

# **Utilidad de la monitorización intraoperatoria en la cirugía de mielopatía cervical**

**Estudio multicéntrico**

**Alumno:** Marta A. Gómez González.

**Tutores:** Dres. Víctor García Marín y Luis Pérez Orribo.

Departamento de Cirugía. Servicio de Neurocirugía. Complejo Hospitalario Universitario de Canarias.

## **Resumen**

Introducción: la mielopatía cervicoartrósica es la principal causa de disfunción medular, cuyo diagnóstico se realiza a través de la clínica, las pruebas de imagen y las pruebas neurofisiológicas, empleándose estas últimas también para la monitorización intraoperatoria.

Material y métodos: se han recogido datos de 364 pacientes intervenidos de mielopatía cervical entre 2009-2019, en distintos centros con la misma técnica de monitorización neurofisiológica, que consiste en potenciales evocados motores medulares, potenciales evocados somatosensoriales y electromiograma.

Resultados: 87 pacientes presentaban alguna alteración neurofisiológica previa a la cirugía (23'9%); con alteraciones durante ésta en 43 pacientes (11'81%). Sin embargo, solo hubo empeoramiento neurofisiológico al finalizar la intervención en 5 pacientes (1'37%), lesión diferida en 1 paciente (0'27%) y mejoría intraoperatoria de los potenciales en 5 pacientes (1'37%). Por ello, hubo 321 verdaderos negativos, 6 verdaderos positivos y 36 "falsos positivos", en los que se consiguió revertir dichas alteraciones, sin aparición de déficits neurológicos tras la cirugía.

Conclusiones: la monitorización intraoperatoria es una técnica segura que no alarga la duración de la cirugía, y que permite detectar de forma precoz las alteraciones funcionales medulares. Por ello, se recomienda su empleo en cirugías con riesgo de daño medular.

**Palabras clave:** potenciales evocados motores, monitorización intraoperatoria, mielopatía cervical

## **Abstract**

Background: cervical spondylotic myelopathy is the main cause of dysfunction of the spinal cord. Its diagnosis requires clinical examination, imaging test and electrophysiological tests, which can also be used as part of the intraoperative neuromonitoring.

Methods: data from 364 patients who underwent a surgical procedure because of cervical myelopathy with intraoperative neuromonitoring in different hospitals between 2009-2019 has been collected. The intraoperative neuromonitoring consisted of medullar motor evoked potentials, somatosensory evoked potentials and electromyogram.

Results: 87 patients had a change in the electrophysiological test prior surgery (23'90%), and 43 patients had neurological changes during the procedure (11'81%). However, only 5 cases had a deterioration of their symptoms (1'37%), a patient had a delayed injury (0'27%) and 5 patients had an

improvement of their symptoms (1'37%). Thus, there were 321 true negatives, 6 true positives and 36 "false positives". In those 36 positives, there were no new neurological deficits after surgery, because electrophysiological changes were reverted during the procedure.

Conclusion: intraoperative neuromonitoring is a safe technique that does not extend the surgical time, and that allows the early detection of functional changes of the spinal cord. Because of that, its use is recommended in surgeries where the spinal cord may be damaged.

**Keywords:** motor-evoked potentials, intraoperative neuromonitoring, cervical myelopathy.

## Introducción

La mielopatía cervicoartrósica (MCA) es la principal causa de disfunción medular cervical, con una incidencia creciente y alto riesgo de discapacidad<sup>1</sup>, relacionada con el envejecimiento poblacional<sup>2</sup>. Fue descrita por primera vez en 1952 por W.R. Brain et. al., definiéndose como una disfunción medular derivada de la protrusión discal, que asocia anomalías de los tejidos blandos<sup>3</sup>.

