



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Variabilidad de los potenciales evocados
somatosensoriales durante el monitoreo intraoperatorio
de cirugías de corrección escoliótica**

Carlos Andrés Orjuela Rolón

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina (Departamento de Medicina Física y Rehabilitación)

Bogotá DC, Colombia

2018

Variabilidad de los potenciales evocados somatosensoriales durante el monitoreo intraoperatorio de cirugías de corrección escoliótica

Carlos Andrés Orjuela Rolón

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Medicina Física y Rehabilitación

Director:

Fernando Ortiz Corredor. MD

Director del Departamento de Medicina Física y Rehabilitación UNAL

Codirector:

Juan Camilo Mendoza Pulido. MD

Especialista en Medicina Física y Rehabilitación IR

Línea de Investigación:

Electrodiagnóstico

Grupo de Investigación:

CIFEL Centro de Investigación en Fisiatría y Electrodiagnóstico

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina (Departamento de Medicina Física y Rehabilitación)

Bogotá DC, Colombia

2018

Resumen

Objetivo: Determinar la variabilidad de los potenciales evocados somatosensoriales durante el monitoreo intraoperatorio en cirugías de escoliosis idiopática en pacientes pertenecientes a la población atendida en el Instituto Roosevelt en la ciudad de Bogotá.

Metodología: es un estudio retrospectivo y prospectivo donde se incluyeron 41 pacientes menores de 21 años sometidos a cirugía por una escoliosis idiopática entre el año 2013 y 2017. Se aplicaron análisis de correlaciones para las latencias y las amplitudes de los PESS en 3 momentos de la cirugía.

Resultados: Se encontraron variaciones significativamente estadísticas entre todas las latencias y amplitudes en los 3 momentos evaluados. De estas variaciones, se encontró en el 34.1% (n=14) de los casos disminuciones transitorias en las amplitudes de los PESS evidenciadas en al menos una derivación, las cuales superaron los criterios de alarma (caídas mayores al 50%). Estas fueron rápidamente recuperadas y en ningún caso hubo alteraciones de otras variables electrofisiológicas ni déficits neurológicos transitorios o permanentes.

Conclusiones: Este estudio muestra la variabilidad en las amplitudes de los PESS durante el monitoreo intraoperatorio de pacientes sometidos a cirugía correctiva de escoliosis de origen idiopático. Estos cambios pueden ser explicados por factores transitorios como estados de volemia, temperatura y la manipulación periespinal. Este estudio es una primera aproximación a las características electrofisiológicas presentadas en pacientes con escoliosis idiopática llevados a cirugía en nuestro país y sirve de base para nuevas investigaciones y propuestas de revisión de los tradicionales criterios de alarma intraoperatorios.

Palabras claves: monitoreo intraoperatorio, escoliosis, potenciales evocados somatosensoriales, variabilidad

Abstract

Objective: To determine the variability of the somatosensory evoked potentials during the intraoperative monitoring in idiopathic scoliosis surgery in patients belonging to the population attended at the Instituto Roosevelt in the city of Bogotá.

Methods: This is a retrospective and prospective study in which 41 patients under 21 years of age were included, who underwent surgery due to idiopathic scoliosis between 2013 and 2017. Correlation analyzes were applied for the latencies and amplitudes of the SSEP at 3 moments of the surgery.

Results: Statistically significant variations were found between all the latencies and amplitudes in the 3 moments evaluated. Of these variations, we found in 34.1% (n = 14) of the cases, transient decreases in the SSEP amplitudes evidenced in at least one derivation, which exceeded the alarm criteria (falls greater than 50%). These were quickly recovered, none of the other electrophysiological variables present significant variations and there were no cases with transient or permanent neurological deficits.

Conclusion: This study shows the variability in the amplitudes of the SSEP during intraoperative monitoring of patients undergoing corrective surgery for idiopathic scoliosis. These changes can be explained by transitory factors such as low blood volume, temperature and perispinal manipulation. This study is a first approach to the electrophysiological characteristics presented in patients with idiopathic scoliosis taken to surgery in our country and serves as the basis for new investigations and proposals for review of the traditional intraoperative alarm criteria.

Key Words: intraoperative monitoring, scoliosis, somatosensory evoked potential, variability.

Contenido

Resumen.....	III
Lista de figuras	VI
Lista de tablas	VII
Lista de Símbolos y abreviaturas	IX
Introducción	1
1. Planteamiento del problema	3
2. Justificación de la investigación	5
3. Objetivo del estudio	7
3.1 Objetivo general	7
3.2 Objetivos específicos.....	7
4. Marco teórico	9
4.1 Bases anatómicas	9
4.2 Confiabilidad	12
5. Metodología	15
5.1 Tipo de estudio	15
5.2 Análisis estadístico	15
5.3 Criterios de inclusión.....	16
5.4 Criterios de exclusión	16
5.5 Cálculo de la muestra	17
5.6 Procedimiento de recolección de datos	17
5.7 Variables a evaluar	19
6. Resultados	21
7. Discusión	25
8. Conclusiones.....	29
9. Consideraciones éticas	31
Bibliografía	33

Lista de figuras

Pág.

Figura 1: Potenciales evocados somatosensoriales de nervio mediano. 10

Figura 2: Potenciales evocados somatosensoriales de nervio tibial. 10

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Montaje cortical.....	17
Tabla 2. Registros corticales.....	18
Tabla 3. Variables a evaluar.....	19
Tabla 4. Características de los pacientes.....	21
Tabla 5. Comparaciones electrofisiológicas seriadas.....	22
Tabla 6. Porcentaje de cambios en las latencias.....	23
Tabla 7. Porcentaje de cambios en las amplitudes.....	23

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviatura	Término
%	Porcentaje
<i>Cc</i>	Corteza contralateral
<i>Ci</i>	Corteza ipsilateral
<i>CIFEL</i>	Centro de Investigación en Fisiatría y Electrodiagnóstico
<i>DE</i>	Desviación Estándar
<i>FP</i>	Fosa poplítea
<i>I.L</i>	Índice de latencias
<i>IR</i>	Instituto Roosevelt
<i>m</i>	Metros
μV	Microvoltios
<i>mA</i>	Miliamperios
<i>ms</i>	Milisegundos
<i>PESS</i>	Potenciales evocados somatosensoriales
<i>PEM</i>	Potenciales evocados motores
<i>RIQ</i>	Rango Intercuartil
<i>s</i>	Segundos
<i>UNAL</i>	Universidad Nacional de Colombia

Introducción

La lesión de la médula espinal durante la cirugía correctiva de escoliosis es una de las principales preocupaciones de los cirujanos de columna. Esta complicación se presenta entre el 0.5 y 3.2% de las intervenciones quirúrgicas casos (Bridwell, Lenke, Baldus, & Blanke, 1998). Para detectar oportunamente este tipo de lesiones y minimizar los daños neurológicos se registran señales electrofisiológicas que permiten monitorizar la integridad del sistema nervioso durante la cirugía (Deletis & Sala, 2008).

