



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

INSTITUTO NACIONAL DE NEUROLOGÍA Y NEUROCIRUGIA

MANUEL VELASCO SUAREZ

**MONITOREO NEUROFISIOLÓGICO INTRAOPERATORIO PEDIÁTRICO Y
RESULTADOS A LARGO PLAZO EN UN SOLO CENTRO EN MÉXICO**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE SUBESPECIALISTA
EN NEUROFISIOLOGIA CLÍNICA**

PRESENTA

Dra. Jenny Angelica Vicuña Vanegas

TUTOR DE TESIS

Dr. Daniel San Juan Orta



Ciudad de México, Octubre 2021



**MONITOREO NEUROFISIOLÓGICO INTRAOPERATORIO PEDIÁTRICO Y
RESULTADOS A LARGO PLAZO EN UN SOLO CENTRO EN MÉXICO**

**Dra. Jenny Angelica Vicuña Vanegas
Neurofisiología Clínica**

**Dra. Sonia Iliana Mejía Pérez
DIRECTORA DE ENSEÑANZA**



**INSTITUTO NACIONAL
DE NEUROLOGÍA Y
NEUROCIRUGÍA
DIRECCIÓN DE ENSEÑANZA**

**Dra. María Del Carmen Fernández González Aragón
PROFESOR TITULAR DEL CURSO DE LA ESPECIALIDAD DE
NEUROFISIOLOGIA CLÍNICA**

**Dr. Daniel San Juan Orta
TUTOR DE TESIS**

RESUMEN:

Introducción: La monitorización neurofisiológica intraoperatoria pediátrica (IONM) es eficaz en diversos procedimientos quirúrgicos para prevenir, revertir y minimizar los déficits neurológicos posoperatorios. Sin embargo, actualmente no hay estudios en países en desarrollo que describan indicaciones clínicas, hallazgos neurofisiológicos y resultados posoperatorios. El objetivo de nuestro estudio es describir las indicaciones clínicas, los hallazgos de la IONM y los resultados a largo plazo en pacientes pediátricos sometidos a procedimientos neuroquirúrgicos en un solo centro de un país en desarrollo.

Métodos: Realizamos un estudio retrospectivo de series de casos de pacientes pediátricos sometidos a MNIO (2014-2020) en el Estado de México. Se registraron características sociodemográficas, modalidades de MNIO, cambios durante los procedimientos y resultados postoperatorios a corto y largo plazo. Utilizamos estadística descriptiva para analizar los datos.

Resultados: Se incluyeron 35 pacientes menores de 18 años, de los cuales el 57% (20/35) niños y (15/35) 43% niñas, los grupos de edades más frecuentemente monitorizados fue >1 a <6 años (40%), seguido los de >12 a <18 años (34%). Se observó un incremento relativo de hasta 5 veces en el uso del MNIO del año 2014 (5.7%) al 2020 (25.7%) con un 25.7%. Las patologías preoperatorias más frecuente observadas fue la craneal infratentorial (40%), columna y Medula espinal (37.1%), supratentoriales (20%). Los protocolos anestésicos empleados fueron

TIVA (60%) y Anestesia general balanceada <0.5 MAC (40%). Las modalidades de MNIO empleadas durante las cirugías fueron, PESS 30(85.7%), Tc-PEMs 32(91.4%), EMG continúa 33(94.3%), EMG evocada 10(28.6%), EEG 9(25.7) y PEV 2 (5.7%). Se documento déficit neurológico previo en 24/32 (75%), sin déficit 8/32 (25%). El déficit más frecuente fue motor y sensitivo con un 48.3%. El déficit neurológico postoperatorio a corto plazo se evaluó en las primeras 24 horas, verdaderos negativos 19/24 (79.4%),verdadero positivo 3/24 (12.5%) y falsos negativos 2/24 (8.3%). El seguimiento a largo plazo fue posible 22/35 (63%) a 1 a 3 meses, con fuerza normal 14/22 (64%) y sin déficit sensitivo 16/22 (72.7%), seguimiento a 3 a 6 meses fueron 12/35 (34.2%) fuerza normal 5/12 (42%) sin déficit sensitivo 6/12(50%), el seguimiento a 6 a 12 meses se logro en 5/35 (14.2%) de estos el 80% tenían fuerza y sensibilidad normal.

Conclusiones: EL MNIO en población pediátrica debe ser una herramienta coadyuvante durante las intervenciones quirúrgicas donde hay riesgo de daño neural, con el fin de prevenir y evitar secuelas postquirúrgicas y dar mayor seguridad al paciente y el cirujano. La evaluación de una historia clínica completa, antecedentes patológicos y déficit neurológico previo a la intervención quirúrgica , son datos claves que aportan y ayudan al neurofisiólogo clínico en la interpretación de los hallazgos obtenidos en las distintas modalidades de monitoreo. Así mismo es claro que hay un mayor beneficio para el paciente cuando tiene MNIO multimodal.

TABLA DE CONTENIDO

PARTE I	7
<i>INTRODUCCIÓN:</i>	7
Acontecimientos históricos breves de MNIO.....	7
Modalidades de registro en MNIO en población pediátrica	9
Potenciales evocados visuales (PEV):.....	13
Potenciales evocados motores (PEM):	13
Electromiografía (EMG):	15
Electroencefalografía (EEG):	16
Series de casos de MNIO en pacientes pediátricos realizados en un solo centro hospitalario:	16
Agentes anestésicos en MNIO pediátrico.	17
PARTE II	18
<i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	18
<i>HIPÓTESIS</i>	19
Hipótesis de trabajo.....	19
Hipótesis estadística	19
<i>OBJETIVOS</i>	19
Objetivo principal.....	19
Objetivos secundarios/específicos.....	20
<i>JUSTIFICACIÓN</i>	20
<i>METODOLOGÍA</i>	21
Diseño del estudio:	21
Criterios de selección.....	21
<i>METODOLOGÍA DESCRIPTIVA</i>	29
Modalidades de MNIO empleadas:	30
• Potenciales evocados somatosensoriales (SPEs).....	30
• Potenciales evocados visuales (VPE):	31
• Potenciales evocados motores de estimulación eléctrica transcraneal (tc-MEPs):	31
• EMG de carrera libre y EMG activada:	31
Parámetros de interpretación para la correlación MNIO	32
Seguimiento a corto y largo plazo.....	32
Manejo y procesamiento de datos	33
<i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</i>	33
<i>CONSIDERACIONES ÉTICAS</i>	34
PARTE III	35

<i>Resultados</i>	35
DISCUSIÓN	46
CONCLUSIÓN	50
Conflictos de intereses	51
Agradecimientos.....	51
BIBLIOGRAFÍA	52

PARTE I

INTRODUCCIÓN:

La monitorización neurofisiológica intraoperatoria (MNIO) es una herramienta de gran utilidad durante los procedimientos medico-quirúrgicos, permite un registro intraoperatorio basal y continuo de la integridad funcional y estructural del sistema nervioso central y periférico, brindando información en tiempo real al cirujano de los cambios neurofisiológicos registrados, teniendo como objetivo prevenir, revertir o minimizar los déficits neurológicos (Arnold 2014; Sala, Krzan, and Deletis 2002; Levin, Strantzas, and Steinberg 2019; Vaughan K.A. 2017).

Acontecimientos históricos breves de MNIO.

La monitorización neurofisiológica intraoperatoria ha evolucionado a lo largo de la historia, los primeros registros fueron en 1935, con el uso del electroencefalograma (EEG) intraoperatorio, con el perfeccionamiento de las técnicas empleadas hacia 1950 por Jasper y Penfield usando electrocorticografía para localización y tratamiento quirúrgico de pacientes con epilepsia (PENFIELD 1954; Vadivelu et al. 2014). En 1967 se documentaron los beneficios de la monitorización continua de EEG durante la endarterectomía carotídea, con el fin de minimizar riesgos de isquemia cortical, con posteriores estudios en la Clínica Mayo en 1970, estableciendo la utilidad del empleo de técnicas de monitoreo en estos procedimientos (Harris et al. 1967). Los primeros registros de potenciales evocados somatosensoriales, fueron realizados en 1966 en pacientes despiertos durante procedimientos de talamotomía (Larson and Sances 1966). A principios de la

década de 1970 investigadores japoneses realizan la estimulación espinal directa en el espacio epidural, con el fin de reducir riesgos de déficit neurológicos en cirugías de columna, técnicas posteriormente validadas (Marc R. Nuwer 2008). En 1972 se logran los primeros modelos en gatos anestesiados, con registro de promediación no invasiva de potenciales evocados, en trauma medular reversible (Croft, Brodkey, and Nulsen 1972). A finales de 1975, se logró el monitoreo intraoperatorio de la medula espinal en humanos (McCallum and Bennett 1975). En 1984, se realizaron modificaciones técnicas en los potenciales evocados somatosensoriales, mejorando la variabilidad y confiabilidad de los trazos obtenidos intraoperatorios, convirtiéndose en un método de utilidad en cirugías de medula espinal (Marc R. Nuwer 2008).

El avance tecnológico en imágenes funcionales, herramientas de neuronavegación y nuevas técnicas de neuroestimulación, el uso de agente anestésicos nuevos, han permitido mejorar los registros y obtener mejores señales. El creciente interés en el uso MNIO en adultos y niños surge como la necesidad de obtener procedimientos seguros, bajas complicaciones y mejores resultados a corto y largo plazo (Vadivelu et al. 2014).

Los niños al igual que los adultos tienen riesgo de déficit funcional neurológico durante las intervenciones medico-quirúrgicas, y se benefician de la monitorización intraoperatoria, sin embargo algunas técnicas empleadas en los adultos, requieren modificaciones de parámetros en niños dependientes de la edad, superficie para la colocación de electrodos, incluso en menores de 3 años de edad, la mielinización central y periférica aun no esta completa, lo que puede

modificar cambios en la morfología de las ondas, por lo que se requiere neurofisiólogos clínicos certificados y con experiencia para la correcta interpretación (Sala, Krzan, and Deletis 2002; Galloway and Zamel 2011). Sin embargo, existen estudios donde el MNIO en neurocirugías, ha demostrado utilidad y beneficio en niños < 3 años (Yi et al. 2019; Aydinlar et al. 2019; Flanders et al. 2020).

La adaptación de las modalidades de monitoreo en adultos y niños ha demostrado ser útil en los diferentes campos de subespecialidades, previniendo y minimizando lesiones neurológicas, desde su implementación en cirugías de neuroquirúrgicas y ortopédicas (Vaughan K.A. 2017). El uso MNIO en pacientes pediátricos en el campo de cirugía de columna y medula espinal, ha venido en aumento exponencialmente en los últimos años, con resultados que favorecen y confirman la necesidad de implementación de MNIO en población pediátrica en la practica clínica (M. R. Nuwer et al. 1995; Frei et al. 2007; Fulkerson et al. 2011; Jea 2014; Nagarajan et al. 2019; Tobert et al. 2017). Las modalidades de registro van a depender del tipo de cirugía y de las estructuras neurológicas en que estén en riesgo (Minahan 2002).

Modalidades de registro en MNIO en población pediátrica.

En 1979 se describió por primera vez la implementación de MNIO con potenciales evocados somatosensoriales (PESS) en pacientes pediátricos sometidos a cirugía de columna por deformidad ortopédica, documentando la necesidad y utilidad de MNIO en población pediátrica con el fin de disminuir déficits

neurológicos subsecuentes al procedimiento (Nash et al. 1977). Sin embargo, con el tiempo el uso PESS como modalidad de monitoreo intraoperatorio no fue suficiente, por si solo para minimizar los riesgos de déficit neurológico postoperatorio, por lo que se requirió introducir nuevas modalidades de monitorización como los potenciales evocados motores (PEM) y la electromiografía (EMG) (Busso and McAuliffe 2014).

Las modalidades para MNIO en pacientes pediátricos, se basan en traducción de señales bloqueadas en el tiempo, para facilitar la grabación de una señal a través de vías monosinápticas y polisinápticas, algunas modalidades pueden tener cierta susceptibilidad a los agentes anestésicos, además existen factores especiales que pueden dificultar la obtención de las señales, entre ellos la edad, la mielinización de las vías, comorbilidades y enfermedades genéticas, pueden tener un impacto en la calidad de obtención de señales en el MNIO (Busso and McAuliffe 2014).

A continuación, se describen las principales modalidades usadas en MNIO pediátrico (Busso and McAuliffe 2014).

Potenciales evocados somatosensoriales (PESS):

Los PESS permiten evaluar la integridad de la vía sensitiva propioceptiva a través de los cordones posteriores de la medula espinal, con la estimulación nervios periféricos mixtos, los nervios más utilizados en los PESS, son cubital, mediano y tibial posterior, también se puede registrar el nervio peroneo común, en caso de que

el nervio tibial posterior este lesionado o no se pueda obtener un registro confiable (Galloway and Zamel 2011).

La estimulación de los nervios periféricos se realiza con breves pulsos de corriente despolarizando las grandes fibras sensitivas, permitiendo el registro de potenciales periféricos, medulares y tálamo-corticales, lo que permite evaluar la integridad de esta vía (Busso and McAuliffe 2014). Debido a que las señales obtenidas son muy pequeñas y se miden en microvoltios, se requiere entre 250 a 500 estímulos para promediar y recopilar formas de ondas confiables, las respuestas obtenidas en extremidades superiores e inferiores se promedian y se registran de forma independiente, permitiendo un registro lado a lado y de cada extremidad, durante todo el MNIO (Galloway and Zamel 2011).

