

MONITOREO INTRAOPERATORIO

ANGELA GÓMEZ, SANDRA CARRILLO

INTRODUCCIÓN

La monitoría intraoperatoria con técnicas neurofisiológicas consiste en mantener una constante vigilancia con el registro de la integridad funcional de diferentes estructuras del sistema nervioso central y periférico durante procedimientos quirúrgicos en los que existe un potencial riesgo de causar daño irreversible; esta técnica se ha convertido en una herramienta de ayuda valiosa para los cirujanos. Con el monitoreo intraoperatorio se pretende identificar precozmente el daño neurológico, facilitar la realización de cirugías de alto riesgo de lesión neurológica que en otras circunstancias no se llevarían a cabo y finalmente dar seguridad al cirujano y al paciente durante el procedimiento. También detecta falla sistémica durante el procedimiento como por ejemplo hipovolemia.

La práctica de la monitoría intraoperatoria ofrece las siguientes ventajas: prevenir el daño definitivo de estructuras nerviosas, reconocer durante el procedimiento estructuras difícilmente identificables por otros métodos, definir la severidad del daño ocurrido, advertir que la estructura ha sido manipulada de tal forma que puede resultar en daño permanente, diferenciar correctamente un nervio del tejido circundante.

Para realizar monitoreo intraoperatorio se dispone de diferentes técnicas neurofisiológicas, seleccionadas según la cirugía y la situación topográfica a donde se practicará.

Para definir la técnica que se va a utilizar se requiere una comunicación directa con el equipo de cirujanos para tener un adecuado conocimiento del procedimiento que van a llevar a cabo y así programar un protocolo adecuado al procedimiento quirúrgico. El buen conocimiento de la técnica a utilizar y

la anatomía del sitio de la cirugía permitirá reconocer de antemano las limitaciones de la técnica.

Las técnicas disponibles son: electroencefalografía, potenciales evocados somatosensoriales, motores, auditivos de tallo cerebral, electromiografía y los potenciales de acción motor compuesto (Figura 1).

En este capítulo nos vamos a referir solo al monitoreo de cirugías de columna y fosa posterior.

Indicaciones

El monitoreo en cirugías de columna es una herramienta práctica en operaciones que ponen la médula espinal en riesgo de sufrir daño por compresión, tracción o isquemia. En cirugía de cráneo se utiliza frecuentemente en la de fosa posterior durante la resección de tumores del ángulo pontocerebeloso, descompresión microvascular en espasmo hemifacial o descompresión del V par en neuralgia del trigémino.

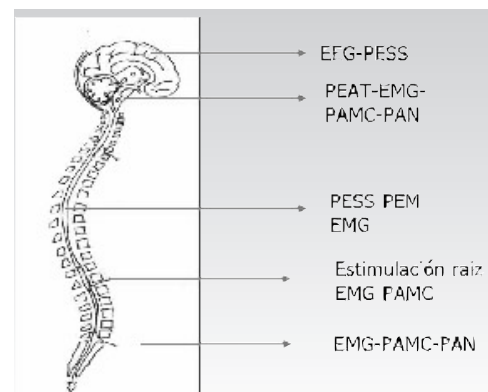


Figura 1. Tipo estudio según localización del monitoreo intraoperatorio.

En columna sometida a corrección de escoliosis, fue la primera vez que se utilizó el monitoreo mediante una técnica neurofisiológica. Se ha extendido su uso a la corrección de cifosis, espondilolistesis, fracturas inestables, tumor medular, malformación arteriovenosa y en cirugía general como la reparación de aneurisma de aorta abdominal y clampeo de arterias intercostales.

Técnica

Según la estructura y lo que aporte la comunicación directa con el equipo quirúrgico se selecciona la técnica neurofisiológica a emplear durante el monitoreo. Es necesario tener un buen conocimiento de la técnica que se va a utilizar, de la anatomía del sitio donde va a trabajar y las limitaciones de cada técnica.

Entre las diferentes técnicas disponibles están los potenciales evocados somatosensoriales, potenciales evocados motores, potenciales evocados auditivos de tallo cerebral, la electromiografía y neuroconducciones.