Uno de los estudios más utilizados en el monitoreo intraoperatorio es el registro de los potenciales evocados somatosensoriales (PESS), los cuales se han venido empleando desde los años 80, como un método alternativo al tradicional test del despertar. El test del despertar incrementa de forma considerable el tiempo de la cirugía.

Los PESS son respuestas eléctricas generadas por la aplicación de estímulos eléctricos en el nervio periférico. Los PESS reflejan la integridad de los cordones posteriores y de los tractos espinotalámicos. Las diferentes respuestas (ondas) se producen a lo largo de ciertos puntos específicos de esta vía ascendente y en la corteza cerebral y pueden observarse y medirse en un monitor (Deletis, 1993).

Estudios experimentales han demostrado que un da1o neurol6gico disminuye la respuesta de los PESS. Este da1o se refleja en la disminuci6n de la amplitud y en la prolongaci6n de la latencia de las diferentes ondas (Nash, Lorig, Schatzinger, & Brown, 1977). Se han establecido alertas intraoperatorias, basadas en la reducci6n del 50% en la amplitud y/o una prolongaci6n del 10% en la latencia de los potenciales corticales (York, Chabot, & Gaines, 1987).

Previamente, se han realizado estudios que muestran el comportamiento de estas variables electrofisiol6gicas a lo largo del procedimiento quir6rgico, revelando en tiempo real, la condici6n funcional la m6dula espinal. Por ejemplo, en un estudio con 81 pacientes, fueron medidas las amplitudes y latencias de los PESS en 6 momentos claves de la cirugía (York et al., 1987), revelando variaciones significativas durante el procedimiento.

En nuestro país se desconoce el comportamiento específcico de estas variables electrofisiol6gicas. La finalidad de este trabajo es determinar la variabilidad de los PESS durante el monitoreo intraoperatorio de las cirugías de correcci6n escoli6tica en una poblaci6n de pacientes con escoliosis idiopática atendida en un hospital de tercer nivel en la ciudad de Bogotá, centro de referencia a nivel nacional para este tipo de casos.

1. Planteamiento del problema

En la actualidad se recomienda el monitoreo intraoperatorio multimodal mediante el registro de PESS y potenciales evocados motores(PEM) (Deletis & Sala, 2008). Estos últimos se realizan mediante un estímulo eléctrico a nivel transcraneano y cuentan con criterios claramente definidos, por lo cual su rendimiento diagnóstico es excelente, alcanzando una sensibilidad y especificidad del 100% (Hilibrand, Schwartz, Sethuraman, Vaccaro, & Albert, 2004).

Las señales de alarma de los PESS durante el monitoreo de cirugías de columna se basan en los criterios aprobados en el consenso de 1991 por el Scoliosis Research Society and the European Spinal Deformity Society Survey (Dawson, Sherman, Kanim, & Nuwer, 1991). Con estos criterios se han reportado prevalencias del 0.31% para déficits definitivos y 0.24% para transitorios, alcanzando en los diferentes estudios valores de sensibilidad entre el 42% y el 56.5%(Nuwer, Dawson, Carlson, Kanim, & Sherman, 1995) (Bhagat et al., 2015).

Existe así una tendencia a la generación de “falsas alarmas intraoperatorias”, las cuales se traducen en un aumento del uso de recursos para resolver dichas alarmas, así como la prolongación del tiempo quirúrgico total con todas las consecuencias inherentes a esta (Sala, Dvorak, & Faccioli, 2007).

Debido a esto surgen dudas acerca del comportamiento electrofisiológico de las variables evaluadas mediante los PESS en nuestra población de pacientes, evaluados en un centro de referencia a nivel nacional en enfermedades musculoesqueléticas y neuromusculares, que cursen con escoliosis idiopática y sean candidatos a corrección quirúrgica.

2. Justificación de la investigación

A la fecha se han realizado estudios de clase III (estudios clínicos prospectivos y retrospectivos con datos confiables) y de clase IV dirigidos a evaluar la utilidad de los PESS durante el monitoreo intraoperatorio de cirugías de escoliosis idiopática. Solo un estudio de intervención vs no intervención, mostró unas prevalencias de lesiones neurológicas del 4.7% (con monitoreo) vs 15.1% (sin monitoreo) (Wiedemayer, Fauser, Sandalcioglu, Schäfer, & Stolke, 2002). Otro estudio mostró prevalencias de lesiones neurológicas del 1.2% (0.1% lesión completa, 0.4% incompleta, 0.7% raíz) (Coe et al., 2006).

Los costos anuales reportados para una persona joven con discapacidad secundaria a lesiones medulares en el acto quirúrgico oscilan entre 1.653.607 y 2.924.513 USD, de acuerdo al nivel de compromiso (Sala et al., 2007).

Así, el monitoreo intraoperatorio es un procedimiento necesario y costo efectivo. Una sesión de monitoreo tiene un costo aproximado de 600 USD (Nuwer et al., 1995), comparado con los costos de una atención médica integral por una paraplejía, cercanos a los 1000 USD (Sala et al., 2007).

No existe un estudio que muestre de manera precisa el comportamiento de los PESS durante el monitoreo intraoperatorio de cirugías de escoliosis idiopática en nuestra población. Sin esta información no es posible conocer el impacto real de este tipo de intervenciones.

Con este trabajo se pretende responder la pregunta de investigaci6n: 6Cu6l es el comportamiento de las amplitudes y las latencias de los potenciales evocados somatosensoriales durante el monitoreo intraoperatorio de las cirugías correctivas de escoliosis idiop6tica?

3. Objetivo del estudio

3.1 Objetivo general

Determinar la variabilidad de los potenciales evocados somatosensoriales durante el monitoreo intraoperatorio en cirugías de escoliosis idiopática en pacientes atendidos en el Instituto Roosevelt en la ciudad de Bogotá.