Los parámetros evaluados durante la modalidad de PESS son la amplitud y la latencia, como los parámetros más importantes son la reproducibilidad y variabilidad de la morfología de la onda, obteniéndose un registro previo basal, el cual puede variar a lo largo del MNIO por factores como, la edad del paciente, especialmente < 3 años por inmadurez neural, comorbilidades, síndromes congénitos y agentes anestésicos, los cuales puede dificultar la adecuada interpretación de los PESS (Galloway and Zamel 2011; Minahan 2002). Los criterios de alerta para evaluar los cambios en latencia y amplitud varían, desde una reducción persistente de la amplitud del >50% de la línea de base, o una prolongación en la latencia >10% en comparación con registro inicial (Thirumala et al. 2014; Levin, Strantzas, and Steinberg 2019).

Los PESS son ampliamente utilizados en MNIO, en procedimientos que tengan alto riesgo de comprometer las vías somatosensoriales, tales como, cirugías de columna y medula espinal, intervenciones intracraneales y de fosa posterior, así como monitoreo de nervio periférico en cirugías ortopédicas de cadera, pelvis y otra articulaciones, sin embargo tiene poca sensibilidad para monitoreo de una raíz nerviosa (monorradiculopatías) (Minahan 2002).

Potenciales evocados auditivos de tronco cerebral (PEATC):

Se utilizan para monitorizar la función del nervio coclear y estructuras del tronco encefálico en cirugías de fosa posterior. Tiene señales muy fiables en el MNIO dado que la morfología de las ondas se mantiene a pesar de administración de los agentes anestésicos (Minahan 2002).

Las respuestas en los PEATC se dividen en latencia corta, media y larga, las respuestas evaluadas en MNIO son las de latencia corta, cada onda representa y evalúa la integridad de una estructura específica de la vía auditiva durante MNIO, la cóclea distal (onda I), cóclea proximal (onda II), núcleo coclear (onda III), lemnisco lateral (onda IV) y colículo inferior (onda V). Las señales son pequeñas por lo que se requiere 2000-4000 estímulos para promediar y tener una señal nítida (Busso and McAuliffe 2014).

Durante MNIO con los PEATC, puede existir un cambio significativo en la amplitud $> 50\%$ o un aumento de 1 ms en la latencia absoluta de cualquier onda, representando un signo de alarma, para tener en presente durante MNIO. Otro marcador importante es las latencias inter-pico de las ondas III-IV (2 a 2,4 ms) puede

afectarse en perfusión deficiente de circulación posterior (arteria basilar y sus ramas) y en retracción del tronco encefálico junto con el nervio coclear durante la cirugía (Busso and McAuliffe 2014; Francis et al. 2012).

Potenciales evocados visuales (PEV):

Los potenciales evocados visuales (PEV) son una modalidad de MNIO que tiene como objetivo la preservación de la vía visual, tomando relevancia como implementación en la resección de lesiones neoplásicas cerca de los nervios ópticos, tractos ópticos y corteza visual, con el fin de reducir el riesgo de discapacidad visual (Sasaki et al. 2010).

Se utilizan gafas con visor de luz LED (NY, EE. UU.) con 100% de luminosidad, registrando en electrodos de sacacorchos subdérmicos en las posiciones O1, O2 y CZ, con electrodos de tierra A1 y A2 (sistema 10-20), frecuencia 2Hz, 200ms, 100 promedios. Los criterios de alarma para evaluar los cambios de VPE se definen como una disminución de amplitud reproducible del 20% o más en la amplitud de pico a pico (Gutzwiller et al. 2018).

Potenciales evocados motores (PEM):

Los PEM en MNIO evalúan la integridad de la vía motora descendente (Haz corticoespinal) en toda su trayectoria desde la corteza hasta el músculo (Fulkerson et al. 2011). Los PEM por estimulación magnética transcraneal (EMT) son susceptibles a los agentes anestésicos, por lo que su utilidad en el quirófano es

limitada, se prefiere la estimulación eléctrica transcraneal, donde se aplica corriente eléctrica transcraneal (PEMtc), a través de electrodos de superficie o subdermicos en el cuero cabelludo, siendo una modalidad de gran utilidad para monitoreo de medula espinal. También se pueden realizar potenciales evocados directos sobre la superficie cortical (PEMdc), a través de electrodos de malla o rejilla, aplicados directamente sobre la corteza, los cuales permiten la monitorización del haz corticoespinal, mapeo de la corteza motora y la vía subcortical en cirugía supratentorial (Galloway and Zamel 2011; K. Kim et al. 2018).

En el MNIO la modalidad de PEMtc se registra utilizando electrodos de sacacorchos subdérmicos C3 y C4 según el sistema internacional 10-20. La estimulación se realiza mediante dos técnicas dependiendo la intervención quirúrgica, en los casos de MNIO en tumores intramedulares se utiliza la técnica de único pulso, la cual se evoca una onda D con registro mediante un electrodo colocado en el espacio epidural o subdural de la medula espinal, caudal a la lesión tumoral. Otra técnica es mediante estímulo multipulso, donde hay una estimulación eléctrica transcraneal y se registra en el músculo, obteniendo potenciales evocados miogenicos (mPEM), aplicando trenes cortos de 5-7 estímulos de onda cuadrada de 0,5ms de duración, con intervalos de 4 ms, a una tasa de repetición de 2 Hz (Sala, Krzan, and Deletis 2002; Marc R. Nuwer 2008).

Los criterios de alarma para la evaluación de los PEMtc consideran una disminución repentina de la amplitud potencial > 50% en la que hay un cambio en la morfología y duración de uno o más músculos que se registran, o un aumento en la

intensidad del estímulo > 50% para evocar una respuesta motora (Sala, Krzan, and Deletis 2002; K. Kim et al. 2018).

Electromiografía (EMG):

La electromiografía (EMG) permite un registro en tiempo real de los potenciales de unidad motora, de los músculos monitorizados durante MNIO. Se utilizan EMG continua y EMG evocada, durante el procedimiento se utilizan agujas subdérmicas colocadas bilateralmente en los músculos en riesgo. La EMG continua, es en tiempo real en una ventana de 2 ms, detecta la irritación mecánica y/o metabólica del nervio, observando descargas tónicas en isquemia nerviosa por tracción, que puede durar segundos hasta minutos, o fásicas las cuales son breves, cortas y se asocian a traumatismo mecánico. En la EMG evocada, se realiza una estimulación directa de la raíz nerviosa, por ejemplo, en cirugías de columna vertebral. La estimulación se realiza a través de una sonda bipolar ó monopolar, con un pulso cuadrado monofásico de 0.3ms, a una frecuencia de 3.1 Hz, con un filtro de 100-5000 Hz. Tiempo de análisis 200-500 ms / div. Se registra la presencia o ausencia de descargas neurotónicas identificadas como ráfagas cortas o trenes de 50-200 Hz (Marc R. Nuwer 2008; S.M. Kim et al. 2013; Levin, Strantzas, and Steinberg 2019).

Electroencefalografía (EEG):

El EEG es una técnica muy sensible a cambios de hipoxia y perfusión utilizado en endarterectomía carotídea, para la evaluación del grado de perfusión cerebral durante la cirugía vascular, para monitorizar la profundización de la anestesia y el grado de hipotermia por neuroprotección. Sin embargo, tiene desventajas frente a otras modalidades, es menos sensible para detectar cambios intraoperatorios respecto a electrocorticografía y potenciales evocados somatosensoriales (S.M. Kim et al. 2013).

Series de casos de MNIO en pacientes pediátricos realizados en un solo centro hospitalario:

A continuación, describimos los pocos tres estudios retrospectivos realizados en países desarrollados, los dos primeros estudios (Harper and Nelson 1992) y (Helmers and Hall 1994) fueron realizados exclusivamente en pacientes pediátricos y el último de estudio de (Vadivelu et al. 2014) combinó pacientes pediátricos y adultos comparando complicaciones neurológicas en pacientes con MNIO y sin MNIO.

<i>Autor</i>	<i>Año</i>	<i>Población</i>	<i>Edad</i>	<i>#Muestra</i>	<i>Tipo de estudio</i>	<i>Procedimientos monitoreados.</i>	<i>Modalidad MNIO</i>	<i>Evaluación</i>
<i>Harper, CM</i>	1992	1985-1991 Clínica Mayo.	<18 Años	n=294	Retrospectivo	Columna y ME: n= 249 Tumores intraaxial y extraxial y misceláneos. n=27 Nervio Periférico n= 18	PESS Mediano y tibial. EMG PEATC	Evalúa cambios en PESS no significativos, graduales y permanentes EMG Evalúa presencia de descargas neurotónicas
<i>Helmer, S.L.</i>	1994	1984-1991 H. Boston	Niños <1 año Adultos >20 años	n= 349 Niños: 311 Adultos: 32	Retrospectivo	Ortopédicas: 95% Neuroquirúrgicas: 5%	PESS mediano y tibial PEATC	Cambios agudos, graduales en la morfología de las ondas y sin cambios con el basal, teniendo en cuenta déficit neurológico preexistentes, seguimiento postoperatorio inmediato y hasta 9 meses.
<i>Vadivelu, S</i>	2014	2008-2011 H. Texas	Niños <18 años y >18 años	n= 4467 Con MNIO:1525 Sin MNIO:2942	Retrospectivo	Columna y ME: 75% Fosa posterior: 2008:30%;2009:35,9 %;2010: 41.7 %;2011:41.9% Supratentorial: 2008: 1.5%; 2009: 2.1%;2010: 2.6%;2011: 2.7%,	PESS PEV PEATC PEM EMG	Complicaciones neurológicas Con MNIO: M: 6.4% Sin MNIO:1M:1.5%
<i>Potenciales evocados somatosensoriales (PESS); Potenciales evocados auditivos (PEATC); Potenciales evocados visuales (PEV); Potenciales evocados motores (PEM); Electromiografía (EMG); Monitoreo neurofisiológico intraoperatorio (MNIO); Medula espinal (ME).</i>								

Agentes anestésicos en MNIO pediátrico.

Factores como las vías neurales inmaduras y el riesgo de síndrome de infusión de propofol, durante anestesia utilizada en el MNIO, llevaron a realizar un estudio a través de una encuesta en anestesiólogos pediátricos, en 25 centros, los cuales respondieron con 35 protocolos diferentes, sin embargo, se documentó que la anestesia en pacientes pediátricos sometidos a MNIO, es consistente con la utilizada en adultos, es decir que se utiliza agentes inhalatorios a dosis restringida o TIVA pura para el mantenimiento de anestesia. El propofol es el sedante intravenoso más empleado, así como ketamina y dexmedetomidina. Todos los protocolos utilizan infusión de opioides como remifentanilo, fentanilo y sufentanilo.

La mayoría de los centros no utilizan relajación parcial muscular durante los periodos críticos de MNIO, esto lleva a concluir que las técnicas utilizadas en adultos son consistentes con las de los pacientes pediátricos. Hay que tener en cuenta que la maduración cortical electrofisiológica se completa entre los 11 y 13 años, por lo tanto, en menores de 6 años, se requiere varios trenes de estimulación PEMtc, para obtener una respuesta adecuada, durante el MNIO por los agentes anestésicos empleados, la mielinización y desarrollo cortical (Sloan 2010).

PARTE II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Si bien la monitorización neurofisiológica intraoperatoria (MNIO) no es algo nuevo, en los últimos años el empleo de monitoreo en el quirófano ha tenido un crecimiento exponencial y en países desarrollados es una herramienta que se usa habitualmente, con el fin de minimizar el riesgo de daño neural anatómico y funcional transitorio o permanente, durante un procedimiento quirúrgico que pone en riesgo la integridad del sistema nervioso. Existen diversas publicaciones científicas y guías de manejo avalan y recomiendan el uso MNIO tanto adultos como en pacientes pediátricos. Sin embargo, actualmente no hay estudios de MNIO en población pediátrica en países en desarrollo como México, que describan indicaciones clínicas, hallazgos neurofisiológicos y resultados postoperatorios. De ahí la importancia de conocer estos datos clínicos y neurofisiológicos, con el fin de

ampliar el conocimiento sobre la utilidad y beneficios de MNIO pediátrico, aportando datos relevantes para futuros trabajos de investigación nacionales e internacionales.

HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo

Los cambios registrados durante el MNIO en población pediátrica se relacionan con los hallazgos clínicos neurológicos postoperatorios a corto y largo plazo.

Hipótesis estadística

- I. **Nula:** Los cambios en el MNIO en población pediátrica no se relacionan con los hallazgos clínicos neurológicos posoperatorio.
- II. **Alternativa:** Los cambios en el MNIO en población pediátrica se correlacionan con los hallazgos clínicos neurológicos posoperatorios.

OBJETIVOS

Objetivo principal

- Describir las indicaciones clínicas, hallazgos de la MNIO y los resultados a corto y largo plazo en pacientes pediátricos sometidos a procedimientos neuroquirúrgicos en un solo centro de México.

Objetivos secundarios/específicos

- Describir los cambios intraoperatorios y su relación con el pronóstico dependiente de las patologías de base.
- Describir procedimientos quirúrgicos más frecuentes en población pediátrica que usan MNIO.
- Describir las modalidades de monitoreo más utilizadas durante MNIO.
- Describir características demográficas y clínicas de los pacientes pediátricos que requieren MNIO.

