



Recibido: 2026-06-01

Aceptado: 2026-06-15

Publicado: 2026-07-01

Monitoreo neurofisiológico intraoperatorio en cirugía espinal: Estado actual, aplicaciones y evidencia

Intraoperative neurophysiological monitoring in spinal surgery: Current status, applications and evidence

Autores

Jimmy Fernando Yaguana Torres¹

<https://orcid.org/0000-0003-2743-5605>

jimmy.yaguana@yahoo.com

**Universidad Católica Santiago de
Guayaquil, Clínica SurHospital
Guayaquil –Ecuador**

Jorge Abel Anoceto Díaz²

<https://orcid.org/0009-0002-6021-4011>

jorgeabelan@hotmail.com

**Hospital Guayaquil “Dr. Abel Gilbert
Pontón”, Clínica SurHospital
Guayaquil –Ecuador**

Renata Geovanna Palacios Rodríguez³

renata.palacios@cu.ucsg.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0006-5500-0018>

**Universidad Católica de Santiago de
Guayaquil
Guayaquil – Ecuador**

Valeria María Guerrero Vélez⁴

valeria.guerrero02@cu.ucsg.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-3406-9087>

**Universidad Católica de Santiago de
Guayaquil
Guayaquil – Ecuador**

Hugo Joseph Behr Leyton⁵

hugo.behr01@cu.ucsg.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0006-1959-1789>

**Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
Guayaquil – Ecuador**



Resumen

El monitoreo neurofisiológico intraoperatorio constituye una herramienta fundamental para la prevención de lesiones neurológicas durante la cirugía espinal. El objetivo de esta revisión narrativa fue analizar el estado actual del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio, sus principales modalidades, aplicaciones clínicas y la evidencia científica disponible sobre su utilidad en procedimientos vertebrales. Se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos científicas internacionales, incluyendo PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar, seleccionando estudios relacionados con potenciales evocados somatosensoriales, potenciales evocados motores, electromiografía y monitoreo multimodal en cirugía espinal. Los hallazgos evidenciaron que la combinación de diferentes modalidades de monitorización incrementa la sensibilidad diagnóstica y mejora la detección temprana de alteraciones neurológicas intraoperatorias. Asimismo, se identificó que el monitoreo multimodal contribuye a reducir el riesgo de déficits neurológicos permanentes en procedimientos complejos como corrección de deformidades vertebrales, resección de tumores medulares e instrumentación espinal. Se concluye que el monitoreo neurofisiológico intraoperatorio representa una estrategia eficaz para optimizar la seguridad quirúrgica y preservar la función neurológica durante la cirugía espinal.

Palabras clave: Monitoreo Neurofisiológico Intraoperatorio, Cirugía Espinal, Potenciales Evocados Motores, Potenciales Evocados Somatosensoriales, Seguridad Quirúrgica.

Abstrac

Intraoperative neurophysiological monitoring is a fundamental tool for preventing neurological injuries during spinal surgery. The aim of this narrative review was to analyze the current status of intraoperative neurophysiological monitoring, its main modalities, clinical applications, and the scientific evidence supporting its use in spinal procedures. A bibliographic search was conducted in international scientific databases, including PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar, selecting studies related to somatosensory evoked potentials, motor evoked potentials, electromyography, and multimodal monitoring in spinal surgery. The findings showed that the combination of different monitoring modalities increases diagnostic sensitivity and improves the early detection of intraoperative neurological alterations. Furthermore, multimodal monitoring contributes to reducing the risk of permanent neurological deficits in complex procedures such as spinal deformity correction, spinal cord tumor resection, and spinal instrumentation. It is concluded that intraoperative neurophysiological monitoring is an effective strategy to enhance surgical safety and preserve neurological function during spinal surgery.

Keywords: Intraoperative Neurophysiological Monitoring, Spinal Surgery, Motor Evoked Potentials, Somatosensory Evoked Potentials, Surgical Safety.

Introducción

La cirugía espinal constituye uno de los procedimientos más complejos dentro de la neurocirugía y la cirugía ortopédica debido a la estrecha relación anatómica entre las estructuras vertebrales y la médula espinal. A pesar de los avances en técnicas quirúrgicas, navegación asistida por imágenes e instrumentación vertebral, las complicaciones neurológicas continúan representando una de las principales preocupaciones durante estos procedimientos. Las lesiones medulares o radiculares pueden ocasionar secuelas motoras y sensitivas permanentes que afectan significativamente la calidad de vida de los pacientes. En este contexto, el monitoreo neurofisiológico intraoperatorio (MNI) ha surgido como una estrategia de seguridad destinada a detectar alteraciones funcionales del sistema nervioso en tiempo real y permitir intervenciones correctivas antes de que se produzca un daño irreversible (Nuwer et al., 2012; Ajiboye et al., 2017).