3.2 Objetivos específicos

1. Realizar la descripción de la población de estudio.
2. Analizar el comportamiento de las latencias y las amplitudes de los PESS durante el procedimiento quirúrgico.
3. Determinar los valores de referencia de las amplitudes y latencias de los PESS del grupo de pacientes en cuestión.
4. Determinar las correlaciones entre las diferentes variables electrofisiológicas.
5. Determinar las correlaciones entre las diferentes variables electrofisiológicas y su comportamiento frente a las alertas intraoperatorias establecidas.

4. Marco teórico

Los potenciales evocados somatosensoriales son las respuestas eléctricas del sistema nervioso central a un estímulo somatosensorial, aplicado en un nervio periférico. Estos reflejan la integridad de los cordones posteriores y de los tractos espinotalámicos, mediante el registro de las ondas producidas en el sistema nervioso: raíces dorsales, cordones posteriores, núcleos gracilis y cuneatus, tálamo y corteza somatosensorial.

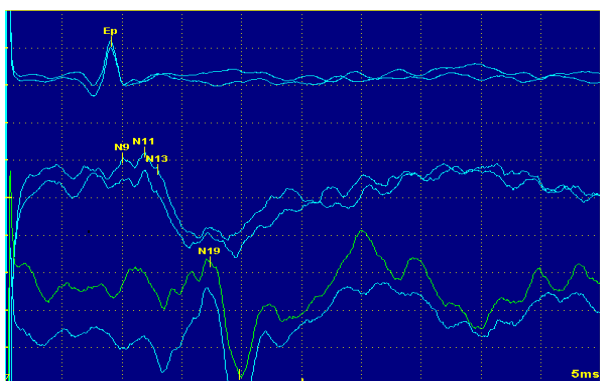
Los PESS se han empleado desde la década de los 80, donde se estableció su aplicación clínica (Brown, Kirk, & Martin, 1973). Se sabe que las respuestas generadas tienen una alta reproducibilidad tanto en niños como en adultos, y son una herramienta de utilidad diagnóstica.

Además de contribuir en el diagnóstico etiológico y topográfico de diferentes enfermedades, los PESS poseen la capacidad de brindar información acerca de los desenlaces clínicos como en recuperación en pacientes en coma, estado vegetativo persistente, esclerosis múltiple, mielopatía cervical y trauma raquimedular. Si bien, en otros países es un estudio ampliamente difundido, en nuestro medio desconocemos su real aplicabilidad en el área clínica, siendo tal vez el monitoreo intraoperatorio una de sus principales fuentes de uso.

4.1 Bases anatómicas

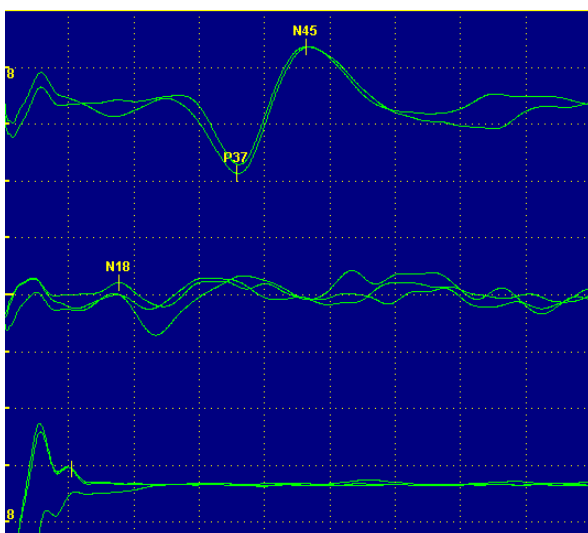
El sistema somatosensorial se divide en sistema lemniscal y sistema espinotalámico. El sistema lemniscal de la columna dorsal conduce impulsos sensitivos del tacto superficial, vibración, propiocepción a través de las fibras mielinizadas tipo I y II (aférentes musculares) y de las fibras A beta. Estas fibras transmiten los impulsos a una velocidad de 30-80 m/s. Por su parte, el sistema espinotalámico transmite impulsos sensitivos de la termorecepción, nocicepción y vibropercepción. Los PESS evalúan el sistema lemniscal.

Figura 1. Potenciales evocados somatosensoriales de nervio mediano. N9=punto de Erb; N11 – N13=cervical; y N19= cortical



Nombre de la fuente: Tomada de texto original de Fernando Ortiz Corredor

Figura 2. Potenciales evocados somatosensoriales de nervio tibial. En C1 respuesta cortical Cz'-FpZ. En C2, respuesta lumbar. En C3, respuesta en región poplítea.



Nombre de la fuente: Tomada de texto original de Fernando Ortiz Corredor

Para la estimulación de los nervios periféricos se utilizan pulsos eléctricos con ondas cuadradas de corriente constante de 0,1 o 0,2 ms de duración a una intensidad de 2 a 3 veces el umbral sensitivo y a una rata de 3 a 5 Hz. El cátodo está orientado en el sentido proximal. La impedancia debe ser menor a 5000 Ohms y los filtros se dejan entre 30 y 3000Hz.

Existen diversos generadores de respuestas a lo largo de la vía. En el punto de Erb, ubicado en la fosa supraclavicular, el generador neural es el plexo braquial. El registro en este punto permite evaluar la intensidad del estímulo y la integridad del nervio periférico. La onda en el punto de Erb es trifásica con un pico negativo a los 10 ms. El potencial es reproducible y fácil de obtener. Si no se encuentra una respuesta en el punto de Erb, la intensidad del estímulo es insuficiente o existe una enfermedad del nervio periférico.

En la columna cervical se obtiene una respuesta con registro cervical E1 en C7 y referencia E2 en Fz, dando lugar a unos potenciales negativos N11- N13 de campo cercano precedidos de varios picos pequeños negativos que se registran mejor como potenciales de campo distante colocando el electrodo activo E1 en cuero cabelludo y el electrodo de referencia E2 en el hombro contralateral al estímulo. Estas ondas denominadas complejo P13-P14 en el registro de campo lejano son potenciales con un período refractario elevado. Esto indica que son potenciales estacionarios de origen postsináptico (generado por la segunda neurona posiblemente interneuronas de la sustancia gris del asta posterior de la médula cervical y del núcleo cuneatus) (Cruccu et al., 2008).

