM basales. Luego de rotado el paciente a decúbito prono, se controló en forma periódica y a intervalos predeterminados el posicionamiento quirúrgico, el abordaje, la instrumentación en su totalidad y por último el cierre hasta el plano cutáneo. Durante todo el procedimiento, las amplitudes obtenidas fueron comparadas cuantitativamente con las amplitudes de

los registros basales para poder detectar de forma inmediata reducciones en las mismas y su asociación con las maniobras quirúrgicas correspondientes. En estos casos, se informó de forma inmediata al equipo quirúrgico para que se pudieran tomar las conductas pertinentes tendientes a la reversión del evento.

RESULTADOS

En 115 de 122 cirugías, los pacientes no presentaron eventos neurofisiológicos significativos. Contrariamente, en 7 cirugías se observó deterioro de la amplitud de los PEM >80% o desaparición de las respuestas.

En las cirugías en las que no se observó deterioro del PEM, ningún paciente despertó con déficit neurológico agregado (no se observaron falsos negativos).

De las 7 cirugías que presentaron deterioro de los PEM, en 3 los pacientes despertaron con déficit postoperatorio agregado y en 4 lo hicieron sin cambios. En este último caso, la información brindada por la MNI permitió poner en marcha intervenciones del equipo quirúrgico (como el retiro de las barras o la liberación de la tracción halo-femoral) e implementación de medidas neuroprotectoras (como la elevación de la presión arterial o la administración de corticoides) tendientes a contrarrestar el deterioro del PEM y a la reversibilidad del cambio de señal.

Finalmente, 3 pacientes presentaron deterioro del PEM que fue parcialmente reversible en algunos músculos e irreversible en otros, a pesar de la implementación de las medidas anteriormente detalladas. Si bien los pacientes despertaron con déficit neurológico postoperatorio agregado, el mismo fue transitorio resolviendo entre 24 horas y 7 días.

Tabla 1. Pacientes con deterioro reversible del PEM y ausencia de déficit neurológico postoperatorio

Maniobra quirúrgica	Deterioro del PEM	Intervención intraquirúrgica	Recuperación del PEM
Corrección con barras	100% TA y AH derechos, >80% TA izquierdo, 100% AH izquierdo	Retiro de barras, hipertensión	Sí
Posición quirúrgica	>80% AH derecho	Cambio posicional	Sí
Corrección con barra derecha	100% VL, TA y AH derechos, >80% VL, TA y AH izquierdos	Retiro de barra derecha, hipertensión	Sí
Tracción halo-femoral	100% ambos miembros inferiores	Liberación de la tracción	Sí

VL = músculo vasto lateral, TA = músculo tibial anterior, AH = músculo abductor del hallux

Tabla 2. Pacientes con deterioro intraoperatorio del PEM y déficit neurológico postoperatorio agregado

Maniobra quirúrgica	Deterioro del PEM	Intervención quirúrgica	Recuperación del PEM	Déficit postoperatorio inmediato	Evolución postoperatoria mediata
Tornillo pedicular T5 derecho	>90% AH, 100% VL y TA	Retiro del tornillo, hipertensión, esteroides	AH sí, VL y TA no	Paresia moderada crural derecha	Recuperación completa en 7 días
Posición quirúrgica	100%	Cambios posicionales (cuello y miembros superiores), hipertensión	No	Paresia moderada braquial bilateral	Recuperación completa en 5 días (probable síndrome del opérculo torácico)
Tornillo pedicular T4 derecho	>80% AH, 100% TA	Retiro del tornillo, hipertensión, liberación de la tracción halo-femoral	Parcial (persiste deterioro moderado)	Paresia moderada crural derecha	Recuperación completa en 24 horas

VL = músculo vasto lateral, TA = músculo tibial anterior, AH = músculo abductor del hallux

DISCUSIÓN

En este estudio, se observó lesión neurológica en 3 pacientes. Las maniobras quirúrgicas más frecuentemente asociadas fueron la colocación de tornillos pediculares torácicos y la posición quirúrgica del paciente. Todos los casos fueron detectados mediante MNI e informados al equipo quirúrgico, lo que permitió poner en marcha de manera inmediata maniobras quirúrgicas y medidas neuroprotectoras tendientes a revertir el deterioro de las señales. Si bien en 3 casos la reversión fue parcial y los pacientes despertaron con déficit neurológico agregado en el postoperatorio inmediato, los mismos recuperaron en el corto plazo el status neurológico previo a la cirugía.