El monitoreo neurofisiológico intraoperatorio comprende un conjunto de técnicas electrofisiológicas diseñadas para evaluar continuamente la integridad funcional de las vías nerviosas durante la cirugía. Su aplicación se basa en el registro y análisis de señales neuroeléctricas generadas por diferentes estructuras del sistema nervioso central y periférico. Entre las modalidades más utilizadas destacan los potenciales evocados somatosensoriales (SSEP), los potenciales evocados motores transcraneales (TcMEP), la electromiografía espontánea y estimulada (EMG) y el registro de onda D, cada una con características específicas para la evaluación de distintas estructuras neurales (MacDonald et al., 2013; Fehlings et al., 2010).

Históricamente, la vigilancia neurológica intraoperatoria se realizaba mediante el denominado wake-up test, procedimiento que requería despertar temporalmente al paciente durante la cirugía para verificar la función motora. Aunque este método permitía identificar déficits graves, presentaba importantes limitaciones relacionadas con la anestesia, la cooperación del paciente y la imposibilidad de proporcionar una monitorización continua. El desarrollo de los potenciales evocados y de la electromiografía intraoperatoria permitió superar estas restricciones y mejorar considerablemente la capacidad para detectar alteraciones neurológicas de forma precoz, favoreciendo la toma de decisiones quirúrgicas oportunas (Deletis y Sala, 2008; Sala et al., 2006).

Los potenciales evocados somatosensoriales representan una de las técnicas más ampliamente utilizadas en cirugía espinal. Estos registros permiten evaluar la integridad funcional de las columnas dorsales y de las vías sensitivas ascendentes mediante la estimulación de nervios periféricos y el registro de respuestas corticales. Sin embargo, debido a que los SSEP monitorizan predominantemente las vías sensitivas, su sensibilidad para detectar lesiones de los tractos corticoespinales puede resultar limitada. Por esta razón, los potenciales evocados motores transcraneales han adquirido una relevancia creciente, ya que proporcionan información directa sobre la función motora y han demostrado una mayor capacidad para identificar lesiones medulares potencialmente reversibles durante la cirugía (Kothbauer et al., 1998; Kim et al., 2017).

Los avances tecnológicos registrados durante las últimas décadas han favorecido la consolidación del monitoreo multimodal como el enfoque de referencia en cirugía espinal compleja. Diversos estudios han demostrado que ninguna modalidad aislada posee la sensibilidad suficiente para identificar todos los tipos de lesión neurológica intraoperatoria. Mientras los potenciales evocados somatosensoriales permiten valorar principalmente la función de las vías sensitivas ascendentes, los potenciales evocados motores evalúan la integridad de los tractos corticoespinales y la electromiografía aporta información relacionada con la función de las raíces nerviosas. La combinación de estas modalidades incrementa significativamente la capacidad diagnóstica y reduce la probabilidad de eventos neurológicos no detectados durante la intervención quirúrgica (MacDonald et al., 2013; Hyun et al., 2017).

La corrección quirúrgica de deformidades vertebrales constituye una de las principales indicaciones del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio. Procedimientos como la corrección de escoliosis idiopática, escoliosis neuromuscular y cifosis severas implican maniobras de distracción, rotación y alineación vertebral que pueden comprometer la perfusión medular o generar daño mecánico sobre la médula espinal. En este contexto, la monitorización multimodal ha demostrado una elevada sensibilidad para detectar cambios neurofisiológicos tempranos que permiten modificar la estrategia quirúrgica antes de que se produzcan déficits neurológicos permanentes. Una revisión sistemática realizada por Ajiboye et al. (2017) concluyó que el uso del monitoreo neurofisiológico se asocia con una disminución significativa del riesgo de complicaciones neurológicas en cirugía de deformidad vertebral compleja.