En la corteza cerebral somatosensorial contralateral se registra un potencial negativo N19 seguido por un potencial positivo P21. Estas ondas representan la actividad cerebral de la llegada de impulsos generados periféricamente.

4.2 Confiabilidad

Los estudios de confiabilidad de los PESS en individuos sanos y en pacientes con diferentes patologías neurológicas son escasos.

La evaluación del nervio mediano con registro en el punto de Erb, en columna cervical y en corteza cerebral, produce respuestas reproducibles. En toda persona sana, sin importar la edad es posible obtener los tres registros N9, N11-N13, N19-P21 y se pueden medir sus latencias absolutas y las interlatencias con un alto grado de confiabilidad. El pico negativo N11 se genera en cordones posteriores y el pico N13 en astas posteriores de la médula espinal cervical (Urasaki et al., 1990). Las ondas N19-P21 son generadas en estructuras corticales y subcorticales.

La respuesta cortical del nervio tibial también es consistente, siempre aparece en individuos sanos, pero los registros en columna lumbar son variables y en algunos casos es imposible de obtener. El potencial lumbar probablemente es generado por la activación postsináptica de las ramificaciones de las vías somatosensoriales ascendentes en el asta posterior.

La confiabilidad disminuye cuando el ruido es superior a 0,25 microV (Zandbergen et al, 2006). En general los componentes N9, N11, N13, el complejo P13/14 y el N19 se identifican bien en todos los individuos sanos. Los registros más estables en su orden son N9 (inicio), N20 (inicio) y N13 (con referencia cefálica). Las interlatencias más estables son N9inicio-N13inicio, N9inicio-P13/14inicio, N13inicio-N20inicio, P13/14inicio-N20inicio y N9inicio-N20inicio) (Sonoo, Kobayashi, Genba-Shimizu, Mannen, & Shimizu, 1996). Al repetir el estudio en el mismo individuo, la variabilidad es muy baja. 0.07-0.18 ms para latencias absolutas y 0.05-0.17 ms para interlatencias (Sonoo et al., 1996).

Los valores de referencia de este tipo de variables se ven alterados por factores como la edad, la talla y la integridad del nervio periférico (MacDonald, Al Zayed, & Stigsby, 2005) y por supuesto en el contexto de una noxa en la médula espinal, de origen isquémico, autoinmune, traumático o iatrogénico.

Las lesiones de las fibras largas mielinizadas en los cordones posteriores, se pueden registrar mediante los PESS. Estas se presentan como disminuciones de la amplitud >50% y/o prolongación de la latencia > 10%. Dichos parámetros fueron observados inicialmente en estudios en animales y posteriormente reproducidos en humanos mediante diversos estudios observacionales, los cuales dieron paso a las tradicionales alertas intraoperatorias, establecidas desde el año 1991 por el Scoliosis Research Society and the European Spinal Deformity Society Survey y aceptadas de manera casi universal por los electrofisiólogos (Dawson et al., 1991).

Pese a esta amplia aceptación, la interpretación de los cambios electrofisiológicos ocurridos durante el acto quirúrgico posee una gran variabilidad inter e intraobservador y entre diferentes tipos de procedimiento (Stecker & Robertshaw, 2006).

Es así como en diversos registros en la literatura científica se aprecia que las latencias consideradas como anormales cambiaron entre diferentes laboratorios (1-25%), así como el punto de corte de cambio significativo (10-70%) (Dawson et al., 1991). Este tipo de variaciones, especialmente en la latencia puede ocurrir según el tipo de anestesia aplicada, la temperatura corporal y de los músculos paraespinales y en estados clínicos específicos como sucede en la hipocapnia (Luk, Hu, Wong, & Leong, 1999) (Seyal & Mull, 2002).

También se han identificado diversas comorbilidades como las cardiopulmonares como factores de riesgo independientes para presentar cambios significativos en los PESS (Vitale et al., 2010), atribuibles en su mayoría a hipotensión transitoria. En otros estudios se han relacionado cambios en los PESS con la instrumentación quirúrgica (Samdani et al., 2016), y con el hecho de tener un mayor IMC, un mayor tiempo operatorio, mayores volúmenes en transfusiones sanguíneas (Kamerlink et al., 2010), procedimientos tipo osteotomías, corrección de cifosis y un ángulo de Cobb preoperatorio mayor a 90°(Feng et al., 2012).

Si durante la cirugía se presentan cambios considerados patológicos en los PESS, se verifican los aspectos técnicos como la correcta conectividad de los electrodos y el funcionamiento del amplificador. Se evalúan si los cambios se dan en otras derivaciones según el modelo multimodal (MacDonald et al., 2005) y se verifica la integridad de los PEM en términos de su latencia, amplitud, morfología de los potenciales y reproducibilidad. Entre tanto, se controlan y verifican factores como la presión arterial media, volemia, sangrado intraoperatorio, temperatura intracorporal, estado ácido-base e hidratación, antes de determinar un test de despertar y comprobar un déficit neurológico sensitivo y/o motor transitorio o definitivo.

5. Metodología

5.1 Tipo de estudio

Estudio analítico, transversal con recolección retrospectiva y prospectiva de los datos.

Se tomó una muestra consecutiva de individuos menores de 21 años con diagnóstico de escoliosis idiopática, intervenidos quirúrgicamente en el Instituto Roosevelt a partir del 1 de Junio de 2013 hasta el 1 de Junio de 2017 en la ciudad de Bogotá DC.

A todos los individuos del estudio se les realizó un registro intraoperatorio completo mediante potenciales evocados somatosensoriales.

5.2 Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó el software SPSS versión 23.0 para Windows. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar si las variables cumplen una distribución normal. Las variables se expresaron en media y desviaciones estándar (DE) si cumplían una distribución normal y en mediana y rangos intercuartiles (RIQ) si no cumplían una distribución normal. Las variables categóricas se expresaron en frecuencias y porcentajes.

Para la comparaci6n de los datos entre los 6ndices electrofisiol6gicos de latencias (I.L) y las amplitudes absolutas para cada nervio evaluado en los diferentes tiempos quir6rgicos, se aplic6 la prueba no param6trica de Friedman para muestras relacionadas. A las variables electrofisiol6gicas que mostraron diferencias significativas se les realiz6 una correcci6n de Bonferroni con su respectivo an6lisis post-hoc mediante la prueba de rangos de Wilcoxon.