Antiguamente, la etiopatogenia de la mielopatía cervical se consideraba una alteración de la relación continente-contenido, predispuesta por cambios degenerativos en la columna cervical junto a estrechez del canal medular<sup>4</sup>. Actualmente, se considera que también intervienen la compresión directa de la médula espinal o de los vasos que la rodean<sup>5</sup>, teniendo en cuenta que puede coexistir con estenosis congénita del canal medular a nivel cervical<sup>1</sup>. Desde el punto de vista anatómico, esta compresión puede deberse a protrusión de discos vertebrales, cuerpos vertebrales deformados, hipertrofia de la articulación facetaria, osteofitos, hipertrofia del ligamento amarillo y osificación del ligamento longitudinal posterior<sup>1</sup>. La compresión directa aparece por factores estáticos, como la formación de osteofitos o la hipertrofia del ligamento amarillo; y por factores dinámicos, ya que la flexión puede producir una compresión contra osteofitos, y la extensión puede comprimir la médula contra un ligamento amarillo hipertrófico<sup>6,7</sup>. Respecto a la alteración vascular, hay que tener en cuenta que las regiones anterolaterales de los niveles cervicales bajos están irrigadas casi exclusivamente por la arteria medular anterior; mientras que niveles superiores forman parte tanto del territorio arterial intracraneal como del cervical<sup>8</sup>. La irrigación de la región posterior medular se realiza mediante la arteria medular posterior. El flujo sanguíneo medular depende de la tensión arterial sistémica<sup>9</sup>, y a su vez, de la presión de perfusión medular. Ésta se puede estimar restando la presión a nivel del espacio subaracnoideo medular a la presión arterial sistémica, debiendo ser positiva para que exista flujo arterial a nivel medular; y, por ende, una correcta perfusión medular. La isquemia aparece cuando se comprimen las arterias que irrigan la médula cervical contra los elementos previamente expuestos<sup>6</sup>; siendo más susceptibles los niveles C<sub>5</sub> a C<sub>7</sub><sup>8</sup>. Además, la dificultad del drenaje venoso puede ocasionar una congestión que contribuya a dicha isquemia<sup>6</sup>.

Esto genera una sintomatología variada, entre la que se encuentran alteraciones de la marcha como rigidez o marcha espástica, torpeza, parestesias en las manos, espasticidad en las extremidades y signos de disfunción piramidal<sup>1,5,10</sup>. Otros síntomas comunes son dolor cervical<sup>5</sup> y dolor subescapular o referido a los hombros, siendo en estos pacientes muy común la asociación con cefalea<sup>6</sup>. Al comienzo de la enfermedad, son más frecuentes y manifiestas las alteraciones motoras, por la compresión de la arteria cervical anterior<sup>10</sup>; mientras que la afectación de los cordones posteriores se produce en estadios

más avanzados, llegando incluso a tetraparesia espástica y/o signo de Lhermitte<sup>1,7</sup>. Todas estas alteraciones aparecen de forma insidiosa<sup>7</sup>, y ninguna de ellas es patognomónica<sup>6</sup>. El grado de deterioro neurológico es variable, igual que la progresión; siendo esencial un diagnóstico y tratamiento precoces para obtener los mejores resultados y mejorar el pronóstico<sup>1,4</sup>. La reversión de los signos clínicos de mielopatía, como el signo de Hoffman, es posible cuando se realiza una descompresión de la médula espinal<sup>5</sup>. Son factores de riesgo para un peor pronóstico el grado de discapacidad, la edad y la duración de los síntomas<sup>1</sup>.

El diagnóstico se basa en las manifestaciones clínicas y la resonancia magnética (RM)<sup>5</sup>, donde la presencia de un aumento de señal intramedular se asocia a una lesión por compresión crónica<sup>5,10</sup>, que se atribuye a mielomalacia con gliosis secundaria<sup>5</sup>. Se trata de una prueba muy específica, pero sus principales limitaciones son que no aporta información acerca del daño medular<sup>11</sup>; y que el nivel afecto en la RM puede no corresponderse con el nivel afecto en estudios neurofisiológicos<sup>12</sup>. Por ello, está en auge el uso de los potenciales evocados motores medulares (PEMMs), que detectan la alteración funcional de los cordones anteriores de la médula espinal<sup>10</sup> y localizan el nivel de la lesión, sin aportar información acerca de su etiología<sup>5</sup>. En pacientes con MCA, se aprecia un aumento de la latencia cortical de los PEMMs respecto a controles, pudiendo asociar asimismo una disminución de su amplitud o, inclusive, ausencia de respuesta<sup>10</sup>. La alta incidencia de alteraciones en los PEMMs del miembro superior indica que es una prueba sensible para detectar la disfunción medular en pacientes con MCA<sup>10</sup>; y puede ser útil para determinar el sitio quirúrgico en pacientes que presentan alteraciones en múltiples niveles en la RM<sup>12</sup>. Generalmente, los pacientes con buena correlación entre RM y PEMMs tienen una desmielinización segmentaria por compresión directa, mientras que pacientes con mala correlación suelen tener un mayor componente isquémico<sup>12</sup>. También destaca el tiempo de conducción motora central (TCMC), una estimación del tiempo de conducción de las fibras corticoespinales entre el córtex motor y las motoneuronas, prolongado en caso de MCA<sup>8,13</sup>.