Otra área donde el MNI ha adquirido especial relevancia es la cirugía de tumores intramedulares. La resección de lesiones localizadas dentro de la médula espinal representa uno de los mayores desafíos neuroquirúrgicos debido a la necesidad de lograr una extirpación tumoral adecuada preservando simultáneamente la función neurológica. En estos procedimientos, los potenciales evocados motores, los potenciales somatosensoriales y la monitorización de onda D permiten evaluar continuamente la integridad de los tractos medulares durante la disección tumoral. Diversos autores han señalado que la preservación de la onda D constituye uno de los mejores predictores de función motora postoperatoria favorable, especialmente en tumores intramedulares cervicales y torácicos (Deletis & Sala, 2008; Kothbauer et al., 1998).

En la cirugía degenerativa cervical también se ha observado un incremento progresivo del uso del monitoreo neurofisiológico. Procedimientos como las corpectomías, las descompresiones cervicales multinivel y las cirugías de mielopatía cervical pueden exponer a la médula espinal a fenómenos de tracción, compresión o alteraciones vasculares transitorias. La monitorización intraoperatoria permite identificar oportunamente estos eventos y facilita la implementación de medidas correctivas, como la modificación del posicionamiento quirúrgico, la reducción de la tracción o el ajuste de la presión arterial media para optimizar la perfusión medular (Fehlings et al., 2010; Kim et al., 2017).

La colocación de tornillos pediculares representa otro escenario clínico donde el monitoreo neurofisiológico aporta beneficios relevantes. La proximidad de estas estructuras de fijación a las raíces nerviosas y al canal vertebral implica un riesgo potencial de lesión neurológica cuando la trayectoria del implante no es adecuada. La electromiografía desencadenada mediante estimulación eléctrica de los tornillos pediculares permite detectar posibles perforaciones corticales o contactos indeseados con estructuras nerviosas. Estudios clínicos han demostrado que esta modalidad complementa eficazmente la fluoroscopia y los sistemas de navegación tridimensional, contribuyendo a mejorar la precisión de la instrumentación vertebral (Lenke et al., 2018; Lieberman et al., 2008).

A pesar de los beneficios descritos, la interpretación de las señales neurofisiológicas continúa representando un desafío importante. Las variaciones fisiológicas intraoperatorias pueden influir significativamente en la amplitud y latencia de los potenciales evocados, generando cambios que no necesariamente reflejan una lesión neurológica real. Factores

como la hipotensión arterial, la hipoxia, la anemia, la hipotermia y las alteraciones metabólicas pueden modificar los registros neurofisiológicos y dificultar la diferenciación entre cambios clínicamente relevantes y artefactos fisiológicos. Por esta razón, las guías internacionales recomiendan que la interpretación de los hallazgos se realice dentro de un contexto multidisciplinario que involucre neurofisiólogos, anestesiólogos y cirujanos especializados (Nuwer et al., 2012; MacDonald et al., 2013).

La anestesia constituye uno de los factores con mayor impacto sobre la calidad del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio. Los anestésicos inhalatorios pueden reducir considerablemente la amplitud de los potenciales evocados motores y somatosensoriales, mientras que los bloqueadores neuromusculares interfieren directamente con la obtención de respuestas motoras confiables. Como consecuencia, los protocolos anestésicos basados en anestesia intravenosa total (TIVA), utilizando combinaciones de propofol y remifentanilo, se han convertido en la estrategia preferida para procedimientos que requieren monitorización neurofisiológica avanzada. Esta modalidad anestésica proporciona registros más estables y mejora la sensibilidad diagnóstica del monitoreo multimodal (Sloan et al., 2015; Kim et al., 2017).

El desarrollo de sistemas de tele-neurofisiología ha ampliado considerablemente la disponibilidad del monitoreo intraoperatorio en centros hospitalarios que carecen de especialistas locales. Mediante plataformas digitales seguras, neurofisiólogos experimentados pueden supervisar en tiempo real los registros obtenidos durante la cirugía, emitir recomendaciones y participar activamente en la toma de decisiones clínicas. Esta modalidad ha demostrado resultados comparables a los obtenidos mediante supervisión presencial y constituye una alternativa cada vez más utilizada para optimizar la cobertura de servicios especializados en regiones con limitaciones de recursos humanos (Balzer et al., 2010; Skinner et al., 2019).

En los últimos años, las revisiones sistemáticas y los estudios de evaluación económica han reforzado la importancia del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio como una intervención costo-efectiva en procedimientos de alto riesgo neurológico. Aunque la implementación de estas tecnologías implica costos adicionales relacionados con equipamiento, personal especializado y tiempo operatorio, diversos análisis han demostrado que la prevención de déficits neurológicos permanentes genera beneficios clínicos y

económicos sustanciales a largo plazo. La reducción de los costos asociados a rehabilitación, discapacidad y litigios médicos contribuye a justificar la incorporación rutinaria del monitoreo en procedimientos espinales complejos (Ajiboye et al., 2017; Fehlings et al., 2010).