5.3 Criterios de inclusi6n

1. Pacientes menores de 21 a6os con diagn6stico de escoliosis de car6cter idiop6tico.
2. Ausencia de d6ficit neurol6gico previo a la cirug6a.
3. Tener un registro completo del monitoreo durante la cirug6a correctiva de las amplitudes y las latencias de los PESS.
4. Tiempo de cirug6a m6nimo de 2.5 horas.
5. Poseer un registro de evaluaci6n neurol6gica postoperatorio.
6. Aplicaci6n del protocolo anest6sico TIVA a todos los pacientes, mediante el uso de propofol y remifentanil.

5.4 Criterios de exclusi6n

1. Pacientes con alg6n d6ficit neurol6gico evidente previo.
2. Pacientes con otros tipos de escoliosis (de origen neuromuscular o cong6nito).
3. Cirug6as menores de 2.5 horas.

5.5 Cálculo de la muestra

1. Por conveniencia de los pacientes incluidos.

5.6 Procedimiento de recolección de datos

Los datos intraoperatorios fueron tomados por un médico especialista en Medicina Física y Rehabilitación del Instituto Roosevelt (JCM) con experiencia en monitoreo intraoperatorio, a partir de cirugías realizadas desde el 1 de Junio de 2013 hasta el 1 de Junio de 2017.

El registro del monitoreo se llevó a cabo con un equipo Cadwel Cascade pro ® de 32 canales teniendo en cuenta el protocolo descrito por Macdonald (MacDonald et al., 2005). En el protocolo se obtienen registros en la fosa poplítea (FP) para el nervio tibial y registros cervicales (onda N13) en la apófisis espinosa de C5 (C5s) para el nervio mediano y un registro cortical multicanal (Tablas 1 y 2):

Tabla 1. Montaje cortical

MEDIANO (N20 y P22)	Cc Cc	Ci FPz
TIBIAL (P37 y N45)	CPz Ci Ci	FPz Cc CPz

Abreviaturas: Cc: corteza contralateral; Ci: corteza ipsilateral; CPz y FPz: según la nomenclatura 10/20 (TransCranial Technologies ldt., 2012) ©

Se realiz6 un est6mulo el6ctrico antidr6mico que provocara un movimiento visible muscular, con una intensidad de 20-25 mA, unas frecuencias entre 3-5Hz y promediando 300 de estos est6mulos sobre el territorio del nervio mediano derecha en la mu6eca y del nervio tibial bilateral posterior al mal6olo medial. Se emplearon filtros entre 30–3,000 Hz y se analizaron las latencias medidas en milisegundos (ms) y las amplitudes en microvoltios (μV) de los montajes asignados, as6 (*):

Tabla 2. Registros corticales

LATENCIA	N19	P37
AMPLITUD	N19-P22	P37 - N45

Adaptado de (MacDonald et al., 2005)

Se tomaron los valores iniciales, finales y los m6s extremos (amplitud m6s disminuida y latencia m6s prolongada) para el an6lisis. Se encontr6 una correlaci6n directamente proporcional entre la talla de los pacientes y las latencias de los potenciales evocados somatosensoriales ($\rho\text{-Spearman} = 0.69$, $p < 0.001$), sobre la cual se puede concluir que la varianza de las latencias se explica en un 69% por la talla.

Debido a esto se decidi6 realizar un 6ndice electrofisiol6gico (I.L) que tuviera en cuenta la talla y las latencias para controlar la variabilidad generada por esta, mediante la f6rmula: $I.L = \text{latencia (ms)} / \text{talla (m)}$, que tendr6 en cuenta la latencia absoluta de N19 y/o P37 / talla. Las amplitudes se analizar6n mediante sus valores absolutos.

Se tomó como tiempo inicial de medición (T0) el momento previo a la incisión en piel y cada tiempo de registro sucesivo se realizó con un intervalo de 30 minutos (...T1, T2, T3...), manteniendo condiciones de temperatura corporal controlada en la sala quirúrgica > 37° y habiendo seguido el protocolo TIVA para anestesia mediante el uso propofol y remifentanil, evitando los anestésicos inhalados.

5.7 Variables a evaluar

Tabla 3. Variables a evaluar

Demográficas	Relacionadas con cirugía	Valores de registro
Edad (años)	Tiempo de cirugía (min)	Índice latencia N19 o P37/talla
Género		Amplitudes (μ V) mediano derecho y tibiales
Talla (m)		

6. Resultados

Se contaron con 41 pacientes con registros electrofisiológicos completo durante la totalidad del procedimiento quirúrgico, mediante el esquema multimodal mencionado (MacDonald et al., 2005). Las características demográficas de la población se muestran en la Tabla 4, encontrando una edad promedio de 15 ± 3.48 años, siendo el 63.4% (26) de pacientes de género femenino.

Tabla 4. Características de los pacientes

Total pacientes	41
Edad (años) ^a	15.05 (3.48)
Género (femenino) ^b	26 (63.4%)
Talla (m) ^c	1.56 (1.49-1.65)
Tiempo quirúrgico (min) ^c	261 (219.5-321)

^a Promedio (Desviación estándar)

^b Frecuencia (%)

^c Mediana (rango intercuartil)

En las comparaciones realizadas entre los índices de latencias N19/talla, P37/talla y las amplitudes en los tiempos iniciales, finales y el correspondiente al momento en el cual se presentó la amplitud y latencia más extrema, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre todos los parámetros electrofisiológicos entre los 3 tiempos analizados ($X^2=57.4, 50.0, 49.9, 64.8, 54.5, 64.2$ respectivamente; $p<0.001$; $gl=2$) (Tabla 5).

Se aplic6 la correcci6n de Bonferroni para evaluar en qu6 par de subgrupos se encontraron dichas diferencias, mediante la prueba T para muestras relacionadas con una significancia dada de $p < 0.017$.