Además de para el diagnóstico, los PEMMs son un factor predictivo positivo del resultado de la cirugía, ya que se correlacionan con los hallazgos clínicos tanto antes como después de la cirugía<sup>12</sup>, permitiendo determinar la gravedad de la lesión y realizar un seguimiento tras la cirugía y la rehabilitación<sup>5</sup>. Asimismo, se emplean como parte de la monitorización intraoperatoria, teniendo un importante papel para evitar daños medulares en cirugías de alto riesgo<sup>12</sup>. Esta monitorización intraoperatoria tiene un gran valor durante la cirugía, pero se ha demostrado útil especialmente durante la colocación del paciente, ayudando a prevenir lesiones medulares intraoperatorias en relación con una disminución de la presión de perfusión medular durante la colocación<sup>14</sup>. Durante los últimos años, la monitorización intraoperatoria mediante PEMMs se ha convertido en un elemento imprescindible

para garantizar la seguridad del paciente durante el procedimiento; desplazando de la práctica clínica habitual otros procedimientos intraoperatorios como la colocación de electrodos epidurales (onda D). Las ventajas de esta técnica sobrepasan con creces a sus inconvenientes, como son su incompatibilidad con los gases anestésicos halogenados<sup>12</sup> o los movimientos del paciente durante la cirugía secundarios a la estimulación.

En este estudio, se han incluido 364 pacientes intervenidos de mielopatía cervical con monitorización intraoperatoria, para valorar la utilidad de los PEMMs durante la cirugía como predictores de daño medular.

## Material y métodos

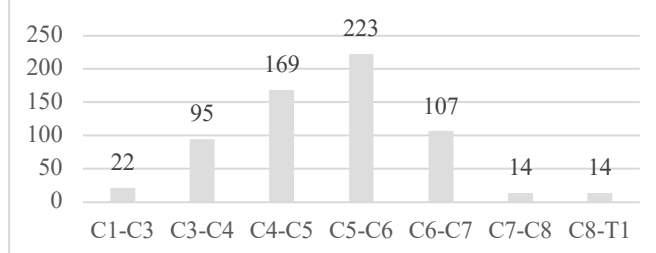
### 1. Pacientes

Se han recogido datos de 364 pacientes intervenidos de mielopatía cervical desde 2009 hasta 2019 (225 varones, 139 mujeres, edad media  $\pm$  desviación estándar de 58'31 $\pm$ 14'51 años) intervenidos en el Hospital Universitario de Canarias, el Hospital San Juan de Dios y el Hospital Quirónsalud. En todos ellos se empleó la misma técnica de monitorización intraoperatoria durante la colocación, el desarrollo de la cirugía y la recolocación en la mesa quirúrgica; consistente en PEMMs, potenciales evocados somatosensoriales medulares (PESSs) y electromiograma (EMG). En la Tabla 1 se aprecia el número de niveles intervenidos, y en la Figura 1 se muestra la distribución de niveles intervenidos, siendo el más frecuente el nivel C5-C6.

**Tabla 1: número de niveles**

<b>Un nivel</b>	156	42'85%
<b>Dos niveles</b>	133	36'81%
<b>Tres niveles</b>	53	14'83%
<b>Cuatro niveles</b>	16	4'39%
<b>Cinco niveles</b>	3	0'82%
<b>Seis niveles</b>	1	0'27%

**Figura 1: distribución de niveles intervenidos**



### 2. Anestesia

La inducción se realizó con 3  $\mu$ g/kg de propofol intravenoso y 0'15-0'25  $\mu$ g/kg de remifentanilo, tras lo que se administraron 30 mg de rocuronio para la intubación, sin posterior uso de bloqueantes musculares para evitar interferencias con la monitorización. El mantenimiento de la anestesia se realizó con una infusión de propofol (2-3  $\mu$ g/l) y remifentanilo (0'5  $\mu$ g/kg/min). Asimismo, se administraron

4-8  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de  $\gamma$ -ciclodextrina para revertir el bloqueo muscular antes del posicionamiento y que no hubiera interferencias durante la monitorización.

Hubo 7 pacientes en los que la anestesia se realizó con sevoflurano, y en uno de ellos la anestesia interfirió con la monitorización intraoperatoria, como se ha descrito previamente en la literatura<sup>12</sup>.