JUSTIFICACIÓN

La MNIO es de gran utilidad en procedimientos quirúrgicos, permite una visión amplia al cirujano, en tiempo real, proporcionando información puntual durante las intervenciones en las que estén en riesgo estructuras neurales anatómicas y funcionales, con el fin de evitar, revertir y reducir un déficit. Al igual que los adultos, el paciente pediátrico se beneficia de MNIO durante las intervenciones en las que se está en riesgo una estructura neural, porque brinda seguridad durante el procedimiento, tanto al paciente como a su familia y el cirujano.

En los países desarrollados la implementación MNIO es rutinario y existen numerosas publicaciones en el campo científico y guías de manejo que apoyan la utilidad en niños y adultos, en procedimientos neuroquirúrgicos y cirugía correctiva de escoliosis. Sin embargo, no hay estudios en la población pediátrica de los países en desarrollo que describan las condiciones médicas, los hallazgos y cambios

neurofisiológicos intraoperatorios y los resultados postoperatorios a corto y largo plazo. Por tanto, el objetivo de este estudio es describir las indicaciones clínicas, los hallazgos de la MNIO y el seguimiento en pacientes pediátricos sometidos a procedimientos neuroquirúrgicos en un país en desarrollo como México.

METODOLOGÍA

Diseño del estudio:

Estudio retrospectivo de serie de casos se incluyeron 35 pacientes pediátricos que requirieron MNIO entre 2014-2020 en un solo centro en el estado de Mexico.

Criterios de selección

Inclusión

Pacientes pediátricos menores de 18 años, de cualquier sexo, que requirieron MNIO, entre el 2014 a 2020, que cuenten con seguimiento neurológico al menos 3 meses.

Exclusión

- Mayores de 18 años.
- Pacientes que no tengan seguimiento neurológico al menos a 3 meses.

Eliminación

- Traslado a otro hospital.
- Fallecimiento inmediato

Variables

- **Variable dependiente:** Hallazgos clínicos postoperatorios a corto y largo plazo.
- **Variable Independiente:** Monitoreo neurofisiológico intraoperatorio pediátrico.

Nombre	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de variable	Instrumento y unidad de medición
Edad	Años cumplidos en el momento de la intervención quirúrgica.	Años de vida cumplidos	Cuantitativa continua.	Años
Sexo	Caracterización fenotípica que diferencia entre mujer y hombre.	Femenino. Masculino.	Cualitativa nominal dicotómica	0. Femenino. 1. Masculino.
Diagnóstico preoperatorio craneal supratentorial	Lesiones supratentoriales (hemisférico de diverso origen)	• Diagnóstico patológico	Cualitativa nominal politómica	0. Absceso cerebral. 1. Lesión tumoral. 2. Tumor germinal de la glándula pineal.
Diagnóstico preoperatorio infratentorial.	Lesiones infratentoriales (por debajo del tentorio, de diverso origen)	• Diagnóstico patológico	Cualitativa nominal politómica	0. Meduloblastoma. 1. Astrocitoma. 2. Craneofaringioma 3. Lesiones quísticas 4. Hamartoma hipotalámico 5. Tumor de fosa posterior.
Diagnóstico preoperatorio columna y/o medula espinal.	Lesiones de cualquier origen, que comprometa estructura ósea, intervertebral, raíces espinales y/o medula espinal.	Malformación congénita. • Mielomeningocele • Siringomelia • Arnold chiari. • Arnold chiari, siringomelia. • Lipoma espinal. • Disrafismo espinal con seno dérmico. • Disrafismo espinal con seno dérmico y lipoma. Tumor de cuerpo vertebral (intradural) • Osteoma cervical • Osteoma torácico • Osteoma lumbar • Osteoma lumbosacro Traumatismo y fracturas. • Cervical. C1-c7 • Torácica T1-T12 • Lumbar L1-L5 • Sacra S1-S5 Infecciosa/compresiva • Osteomielitis cervical • Osteomielitis torácica • Osteomielitis lumbosacra Lesión tumoral compresiva • Intramedular • Extramedular Escoliosis congénita Compresión unión craneocervical por deposito. Discopatía.	Cualitativa nominal politómica	0. Mielomeningocele 1. Siringomelia 2. Arnold chiari. 3. Arnold chiari, siringomelia. 4. Lipoma espinal. 5. Disrafismo espinal con seno dérmico. 6. Disrafismo espinal con seno dérmico y lipoma. 7. Osteoma cervical 8. Osteoma torácico 9. Osteoma lumbar 10. Osteoma lumbosacro 11. Fractura Cervical. C1-c7 12. Fractura Torácica T1-T12 13. Fractura Lumbar L1-L5 14. Fractura Sacra S1-S5 15. Osteomielitis cervical 16. Osteomielitis torácica 17. Osteomielitis lumbosacra 18. Lesión tumoral compresiva Intramedular 19. Lesión tumoral compresiva Extramedular 20. Escoliosis congénita 21. Compresión unión craneocervical por deposito. 22. Discopatía cervical 23. Discopatía lumbar 24. Discopatía lumbosacra.

Otros diagnósticos preoperatorios	No clasificados	Tumor mandibular. Tumor parótida.	Cualitativa nominal dicotómica	0. Tumor mandibular. 1. Tumor parótida.
Antecedentes patológicos	Antecedentes diferentes a la patología de base, como comorbilidad relacionada que empeora pronóstico a largo plazo.	- Parálisis cerebral. - Epilepsia. - Mucopolisacaridosis. - Otros. - Ninguno	Cualitativa nominal politómica	0. Parálisis cerebral. 1. Epilepsia. 2. Mucopolisacaridosis. 3. Otros. 4. Ninguno
Tipo de intervención	Procedimiento quirúrgico que requirieron MNIO.	- Resección tumoral (supra o infratentorial, medular) - Biopsia cerebral (supra o infratentorial) - Drenaje de absceso cerebral. - Drenaje de quiste aracnoideo - Descompresión medular. - Descompresión de fosa posterior y osteotomía - Desanclaje medular espinal. - Cierre de Mielomeningocele - Dissectomía mas hemilaminectomía.	Cualitativa nominal politómica	0. Resección tumoral supratentorial. 1. Resección tumoral infratentorial. 2. Resección de tumor de columna y/o medula espinal. 3. Biopsia cerebral supratentorial. 4. Biopsia cerebral infratentorial. 5. Drenaje de absceso cerebral 6. Drenaje de quiste aracnoideo 7. Descompresión medular cervical. 8. Descompresión medular torácica 9. Descompresión de fosa posterior y osteotomía. 10. Desanclaje medular espinal. 11. Cierre de Mielomeningocele 12. Dissectomía mas hemilaminectomía 13. Otros.
Resección tumoral	Si se retiro toda la lesión tumoral o si fue parcial.	- Total - Parcial - No aplica.	Cualitativa nominal politómica	0. Total 1. Parcial 2. No aplica.
Año de intervención	Año en el que se realizo la intervención quirúrgica que requirió MNIO.	2014 - 2020	Cuantitativa continua.	Años del calendario
Reintervención	Si tiene una intervención quirúrgica previa, al actual procedimiento.	Intervención previa.	Cualitativa nominal dicotómica	0. Si 1. NO
Técnica anestésica	Tipo de anestesia utilizada durante el procedimiento quirúrgico y MNIO	Anestesia general balanceada. TIVA. Mixta. Otras.	Cualitativa nominal politómica	0. Anestesia general balanceada. 1. TIVA. 2. Mixta. 3. Otras.
Anestésicos de mantenimiento.	Anestésicos empleados durante el procedimiento quirúrgico y MNIO.	Anestesia	Cualitativa nominal politómica	0. Propofol-Fentanilo-Sevoflurano. 1. Propofol-Fentanilo 2. Sevoflurano. 3. Sevoflurano-Fentanilo 4. Sevoflurano-Lidocaína-Fentanilo.

				5. Propofol-Midazolam-Fentanilo 6. Propofol-Fentanilo-Lidocaína
Relajantes musculares.	Relajante muscular utilizado IOT.	• Relajantes musculares.	Cualitativa nominal politómica	0. Cisatracurio. 1. Rocuronio. 2. Vecuronio. 3. Otros.
Modalidad de MNIO	Técnicas utilizadas para el monitoreo intraoperatorio, según la intervención quirúrgica de paciente y la estructura en riesgo.	• EEG.	Cualitativa nominal dicotómica	0. SI 1. NO
Modalidad de MNIO	Técnicas utilizadas para el monitoreo intraoperatorio, según la intervención quirúrgica de paciente y la estructura en riesgo. PESS (Potenciales evocados somatosensoriales).	• PESS	Cualitativa nominal dicotómica	0. SI 1. NO
Modalidad de MNIO	Técnicas utilizadas para el monitoreo intraoperatorio, según la intervención quirúrgica de paciente y la estructura en riesgo. PEV (Potencial evocado visual)	• PEV	Cualitativa nominal dicotómica	0. SI 1. NO
Modalidad de MNIO	Técnicas utilizadas para el monitoreo intraoperatorio, según la intervención quirúrgica de paciente y la estructura en riesgo. PEATC (Potencial evocado auditivo de tallo cerebral)	• PEATC	Cualitativa nominal dicotómica	0. SI 1. NO
Modalidad de MNIO	Técnicas utilizadas para el monitoreo intraoperatorio, según la intervención quirúrgica de paciente y la estructura en riesgo. PEM (Potencial evocado motor)	• PEM	Cualitativa nominal dicotómica	0. SI 1. NO
Modalidad de MNIO	Técnicas utilizadas para el monitoreo intraoperatorio, según la intervención quirúrgica de paciente y la estructura en riesgo.	• EMG continua.	Cualitativa nominal dicotómica	0. SI 1. NO
Modalidad de MNIO.	Técnicas utilizadas para el monitoreo intraoperatorio, según la intervención quirúrgica de paciente y la estructura en riesgo.	• EMG evocada	Cualitativa nominal dicotómica	0. Si 1. No
PEVs Basal	El registro inicial al procedimiento Normal: P100 valorable Patológico: P100 Ausente/ Prolongado o baja amplitud.	• Normal • Patológico	Cualitativa nominal dicotómica	0. Normal 1. Patológico.
Cambios PEVs	Cambios del potencial visual durante MNIO.	• Sin cambios. • Latencia prolongada (>10%)	Cualitativa nominal politómica	0. Sin cambios. 1. Latencia prolongada (>10%)

		- Disminución amplitud (>50%) - Perdida unilateral. - Perdida bilateral.		- Disminución amplitud (>50%) - Perdida unilateral. - Perdida bilateral.
Extremidades monitoreadas PESS	Extremidades monitorizadas durante MNIO.	- Miembros torácicos. - Miembros pélvicos. 4 Extremidades.	Cualitativa nominal politómica	- Miembros torácicos. - Miembros pélvicos. 4 Extremidades
Basal PESS	El registro inicial del potencial evocado somatosensorial al procedimiento quirúrgico. Normal: Latencias y amplitud de N20-P22 (nervio mediano) y P37-N-45 (nervio tibial posterior) Patológico: Ausencia o prolongación de latencias >10% línea basal o reducción de amplitud >50% de línea basal.	- Normal - Patológico	Cualitativa nominal dicotómica	- Normal - Patológico.
Cambios PESS	Cambios del potencial evocado somatosensorial durante MNIO.	- Sin cambios. - Latencia prolongada (>10%) - Disminución amplitud (>50%) - Perdida unilateral. - Perdida bilateral.	Cualitativa nominal politómica	- Sin cambios. - Latencia prolongada (>10%) - Disminución amplitud (>50%) - Perdida unilateral. - Perdida bilateral.
Tc-PEMs Basal	El registro inicial del potencial evocado motor de los músculos monitorizados al procedimiento quirúrgico. Normal: Presencia de PEM de los músculos registrados. Patológico: Ausencia o disminución del PEM muscular, se definirá si es unilateral o bilateral.	- Presente - Ausente unilateral - Ausente bilateral. - Disminuido unilateral. - Disminuido bilateral	Cualitativa nominal politómica	- Presente - Ausente unilateral - Ausente bilateral. - Disminuido unilateral. - Disminuido bilateral
Extremidades monitorizadas Tc-PEMs	Extremidades monitorizadas durante MNIO según el procedimiento quirúrgico y el riesgo de la estructura neural.	- Miembros torácicos. - Miembros pélvicos. 4 Extremidades	Cualitativa nominal politómica	- Miembros torácicos. - Miembros pélvicos. 4 Extremidades.
Cambios Tc-PEMs	Cambios en la amplitud del potencial evocado motor de los músculos en riesgos evaluados durante la cirugía. Cambios en la intensidad del estímulo para evocar una respuesta motora en el músculo en riesgo monitorizado.	- Sin cambios. - Perdida PEMs unilateral - Perdida PEMS bilateral. - Disminución PEMs (50-80%) unilateral - Disminución PEMs (50-80%) bilateral - Aparición del potencial que estaba ausente.	Cualitativa nominal politómica	- Sin cambios. - Perdida PEMs unilateral - Perdida PEMS bilateral. - Disminución PEMs (50-80%) unilateral - Disminución PEMs (50-80%) bilateral - Aparición del potencial que estaba ausente.
Descargas neurotónicas en EMG	Se registra la presencia o ausencia de descargas neurotónicas (ráfagas cortas o trenes de 50-200 Hz).	- Presente. - Ausente.	Cualitativa nominal dicotómica	- Presente. - Ausente.
EMG evocada	Según la técnica realizada si se identifica el nervio registrado.	- Identifica el nervio - No identifica el nervio.	Cualitativa nominal dicotómica	- Identifica el nervio - No identifica el nervio.