MONITOREO CIRUGÍA DE COLUMNA

En cirugía de columna los tracto susceptibles de ser monitoreados con potenciales evocados somatosensoriales (PÉSS) están contenidos en la columna dorsal y el tracto motor corticoespinal anterior. La técnica más utilizada hasta hoy es la de monitoreo de la medula espinal son los potenciales evocados somatosensoriales. Sin embargo, el progreso tecnológico permitirá pronto la obtención de potenciales evocados motores con estimulación eléctrica transcranial.

Potenciales evocados somatosensoriales

Un potencial evocado somatosensorial consiste en una respuesta evocada por un estímulo eléctrico a nivel periférico, registrable en la corteza y en la médula cervical, torácica

o lumbar. El estímulo se realiza en nervios mixtos como el nervio tibial posterior o el nervio mediano. También se puede realizar estimulación por dermatomas.

El estímulo viaja vía fibras gruesas hasta el ganglio de la raíz dorsal, para seguir su curso hacia los cordones posteriores en la medula. Continúa hasta el tallo cerebral para dirigirse a la corteza somatosensorial primaria en el giro postcentral.

Métodos

Hay dos métodos para realizar potenciales evocados somatosensoriales; de forma invasiva y no invasiva. En comparación los dos métodos son igualmente efectivos.

La técnica no invasiva se realiza colocando el la piel un estimulador periférico de superficie, por ejemplo, sobre la región medial del maleolo interno para estimular el nervio tibial posterior, o en la muñeca para estimular el nervio mediano. Se colocan los electrodos de superficie o aguja subdérmica para registro sobre el cuero cabelludo. El estímulo también se puede aplicarse a través electrodo de superficie o de aguja.

La técnica no invasiva es la más sencilla, por esto es la utilizada con mayor frecuencia. Se hace registro a nivel periférico, sub-cortical y cortical. Se necesitan los tres puntos de registro para asegurar que, por ejemplo, un cambio en los potenciales corticales sin alteración del subcortical es seguramente secundario a efectos anestésicos o hipotensión ya que el potencial cortical es sensible a estas variaciones.

Los electrodos de registro se colocan según la convención 10-20 en C3' y C4', para estímulo de nervio mediano o cubital y Cz' si es de nervio tibial posterior. Para el registro se pueden utilizar electrodos de superficie, preferiblemente fijados con colodión o electrodos subdérmicos de agujas (Figura 2).

Para el estímulo se utilizan electrodos de barra o electrodos de aguja subdérmicos.

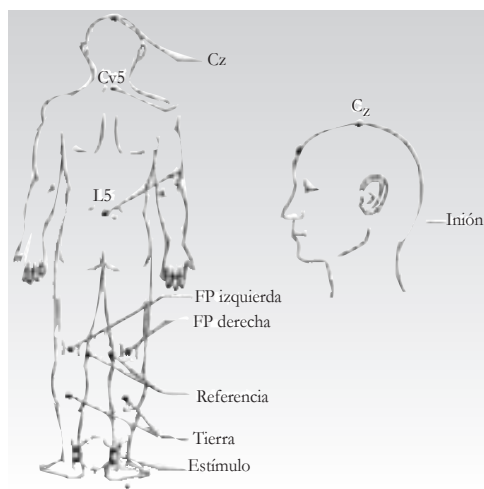


Figura 2. Colocación de electros para técnica PESS.

Cualquier nervio mixto puede ser estimulado. En los miembros superiores los más utilizados son mediano y cubital, mientras que en los miembros inferiores el tibial posterior y peroneo.

El tiempo de análisis se fija entre 10-20 mseg según la latencia esperada del potencial por obtener. La frecuencia del estímulo es de 3.1-5.1 Hz. Frecuencias más altas del estímulo reducen la amplitud del potencial. Es mejor utilizar frecuencias con valor impar para evitar interferencia con los 60 Hz de la línea. La sala de cirugía es un medio eléctricamente hostil, por lo cual es importante fijar los filtros en parámetros que permitan un registro óptimo del potencial de interés. Los parámetros de los filtros altos se fijan entre los 1000-3000 Hz y los filtros bajos a 30 Hz.