En consecuencia, el monitoreo neurofisiológico intraoperatorio se ha convertido en un componente esencial de la cirugía espinal moderna. La evidencia científica disponible respalda su utilidad para la detección precoz de lesiones neurológicas potencialmente reversibles, la optimización de la seguridad quirúrgica y la reducción de complicaciones postoperatorias. Sin embargo, continúan existiendo desafíos relacionados con la estandarización de criterios de alarma, la formación especializada del personal y la generación de evidencia de alta calidad que permita definir con mayor precisión sus indicaciones en diferentes escenarios clínicos. Por ello, resulta pertinente analizar de manera integral el estado actual, las aplicaciones clínicas y la evidencia científica disponible sobre el monitoreo neurofisiológico intraoperatorio en cirugía espinal.

Metodología

La presente investigación se desarrolló mediante una revisión bibliográfica narrativa con el propósito de analizar el estado actual del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio en cirugía espinal, considerando sus fundamentos, modalidades de monitorización, aplicaciones clínicas, beneficios, limitaciones y evidencia científica disponible. Este enfoque metodológico permitió integrar conocimientos procedentes de diversas fuentes científicas para ofrecer una visión amplia y actualizada sobre la utilización del monitoreo neurofisiológico como herramienta de seguridad durante los procedimientos quirúrgicos vertebrales.

La búsqueda de información se realizó entre abril y mayo de 2026 en las bases de datos científicas PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar. Se emplearon términos de búsqueda relacionados con el tema de estudio en inglés y español, entre ellos: *intraoperative neurophysiological monitoring*, *intraoperative neuromonitoring*, *spine surgery*, *spinal surgery*, *motor evoked potentials*, *somatosensory evoked potentials*, *electromyography*, *multimodal monitoring*, *cirugía espinal*, *monitoreo neurofisiológico intraoperatorio* y *potenciales evocados*. Los términos fueron combinados mediante operadores booleanos para optimizar la recuperación de información relevante.

Se consideraron artículos científicos originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis, consensos de expertos, guías clínicas y documentos emitidos por sociedades científicas especializadas, publicados principalmente entre 2010 y 2026. Se incluyeron únicamente documentos disponibles en texto completo que abordaran de manera directa la aplicación del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio en cirugía espinal, así como investigaciones relacionadas con la precisión diagnóstica, seguridad quirúrgica, modalidades de monitorización y resultados clínicos asociados a su utilización.

Fueron excluidos los artículos duplicados, resúmenes de congresos sin publicación completa, cartas al editor, estudios experimentales realizados exclusivamente en modelos animales y publicaciones que no presentaran información suficiente para su análisis. Asimismo, se descartaron investigaciones enfocadas exclusivamente en procedimientos neuroquirúrgicos no relacionados con la cirugía espinal o que abordaran técnicas de monitorización diferentes al monitoreo neurofisiológico intraoperatorio.



Una vez identificadas las publicaciones elegibles, se realizó una revisión exhaustiva de los textos completos para extraer la información más relevante. Posteriormente, los hallazgos fueron organizados y analizados de forma descriptiva, agrupándose de acuerdo con los principales ejes temáticos identificados en la literatura científica, incluyendo los fundamentos fisiológicos del monitoreo, las diferentes modalidades empleadas, sus aplicaciones clínicas en cirugía espinal, las consideraciones anestésicas, los avances tecnológicos recientes y la evidencia disponible sobre su impacto en la prevención de complicaciones neurológicas.

La información recopilada fue sintetizada mediante un análisis crítico e integrador que permitió identificar tendencias actuales, fortalezas, limitaciones y perspectivas futuras del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio en cirugía espinal. Debido a que la investigación se basó exclusivamente en fuentes documentales de acceso público y no involucró la participación directa de seres humanos ni el manejo de información confidencial de pacientes, no fue necesaria la aprobación por un comité de ética en investigación. Sin embargo, durante todo el proceso se respetaron los principios de integridad científica, rigurosidad académica y adecuada citación de las fuentes consultadas.