En esta serie, 4 pacientes presentaron desaparición o deterioro significativo pero reversible del PEM. Todos los casos fueron detectados mediante MNI e informados al equipo quirúrgico, lo que permitió poner en marcha de manera inmediata y exitosa medidas tendientes a revertir el deterioro de las señales. Ninguno de estos pacientes presentó déficit neurológico postoperatorio.

Los hallazgos anteriores se encuentran en concordancia con otros trabajos, que muestran un impacto favorable de la MNI en el resultado neurológico postoperatorio.¹¹

En 115 cirugías no se observó deterioro del PEM. En ninguno de estos casos los pacientes presentaron déficit neurológico postoperatorio, hecho consistente con el consenso general de que los casos falsos negativos son extremadamente raros.¹²

Con respecto a las limitaciones de este estudio, se debe citar en primer lugar que el mismo es de tipo retrospectivo y no controlado. Otra limitación es que la muestra de casos con deterioro intraoperatorio del PEM fue pequeña, lo que podría limitar las conclusiones.

CONCLUSIONES

Cuando la MNI no mostró deterioro del PEM, el riesgo de complicación neurológica postoperatoria fue nulo. En todos los casos de deterioro reversible del PEM, el riesgo de complicación neurológica postoperatoria también fue nulo. Contrariamente, el deterioro irreversible del PEM se asoció a lesión de médula espinal o nervio y mayor riesgo de déficit neurológico postoperatorio. En todos los casos de deterioro de las respuestas motoras, la implementación intraoperatoria de medidas quirúrgicas y neuroprotectoras cumplió probablemente un rol fundamental en la recuperación (total o parcial) de las señales evitando la instalación de déficit clínico postoperatorio o limitando temporalmente el mismo. El rol desempeñado por la neurofisiología en ese sentido fue primordial, apoyando estos hallazgos la gran cantidad de publicaciones que ubican a la MNI dentro de los estándares de la buena práctica médica que conforman la *lex artis*.

BIBLIOGRAFÍA

1. Legatt AD, Emerson RG, Epstein CM, et al. ACNS Guideline: Transcranial Electrical Stimulation Motor Evoked Potential Monitoring. *J Clin Neurophysiol* 2016; 33(1):42-50.
2. Tsutsui S, Yamada H. Basic Principles and Recent Trends of Transcranial Motor Evoked Potentials in Intraoperative Neurophysiologic Monitoring. *Neurol Med Chir (Tokio)* 2016;56(8):451-6.
3. MacDonald DB, Skinner S, Shils J, et al. Intraoperative motor evoked potential monitoring – A position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *Clin Neurophysiol* 2013;124(12):2291-316.
4. Rabai F, Sessions R, Seubert CN. Neurophysiological monitoring and spinal cord integrity. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2016;30(1):53-68.
5. Ghatol D, Widrich J. Intraoperative neurophysiological monitoring. *StatPearls* 2023;Jul.
6. Bible JE. To use or not to use intraoperative neuromonitoring: utilization of neuromonitoring during spine surgeries and associated conflicts of interest, a cross-sectional survey study. *JAAOS: Global Research and Reviews* 2022;6(3):e21.
7. Patitó JA. *Medicina Legal*. Ediciones Centro Norte, 2000;86-87.
8. Segura MJ, Talarico ME, Noel MA. Analysis of intraoperative motor evoked potential changes and surgical interventions in 513 pediatric spine surgeries. *J Clin Neurophysiol* 2022;1-8.
9. Skinner SA, Holdefer RN. Intraoperative Neuromonitoring Alerts That Reverse With Intervention: Treatment Paradox and What to Do About It. *J Clin Neurophysiol* 2014;31(2):118-26.

10. Segura MJ, Talarico ME, Noel MA. A multiparametric alarm criterion for motor evoked potential monitoring during spine deformity surgery. *J Clin Neurophysiol* 2017;34(1):1-8.
11. Holdefer RN, Skinner SA. Motor evoked potential recovery with surgeon interventions and neurologic outcomes: a meta-analysis and structural causal model for spine deformity surgeries. *Clin Neurophysiol* 2020;131:1556-1566.
12. Nuwer MR, Emerson RG, Galloway G, et al. American Association of Neuromuscular and Electrodiagnostic Medicine. Evidence-based guideline update: intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials. *J Clin Neurophysiol* 2012;29:101-108.