Se debe mantener el registro continuamente, deteniéndolo sólo cuando se active el electrocauterio que introduce tal grado de interferencia que distorsiona el registro obtenido.

En cirugía de columna lumbar alta y dorsal se deben hacer potenciales de nervio tibial posterior estimulado en forma bilateral, pero no simultáneamente. Con la estimulación simultánea se pueden obtener

falsos negativos. El cirujano indica el lado que más atención requiere por el grado de exploración y manipulación al que prevee será sometido. Es conveniente tener el registro simultáneo del potencial evocado del nervio mediano para nuevamente, estar seguro que la alteración que se detecte corresponde verdaderamente a compromiso generado en la trayectoria del estímulo proveniente del nervio tibial y no por otras causas sistémicas. En este último caso se alterarían tanto los de nervio tibial como los de mediano.

Con método invasivo se coloca un electrodo de registro, algunos a manera de tornillo, sub-aracnoideo, epidural, proceso espinoso o en el ligamento intraespinoso según sea el caso.

La única diferencia entre las dos técnicas es que con la invasiva se obtienen los registros más rápidamente. La diferencia de tiempo no es significativa en la toma de decisiones, pero la técnica invasiva puede resultar muy complicada de organizar en la sala de cirugía con la colocación de los diferentes electrodos y el número de cables que requiere. La ventaja de la técnica no invasiva, radica en que la colocación de los electrodos resulta más sencilla, y se puede realizar antes y durante la inducción de la anestesia.

El potencial se aprecia en las figuras 3 y 4. Como se ve en el registro, en la parte superior el trazo es nítido y a pesar de los artificios que se generan en la sala de cirugía se pueden ver cambios significativos.

Es importante vigilar cualquier cambio en la amplitud de pico a pico y latencia de la onda. Cuando durante el procedimiento, disminuye en más del 50 % la amplitud o la latencia se prolonga en más del 15% de los valores correspondientes iniciales obtenidos es el momento de alertar al cirujano (Figura 4).

Hay unos factores que afectan estos parámetros que provocan disminución de la amplitud y que son ajenos al procedimiento y entre los cuales vale la pena mencionar; los gases anestésicos inhalados como el óxido

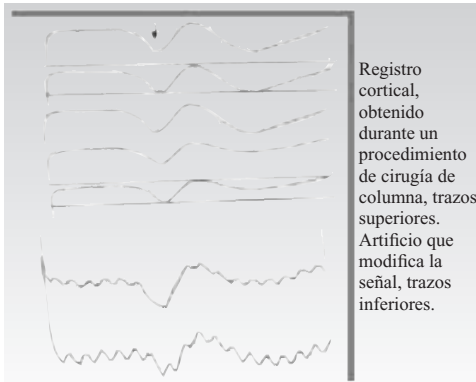


Figura 3. PESS registro cortical trans operativo.

Cirugía de columna con instrumentación a nivel torácico por fractura antigua. Paciente queda con un leve déficit motor de 3/5 en miembros inferiores que mejora a las dos semanas.

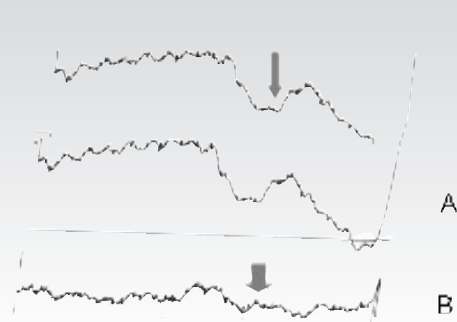


Figura 4. La amplitud del PESS registrado disminuye más del 50% (A) comparativamente con la amplitud del PESS antes de la instrumentación (B). Nótese la disminución en más del 50% de la amplitud en (B).

nitroso o dosis altas de isoflurane, hipotensión, hipotermia o hipovolemia. También hay que tener en cuenta en la escoliosis asociada a enfermedad neuromuscular y las alteraciones de base.