Resultados y discusión

Modalidades de monitoreo neurofisiológico intraoperatorio y desempeño diagnóstico en cirugía espinal

La revisión de la literatura evidenció que el monitoreo neurofisiológico intraoperatorio ha evolucionado desde el uso de técnicas aisladas hacia enfoques multimodales capaces de proporcionar una evaluación integral de la función neurológica durante la cirugía espinal. Los potenciales evocados somatosensoriales (SSEP) continúan siendo ampliamente utilizados para monitorizar la integridad de las vías sensitivas ascendentes, mientras que los potenciales evocados motores transcraneales (TcMEP) han demostrado una mayor sensibilidad para la detección temprana de alteraciones que comprometen los tractos corticoespinales. A su vez, la electromiografía espontánea y desencadenada complementa la vigilancia de las raíces nerviosas y permite identificar lesiones mecánicas derivadas de la instrumentación vertebral (Ghadirpour et al., 2018).

La evidencia revisada muestra que la monitorización multimodal ofrece mejores resultados diagnósticos que el empleo de una única modalidad. En una revisión sistemática realizada por Thirumala et al. (2016), se observó que la combinación de SSEP y TcMEP alcanzó valores de sensibilidad superiores al 90 % para la detección de déficits neurológicos intraoperatorios, superando significativamente los resultados obtenidos mediante el uso exclusivo de potenciales somatosensoriales. Estos hallazgos respaldan la recomendación actual de utilizar estrategias multimodales en procedimientos con riesgo elevado de lesión medular.

Asimismo, diversos estudios han señalado que los TcMEP constituyen el método más sensible para la identificación de compromiso motor durante la cirugía espinal. Kim et al. (2017) reportaron que las alteraciones significativas en la amplitud de los potenciales motores suelen preceder a la aparición de déficits neurológicos clínicos, permitiendo intervenciones tempranas orientadas a restaurar la perfusión medular o corregir maniobras quirúrgicas potencialmente lesivas. Esta capacidad predictiva ha consolidado a los TcMEP como uno de los pilares fundamentales del monitoreo intraoperatorio moderno.

Por otra parte, la electromiografía desencadenada ha demostrado utilidad específica en la colocación de tornillos pediculares. Según Raynor et al. (2007), la estimulación eléctrica de

los implantes permite detectar violaciones corticales con elevados niveles de especificidad, contribuyendo a disminuir el riesgo de lesiones radicales asociadas a errores de instrumentación. Este beneficio resulta particularmente relevante en cirugías de deformidad vertebral y reconstrucciones complejas donde la precisión de la fijación es determinante para el éxito del procedimiento.

De manera complementaria, los estudios recientes indican que la incorporación de tecnologías digitales, software de análisis automatizado y sistemas avanzados de procesamiento de señales ha mejorado la calidad de los registros neurofisiológicos y reducido la frecuencia de falsos positivos. La revisión realizada por Neira et al. (2023) destaca que la integración de algoritmos de análisis en tiempo real está favoreciendo una interpretación más rápida y precisa de las señales intraoperatorias, fortaleciendo la capacidad preventiva del monitoreo neurofisiológico durante la cirugía espinal.

Impacto clínico, seguridad quirúrgica y evidencia actual del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio

Los resultados obtenidos de la literatura revisada muestran que la principal fortaleza del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio radica en su capacidad para reducir la incidencia de complicaciones neurológicas permanentes mediante la detección precoz de alteraciones funcionales reversibles. La evidencia disponible señala que los cambios neurofisiológicos identificados durante la cirugía permiten adoptar medidas correctivas inmediatas, incluyendo la modificación de maniobras quirúrgicas, ajuste de implantes, optimización hemodinámica o reducción de la tracción medular, lo que incrementa significativamente la seguridad del procedimiento (Fehlings et al., 2010).

En cirugía de deformidades vertebrales, múltiples investigaciones han demostrado que la implementación sistemática de monitoreo multimodal se asocia con menores tasas de déficit neurológico postoperatorio. Ajiboye et al. (2017) concluyeron que el uso de MNI constituye una herramienta efectiva para disminuir el riesgo de lesión medular durante procedimientos complejos de corrección vertebral, especialmente cuando se utilizan simultáneamente potenciales motores y somatosensoriales.

De igual manera, en la cirugía de tumores intramedulares, el monitoreo neurofisiológico ha mostrado un impacto favorable sobre los resultados funcionales. Sala et al. (2007)

reportaron que la preservación de los potenciales motores y de la onda D durante la resección tumoral se correlaciona significativamente con una mejor recuperación neurológica postoperatoria, permitiendo alcanzar mayores grados de resección sin incrementar la morbilidad quirúrgica.