Músculos inervados por pares craneales registrados EMG.	Según la técnica utilizada, si se registró alguno de estos músculos inervados por los pares craneales.	• Masetero (V par craneal) • Orbicularis oculi (VII par craneal rama zigomática) • Orbicularis oris (VII par craneal, rama bucal) • Mentalis (VII par craneal) • Estilofaríngeo (IX par craneal) • Geniogloso (XII par craneal)	Cualitativa nominal dicotómica	0. Si. 1. No.
Músculos del cuello registrados EMG.	Según la técnica realizada si se registro alguno de estos músculos.	• Esternocleidomastoideo (Raíz C2-C3). • Platisma (VII) • Escalenos (Raíz C4-C7).	Cualitativa nominal dicotómica	0. Si 1. No.
Músculos de abdomen y tronco. registrados EMG y PEM.	Músculos de abdomen y tronco registrados durante MNIO.	• Intercostal T5 • Recto abdominal superior e inferior (T7-T11) • Esfínter anal externo (S2, S3, S4)	Cualitativa nominal dicotómica	0. Si 1. No.
Músculos de cintura escapular EMG y PEM.	Músculos de cintura escapular registrados durante MNIO.	• Trapecio (C3-C4). • Dorsal ancho (C6-C7-C8).	Cualitativa nominal dicotómica	0. Si 1. No.
Músculos del brazo EMG y PEM.	Músculos del brazo registrados durante MNIO.	• Deltoides (C5-C6) • Bíceps braquial (C5-C6) • Tríceps braquial (C6-C7-C8)	Cualitativa nominal dicotómica	0. Si 1. No.
Músculos de la mano EMG y PEM.	Músculos de la mano registrados durante MNIO.	• Abductor pollicis brevis (C8-T1) • Abductor digiti minimi (C8-T1) • Oponente del pulgar (C8-T1)	Cualitativa nominal dicotómica	0. Si 1. No.
Músculos del muslo. EMG y PEM.	Músculos del muslo registrados durante MNIO.	• Vasto lateral (L2-L3-L4) • Vasto medial (L2-L3-L4) • Recto femoral (L2-L3-L4)	Cualitativa nominal dicotómica	0. Si 1. No.
Músculos de la pierna EMG y PEM.	Músculos de la pierna registrados durante MNIO.	• Tibial anterior (L4-L5) • Gatrocnemio medial (S1-S2) • Gatrocnemio lateral (S1-S2)	Cualitativa nominal dicotómica	0. Si 1. No.
Músculos del pie EMG y PEM.	Músculos del pie registrados durante MNIO.	• Abductor hallucis (S1-S2) • Abductor del quinto dedo (S1-S2) • Extensor digitorum brevis (L5-S1)	Cualitativa nominal dicotómica	0. Si 1. No.
Déficit neurológico previo.	Si presentaba algún déficit neurológico previo a la intervención y MNIO.	Déficit neurológico previo	Cualitativa	• Descriptivo.
Déficit neurológico nuevos esperados.	Si se espera nuevos déficits focales posteriores al procedimiento quirúrgico y los hallazgos MNIO.	• Si • NO	Cualitativa nominal dicotómica	0. SI 1. NO
Déficit postoperatorio neurológico 24 h.	Correlación hallazgos MNIO con hallazgos clínicos en el posoperatorio inmediato.	Verdadero negativo: sin déficit neurológico posquirúrgico ni cambios en el MNIO Verdadero positivo: déficit neurológico posquirúrgico que se correlaciona con los cambios observados en la MNIO.	Cualitativa nominal politómica	0. Verdadero negativo. 1. Verdadero positivo. 2. Falso negativo. 3. Falso positivo.

		Falso negativo: déficit neurológico posquirúrgico, sin observar cambios que indiquen déficit neurológico posquirúrgico en el MNIO. Falso positivo: No hay déficit posquirúrgico, pero durante la MNIO se observó la abolición de los signos que indicaban déficit.		
Seguimiento a 1 a 3 Meses, déficit motor	Presencia de déficit neurológico.	Motor: Evaluado por la escala de fuerza Medical Research Council MRC. 0= Parálisis completa 1= Mínima contracción. 2= Ausencia de movimiento activo contra gravedad. 3=Contracción débil contra la gravedad. 4= Movimiento activo contra gravedad y resistencia. 5=Fuerza normal Se definirá el lado afectado y segmento comprometido. A: Hemicuerpo Derecho B: Hemicuerpo Izquierdo. C: Cuadriplejia D: Cuadriparesia. E: Paraparesia F: Paraplejia.	Cualitativa nominal politómica	0. Parálisis completa 1. Mínima contracción. 2. Ausencia de movimiento activo contra gravedad. 3. Contracción débil contra la gravedad. 4. Movimiento activo contra gravedad y resistencia. 5. Fuerza normal A. Hemicuerpo Derecho B. Hemicuerpo Izquierdo. C. Cuadriplejia D. Cuadriparesia. E. Paraparesia F. Paraplejia. G. Monoparesia.
Seguimiento 1 a 3 Meses déficit sensitivo	Déficit sensitivo se evaluará mediante examen neurológico de sensibilidad superficial y profunda. Déficit sensibilidad superficial: Alteración de la vía dolor y temperatura, tacto y presión. Déficit sensibilidad profunda, presión, vibración, posición y relación articular.	- Déficit sensibilidad superficial - Déficit de sensibilidad profunda - Déficit sensibilidad superficial y profunda. - Sin déficit.	Cualitativa nominal politómica	0. Déficit sensibilidad superficial 1. Déficit de sensibilidad profunda 2. Déficit sensibilidad superficial y profunda. 3. Sin déficit.
Seguimiento 1 a 3 Meses déficit Visual.	Definido durante la exploración neurológica del par craneal II y de la campimetría. Solo si aplica respecto al procedimiento.	Déficit visual	Cualitativa nominal politómica	0. Sin déficit visual. 1. Con déficit visual.

Seguimiento 3 a 6 meses, déficit motor	Presencia de déficit neurológico.	Motor: Evaluado por la escala de fuerza Medical Research Council MRC. 0= Parálisis completa 1= Mínima contracción. 2= Ausencia de movimiento activo contra gravedad. 3=Contracción débil contra la gravedad. 4= Movimiento activo contra gravedad y resistencia. 5=Fuerza normal Se definirá el lado afectado y segmento comprometido. A: Hemicuerpo Derecho B: Hemicuerpo Izquierdo. C: Cuadriplejia D: Cuadriparesia. E: Paraparesia F: Paraplejia.	Cualitativa nominal politómica	0. Parálisis completa 1. Mínima contracción. 2. Ausencia de movimiento activo contra gravedad. 3. Contracción débil contra la gravedad. 4. Movimiento activo contra gravedad y resistencia. 5. Fuerza normal A. Hemicuerpo Derecho B. Hemicuerpo Izquierdo. C. Cuadriplejia D. Cuadriparesia. E. Paraparesia F. Paraplejia.
Seguimiento 3 a 6 meses, déficit sensitivo	Déficit sensitivo se evaluará mediante examen neurológico de sensibilidad superficial y profunda. Déficit sensibilidad superficial: Alteración de la vía dolor y temperatura, tacto y presión. Déficit sensibilidad profunda, presión, vibración, posición y relación articular.	- Déficit sensibilidad superficial - Déficit de sensibilidad profunda - Déficit sensibilidad superficial y profunda. - Sin déficit.	Cualitativa nominal politómica	0. Déficit sensibilidad superficial 1. Déficit de sensibilidad profunda 2. Déficit sensibilidad superficial y profunda. 3. Sin déficit.
Seguimiento 6 a 12 Meses, déficit motor	Presencia de déficit neurológico.	Motor: Evaluado por la escala de fuerza Medical Research Council MRC. 0= Parálisis completa 1= Mínima contracción. 2= Ausencia de movimiento activo contra gravedad. 3=Contracción débil contra la gravedad. 4= Movimiento activo contra gravedad y resistencia. 5=Fuerza normal	Cualitativa nominal politómica	0. Parálisis completa 1. Mínima contracción. 2. Ausencia de movimiento activo contra gravedad. 3. Contracción débil contra la gravedad. 4. Movimiento activo contra gravedad y resistencia. 5. Fuerza normal A. Hemicuerpo Derecho B. Hemicuerpo Izquierdo. C. Cuadriplejia D. Cuadriparesia E. Paraparesia F. Paraplejia.

		Se definirá el lado afectado y segmento comprometido. A: Hemicuerpo Derecho B: Hemicuerpo Izquierdo. C: Cuadriplejia D: Cuadriparesia. E: Paraparesia F: Paraplejia.		G. Monoparesia.
Seguimiento 6 a 12 meses, déficit sensitivo	Déficit sensitivo se evaluará mediante examen neurológico de sensibilidad superficial y profunda. Déficit sensibilidad superficial: Alteración de la vía dolor y temperatura, tacto y presión. Déficit sensibilidad profunda, presión, vibración, posición y relación articular.	- Déficit sensibilidad superficial - Déficit de sensibilidad profunda - Déficit sensibilidad superficial y profunda. - Sin déficit.	Cualitativa nominal politómica	0. Déficit sensibilidad superficial 1. Déficit de sensibilidad profunda 2. Déficit sensibilidad superficial y profunda. 3. Sin déficit.
Seguimiento 6-12 Meses déficit Visual.	Definido durante la exploración neurológica del par craneal II y de la campimetría. Solo si aplica respecto al procedimiento.	Déficit visual	Cualitativa nominal politómica	0. Sin déficit visual. 1. Con déficit visual.

METODOLOGÍA DESCRIPTIVA

Realizamos un estudio de serie de casos retrospectivo, se incluyeron pacientes pediátricos menores de 18 años, que se sometieron a neurocirugía guiada por MNIO durante 2014-2020 en un solo centro en el Estado de México. Los datos se recopilaron retrospectivamente de las historias clínicas y los informes del MNIO, se registraron la edad, el sexo, el estado neurológico previo y las comorbilidades médicas, así como las modalidades utilizadas en el MNIO, con sus cambios y resultados intraoperatorios y posoperatorios.

Todos los MNIO se registraron en el equipo NIM Eclipse Medtronic. Los datos obtenidos durante el seguimiento fueron analizados por un neurofisiólogo clínico certificado por el concejo de neurofisiología. Se realizaron múltiples modalidades de MNIO, según el riesgo de planificación quirúrgica, acordando las pautas y protocolos recomendados para cada intervención y regiones anatómicas como lesiones supratentoriales, lesiones de la base del cráneo, patologías medulares y lesiones de nervios periféricos (Youssef and Downes 2009; Robert, Happel, and Kline 2009; M. R. Nuwer et al. 2012; Ringel and Sala 2015).

Modalidades de MNIO empleadas:

- **Potenciales evocados somatosensoriales (SPEs):** El sistema 10-20 se utiliza para el registro, requiere electrodos de sacacorchos subdérmicos, que se colocan en el cuero cabelludo CZ'-FZ 'para las extremidades inferiores y C3' / C4'-FZ para las extremidades superiores, más el electrodo de registro en el nivel C5. Los potenciales corticales y subcorticales se obtienen estimulando el nervio mediano en la muñeca (intensidad 8 a 15 mA, duración 0,2 ms y repetición 3,4 Hz) y el nervio tibial posterior en el maléolo medial (intensidad 8 a 20 mA, duración 0,2 ms y 5,1 Hz repetir). Con filtro bajo de 30Hz, filtro alto de 1500Hz. Los criterios de alerta para evaluar los cambios en la latencia y la amplitud de las SPEs varían, desde una reducción de la amplitud > 50% desde la línea de base o una prolongación de la latencia > 10% en comparación con el registro inicial o la pérdida de señal. unilateral o bilateral.

- **Potenciales evocados visuales (VPE):** Se utilizan gafas con visor de luz LED (NY, EE. UU.) Con 100% de luminosidad, registrando en electrodos de sacacorchos subdérmicos en las posiciones O1, O2 y CZ, con electrodos de tierra A1 y A2 (sistema 10-20), frecuencia 2Hz, 200ms, 100 promedios. Filtros bajos de 30Hz y filtro alto de 750Hz con rechazo de artefactos activado y Notch +. Los criterios de alarma para evaluar los cambios de VPE se definieron como una disminución de amplitud reproducible del 20% o más en la amplitud de pico a pico.
- **Potenciales evocados motores de estimulación eléctrica transcraneal (tc-MEPs):** se registró mediante electrodos de sacacorchos subdérmicos C3 y C4 según el sistema internacional 10-20, los músculos monitorizados tanto de las extremidades superiores como inferiores varían según la patología del paciente. La estimulación se realiza mediante un tren de pulsos de onda cuadrada de 5 a 7, duración de 0.5ms, intervalo entre estimulación de 2 ms y una frecuencia de 2Hz. Los criterios de alarma para la evaluación de los MEP fueron los siguientes: Una disminución repentina de la amplitud potencial > 50% en la que hay un cambio en la morfología y duración de uno o más músculos que se registran, o un aumento en la intensidad del estímulo > 50%. para evocar una respuesta motora. Sin ser explicado por otra causa.
- **EMG de carrera libre y EMG activada:** Durante el procedimiento se utilizan agujas subdérmicas colocadas bilateralmente en los músculos en riesgo. La

EMG de ejecución libre es en tiempo real en una ventana de 2 ms. En la electromiografía evocada hay estimulación directa de la raíz nerviosa en cirugías de columna vertebral. La estimulación se realiza a través de una sonda bipolar, pulso cuadrado monofásico de 0.3ms, a una frecuencia de 3.1 Hz, con un filtro de 100-5000 Hz. Tiempo de análisis 200-500 ms / div. Se registra la presencia o ausencia de descargas neurotónicas (ráfagas cortas o trenes de 50-200 Hz).