Tabla 5. Comparaciones electrofisiol6gicas seriadas

Par6metro	Inicial ^a	Final ^a	Valor extremo ^a
I.L mediano **	12.43(1.35)	11.94(1.22)	12.72(1.50)
I.L tibial izquierdo **	22.27 (1.65) †	22.89 (1.57) †	24.04 (1.71)
I.L tibial derecho **	23.39 (1.67) †	23.00 (1.66) †	24.14 (1.72)
Amplitudes mediano **	3.97 (1.45)	2.63 (1.00)	2.45 (0.94)
Amplitudes tibial izquierdo**	2.32 (1.29)	1.70 (0.91)	1.51 (0.76)
Amplitudes tibial derecho**	2.31 (0.97)	1.63 (0.65)	1.50 (0.66)

^aPromedio (Desviaci6n est6ndar)

** $p < 0.001$

† $p > 0.017$ Correcci6n de Bonferroni

Se encontr6 que todos los pares de comparaciones fueron significativamente diferentes entre s6 ($p < 0.001$), excepto las comparaciones realizadas entre el tiempo inicial y final de las latencias del nervio tibial izquierdo y derecho ($p = 0.044$ y 0.078 , respectivamente).

Al comparar cada grupo de latencias en los 3 tiempos medidos frente a los criterios de alarma intraoperatorios, se encontr6 que ninguna latencia se prolong6 m6s all6 del 10% (tabla 6).

Tabla 6. Porcentaje de cambios en las latencias

Derivación	Mediano		Tibial izquierdo		Tibial derecho	
	I vs F	I vs E	I vs F	I vs E	I vs F	I vs E
Tiempos						
Mediana	-4,38	1,47	-2,59	3,15	-2,44	3,01
(RIQ)	(-5.71/ -2.19)	(0.00/4.00)	(-4.59/ 2.59)	(1.45/5.06)	(-4.78/3.44)	(0.59/5.38)
Mínimo y máximo	-12.70/8.14	0/9.88	-10.82/9.11	0/9.74	-10.91/8.20	0/9.10

I: Inicial; F: Final; E: Extremo

Las amplitudes registraron descensos mayores al 50% (criterio de alarma) en comparaciones realizadas entre el valor inicial y el valor más extremo, así como entre el valor inicial y el valor final en 14 pacientes en total (34,1%) (Tabla 7).

Tabla 7. Porcentaje de cambios en las amplitudes

Derivación	Mediano		Tibial izquierdo		Tibial derecho	
	I vs F	I vs E	I vs F	I vs E	I vs F	I vs E
Tiempos						
Mediana	-27.52	-37.36	-22.94	-34.01	-28.87	-33.10
(RIQ)	(-47.58/-16.59)	(-47.58/-24.53)	(-40.14/-4.76)	(-45.68/-14.55)	(-37.33/-14.69)	(-42.51/-22.62)
Mínimo y máximo	-77.14/41.79	-77.14/0.00	-64.00/19.30	-64.20/0.00	-68.00/52.29	-75.67/0.00

I: Inicial; F: Final; E: Extremo

En 3 casos (#2, 32 y 33) las amplitudes disminuyeron en todas las derivaciones y tiempos evaluados (>50%), 2 casos (#3 y 6) se alteraron las amplitudes para el nervio mediano derecho y al menos un nervio tibial y en 9 casos (#12, 13, 16, 18, 25, 34, 38, 39, 40) se presentaron anormalidades en las derivaciones de un solo nervio periférico. Todos estos cambios fueron transitorios, recuperaron espontáneamente los valores basales, no se presentaron en puntos críticos de la cirugía (colocación de tornillos transpediculares, tracción espinal), no se asociaron a eventos de hipotensión, hipotermia, alteración del

estado ácido-base ni a lesiones iatrogénicas u otros eventos identificables. Así mismo, no se evidenciaron alteraciones en ninguna de las otras derivaciones registradas para los potenciales evocados somatosensoriales (registro cervical, fosa poplítea, derivaciones adicionales para el nervio mediano derecho y nervios tibiales) ni en los potenciales evocados motores.

En todos los pacientes se verificó el estado neurológico post-operatorio, así como las complicaciones intraoperatorias (mediante el registro en las historias clínicas), sin encontrar ningún evento adverso relacionado intra o post-operatorio.

7. Discusión

Este estudio muestra la variabilidad de los PESS durante el monitoreo intraoperatorio de las cirugías de corrección escoliótica en la población atendida con escoliosis idiopática en el Instituto Roosevelt.

Se encontró que estas variables electrofisiológicas pueden variar de manera significativa en diferentes momentos de la cirugía, así como presentar cambios en relación a los criterios de alarma intraoperatoria establecidos.

Se encontraron alteraciones transitorias leves en las amplitudes de los PESS, evidenciadas en algunas derivaciones, las cuales fueron rápidamente recuperadas. No se observaron alteraciones en otras variables electrofisiológicas o clínicas ni déficits neurológicos transitorios o permanentes.

Diversos factores han intentado explicar cambios transitorios presentados en los PESS, tales como la manipulación intraoperatoria de elementos cercanos a la médula espinal, cambios momentáneos en el nivel de volemia (Bennett et al., 2017), en el pH sanguíneo y en la temperatura intracorporal (Samdani et al., 2016; Yang et al., 2017), registrándose hasta cambios en un 13% de los casos (Vitale et al., 2010), porcentaje similar al presentado en nuestro grupo de estudio.

El abordaje multimodal recomendado, permite evaluar estos cambios transitorios en las latencias y las amplitudes de los PESS mediante el uso de 9 canales simultáneos, concomitantemente con los PEM que permiten evaluar en términos de latencia, amplitud,

morfología y reproducibilidad, la integridad de las vías motoras medulares, las cuales poseen un mayor poder de detección de anomalías, siendo en conjunto una prueba diagnóstica con un rendimiento casi ideal (Thirumala et al., 2017).

Cabe resaltar que ningún paciente requirió test del despertar ni presentó desenlaces neurológicos adversos. Esto demuestra que pese a los cambios transitorios en los PESS, ninguno se asoció a eventos neurológicos serios.

Nuestros resultados apoyan el uso de monitoreo intraoperatorio en cirugías de corrección de escoliosis de origen idiopático, aun cuando se hayan presentado cambios transitorios en los PESS. Un estudio en 2002 (Noonan et al., 2002) intentó determinar los factores relacionados con los cambios en los PESS, en pacientes con y sin evaluación intraoperatoria de los PEM, en un análisis retrospectivo de pacientes con escoliosis idiopática llevados a cirugía. Encontraron una prevalencia de hasta un 4.5% de falsos positivos, observando en este subgrupo de pacientes una labilidad en su presión arterial media durante el procedimiento. Ellos recomendaron el uso del test de despertar de Stagnara con la presencia de alertas intraoperatorias para evaluar la posibilidad de daño espinal, aun cuando los PESS volvían a su estado basal. Sin embargo, este test requiere una mayor cantidad de tiempo quirúrgico, con las complicaciones inherentes, no posee una buena capacidad para detectar déficits neurológicos sutiles, así como se encuentra limitada en pacientes que no puedan seguir instrucciones, con algún déficit cognitivo o del desarrollo (Samdani et al., 2016).