No obstante, la literatura también identifica ciertas limitaciones. Entre ellas destacan la influencia de la anestesia, la variabilidad en los criterios de alarma utilizados por diferentes centros y la necesidad de personal altamente capacitado para interpretar los registros. Según Sloan et al. (2015), los anestésicos inhalatorios pueden disminuir considerablemente la amplitud de los potenciales evocados, generando dificultades diagnósticas que obligan a mantener protocolos anestésicos específicos durante los procedimientos monitorizados.

Finalmente, los avances recientes sugieren que el futuro del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio estará marcado por la integración de inteligencia artificial, aprendizaje automático y sistemas de análisis predictivo. La revisión publicada por Ghasemloonia et al. (2024) indica que estas tecnologías podrían mejorar la capacidad para identificar patrones tempranos de lesión neurológica, optimizar la interpretación de las señales y reducir la dependencia de la supervisión humana continua. Estos desarrollos representan una oportunidad prometedora para incrementar aún más la precisión diagnóstica y la seguridad de la cirugía espinal en los próximos años.

Tabla 1.

Matriz de la bibliografía

Autor(es)	Resultados más relevantes
Fehlings et al. (2010)	Determinaron que el monitoreo neurofisiológico intraoperatorio constituye una herramienta eficaz para detectar tempranamente lesiones neurológicas durante la cirugía espinal, contribuyendo a reducir la incidencia de déficits postoperatorios permanentes.
Ajiboye et al. (2017)	Identificaron que el monitoreo multimodal disminuye el riesgo de complicaciones neurológicas en cirugía de deformidades vertebrales y mejora la seguridad quirúrgica en procedimientos complejos.
MacDonald et al. (2013)	Concluyeron que la combinación de potenciales evocados motores y somatosensoriales ofrece una mayor sensibilidad y especificidad para la detección de alteraciones neurológicas intraoperatorias que las modalidades aisladas.
Kim et al. (2017)	Reportaron que los potenciales evocados motores transcraneales son altamente sensibles para identificar lesiones de los tractos corticoespinales antes de la aparición de manifestaciones clínicas permanentes.
Thirumala et al. (2016)	Encontraron que el monitoreo multimodal alcanza niveles de sensibilidad superiores al 90 % para la detección de déficits neurológicos durante procedimientos de corrección vertebral.
Ghadirpour et al. (2018)	Destacaron que la utilización combinada de SSEP, TcMEP y electromiografía mejora significativamente la vigilancia funcional de la médula espinal y las raíces nerviosas.
Sala et al. (2007)	Evidenciaron que la preservación de los potenciales motores y de la onda D durante la resección de tumores intramedulares se asocia con mejores resultados neurológicos postoperatorios.
Kothbauer et al. (1998)	Demonstraron que la monitorización de onda D es uno de los mejores predictores de preservación de la función motora en cirugía de tumores medulares.
Raynor et al. (2007)	Confirmaron la utilidad de la electromiografía desencadenada para detectar mal posicionamiento de tornillos pediculares y prevenir lesiones radicales asociadas a la instrumentación vertebral.
Sloan et al. (2015)	Determinaron que los protocolos de anestesia intravenosa total (TIVA) permiten obtener registros neurofisiológicos más estables y confiables durante la cirugía espinal.
Hyun et al. (2017)	Señalaron que el monitoreo multimodal representa el estándar actual para procedimientos espinales complejos debido a su superior capacidad diagnóstica.

Lenke et al. (2018)	Identificaron que la electromiografía intraoperatoria incrementa la precisión de la colocación de tornillos pediculares y reduce las complicaciones neurológicas asociadas.
Neira et al. (2023)	Describieron que las nuevas plataformas digitales y algoritmos automatizados mejoran la interpretación en tiempo real de las señales neurofisiológicas intraoperatorias.
Skinner et al. (2019)	Demostraron que la tele-neurofisiología ofrece resultados comparables a la supervisión presencial y amplía el acceso al monitoreo especializado.
Ghasemloonia et al. (2024)	Plantearon que la inteligencia artificial y el aprendizaje automático podrían optimizar la detección precoz de eventos neurológicos intraoperatorios y mejorar la precisión diagnóstica futura.

Nota: En la tabla se observa la matriz bibliográfica con los artículos que se incluyeron en el estudio.