Parámetros de interpretación para la correlación MNIO

- **Verdadero negativo:** Sin déficit neurológico posquirúrgico ni cambios en el IONM
- **Verdadero positivo:** Déficit neurológico posquirúrgico que se correlaciona con los cambios observados en la IONM.
- **Falso negativo:** Déficit neurológico posquirúrgico, sin observar cambios que indiquen déficit neurológico posquirúrgico en el IONM.
- **Falso positivo:** No hay déficit posquirúrgico, pero durante la IONM se observó la abolición de los signos que indicaban déficit.

Seguimiento a corto y largo plazo

Para el seguimiento se tuvieron en cuenta datos registrados en los expedientes clínicos electrónicos, en los que se documentó si existía o no déficit neurológico previo al procedimiento quirúrgico, si tuvo algún déficit neurológico postoperatorio

(primeras 24 horas) y durante la estancia hospitalaria hasta el alta, y el seguimiento clínico a largo plazo a los 3-6-12 meses, el cual se obtuvo mediante información registrada en los controles de seguimiento programados por el especialista tratante, que tenían examen físico neurológico completo en el expediente clínico.

Manejo y procesamiento de datos

Se realizó una revisión de todos los reportes de MNIO entre (2014-2020) así como los expedientes clínicos electrónicos, para el seguimiento clínico neurológico postquirúrgico, con el fin de recolectar información de las variables sociodemográficas y clínicas, así como de las modalidades empleadas en la MNIO y sus cambios intraoperatorios, postoperatorios.

La recolección de datos fue de manera confidencial, se registro en una base de datos de Microsoft Excel versión 2019. Se verifico la información recolectada y se analizo en el paquete estadístico SPSS Statistics, versión 23, se represento en graficas y tablas. No se publicaron datos individuales o identificaciones de pacientes, la base de datos solo fue manejada por los investigadores.

ANALISIS ESTADÍSTICO

Se hizo un análisis descriptivo con el paquete estadístico SPSS Statistics, versión 23 de las variables sociodemográficas y clínicas, así como de las modalidades empleadas en la MNIO y sus cambios intraoperatorios, postoperatorios a corto y

largo plazo. Los datos se describieron en frecuencias absolutas y relativas, medidas de tendencia central y dispersión.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

Con base a la norma oficial Mexicana **NOM-012-SSA3-2012** que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos, este trabajo de investigación es un estudio retrospectivo, por lo que se considera con riesgo menor al mínimo y no amerita consentimiento informado. Así mismo nuestro trabajo de investigación se acoge a las reglas internacionales de Helsinki para investigación medica en seres humanos, respetando los principios bioéticos, asegurando respeto de los pacientes para preservación de la información recolectada, la cual no incluir datos de identificación. Nuestro estudio es retrospectivo, sin ningún tipo de intervención o modificación en los pacientes, los datos serán reguardados con debida confidencialidad, y solo se usarán confines de este estudio.

PARTE III

Resultados

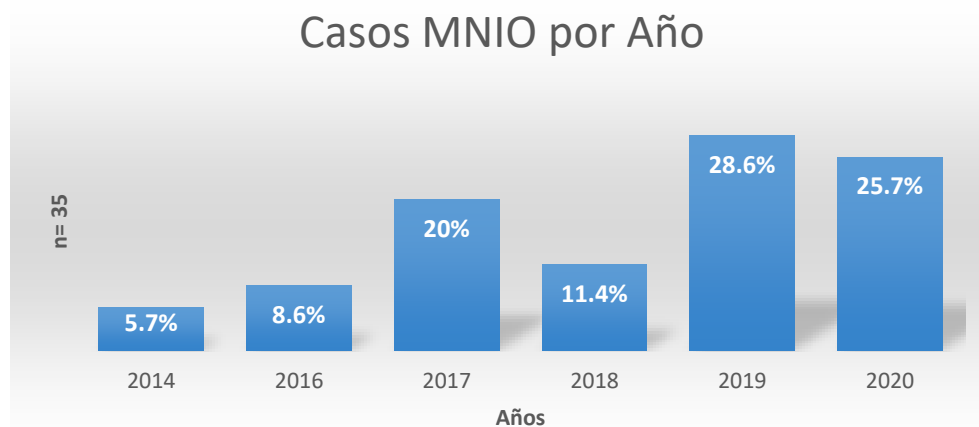
Se incluyeron y se analizaron 35 pacientes pediátricos sometidos a MNIO entre 2014-2020, el 43% (15/35) niñas y (20/35) 57% niños, la edad promedio fue de 8.7 años (rango <1-17). Los grupos de edades más frecuentes monitorizadas fueron los de >1 a <6 años (40%), seguido los de >12 a <18 años (34%). Un 25% de los pacientes no tenían ningún antecedente patológico.

Se notó un incremento relativo de hasta 5 veces en el uso del MNIO del año 2014 (5.7%) al 2020 (25.7%) . La **Tabla 1** muestran los datos sociodemográficos y clínicos de los pacientes. La **Figura 1** muestra el número de pacientes por año en quienes se realizó MNIO

Tabla 1. Características sociodemográficas y clínicas de 35 pacientes pediátricos sometidos a MNIO de 2014-2020.

Características	n=35 (%)
Femenino	15 (42.9)
Masculino	20 (57.1)
Edad, años, x	8.75
<1	2 (6)
>1 a <6	14 (40)
>6 a <12	7 (20)
>12 a <18	12 (34)
Antecedentes patológicos	
Epilepsia	3 (8.6)
Parálisis cerebral espástica.	1 (2.9)
Mucopolisacaridosis	1 (2.9)
Otros	5 (14.3)
Ninguno	25 (71.4)

Figura 1 Número de casos de niños con Monitorización Neurofisiológica Intraoperatoria desde el 2014-2020.



La patología preoperatoria más frecuente observada fue la craneal infratentorial (40%); y de estos el diagnóstico preoperatorio más frecuente fue el astrocitoma (42.9%), seguido del meduloblastoma (28.6%). El 37.1% tuvieron a un diagnóstico preoperatorio de patologías de la columna y/o medula espinal, siendo el mielomeningocele el más frecuente (23.1%). La patología supratentorial solo se observó en 20%, siendo el diagnóstico más frecuente lesiones tumorales con un 71.4%.

El tipo de cirugía más frecuente fue resección tumoral infratentorial con un 31.4%; de estos un 11.7% tuvieron una resección total y un 53% fue una resección parcial. El segundo tipo de intervención quirúrgica más frecuente fue biopsia cerebral supratentorial con un 11.4%, seguido de un 8.6% que correspondía a cirugías de descompresión medular cervical. Adicionalmente se encontró que un 34% tenían intervenciones quirúrgicas previas. Las **Tablas 2 y 3** muestra los

diagnósticos preoperatorios y el tipo de cirugía realizada en los 35 pacientes pediátricos que requirieron MNIO.

Tabla 2 Diagnóstico preoperatorio de 35 pacientes pediátricos sometidos a MNIO entre 2014-2020.

Diagnóstico patológico preoperatorio	n=35 (%)
Craneal supratentorial.	n=7 (20)
Neoplasias malignas	5(71.4)
Absceso cerebral	1(14.3)
Tumor germinal de la glándula pineal.	1(14.3)
Craneal infratentorial.	n=14 (40)
Astrocitoma	6(42.9)
Meduloblastoma	4(28.6)
Craneofaringioma	1(7.1)
Lesiones quísticas	1(7.1)
Hamartoma hipotalámico	1(7.1)
Tumor de fosa posterior	1(7.1)
Columna y/o Medula espinal	n=13 (37.1)
Mielomeningocele.	3(23.1)
Arnold Chiari, Siringomelia.	1(7,7)
Disrafismo espinal con seno dérmico y lipoma.	1(7,7)
Osteoma cervical	1(7,7)
Fractura Cervical C1-C7	1(7,7)
Fractura Torácica T1-T12	1(7,7)
Lesión tumoral compresiva Intramedular	1(7,7)
Lesión tumoral compresiva Extramedular	1(7,7)
Escoliosis congénita	1(7,7)
Compresión unión craneocervical por deposito.	1(7,7)
Discopatía lumbosacra.	1(7,7)
Otros diagnósticos preoperatorios.	n=1(2.9)
Tumor mandibular	

Tabla 3 Tipo de cirugía y características de resección tumoral total y/o parcial de los 35 pacientes pediátricos, con MNIO entre 2014-2020.

Tipo de cirugía	n=35 (%)	Resección tumoral n=17 (%)	
		Total n=5 (29.4)	Parcial n=12 (70.58)
Resección tumoral infratentorial	11(31.4)	2 (11.7)	9 (53)
Resección tumoral supratentorial	2 (5.7)		2 (11.7)
Resección de tumor de columna y/o medula espinal	3(8.6)	2 (11.7)	1(5.9)
Biopsia cerebral supratentorial	4(11.4)		
Biopsia cerebral infratentorial	2 (5.7)		
Descompresión medular cervical	3(8.6)		
Desanclaje medular espinal	2(5.7)		
Cierre de Mielomeningocele	2(5.7)		
Drenaje de absceso cerebral	1(2.9)		
Drenaje de quiste aracnoideo	1(2.9)		
Descompresión medular torácica	1(2.9)		
Dissectomía mas hemilaminectomía	1(2.9)		
Otros.			
Resección de tumor mandibular		1(5.9)	
1(2.9)			
Corrección de escoliosis			
1(2.9)			
Intervención previa	n=35(%)		
Si	12(34)		
No	23(66)		

Consideraciones anestésicas: Ningún paciente recibió relajante muscular durante la MNIO.

Tabla 4 Protocolos de anestesia empleados en los procedimientos quirúrgicos con MNIO en 35 pacientes pediátricos.

Tipo de anestesia	n= 35(%)
Anestesia general balanceada <0.5 MAC	14 (40)
TIVA	21(60)
Combinaciones de anestésicos de mantenimiento MNIO	n= 35(%)
Sevoflurano, Propofol, Fentanilo	9(25.7)
Propofol, Fentanilo.	4(11.4)
Sevoflurano, Lidocaína, Fentanilo	2(5.71)
Propofol, Midazolam, Fentanilo	9(25.7)
Propofol, Lidocaína, Fentanilo.	11(31.4)
Relajantes musculares IOT	n=35(%)
Cisatracurio	15(42.9)
Rocuronio	4(11.4)
Vecuronio	15(42.9)
Succinilcolina	1(2.9)
MAC concentración alveolar mínima; TIVA Anestesia total intravenosa; MNIO monitorización neurofisiológica intraoperatoria; IOT intubación orotraqueal.	

Modalidades de MNIO:

Las modalidades de MNIO empleadas durante las cirugías fueron, PESS 30(85.7%), Tc-PEMs 32(91.4%), EMG continúa 33(94.3%), EMG evocada 10(28.6%), EEG 9(25.7) y PEV 2 (5.7%). En cuanto a las extremidades monitorizadas con PESS la mayoría fueron 4 extremidades con 80% seguido de registro solo miembros inferiores con un 16.7 %. En cuanto extremidades monitorizadas en los Tc-PEMs la mayoría (56,2%) de los casos se registraron 4 extremidades, seguido de registro en solo miembros superiores con un 31.5%. Los músculos más frecuentes registrados en Tc-PEMs y EMG fueron los músculos de la mano que corresponden a 85.7% en 30/35 pacientes, seguidos de registro en músculos de la pierna en 19/35 (54.2%) y un tercer grupo de registro fueron los músculos inervados por pares craneales en 16/35 (45.8%) y finalmente los músculos de la cintura escapular 14/35 (40%) y los músculos del brazo se registraron 11/35 (31.4%). La **tabla 5** muestra el porcentaje de registro de cada modalidad empleada en MNIO y los grupos musculares registrados durante Tc-PEMs y EMG. La **tabla 6** resume los cambios neurofisiológicos intraoperatorios encontrados en las distintas modalidades de registro empleadas en los 35 pacientes pediátricos.

Tabla 5 Modalidades de MNIO, extremidades monitorizadas según la modalidad específica y los músculos registrados en Tc-PEMs y EMG, de los 35 pacientes pediátricos.