Potenciales evocados motores

La otra técnica cada día más utilizada para el monitoreo durante la cirugía de columna son

los potenciales evocados motores, obtenidos con estimulación magnética o eléctrica. Teniendo en cuenta que la suplección vascular de las astas anterior y posterior es diferente, los potenciales motores proporcionan una información de la integridad de la vía piramidal adicional.

Dado que el estímulo se aplica en el cráneo, las técnicas de PEM evalúan la integridad de la vía motora descendente en su curso a lo largo de varios niveles desde la corteza, médula espinal, nervio periférico y finalmente en los músculos correspondientes.

Métodos de potenciales evocados motores: las dos maneras mediante las cuales se obtienen potenciales motores son la estimulación magnética y la estimulación eléctrica de la corteza cerebral, el tallo cerebral y la médula.

La estimulación magnética se hace con un accesorio especial que se coloca sobre la cabeza, que envía sin tocar el cuero cabelludo. Es un inconveniente que con esta técnica haya variabilidad de las ondas según la utilización de diferentes anestésicos. La estimulación eléctrica es la que ha demostrado más consistencia en las respuestas y poca variabilidad con el tipo de anestésico.

Tipo de electrodos: se utilizan al menos tres tipos de electrodos: de disco o superficiales, aguja subdérmica y de tornillo. Los electrodos de disco, fijados con colodión dan muy buen resultado a un menor costo. Los de tornillo también son efectivos. El estímulo se aplica en el cuero cabelludo sobre la representación del homúnculo correspondiente. La estimulación mediante electrodos de tornillo requiere una intensidad mayor que frecuentemente no tolera el paciente.

Técnicas: hay dos técnicas que evalúan adecuadamente la integridad de del tracto corticoespinal bajo anestesia general. La estimulación de pulso-único transcranial

o estimulación eléctrica cortical directa mientras se registran las ondas D generadas espinalmente y la estimulación eléctrica multipulso, transcranial o directo en corteza motora y registro de potenciales evocados miogénicos.

No hay hasta ahora un consenso claro de cual técnica de estimulación es superior; pero es claro que para evocar PEM espinales, la técnica de un pulso-único es suficiente. Para generar PEM miogénicos, se utiliza la estimulación eléctrica multipulso. La tabla 1 resume los diferentes protocolos de estimulación eléctrica transcranial (EET) para evocar potenciales motores miogénicos.

Montaje de la estimulación: la estimulación anódica es clave para obtener los potenciales evocados motores. Para el monitoreo espinal la corteza motora de interés es la localizada en la corteza parasagital y que representa los miembros inferiores. Idealmente la estimulación bilateral debe evocar potenciales evocados miogénicos en ambos miembros inferiores. Si esto no es posible, la activación de cada hemisferio debe hacerse independientemente. Se hace de diferentes formas ya sea con un montaje cruzado de C3-C4 o C1-C2 u ocasionalmente un montaje central Cz-Fz.

Registro de PEM miogénicos: con de electrodos de aguja para registro en

los músculos *abductor pollicis brevis* y en antebrazo algún flexor o extensor o *tibialis anterior* o *abductor hallucis longus*. Se recomiendan filtros entre 5-2000Hz con amplitud en 50-100 v y un tiempo de análisis de 20 mseg por división.

Registro PEM espinales: se logra con electrodo epidural con por lo menos dos contactos de donde se registrará probando cada contacto y efectuando una promediación de 2-4 respuestas para reproducir una onda D adecuadamente. Filtros ajustados en 1.5 a 1700 Hz, tiempo de análisis: 20 a 40 mseg y amplificación en 10 mv.

Se prefiere estimulación de pulso-único transcranial de 500s de duración a 0.5-2Hz con la intensidad suficiente para evocar el PEM biogénico.

Los anestésicos generalmente no alteran el registro de la onda D, como si pueden afectar los potenciales miogénicos.

Las contraindicaciones para realizar estimulación eléctrica transcranial incluyen principalmente que el paciente tenga un marcapasos, otro tipo de estimuladores centrales o bombas neurales. Los pacientes con epilepsia tienen una contraindicación relativa de acuerdo a la condición en que se encuentre.