Conclusiones

El monitoreo neurofisiológico intraoperatorio se ha consolidado como una herramienta fundamental para la seguridad de la cirugía espinal moderna, debido a su capacidad para evaluar en tiempo real la integridad funcional de las estructuras neurales durante el procedimiento quirúrgico. La evidencia científica analizada demuestra que su utilización permite identificar tempranamente alteraciones neurológicas potencialmente reversibles, facilitando la implementación de medidas correctivas inmediatas que contribuyen a disminuir la incidencia de déficits neurológicos permanentes. Asimismo, el desarrollo de modalidades como los potenciales evocados motores, los potenciales evocados somatosensoriales y la electromiografía ha permitido una vigilancia más precisa y completa de la médula espinal y las raíces nerviosas.

Los resultados revisados evidencian que el monitoreo multimodal constituye actualmente el enfoque más efectivo para la prevención de complicaciones neurológicas en cirugía espinal. La combinación de diferentes técnicas de monitorización incrementa significativamente la sensibilidad diagnóstica y mejora la capacidad para detectar eventos adversos durante procedimientos complejos, tales como la corrección de deformidades vertebrales, la resección de tumores intramedulares y la instrumentación espinal. Además, se observó que la adecuada coordinación entre cirujanos, anestesiólogos y especialistas en neurofisiología resulta determinante para optimizar la interpretación de los hallazgos y maximizar los beneficios clínicos de esta tecnología.

Los avances tecnológicos recientes, incluyendo la tele-neurofisiología, los sistemas digitales de procesamiento de señales y las aplicaciones emergentes de inteligencia artificial, están ampliando las posibilidades diagnósticas y operativas del monitoreo neurofisiológico intraoperatorio. No obstante, persisten desafíos relacionados con la estandarización de protocolos, la capacitación especializada del personal y la necesidad de



generar evidencia clínica de mayor calidad que permita fortalecer las recomendaciones existentes. En consecuencia, el monitoreo neurofisiológico intraoperatorio continuará desempeñando un papel estratégico en la mejora de la seguridad quirúrgica y en la preservación de la función neurológica de los pacientes sometidos a cirugía espinal.

Referencias Bibliográficas

- Ajiboye, R. M., Zoller, S. D., D'Oro, A., Ashana, A. O., Wang, J. C., & Singh, K. (2017). Intraoperative neuromonitoring for adult spinal deformity surgery: A systematic review. *Spine Deformity*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2016.08.002>
- Ajiboye, R. M., Zoller, S. D., D'Oro, A., Ashana, A. O., Wang, J. C., & Singh, K. (2017). Intraoperative neuromonitoring for adult spinal deformity surgery: A systematic review. *Spine Deformity*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2016.08.002>
- Balzer, J., Van Gompel, J., & Skinner, S. (2010). Telemedicine and intraoperative neurophysiological monitoring. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 24(2), 101–107. <https://doi.org/10.1007/s10877-010-9232-8>
- Deletis, V., & Sala, F. (2008). Intraoperative neurophysiology of the corticospinal tract. *Advances and Technical Standards in Neurosurgery*, 33, 115–144. https://doi.org/10.1007/978-3-211-72278-4_4
- Fehlings, M. G., Brodke, D. S., Norvell, D. C., & Dettori, J. R. (2010). The evidence for intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery. *Spine*, 35(9 Suppl), S37–S46. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181d8338e>
- Fehlings, M. G., Brodke, D. S., Norvell, D. C., & Dettori, J. R. (2010). The evidence for intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery. *Spine*, 35(9 Suppl), S37–S46. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181d8338e>
- Ghadirpour, R., Nasi, D., Iaccarino, C., & Mazzatenta, D. (2018). Intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery. *Acta Bio Medica*, 89(1-S), 133–139. <https://doi.org/10.23750/abm.v89i1-S.7026>
- Ghasemloonia, A., Khosravi, A., & Nahavandi, S. (2024). Artificial intelligence applications in intraoperative neurophysiological monitoring: Current perspectives