Modalidad n= 35(%)	PESS	Tc-PEMs	EMG continúa	EMG evocada	EEG	PEV
Si	30(85.7)	32(91.4)	33(94.3)	10(28.6)	9 (25.7)	2(5.7)
No	5 (14.3)	3(8.6)	2(5.7)	25(71.4)	26(74.3)	33(94.3)
Extremidades Monitorizadas						
Modalidad	Extremidad Superior n= 35(%)		Extremidad Inferior n= 35(%)		4 Extremidades n= 35(%)	
PESS	1(3.3)		5(16.7)		24(80)	
Tc-PEMs	12(37.5)		2(6.3)		18 (56.2)	
Músculos registrados en Tc-PEMs y EMG				Si n= 35(%)	No n= 35(%)	
Músculos inervados por pares craneales.				16(45.8)	19 (54.2)	
Masetero (V par craneal)						
Orbicularis oculi (VII par craneal rama zigomática)						
Orbicularis oris (VII par craneal, rama bucal)						
Mentalis (VII par craneal)						
Estilofaríngeo (IX par craneal)						
Geniogloso (XII par craneal)						
Músculos de abdomen y tronco				5 (14.3)	30(85.7)	
Intercostal T5						
Recto abdominal superior e inferior (T7-T11)						
Esfínter anal externo (S2, S3, S4)						
Músculos de cintura escapular				14 (40)	21(60)	
Trapezio (C3-C4)						
Dorsal ancho(C6-C7-C8)						
Músculos del brazo				11(31.4)	24(68.6)	
Deltoides (C5-C6)						
Bíceps braquial (C5-C6)						
Tríceps braquial (C6-C7-C8)						
Músculos de la mano				30 (85.7)	5 (14.3)	
Abductor pollicis brevis (C8-T1)						
Abductor digiti minimi (C8-T1)						
Oponente del pulgar (C8-T1)						
Músculos del muslo				8 (22.8)	27 (77.2)	
Vasto lateral (L2-L3-L4)						
Vasto medial (L2-L3-L4)						
Recto femoral (L2-L3-L4)						
Músculos de la pierna				19 (54.2)	16 (45.8)	
Tibial anterior (L4-L5)						
Gatrocnemio medial (S1-S2)						
Gatrocnemio lateral (S1-S2)						
Músculos del pie				6 (17.1)	29 (82.9)	
Abductor hallucis (S1-S2)						
Abductor del quinto dedo (S1-S2)						
Extensor digitorum brevis (L5-S1						
PESS potenciales evocados somatosensoriales; Tc-PEMs potenciales evocados motores por estimulación eléctrica transcraneal; EMG electromiografía continua y evocada; EEG electroencefalograma; PEV potencial evocado visual.						

Tabla 6 Resultados de los cambios neurofisiológicos intraoperatorios de las distintas modalidades empleadas.

PESS	n= 30 (%)
Basal	
Normal ^a	17(56.7)
Patológico ^b	13(43.3)
Cambios	
Sin cambios	26 (86.7)
Latencia prolongada (>10%)	0
Disminución amplitud (>50%)	1(3.3)
Perdida unilateral.	1(3.3)
Perdida bilateral.	2(6.7)
Tc-PEMs	n= 32 (%)
Basal	
Presente	19(59.4)
Ausente unilateral	1(3.1)
Ausente bilateral	6(18.8)
Disminuido unilateral	4(12.5)
Disminuido bilateral	2(6.3)
Cambios	
Sin cambios	25(78.1)
Perdida unilateral	0
Perdida bilateral	0
Disminución (50-80%) unilateral	0
Disminución (50-80%) bilateral	1(3.1)
Aparición del potencial que estaba ausente.	6(18.8)
EMG Continúa	n=33 (%)
Descargas neurotónicas	
Presente	12(36.4)
Ausente	21(63.6)
EMG Evocada	n=10(%)
Identifica nervio	9 (90)
No identifica nervio	1(10)
PEVs	n=2 (%)
Basal	
Normal ^c	
Patológico ^d	2(100)
Cambios	
Sin cambios	2(100)
Latencia prolongada (>10%)	
Disminución amplitud (>50%)	
PESS potenciales evocados somatosensoriales; Tc-PEMs potenciales evocados motores por estimulación eléctrica transcraneal; EMG electromiografía continua y evocada; PEV potencial evocado visual. ^a Normal: Latencias y amplitud de N20-P22 (nervio mediano) y P37-N-45 (nervio tibial posterior); ^b Patológico: Ausencia o prolongación de latencias >10% línea basal o reducción de amplitud >50% de línea basal. ^c Normal: P100 valorable; ^d Ausencia o prolongación de P100.	

Seguimiento a corto y largo plazo de los pacientes.

Se documentó déficit neurológico previo en 24/32 (75%), sin déficit 8/32 (25%). El déficit más frecuente fue motor y sensitivo con un 48.3%, seguido de un 16% que correspondió a síndrome cerebeloso.

El seguimiento de 1 a 3 meses fue posible en 22/35 (63%) pacientes, de los cuales se evaluó la fuerza encontrando, fuerza normal en un 64%, fuerza 4/5 en un 13.6%, 3/5 en un 9% y 0/5 en un 9%. De estos 22 pacientes el 72.7% no tenían déficit sensitivo y el 27.2% tenían déficit superficial y profundo. Los dos pacientes faltantes fallecieron durante el seguimiento.

El seguimiento de 3 a 6 meses fue posible obtener registro de los datos de 12 pacientes, en los que se encontró una fuerza normal en el 42%, 4/5 en un 25%, 3/5 en un 8.3%, 1/5 en un 8.3% y un 17% en 0/5. De estos 12 pacientes el 50% no tenían déficit sensitivo y otro 50% tenían déficit superficial y profundo. Los pacientes restantes no fueron registrados, no se tenía datos completos.

El seguimiento de 6 a 12 meses se logró en 5 pacientes de los cuales el 80% tenían fuerza y sensibilidad normal y un 20% tenía fuerza 3/5 y un déficit de sensibilidad superficial y profundo. Resto de pacientes no se logró seguimiento no tenían datos completos o no volvieron a seguimiento. La **tabla 7** resume el seguimiento a corto y largo plazo. La **tabla 8** muestra la Caracterización sociodemográfica y clínica de los pacientes pediátricos con seguimiento a corto y largo plazo

Tabla 7 Seguimiento a corto y largo plazo de los pacientes pediátricos sometidos a monitorización neurofisiológica intraoperatoria.

Déficit Neurológico previo						n=32(%)	
Motor y sensitivo						15(48.3)	
Cerebeloso						5(16)	
Sensitivo puro						2(6.3)	
Visual						2(6.3)	
Ninguno						8(25)	
Déficit postoperatorio neurológico 24 h.						n=24(%)	
Verdadero Negativo						19 (79.2)	
Verdadero Positivo						3 (12.5)	
Falso Negativo						2 (8.3)	
Falso Positivo						0	
Seguimiento a 1 a 3 Meses, déficit motor							
Fuerza	0/5	1/5	2/5	3/5	4/5	5/5	
n= 22 (%)	2(9.0)	0	1(4.5)	2 (9.0)	3(13.6)	14(64)	
Seguimiento 1 a 3 Meses déficit sensitivo					n= 22(%)		
Déficit superficial					0		
Déficit superficial y profundo					6 (27.2)		
Sin deficit sensitivo					16(72.7)		
Seguimiento 3 a 6 meses, déficit motor							
Fuerza	0/5	1/5	2/5	3/5	4/5	5/5	
n= 12 (%)	2 (17)	1(8.3)	0	1(8.3)	3(25)	5(42)	
Seguimiento 3 a 6 meses, déficit sensitivo					n= 12 (%)		
Déficit superficial					0		
Déficit superficial y profundo					6(50)		
Sin deficit sensitivo					6(50)		
Seguimiento 6 a 12 Meses, déficit motor							
Fuerza	0/5	1/5	2/5	3/5	4/5	5/5	
n= 5 (%)	0	0	0	1(20)	0	4(80)	
Seguimiento 6 a 12 meses, déficit sensitivo					n=5 (%)		
Déficit superficial					0		
Déficit superficial y profundo					1(20)		
Sin deficit sensitivo					4(80)		
Verdadero negativo: sin déficit neurológico posquirúrgico ni cambios en el MNIO							
Verdadero positivo: déficit neurológico posquirúrgico que se correlaciona con los cambios observados en la MNIO.							
Falso negativo: déficit neurológico posquirúrgico, sin observar cambios que indiquen déficit neurológico posquirúrgico en el MNIO.							
Falso positivo: No hay déficit posquirúrgico, pero durante la MNIO se observó la abolición de los signos que indicaban déficit.							
Caracterizacion del deficit neurolologico escala de fuerza (0) Parálisis completa, (1)Mínima contracción, (2)Ausencia de movimiento activo contra gravedad. (3)Contracción débil contra la gravedad. (4) Movimiento activo contra gravedad y resistencia (5) Fuerza normal.							

Tabla 8: Caracterización sociodemográfica y clínica de los pacientes pediátricos con seguimiento a corto y largo plazo

n=24	Edad Sexo	Diagnóstico	Procedimiento	Déficit neurológico previo	Modalidad de MNIO	Déficit neurológico 24 h	1 a 3 M déficit motor	1 a 3 M déficit sensitivo	3 a 6 M déficit motor	3 a 6 M, déficit Sensitivo	6 a 12 M, déficit motor	6 a 12 M, déficit sensitivo
1	8F	Arnold chiari, Siringomelia	Descompresión medular cervical.	Si	EEG, PESS ^{mt} , PEM, EMG ^c	VN	5	Sin déficit	/	/	/	/
2	4F	Fractura Cervical. C6-c7	Descompresión medular cervical.	Si	EEG, PESS ^{mt} , PEM, EMG ^c	VP	0 ^c	Déficit superficial y profunda.	/	/	/	/
3	4M	Hamartoma hipotalámico	Resección tumoral infratentorial.	No	EEG, PESS ^{mt} , PEM, EMG ^c	VN	5	Sin déficit	/	/	/	/
4	15M	Disrafismo espinal con seno dérmico y lipoma	Desanclaje medular espinal	No	EEG, PESS ⁱ , PEM, EMG ^{C-E}	VN	5	Sin déficit	/	/	/	/
5	3M	Meduloblastoma.	Resección tumoral Infratentorial.	No	PESS ^{mt} PEM, EMG ^c	VN	5	Sin déficit	5	Sin déficit	5	Sin déficit
6	2M	Absceso cerebral.	Drenaje de absceso cerebral	SI*	PEM, EMG ^C	VN	3D	Déficit superficial y profunda	3D	Déficit superficial y profunda	3D	Déficit superficial y profunda
7	3F	Fractura patológica Torácica T5	Descompresión medular torácica	SI	PEM, EMG ^C	VP	5	Sin déficit	/	/	/	/
8	15F	Astrocitoma fibrilar grado II	Resección tumoral Infratentorial.	SI	PESS ^{mt} PEM, EMG ^c	FN	1A	Déficit superficial y profunda	0A	Déficit superficial y profunda	/	/
9	17M	Osteoma cervical C2 intradural	Resección de tumor de columna y/o medula espinal.	No	PESS ^{mt} PEM, EMG ^c	VN	5	Sin déficit	/	/	/	/
10	15M	Lesión tumoral parietal	Biopsia cerebral supratentorial	Si	PESS ^{mt} PEM, EMG ^c	VN	4A	Déficit sensibilidad superficial	4A	Déficit sensibilidad superficial	/	/
11	15F	Lesión tumoral parietal	Biopsia cerebral supratentorial	No	PESS ^{mt} PEM, EMG ^c	VN	5	Sin déficit	5	Sin déficit	/	/
12	9M	Tumor germinal de la glándula pineal.	Resección tumoral supratentorial.	No	PESS ^{mt} PEM, EMG ^c	VN	† ^{ME}	† ^{ME}	/	/	/	/
13	11M	Mielomeningocele	Desanclaje medular espina	Si	PESS ⁱ PEM, EMG ^{C-E}	VN	5	Sin déficit	4G	Sin déficit	/	/
14	15F	Astrocitoma fibrilar grado II	Resección tumoral Infratentorial	SI	PESS ^{mt} PEM, EMG ^c	VN	5	Sin déficit	4A	Déficit sensibilidad superficial	† ^R	† ^R
15	14M	Discopatía lumbosacra L5-S1	Discectomía más hemilaminectomía	Si	EEG, PESS ^t , PEM, EMG ^{C-E}	VN	5	Sin déficit	5	Sin déficit	5	Sin déficit
16	10M	Astrocitoma.	Biopsia cerebral infratentorial.	Si	PESS ^{mt} PEM, EMG ^c	VN	5	Sin déficit	/	/	/	/
17	3M	Meduloblastoma anaplasico	Resección tumoral Infratentorial	Si	PESS ^{mt} PEM, EMG ^c	VP	†	†	/	/	/	/
18	5M	Meduloblastoma Grado IV	Resección tumoral Infratentorial	SI	PESS ^{mt} PEM, EMG ^c	VN	5	Sin déficit	5	Sin déficit	5	Sin déficit
19	4F	Astrocitoma pleocítico	Resección tumoral Infratentorial	Si	PESS ^{mt} PEM, EMG ^c	VN	4	Sin déficit	/	/	/	/
20	13M	Craneofaringioma	Resección tumoral Infratentorial	SI	PESS ^{mt} PEM, EMG ^{C-E}	VN	5	Sin déficit	/	/	/	/
21	3M	Astrocitoma fibrilar grado II	Biopsia cerebral infratentorial.	Si	EEG, PESS ^{mt} , PEM, EMG ^{C-E}	VN	4D	Sin déficit	/	/	/	/
22	14M	Quiste subaracnoideo de fosa posterior	Drenaje de quiste aracnoideo	Si	PESS ^{mt} PEM, EMG ^c	VN	5	Sin déficit	5	Sin déficit	5	Sin déficit
23	2M	Lesión tumoral compresiva Extramedular	Resección de tumor de columna y/o medula espinal	Si	PESS ^{mt} PEM, EMG ^C	VN	3D	Déficit superficial y profunda	0C	Déficit superficial y profunda	/	/
24	15M	Compresión unión craneocervical por deposito	Descompresión medular cervical.	Si	PESS ^{mt} PEM, EMG	FN	2D	Déficit superficial y profunda	1C	Déficit superficial y profunda	/	/

Femenino (F); Masculino (M); MNIO Monitorización neurofisiológica intraoperatoria, **PESS** potenciales evocados somatosensoriales mediano^m y tibial^t, **PEM** potenciales evocados motores; **EMG** electromiografía continua^c y evocada^e; **Muerte encefálica** (†^{ME}); **Muerte recidiva tumoral** (†^R); **Muerte** (†); Caracterización del déficit neurológico escala de fuerza **(0)** Parálisis completa, **(1)** Mínima contracción, **(2)** Ausencia de movimiento activo contra gravedad, **(3)** Contracción débil contra la gravedad, **(4)** Movimiento activo contra gravedad y resistencia, **(5)** Fuerza normal, Localización **(A)** Hemicuerpo Derecho, **(B)** Hemicuerpo Izquierdo, **(C)** Cuadruplejía, **(D)** Cuadriparesia, **(E)** Paraparesia, **(F)** Paraplejía **(G)** Monoparesia.