Otra técnica en desarrollo es la estimulación eléctrica espinal para cirugía de fijación

Tabla 1. Protocolos estimulación eléctrica para evocar potenciales miogénicos. Modificado de López J. (2005).

	Duración del pulso	Número de pulsos	Intervalo Inter-estimulo	Frecuencia del estimulo	Intensidad max del estimulo
Deletis (2001)	500 s	5-7	4 mseg	2 Hz	200 mAmp
Calancie (1998)	50 s	3-4	2 mseg	N/D	500 v
Jones (1996)	50 s	1-6	1-6 mseg	N/D	300-1000v
Pechstein et.al (1996)	400 s	1-8	2-10 mseg	N/D	100 mAmp

de la columna con tornillos transpediculares. El estímulo eléctrico se aplica en el lugar destinado al tornillo transpedicular y se registra un potencial de acción motor en los músculos correspondientes al segmento radicular activado a través de un electrodo monopolar y referencia paraespinal. El estímulo debe tener una duración 200mseg a una frecuencia de 4-7 Hz, e intensidad menor de 7 mAmp (Figura 5).

Monitoreo en cirugía de fosa posterior: los pares craneales VII y VIII fueron los primeros en los cuales se realizó monitoreo durante cirugía cerebral. El monitoreo del VIII par esta indicado más específicamente durante resección de neurinoma del acústico, tumor de fosa posterior como meningioma, neurectomía del nervio vestibular, descompresión microvascular que resulta en espasmo facial o neuralgia del trigémino por compromiso del V y VII par respectivamente.

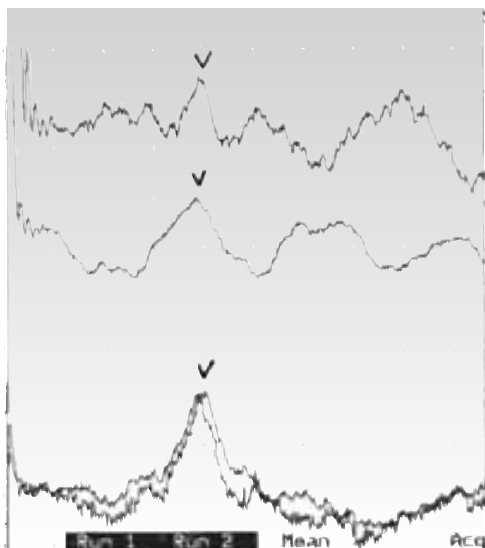


Figura 6. Ejemplo del registro de la onda V con potenciales evocados auditivos del tallo cerebral que se utiliza para vigilar y detectar cambios de amplitud o latencia durante el procedimiento quirúrgico.

El monitoreo del VIII par se hace con potenciales evocados auditivos de tallo cerebral, desencadenados con clicks aplicados por audífono de inserción, registrando con electrodos de superficie o aguja en el cuero cabelludo. Los electrodos de registro se colocan según las convenciones del sistema 10-20 en la región mastoidea o auricular, con referencia al vertex y la tierra en Fz.

Se estimula el oído que será intervenido con enmascaramiento contralateral. Al igual que con los potenciales auditivos que se realizan en el laboratorio de neurofisiología en este caso también se hace registro bi-auricular.

En cuanto a los parámetros técnicos que se utilizan en cirugía son; estímulo con clicks con rarefacción, filtros entre 30 a 3000 Hz con tiempo de análisis 10 a 20 mseg y frecuencia del estímulo entre 11 a 33 Hz. Es conveniente utilizar estímulos con frecuencia impar para reducir la interferencia de línea. La duración del click es de 0.2 mseg.

Parámetros de anormalidad: el monitoreo con PEAT durante cirugía de fosa posterior es útil al advertir cambios precoces que resulten al hacer la retracción del cerebelo y que con ésta maniobra se alargue el VIII par produciéndole daño así como un mismo efecto sobre la arteria auditiva con la posible sordera definitiva.

Los parámetros que se vigilan son la latencia y amplitud de la onda V. La latencia de la onda V no se debe prolongar más de 1.5 mseg con respecto al registro inicial obtenido bajo el efecto de anestesia. Estos potenciales se combinan con la electrocoqueografía para definir mejor la onda I y reducir el tiempo de promediación (Figura 6).