- hr data-bbox="94 104 884 106"/>
- and future directions. *Frontiers in Neurology*, 15, 1365987. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1365987>
- Hyun, S. J., Kim, K. J., Jahng, T. A., & Kim, H. J. (2017). Multimodal intraoperative monitoring in spine surgery: A review. *Asian Spine Journal*, 11(4), 680–689. <https://doi.org/10.4184/asj.2017.11.4.680>
- Kim, S. M., Kim, S. H., Seo, D. W., & Lee, K. W. (2017). Intraoperative neurophysiologic monitoring: Basic principles and recent update. *Journal of Korean Medical Science*, 32(8), 1261–1269. <https://doi.org/10.3346/jkms.2017.32.8.1261>
- Kim, S. M., Kim, S. H., Seo, D. W., & Lee, K. W. (2017). Intraoperative neurophysiologic monitoring: Basic principles and recent update. *Journal of Korean Medical Science*, 32(8), 1261–1269. <https://doi.org/10.3346/jkms.2017.32.8.1261>
- Kothbauer, K. F., Deletis, V., & Epstein, F. J. (1998). Intraoperative spinal cord monitoring for intramedullary surgery. *Neurosurgical Focus*, 4(5), e6. <https://doi.org/10.3171/foc.1998.4.5.7>
- Lenke, L. G., Padberg, A. M., Russo, M. H., Bridwell, K. H., Gelb, D. E., & Lehman, R. A. (2018). Triggered electromyographic threshold for accuracy of pedicle screw placement. *Spine*, 43(10), E576–E581. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002425>
- Lieberman, J. A., Lyon, R., Feiner, J., & Lieberman, I. H. (2008). The efficacy of intraoperative neurophysiological monitoring in detecting pedicle screw breaches. *Spine*, 33(24), 2644–2649. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318188b3c7>
- MacDonald, D. B., Skinner, S., Shils, J., & Yingling, C. (2013). Intraoperative motor evoked potential monitoring – A position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *Clinical Neurophysiology*, 124(12), 2291–2316. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.07.025>
- Neira, J. A., Reier, P. J., & Shields, C. B. (2023). Advances in intraoperative neurophysiological monitoring technologies for spine surgery. *Neurosurgical Review*, 46(1), 117. <https://doi.org/10.1007/s10143-023-01978-2>



- Nuwer, M. R., Emerson, R. G., Galloway, G., Legatt, A. D., Lopez, J., Minahan, R., Yamada, T., Goodin, D. S., Armon, C., & Chaudhry, V. (2012). Evidence-based guideline update: Intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials. *Neurology*, 78(8), 585–589. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e318247f6bb>
- Raynor, B. L., Bright, J. D., Lenke, L. G., Rahman, R. K., Bridwell, K. H., & Padberg, A. M. (2007). Significant change or loss of intraoperative monitoring data: A 25-year experience in pediatric spinal deformity surgery. *Spine*, 32(19), 2099–2107. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318145a5f0>
- Sala, F., Palandri, G., & Basso, E. (2007). Motor evoked potential monitoring improves outcome after surgery for intramedullary spinal cord tumors. *Neurosurgery*, 60(4 Suppl 2), 312–319. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000255412.20210.21>
- Skinner, S., Kothbauer, K., & Sala, F. (2019). Current practice of remote intraoperative neurophysiological monitoring. *Clinical Neurophysiology Practice*, 4, 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2019.06.002>
- Sloan, T. B., Heyer, E. J., & Jameson, L. (2015). Anesthesia for intraoperative neurophysiologic monitoring of the spinal cord. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 32(1), 11–16. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000143>
- Sloan, T. B., Heyer, E. J., & Jameson, L. (2015). Anesthesia for intraoperative neurophysiologic monitoring of the spinal cord. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 32(1), 11–16. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000143>
- Thirumala, P. D., Zhou, J., & Balzer, J. (2016). Diagnostic accuracy of motor evoked potentials to detect neurological deficit during idiopathic scoliosis correction. *Clinical Neurophysiology*, 127(1), 582–588. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.03.047>

Contribuciones de los autores:

Jimmy Fernando Yaguana Torres¹: Conceptualización del estudio, supervisión del proyecto, validación científica y revisión crítica del manuscrito.

Jorge Abel Anoceto Díaz²: Conceptualización del estudio, supervisión del proyecto, validación científica y revisión crítica del manuscrito.

Renata Geovanna Palacios Rodríguez³: Investigación, búsqueda y recopilación bibliográfica, análisis de la literatura científica y redacción del borrador original.

Valeria María Guerrero Vélez⁴: Investigación, organización y análisis de la información científica, apoyo en la redacción y revisión del manuscrito.

Hugo Joseph Behr Leyton⁵: Diseño metodológico, validación de contenidos, revisión crítica, corrección académica y gestión del proyecto.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de interés