Algunas limitaciones de este estudio es que se trata en parte de un método retrospectivo en la recolección de datos, así como el posicionamiento de los cursores para cada derivación debe hacerse de manera manual, lo cual puede estar sujeto a errores de tipo humano, en la calibración de dichos marcadores. Un

análisis con un tamaño muestral mayor es necesario para realizar conclusiones más sólidas al respecto, que impliquen entre otras cosas un mayor número de derivaciones a estudio, variables como comorbilidades, otros tipos de escoliosis, el ángulo de Cobb preoperatorio y el uso de un método analítico más cercano a la realidad de los PESS, dado que son mediciones en tiempo real, un estudio de series de tiempos (Fulcher, Little, & Jones, 2013) podría evaluar un mayor número de momentos quirúrgicos, tomando esto como punto de partida para lograr en un futuro poder reevaluar los criterios de alarma existentes como se ha propuesto en otras publicaciones (Kobayashi et al., 2014).

8. Conclusiones

Este estudio muestra la variabilidad que presentan los PESS durante el monitoreo intraoperatorio de pacientes sometidos a cirugía para realizar la corrección de escoliosis de origen idiopático. Se puede observar que no presentaron prolongaciones electrofisiológica ni estadísticamente significativas en cuanto a las latencias de los PESS, pero si se observó que las amplitudes variaron en algunos casos, incluso superando los criterios de alarma establecidos, con una posterior recuperación rápida de los registros y sin hallazgos de secuelas neurológicas postoperatorias. Estos cambios se pueden deber a factores internos como estados transitorios de volemia y temperatura y externos como la manipulación periespinal.

Debido a esto las estrategias multimodales de monitoreo intraoperatorio siguen siendo el gold estándar para la detección de lesiones espinales, dado que permiten tener certeza sobre el estado en tiempo real de la médula espinal con un rendimiento diagnóstico excelente.

Este estudio es una primera aproximación a las características electrofisiológicas presentadas en pacientes con escoliosis idiopática llevados a cirugía en nuestro país y sirve de base para nuevas investigaciones y propuestas de revisión de los tradicionales criterios de alarma intraoperatorios.

9. Consideraciones éticas

Este estudio siguió por lo establecido en la resolución N° 008430 de 1993 del Ministerio de Salud, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud.

De acuerdo con lo establecido en dicha resolución en los artículos 5, 6 y 8, prevalecerá el respeto a la dignidad del ser humano e iniciará cuando se obtenga el aval de la institución investigadora y la aprobación por parte del comité de ética. Los datos de identificación de los individuos serán de manejo exclusivo del investigador y no serán plasmados en ningún documento generado de este estudio.

El estudio corresponde a una investigación sin riesgo según el artículo 11: "...son estudios que emplean técnicas y métodos de investigación documental retrospectivos y aquellos en los que no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio, entre los que se consideran: revisión de historias clínicas, entrevistas, cuestionarios y otros en los que no se le identifique ni se traten aspectos sensitivos de su conducta..."

El estudio conto con la participación de profesionales médicos con conocimiento y experiencia para cuidar la integridad del ser humano.

La identidad de los participantes se mantuvo en reserva y en las bases de datos se identificaron a través de un código.

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia mediante el acta 006-056-16 del 31 de marzo de 2016.

Conflicto de intereses

Los investigadores no expresan ningún conflicto de intereses en la realización de este trabajo.

Bibliografía

- Bennett, J. T., Samdani, A. F., Bastrom, T. P., Ames, R. J., Miyajni, F., Pahys, J. M., . . . Cahill, P. J. (2017). Factors affecting the outcome in appearance of AIS surgery in terms of the minimal clinically important difference. *Eur Spine J*, *26*(6), 1782-1788. doi:10.1007/s00586-016-4857-x
- Bhagat, S., Durst, A., Grover, H., Blake, J., Lutchman, L., Rai, A. S., & Crawford, R. (2015). An evaluation of multimodal spinal cord monitoring in scoliosis surgery: a single centre experience of 354 operations. *Eur Spine J*, *24*(7), 1399-1407. doi:10.1007/s00586-015-3766-8
- Bridwell, K. H., Lenke, L. G., Baldus, C., & Blanke, K. (1998). Major intraoperative neurologic deficits in pediatric and adult spinal deformity patients. Incidence and etiology at one institution. *Spine (Phila Pa 1976)*, *23*(3), 324-331.
- Brown, A. G., Kirk, E. J., & Martin, H. F. (1973). Descending and segmental inhibition of transmission through the spinocervical tract. *J Physiol*, *230*(3), 689-705.
- Coe, J. D., Arlet, V., Donaldson, W., Berven, S., Hanson, D. S., Mudiyan, R., . . . Shaffrey, C. I. (2006). Complications in spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis in the new millennium. A report of the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality Committee. *Spine (Phila Pa 1976)*, *31*(3), 345-349. doi:10.1097/01.brs.0000197188.76369.13
- Cruccu, G., Aminoff, M. J., Curio, G., Guerit, J. M., Kakigi, R., Mauguiere, F., . . . Garcia-Larrea, L. (2008). Recommendations for the clinical use of somatosensory-evoked potentials. *Clin Neurophysiol*, *119*(8), 1705-1719. doi:10.1016/j.clinph.2008.03.016
- Dawson, E. G., Sherman, J. E., Kanim, L. E., & Nuwer, M. R. (1991). Spinal cord monitoring. Results of the Scoliosis Research Society and the European Spinal Deformity Society survey. *Spine (Phila Pa 1976)*, *16*(8 Suppl), S361-364.
- Deletis, V. (1993). Intraoperative monitoring of the functional integrity of the motor pathways. *Adv Neurol*, *63*, 201-214.
- Deletis, V., & Sala, F. (2008). Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: a review focus on the corticospinal tracts. *Clin Neurophysiol*, *119*(2), 248-264. doi:10.1016/j.clinph.2007.09.135