El potencial de acción del nervio auditivo se obtiene al colocar en el campo operatorio un electrodo de registro directamente sobre el nervio auditivo mientras se suministran los clicks con el auricular y sin variación en los parámetros técnicos (Figura 7).

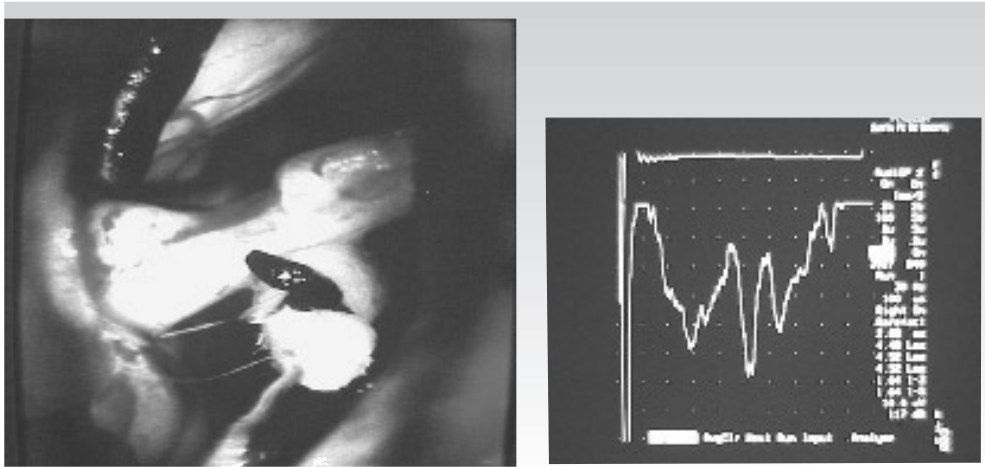


Figura 7. Registro directo del nervio auditivo para observar el potencial evocado.

Así como los potenciales somatosensoriales, los auditivos se afectan por factores técnicos como cambios en la intensidad y la frecuencia del estímulo. Si estas se cambian durante el procedimiento producen variaciones en la latencia y amplitud de la onda V.

Con respecto a la intensidad de estímulo si se aumenta los dB, se disminuye la latencia de la onda V y aumenta la amplitud, y al contrario si se disminuye la intensidad en dB, la latencia se prolonga y la amplitud de la onda V disminuye.

Con respecto a la variación de la frecuencia del estímulo si ésta se aumenta, la latencia de la onda I aumenta y su amplitud disminuye paralelamente como lo que ocurre con la onda V.

Los factores fisiológicos que también afectan estos parámetros incluyen la temperatura con una prolongación de 0.2 mseg de la onda V por cada grado Celsius que ella disminuye. Las medicaciones que ingiera el paciente y las alteraciones auditivas preexistentes afecta también afectan los parámetros descritos.

Las alteraciones en éstos parámetros se correlacionan con la compresión o

elongación del nervio, isquemia o sección de este. Los procedimientos durante los cuales se requiere el monitoreo de la integridad del VII par son: resección de neurinoma del acústico y descompresión microvascular que causa espasmo hemifacial.

Para éste monitoreo del V y VII par nos valemos de la electromiografía con electrodos de aguja en los músculos *orbicularis oculi* u *oris* y observar la actividad sin el efecto de relajantes musculares. El cirujano puede estimular el V o VII par en el campo quirúrgico para la identificación adecuada de estos y observar el registro obtenido de los músculos correspondientes. La intensidad de estímulo debe ser baja, para evitar que se difunda la corriente a otras estructuras generando respuestas equívocas (Figura 8).

Anestésicos y procedimientos neurofisiológicos durante cirugía: los anestésicos pueden producir alteraciones en la amplitud de las ondas esperadas en los potenciales, evocados al punto de disminuirla tanto que no se registran.