DISCUSIÓN

La monitorización neurofisiológica es de gran utilidad en procedimientos donde esta en riesgo alguna estructura neural, es vital disminuir y prevenir riesgos de secuelas neurológicas, y de cierta forma permite un procedimiento más seguro para el paciente y el medico, esto se ha documentado en diversos estudios que validan eficacia y utilidad del MNIO (Youssef and Downes 2009; M. R. Nuwer et al. 2012; Ringel and Sala 2015; Fulkerson et al. 2011; Nagarajan et al. 2019; Jea 2014).

En nuestro estudio se incluyeron y se analizaron 35 pacientes pediátricos sometidos a MNIO entre 2014-2020, el 43% (15/35) niñas y (20/35) 57% niños, los grupos de edades más frecuentes monitorizadas fueron los de >1 a <6 años (40%), seguido los de >12 a <18 años (34%), similar en grupos etarios reportado en el estudio Hospital Boston (n=311) con grupos de edades más frecuentes 11 a 15 años (n=179) y 16 a 20 años (n=55), y se reporto mayor frecuencia niñas n=210 (Helmerts and Hall 1994).

El uso de MNIO ha aumentado en las ultimas décadas con los avances en imágenes y en mejores técnicas de registro (Vadivelu et al. 2014), esto de cierta forma podría relacionarse con el incremento relativo de MNIO en las intervenciones quirurgicas de nuestro estudio, en la que se notó un aumento de hasta 5 veces del 2014 (5.7%) al 2020 (25.7%) , datos que deben igual tomarse con relativa reserva, dado nuestro tamaño de muestra, y la disponibilidad de empleo de estas modalidades de registro en nuestro medio poblacional. Sin embargo un aumento similar fue observado en el estudio Hospital de Texas, donde el uso de MNIO incremento de manera constante entre el 2008 a 2011, el cual fue atribuido a la seguridad del paciente, cirujano y el procedimiento. (Vadivelu et al. 2014).

Las indicaciones clínicas que requirieron MNIO en nuestra población, fueron las patologías craneal infratentorial (40%), seguido de patología de columna y médula espinal (37.1%) y craneal supratentorial (20%), observando en nuestro caso indicaciones y patología muy variada, pero con un mayor uso de MNIO en patología infratentorial y columna, hallazgos muy similares reportados en el estudio del Hospital de Texas (Vadivelu et al. 2014) donde el MNIO fue más frecuente en procedimientos de columna (70,3%) y cirugías de fosa posterior (37%) que en procedimientos craneales supratentoriales (2,3%), caso contrario reportado en el estudio en el Hospital de Boston (Helmerts and Hall 1994) donde solo el 5% de su muestra correspondía a patología neuroquirúrgica en la que se clasificó supra e infratentorial y el 95% era indicaciones quirúrgicas ortopédicas relacionadas con columna y médula espinal. Esto ha favorecido el uso de MNIO en pacientes pediátricos en el campo de cirugía craneal infratentorial, columna y médula espinal, lo cual ha crecido exponencialmente en los últimos años, con resultados que favorecen y confirman la necesidad de implementación de MNIO en población pediátrica (M. R. Nuwer et al. 1995; Frei et al. 2007; Fulkerson et al. 2011; Thirumala et al. 2014; Jea 2014; Tobert et al. 2017; Nagarajan et al. 2019; Sala, Coppola, and Tramontano 2015).

En cuanto a la técnica anestésica empleada durante el MNIO es importante debido a su relación con los hallazgos durante el monitoreo y la interpretación de mismo, nuestro estudio se reportó uso de TIVA (60%) seguido de anestesia general balanceada (40%), el anestésico general más empleado en nuestros pacientes fue el Sevoflurano, el sedante intravenoso más empleado fue el propofol, y la infusión de opioides fue el fentanilo, estos hallazgos son muy similares a los reportados en 35 centros de Norte América, donde aportaron 25 protocolos de

anestesia pediátrica, y la gran mayoría utilizan agentes inhalatorios a dosis restringida o TIVA pura para el mantenimiento de anestesia, muy similar a la población adulta (Sloan 2010).

Las modalidades empleadas para la MNIO han evolucionado en el tiempo, inicialmente solo se empleaba PESS (Nash et al. 1977; Larson and Sances 1966; Croft, Brodkey, and Nulsen 1972; McCallum and Bennett 1975) Sin embargo, con el tiempo sean implementado nuevas modalidades como Tc-PEMs y la EMG continúa y evocada (Busso and McAuliffe 2014). Estas modalidades de registro van a depender del tipo de cirugía y de las estructuras neurológicas en que estén en riesgo (Minahan 2002), nosotros encontramos que la mayoría de nuestra población pediátrica requirieron MNIO multimodal, encontrando el uso de PESS 30/35 (85.7%), Tc-PEMs 32/35 (91.4%), EMG continúa 33/35 (94.3%), EMG evocada 10/35 (28.6%), EEG 9/35(25.7) y PEV 2/35 (5.7%), esto esta en contraste con diversos estudios donde el uso MNIO multimodal en las distintas patologías neuroquirúrgicas (Sala, Coppola, and Tramontano 2015; Foster, Harishchandra, and Mallucci 2018), columna y medula espinal (Sutter et al. 2007; Thuet et al. 2010; Vitale et al. 2014; Pelosi et al. 2002; Tsirikos et al. 2020; Rijs et al. 2019) tienen mayor sensibilidad y especificidad para prevenir daño neurológico.

Se documento déficit neurológico previo en 24/32 (75%), sin déficit 8/32 (25%), el déficit más frecuente fue motor y sensitivo con un 48.3%, esto de cierta forma fue un contraste en el basal obtenido durante MNIO de las modalidades PESS con hallazgos normales 56.7%, patológicos 43.3% y Tc-PEM musculares estaban presentes 59.4% y el 40.6% era patológico, estos se mantuvieron sin cambios en los PESS 26 (86.7) y Tc-PEM 25 (78.1), obteniendo verdaderos negativos (VN) 19/24 (79.2%), verdaderos positivos (VP) 3/24 (12,5%) y falsos negativos (FN) 2/24 (8.3%), estos FN tenían déficit motor y sensitivo denso desde el inicio con basales patológicos PESS y TC-PEM con datos obtenidos durante el MNIO poco confiables por déficit

previo, dando como resultado falsos negativos, hallazgos observados en el estudio (Wilson- Holden et al. 1999) en donde obtuvieron datos poco confiables de MNIO en aquellos que clasificaron como grupo (B) examen neurológico levemente anormal y grupo (C) examen neurológico significativamente anormal. Así mismo en otro estudio de series de casos se documentó en dos casos FN en los PESS, los cuales documentan relación con déficit preoperatorio previo y los efectos puramente anestésicos. (Harper and Nelson 1992), así como en el estudio (Helmerts and Hall 1994) donde se documentó 3% FN. Estudios mas grandes MNIO documentaron valores predictivos negativos en PESS, con tasas de falsos negativos 0.063%(M. R. Nuwer et al. 1995), hallazgos muy diferentes documentados en el estudio de (Vadivelu et al. 2014) donde la mayor tasa de complicaciones fue con los casos que requirieron MNIO entre el 3,4% y el 11,3% (media del 6,4%), la cual relacionaron a la complejidad patológica y pronóstico de los casos que requirieron MNIO.

En cuanto al seguimiento de déficit neurológico en los tiempos establecidos de 1 a 3 meses fue posible en 22/35 (63%) de estos 14/22 (64%) tenían fuerza normal y sin déficit sensitivo 16/22 (72.7%) , 3 a 6 meses fue en 12/35 (34.2%) tenían fuerza normal 5/12 (42%), sin déficit sensitivo 6/12 (50%) y el seguimiento de 6 a 12 meses se logro en 5/35 (14.3%), de estos 4/5 (80% pacientes tenían fuerza y sensibilidad normal, todos estos casos fueron documentados inicialmente a las 24 horas de su intervención y MNIO como VN. Series de casos de MNIO en pacientes pediátricos pocos han documentado seguimiento (Helmerts and Hall 1994) describió seguimiento de un caso de un niño de 14 años con un FN en la MNIO con seguimiento a 9 meses en el cual déficit neurológico previo resolvió. En nuestro estudio no se observó mejoría durante el seguimiento de los dos casos FN, desde el inicio tenían déficit motor denso y sensitivo superficial y profundo el cual se mantuvo en seguimiento 1 a 3 meses y empeoro de 3 a 6

meses, tal vez relacionado con la patología y pronóstico de la enfermedad dado que un caso tenía astrocitoma fibrilar grado II y el otro caso tenía Compresión unión craneocervical por depósito mucopolisacaridosis y cuadriplejía previa a la descompresión.

Tenemos claro que una de nuestras limitaciones es que nuestros datos son solo de un solo centro médico, por lo que la información obtenida no se puede extrapolar, así mismo sabemos que es un estudio descriptivo de series de casos y que se requieren otro tipo de estudios descriptivos y analíticos.

Sin embargo nuestras fortalezas se basan en que es uno de los primeros estudios descriptivos en México de serie de casos, que aporta características sociodemográficas y clínicas con seguimiento a corto y largo plazo de pacientes pediátricos que requirieron MNIO, lo que nos ayuda a obtener una aproximación de datos descriptivos relevantes, que abren el abanico explorativo clínico sobre el beneficio del uso de estas modalidades intraoperatorias en población pediátrica, y en nuestro medio, lo cual permite abrir pautas para nuevos estudios.

CONCLUSIÓN

EL MNIO en población pediátrica debe ser una herramienta coadyuvante durante las intervenciones quirúrgicas donde hay riesgo de daño neural, con el fin de prevenir y evitar secuelas postquirúrgicas y dar mayor seguridad al paciente y el cirujano. La evaluación de una historia clínica completa, antecedentes patológicos y déficit neurológico previo a la intervención quirúrgica, son datos claves que aportan y ayudan al neurofisiólogo clínico en la interpretación de los hallazgos obtenidos en las distintas modalidades de monitoreo. Así mismo es claro que hay un mayor beneficio para el paciente cuando tiene MNIO multimodal.

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios por traerme hasta acá y hacer realidad mis sueños , a mi familia por el apoyo incondicional.

Al servicio de Neurofisiología clínica del Instituto neurología y Neurocirugía Manuel Velasco Suarez, a mis profesores infinitas gracias por sus enseñanzas, para mi desarrollo profesional, Dra. Vanessa Alatríste Booth; Dra. María del Carmen Fernández González; Dra. Lilia de La Maza; Dr. Jorge Burgos Centeno y Dr. Álvaro Moreno Avellan.

A mi tutor de tesis y profesor Dr. Daniel San Juan Orta, por acompañarme en este camino , guiarme y enseñarme el maravilloso mundo del MNIO.

A mis compañeros y amigos de residencia Dr. Gerardo Quiñones Pesqueira, Dr. Cesar David Cancino, amigos que se convirtieron en familia, me enseñaron que todo es más fácil cuando trabajas en equipo, llegas más lejos.