- Feng, B., Qiu, G., Shen, J., Zhang, J., Tian, Y., Li, S., . . . Zhao, Y. (2012). Impact of multimodal intraoperative monitoring during surgery for spine deformity and potential risk factors for neurological monitoring changes. *J Spinal Disord Tech*, 25(4), E108-114. doi:10.1097/BSD.0b013e31824d2a2f
- Fulcher, B. D., Little, M. A., & Jones, N. S. (2013). Highly comparative time-series analysis: the empirical structure of time series and their methods. *J R Soc Interface*, 10(83), 20130048. doi:10.1098/rsif.2013.0048
- Hilibrand, A. S., Schwartz, D. M., Sethuraman, V., Vaccaro, A. R., & Albert, T. J. (2004). Comparison of transcranial electric motor and somatosensory evoked potential monitoring during cervical spine surgery. *J Bone Joint Surg Am*, 86-A(6), 1248-1253.
- Kamerlink, J. R., Errico, T., Xavier, S., Patel, A., Cohen, A., Reiger, M., . . . Schwab, F. (2010). Major intraoperative neurologic monitoring deficits in consecutive pediatric and adult spinal deformity patients at one institution. *Spine (Phila Pa 1976)*, 35(2), 240-245. doi:10.1097/BRS.0b013e3181c7c8f6
- Kobayashi, S., Matsuyama, Y., Shinomiya, K., Kawabata, S., Ando, M., Kanchiku, T., . . . Tani, T. (2014). A new alarm point of transcranial electrical stimulation motor evoked potentials for intraoperative spinal cord monitoring: a prospective multicenter study from the Spinal Cord Monitoring Working Group of the Japanese Society for Spine Surgery and Related Research. *J Neurosurg Spine*, 20(1), 102-107. doi:10.3171/2013.10.SPINE12944
- Luk, K. D., Hu, Y., Wong, Y. W., & Leong, J. C. (1999). Variability of somatosensory-evoked potentials in different stages of scoliosis surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*, 24(17), 1799-1804.
- MacDonald, D. B., Al Zayed, Z., & Stigsby, B. (2005). Tibial somatosensory evoked potential intraoperative monitoring: recommendations based on signal to noise ratio analysis of popliteal fossa, optimized P37, standard P37, and P31 potentials. *Clin Neurophysiol*, 116(8), 1858-1869. doi:10.1016/j.clinph.2005.04.018
- Nash, C. L., Lorig, R. A., Schatzinger, L. A., & Brown, R. H. (1977). Spinal cord monitoring during operative treatment of the spine. *Clin Orthop Relat Res*(126), 100-105.

- Noonan, K. J., Walker, T., Feinberg, J. R., Nagel, M., Didelot, W., & Lindseth, R. (2002). Factors related to false- versus true-positive neuromonitoring changes in adolescent idiopathic scoliosis surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*, *27*(8), 825-830.
- Nuwer, M. R., Dawson, E. G., Carlson, L. G., Kanim, L. E., & Sherman, J. E. (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.
- Sala, F., Dvorak, J., & Faccioli, F. (2007). Cost effectiveness of multimodal intraoperative monitoring during spine surgery. *Eur Spine J*, *16 Suppl 2*, S229-231. doi:10.1007/s00586-007-0420-0
- Samdani, A. F., Bennett, J. T., Ames, R. J., Asghar, J. K., Orlando, G., Pahys, J. M., . . . Betz, R. R. (2016). Reversible Intraoperative Neurophysiologic Monitoring Alerts in Patients Undergoing Arthrodesis for Adolescent Idiopathic Scoliosis: What Are the Outcomes of Surgery? *J Bone Joint Surg Am*, *98*(17), 1478-1483. doi:10.2106/JBJS.15.01379
- Seyal, M., & Mull, B. (2002). Mechanisms of signal change during intraoperative somatosensory evoked potential monitoring of the spinal cord. *J Clin Neurophysiol*, *19*(5), 409-415.
- Sonoo, M., Kobayashi, M., Genba-Shimizu, K., Mannen, T., & Shimizu, T. (1996). Detailed analysis of the latencies of median nerve somatosensory evoked potential components, 1: selection of the best standard parameters and the establishment of normal values. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, *100*(4), 319-331.
- Stecker, M. M., & Robertshaw, J. (2006). Factors affecting reliability of interpretations of intra-operative evoked potentials. *J Clin Monit Comput*, *20*(1), 47-55. doi:10.1007/s10877-005-9006-8
- Thirumala, P. D., Crammond, D. J., Loke, Y. K., Cheng, H. L., Huang, J., & Balzer, J. R. (2017). Diagnostic accuracy of motor evoked potentials to detect neurological deficit during idiopathic scoliosis correction: a systematic review. *J Neurosurg Spine*, *26*(3), 374-383. doi:10.3171/2015.7.SPINE15466

- Urasaki, E., Wada, S., Kadoya, C., Yokota, A., Matsuoka, S., & Shima, F. (1990). Origin of scalp far-field N18 of SSEPs in response to median nerve stimulation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 77(1), 39-51.
- Vitale, M. G., Moore, D. W., Matsumoto, H., Emerson, R. G., Booker, W. A., Gomez, J. A., . . . Roye, D. P. (2010). Risk factors for spinal cord injury during surgery for spinal deformity. *J Bone Joint Surg Am*, 92(1), 64-71. doi:10.2106/JBJS.H.01839
- Wiedemayer, H., Fauser, B., Sandalcioglu, I. E., Schäfer, H., & Stolke, D. (2002). The impact of neurophysiological intraoperative monitoring on surgical decisions: a critical analysis of 423 cases. *J Neurosurg*, 96(2), 255-262. doi:10.3171/jns.2002.96.2.0255
- Yang, J., Skaggs, D. L., Chan, P., Shah, S. A., Vitale, M. G., Neiss, G., . . . Andras, L. M. (2017). Raising Mean Arterial Pressure Alone Restores 20% of Intraoperative Neuromonitoring Losses. *Spine (Phila Pa 1976)*. doi:10.1097/BRS.0000000000002461
- York, D. H., Chabot, R. J., & Gaines, R. W. (1987). Response variability of somatosensory evoked potentials during scoliosis surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*, 12(9), 864-876.