Los anestésicos inhalados como el oxido nitroso y el halotano son los que más alteran el registro de las ondas de

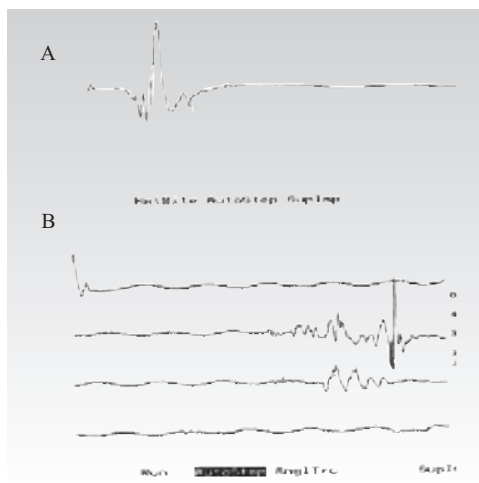


Figura 8. Registro durante cirugía de neurinoma del acústico y mediante electrodo de aguja en el orbicularis oculi de un potencial de unidad motora tras estimulación directa en el campo quirúrgico del nervio facial (A) y actividad tras su manipulación (B trazos centrales).

potenciales somatosensoriales. El isoflurane a dosis bajas lo hace en menor grado. Las combinaciones de terapia endovenosa con narcóticos como alfentanil, renyfantanyl o con propofol con anestésicos inhalatorios como isorane o serviflurane a dosis bajas, han demostrado ser una buena aproximación para lograr el registro neurofisiológico intraoperatorio.

Para saber si ha habido alguna variación en la anestesia utilizada durante el procedimiento es necesario mantener la comunicación con el anestesiólogo.

Los relajantes musculares deben evitarse sí se pretende un monitoreo de señales de electromiografía, neuroconducciones o potenciales motores. Los anteriores no afectan el monitoreo de potenciales somatosensoriales o auditivos de tallo cerebral (Figura 9).

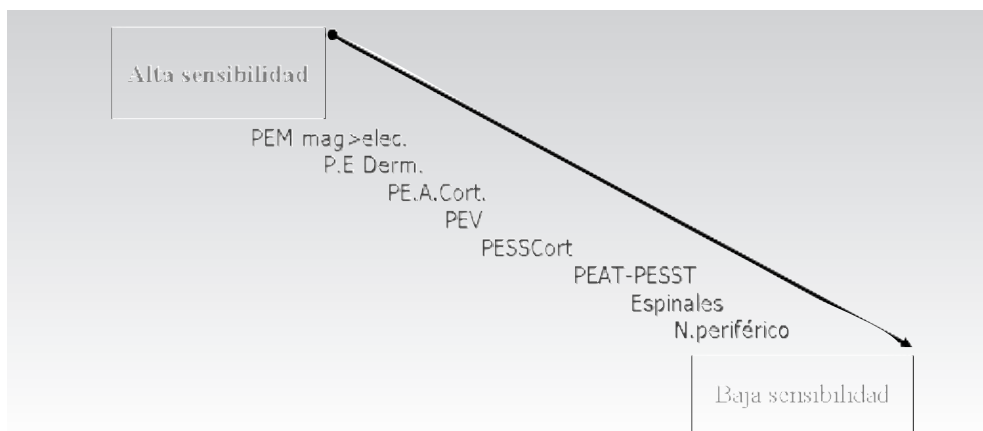


Figura 9. Sensibilidad de las respuestas evocadas obtenidas en diferentes niveles y por diferentes técnicas.

LECTURAS RECOMENDADAS

- [1] **HOLLAND N.** Intraoperative Electromyography. *J Clin Neurophysiology* 2002;19: 444.
- [2] **SLOAN T.** Anesthetic effects on electrophysiologic recordings, *J Clin Neurophysiology* 1999; 15: 217-226.
- [3] **SLOAN T.** Anesthesia for Intraoperative Neurophysiologic Monitoring of the Spinal Cord. *J Clin Neurophysiology* 2002; 19: 430-443.
- [4] **LEGATT A.** Mechanisms of Intraoperative Brainstem Auditory Evoked Potential Changes, *J Clin Neurophysiology* 2002; 19: 396-407.
- [5] **NUWER A.** Intraoperative evoked potential of de Spinal Cord. *Clin Orthop* 1984b, 183.