A mis compañeros neurofisiólogos clínicos Dra. Jessica Ventura y Dr. Erick Bautista

BIBLIOGRAFÍA

- Arnold, Paul M. 2014. "Use of intraoperative monitoring in children." *Journal of Neurosurgery: Pediatrics* 13, no. 6: 589-590. <https://doi.org/10.3171/2013.9.peds13439>.
- Aydinlar, E. I., P. Y. Dikmen, M. Kocak, N. Baykan, N. Seymen, and M. M. Ozek. 2019. "Intraoperative Neuromonitoring of Motor-Evoked Potentials in Infants Undergoing Surgery of the Spine and Spinal Cord." *J Clin Neurophysiol* 36 (1): 60-66. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000523>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30247385>.
- Busso, V. O., and J. J. McAuliffe. 2014. "Intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric neurosurgery." *Paediatr Anaesth* 24 (7): 690-7. <https://doi.org/10.1111/pan.12431>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24853253>.
- Croft, T. J., J. S. Brodkey, and F. E. Nulsen. 1972. "Reversible spinal cord trauma: a model for electrical monitoring of spinal cord function." *J Neurosurg* 36 (4): 402-6. <https://doi.org/10.3171/jns.1972.36.4.0402>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4335253>.
- Flanders, T. M., A. J. Franco, S. J. Hines, J. A. Taylor, and G. G. Heuer. 2020. "Neonatal intraoperative neuromonitoring in thoracic myelocystocele: a case report." *Childs Nerv Syst* 36 (2): 435-439. <https://doi.org/10.1007/s00381-019-04380-0>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31709490>.
- Foster, M. T., L. S. Harishchandra, and C. Mallucci. 2018. "Pediatric Central Nervous System Tumors: State-of-the-Art and Debated Aspects." *Front Pediatr* 6: 309. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00309>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30443540>.
- Francis, L., M. Mohamed, M. Patino, and J. McAuliffe. 2012. "Intraoperative neuromonitoring in pediatric surgery." *Int Anesthesiol Clin* 50 (4): 130-43. <https://doi.org/10.1097/AIA.0b013e31826f32ae>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23047452>.
- Frei, F. J., S. E. Ryhult, E. Duitmann, C. C. Hasler, J. Luetschg, and T. O. Erb. 2007. "Intraoperative monitoring of motor-evoked potentials in children undergoing spinal surgery." *Spine (Phila Pa 1976)* 32 (8): 911-7. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000259836.84151.75>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17426638>.
- Fulkerson, D. H., K. B. Satyan, L. M. Wilder, J. J. Riviello, S. A. Stayer, W. E. Whitehead, D. J. Curry, R. C. Dauser, T. G. Luerksen, and A. Jea. 2011. "Intraoperative monitoring of motor evoked potentials in very young children." *J Neurosurg Pediatr* 7 (4): 331-7. <https://doi.org/10.3171/2011.1.PEDS10255>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21456902>.
- Galloway, G. M., and K. Zamel. 2011. "Neurophysiologic intraoperative monitoring in pediatrics." *Pediatr Neurol* 44 (3): 161-70. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2010.11.008>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21310330>.
- Gutzwiller, E. M., I. Cabrilo, I. Radovanovic, K. Schaller, and C. Boëx. 2018. "Intraoperative monitoring with visual evoked potentials for brain surgeries." *J Neurosurg* 130 (2): 654-660. <https://doi.org/10.3171/2017.8.JNS171168>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29600911>.

- Harper, C. M., and K. R. Nelson. 1992. "Intraoperative electrophysiological monitoring in children." *J Clin Neurophysiol* 9 (3): 342-56. <https://doi.org/10.1097/00004691-199207010-00003>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1517403>.
- Harris, E. J., W. H. Brown, R. N. Pavy, W. W. Anderson, and D. W. Stone. 1967. "Continuous electroencephalographic monitoring during carotid artery endarterectomy." *Surgery* 62 (3): 441-7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6038182>.
- Helmers, S. L., and J. E. Hall. 1994. "Intraoperative somatosensory evoked potential monitoring in pediatrics." *J Pediatr Orthop* 14 (5): 592-8. <https://doi.org/10.1097/01241398-199409000-00007>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7962499>.
- Jea, A. 2014. "Editorial: Intraoperative neurophysiological monitoring and spinal deformity surgery." *J Neurosurg Pediatr* 13 (3): 245-6. <https://doi.org/10.3171/2013.8.PEDS13434>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24460050>.
- Kim, K., C. Cho, M. S. Bang, H. I. Shin, J. H. Phi, and S. K. Kim. 2018. "Intraoperative Neurophysiological Monitoring : A Review of Techniques Used for Brain Tumor Surgery in Children." *J Korean Neurosurg Soc* 61 (3): 363-375. <https://doi.org/10.3340/jkns.2018.0078>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29742889>.
- Kim, S. M., S. H. Kim, D. W. Seo, and K. W. Lee. 2013. "Intraoperative neurophysiologic monitoring: basic principles and recent update." *J Korean Med Sci* 28 (9): 1261-9. <https://doi.org/10.3346/jkms.2013.28.9.1261>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24015028>.
- Larson, S. J., and A. Sances. 1966. "Evoked potentials in man. Neurosurgical applications." *Am J Surg* 111 (6): 857-61. [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(66\)90189-9](https://doi.org/10.1016/0002-9610(66)90189-9). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5326593>.
- Levin, D. N., S. Strantzas, and B. E. Steinberg. 2019. "Intraoperative neuromonitoring in paediatric spinal surgery." *BJA Educ* 19 (5): 165-171. <https://doi.org/10.1016/j.bjae.2019.01.007>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33456886>.
- McCallum, J. E., and M. H. Bennett. 1975. "Electrophysiologic monitoring of spinal cord function during intraspinal surgery." *Surg Forum* 26: 469-71. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1216195>.
- Minahan, R. E. 2002. "Intraoperative neuromonitoring." *Neurologist* 8 (4): 209-26. <https://doi.org/10.1097/00127893-200207000-00001>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12803681>.
- Nagarajan, L., S. Ghosh, D. Dillon, L. Palumbo, P. Woodland, P. Thalayasingam, and M. Lethbridge. 2019. "Intraoperative neurophysiology monitoring in scoliosis surgery in children." *Clin Neurophysiol Pract* 4: 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2018.12.002>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30828671>.
- Nash, C. L., R. A. Lorig, L. A. Schatzinger, and R. H. Brown. 1977. "Spinal cord monitoring during operative treatment of the spine." *Clin Orthop Relat Res* (126): 100-5. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/598095>.
- Nuwer, M. R., E. G. Dawson, L. G. Carlson, L. E. Kanim, and J. E. Sherman. 1995. "Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: results of a large multicenter survey." *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 96 (1): 6-11. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(94\)00235-d](https://doi.org/10.1016/0013-4694(94)00235-d). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7530190>.

- Nuwer, M. R., R. G. Emerson, G. Galloway, A. D. Legatt, J. Lopez, R. Minahan, T. Yamada, D. S. Goodin, C. Armon, V. Chaudhry, G. S. Gronseth, C. L. Harden, Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology, and American Clinical Neurophysiology Society. 2012. "Evidence-based guideline update: intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology and the American Clinical Neurophysiology Society." *Neurology* 78 (8): 585-9. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e318247fa0e>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22351796>.
- Nuwer, Marc R. 2008. *Intraoperative monitoring of neural function. Handbook of clinical neurophysiology* v. 8. Saintt Louis, Netherlands: Elsevier.
- Pelosi, L., J. Lamb, M. Grevitt, S. M. Mehdian, J. K. Webb, and L. D. Blumhardt. 2002. "Combined monitoring of motor and somatosensory evoked potentials in orthopaedic spinal surgery." *Clin Neurophysiol* 113 (7): 1082-91. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(02\)00027-5](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00027-5). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12088704>.
- PENFIELD, W. 1954. "Temporal lobe epilepsy." *Br J Surg* 41 (168): 337-43. <https://doi.org/10.1002/bjs.18004116802>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13126468>.
- Rijs, K., M. Klimek, M. Scheltens-de Boer, K. Biesheuvel, and B. S. Harhangi. 2019. "Intraoperative Neuromonitoring in Patients with Intramedullary Spinal Cord Tumor: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Case Series." *World Neurosurg* 125: 498-510.e2. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.01.007>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30659972>.
- Ringel, F., and F. Sala. 2015. "Intraoperative mapping and monitoring in supratentorial tumor surgery." *J Neurosurg Sci* 59 (2): 129-39. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25690027>.
- Robert, E. G., L. T. Happel, and D. G. Kline. 2009. "Intraoperative nerve action potential recordings: technical considerations, problems, and pitfalls." *Neurosurgery* 65 (4 Suppl): A97-104. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000347473.67188.75>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19927087>.
- Sala, F., A. Coppola, and V. Tramontano. 2015. "Intraoperative neurophysiology in posterior fossa tumor surgery in children." *Childs Nerv Syst* 31 (10): 1791-806. <https://doi.org/10.1007/s00381-015-2893-1>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26351231>.
- Sala, F., M. J. Krzan, and V. Deletis. 2002. "Intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric neurosurgery: why, when, how?" *Childs Nerv Syst* 18 (6-7): 264-87. <https://doi.org/10.1007/s00381-002-0582-3>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12172930>.
- Sasaki, T., T. Itakura, K. Suzuki, H. Kasuya, R. Munakata, H. Muramatsu, T. Ichikawa, T. Sato, Y. Endo, J. Sakuma, and M. Matsumoto. 2010. "Intraoperative monitoring of visual evoked potential: introduction of a clinically useful method." *J Neurosurg* 112 (2): 273-84. <https://doi.org/10.3171/2008.9.JNS08451>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19199497>.
- Sloan, T. 2010. "Anesthesia and intraoperative neurophysiological monitoring in children." *Childs Nerv Syst* 26 (2): 227-35. <https://doi.org/10.1007/s00381-009-1023-3>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19888583>.

- Sutter, M., A. Eggspuehler, D. Grob, D. Jeszenszky, A. Benini, F. Porchet, A. Mueller, and J. Dvorak. 2007. "The diagnostic value of multimodal intraoperative monitoring (MIOM) during spine surgery: a prospective study of 1,017 patients." *Eur Spine J* 16 Suppl 2: S162-70. <https://doi.org/10.1007/s00586-007-0418-7>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17665225>.
- Thirumala, P. D., L. Bodily, D. Tint, W. T. Ward, V. F. Deeney, D. J. Crammond, M. E. Habeych, and J. R. Balzer. 2014. "Somatosensory-evoked potential monitoring during instrumented scoliosis corrective procedures: validity revisited." *Spine J* 14 (8): 1572-80. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.09.035>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24361128>.
- Thuet, E. D., J. C. Winscher, A. M. Padberg, K. H. Bridwell, L. G. Lenke, M. B. Dobbs, M. Schootman, and S. J. Luhmann. 2010. "Validity and reliability of intraoperative monitoring in pediatric spinal deformity surgery: a 23-year experience of 3436 surgical cases." *Spine (Phila Pa 1976)* 35 (20): 1880-6. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181e53434>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20802388>.
- Tobert, D. G., M. P. Glotzbecker, M. T. Hresko, L. I. Karlin, M. R. Proctor, J. B. Emans, P. E. Miller, and D. J. Hedequist. 2017. "Efficacy of Intraoperative Neurophysiologic Monitoring for Pediatric Cervical Spine Surgery." *Spine (Phila Pa 1976)* 42 (13): 974-978. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001952>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27792108>.
- Tsirikos, A. I., A. D. Duckworth, L. E. Henderson, and C. Michaelson. 2020. "Multimodal Intraoperative Spinal Cord Monitoring during Spinal Deformity Surgery: Efficacy, Diagnostic Characteristics, and Algorithm Development." *Med Princ Pract* 29 (1): 6-17. <https://doi.org/10.1159/000501256>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31158841>.
- Vadivelu, S., A. Sivaganesan, A. J. Patel, S. Agadi, R. J. Schmidt, P. Mani, and A. Jea. 2014. "Practice trends in the utilization of intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric neurosurgery as a function of complication rate, and patient-, surgeon-, and procedure-related factors." *World Neurosurg* 81 (3-4): 617-23. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2013.11.010>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24239735>.
- Vaughan K.A., Franco A.J., Heuer G.G. 2017. "Pediatric Intraoperative Neuromonitoring." In *Pediatric Electromyography*. Springer, Cham., edited by Kang P. (eds) In: McMillan H., 95-111.
- Vitale, M. G., D. L. Skaggs, G. I. Pace, M. L. Wright, H. Matsumoto, R. C. Anderson, D. L. Brockmeyer, J. P. Dormans, J. B. Emans, M. A. Erickson, J. M. Flynn, M. P. Glotzbecker, K. N. Ibrahim, S. J. Lewis, S. J. Luhmann, A. Mendiratta, B. S. Richards, J. O. Sanders, S. A. Shah, J. T. Smith, K. M. Song, P. D. Sponseller, D. J. Sucato, D. P. Roye, and L. G. Lenke. 2014. "Best Practices in Intraoperative Neuromonitoring in Spine Deformity Surgery: Development of an Intraoperative Checklist to Optimize Response." *Spine Deform* 2 (5): 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2014.05.003>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27927330>.
- Wilson-Holden, T. J., A. M. Padberg, L. G. Lenke, B. J. Larson, K. H. Bridwell, and G. S. Bassett. 1999. "Efficacy of intraoperative monitoring for pediatric patients with spinal cord pathology undergoing spinal deformity surgery." *Spine (Phila Pa 1976)* 24 (16): 1685-92. <https://doi.org/10.1097/00007632-199908150-00010>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10472103>.

- Yi, Y. G., K. Kim, H. I. Shin, M. S. Bang, H. S. Kim, J. Choi, K. C. Wang, S. K. Kim, J. Y. Lee, J. H. Phi, and H. G. Seo. 2019. "Feasibility of intraoperative monitoring of motor evoked potentials obtained through transcranial electrical stimulation in infants younger than 3 months." *J Neurosurg Pediatr*: 1-9. <https://doi.org/10.3171/2019.1.PEDS18674>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30875681>.
- Youssef, A. S., and A. E. Downes. 2009. "Intraoperative neurophysiological monitoring in vestibular schwannoma surgery: advances and clinical implications." *Neurosurg Focus* 27 (4): E9. <https://doi.org/10.3171/2009.8.FOCUS09144>.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19795957>.