### **3. Monitorización intraoperatoria**

Todos los pacientes fueron monitorizados por dos neurofisiólogos, con el mismo sistema de monitorización (*Cadwell Cascade, Cadwell Labs, EE.UU*), y siguieron el procedimiento estándar.

#### **3.1. PESSs**

Se colocaron electrodos superficiales bilaterales (*Ambu<sup>®</sup> Neuroline 72015-K*) en el tobillo, para monitorizar el nervio tibial posterior; y en la muñeca, para monitorizar el nervio mediano. La estimulación se realizó con un pulso eléctrico de 30 mA, con frecuencia de 5'1 Hz y duración de 0'2 ms. Asimismo, se colocaron en el *scalp* electrodos en sacacorchos subdérmicos (*Ambu<sup>®</sup> Subdermal Corkscrew*) para monitorizar los PESSs de dicha zona.

Los PESSs se recogieron en C3, C4, Cz y Ppz (*10-20 International System*) con derivaciones C3-Cz, C4-Cz, C3-C4, Cz-Fz y respuestas periféricas, empleando una banda de paso de 1-300 Hz. Se consideró *warning* un descenso en la amplitud del 50% o un aumento de la latencia del 10% de forma unilateral o bilateral.

#### **3.2. PEMMs**

La estimulación consistió en 7 pulsos en cadena con un intervalo intraestímulo de 4 ms, duración de 50  $\mu\text{s}$  por pulso e intensidad de 240-400V; enviados en C1-C2 por electrodos en sacacorchos (*TCS Stimulator, Cadwell Labs, EEUU*). Los PEMMs en el músculo se registraron empleando parejas de electrodos en aguja subdérmicos del primer interóseo dorsal en el miembro superior, y en el tibial anterior y en el abductor *hallucis* en el miembro inferior; con banda de paso de 10-1500 Hz.

Se estableció como *warning* un descenso en la amplitud del 80%, un aumento del 10% en la latencia unilateral o bilateralmente, o un aumento de 100 V en la estimulación requerida para detectar los PEMMs sobre el umbral basal.

### 3.3. EMG

El EMG intraoperatorio se recogió de forma continua de ambos deltoides y bíceps, para detectar alteraciones en la raíz C5-C6, empleando parejas de electrodos en aguja subdérmicos (Ambu® 12x0'4 mm).

### 3.4. Análisis estadístico

Se ha calculado sensibilidad y especificidad de la monitorización intraoperatoria combinada formada por PEMMs y PESSs; calculando la sensibilidad según la fórmula verdaderos positivos/(verdaderos positivos + falsos negativos); y la especificidad según la fórmula verdaderos negativos/(verdaderos negativos + falsos positivos).

Se consideró verdadero positivo como la presencia de *warning* irreversible en PEMMs y/o PESSs durante la cirugía, seguido de un déficit neurológico en el postoperatorio; y se consideró verdadero negativo la ausencia de *warning* intraoperatorio con ausencia de déficit neurológico de nueva instauración en el postoperatorio. Se definió como falso positivo como la presencia de *warning* durante el procedimiento sin repercusión clínica tras la cirugía, con recuperación en los potenciales evocados tras cambios en la actitud quirúrgica, presión arterial y/o posicionamiento del paciente; y como falso negativo la ausencia de *warning* durante la cirugía o la recuperación durante ésta, con aparición de un déficit neurológico en el postoperatorio. Cabe destacar que no se puede correlacionar de manera exacta la alteración intraoperatoria de los potenciales evocados con la clínica neurológica del paciente tras la cirugía ya que, cuando se alerta al cirujano de un descenso de los potenciales, éste modifica la actitud quirúrgica o se corrigen aquellas situaciones que pueden provocar dicho descenso (colocación del paciente, presión arterial...). De esta manera, si se recuperan dichos potenciales durante la cirugía, este *warning* no se traducirá en un déficit neurológico postquirúrgico, por lo que no se puede definir como “falso positivo” en sentido estricto.

Todos los análisis se han realizado empleando Microsoft® Excel para Mac versión 16.29.1. (Microsoft Corporation, Washington).

## Resultados

Se han intervenido 364 pacientes comprendidos entre los 6 y 88 años; interviniéndose 328 por el Servicio de Neurocirugía (89'89%) y los 37 restantes por el Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatológica (10'11%). Respecto a la vía, 238 pacientes fueron intervenidos por vía anterior (65'38%), 124 pacientes fueron intervenidos por vía posterior (34'08%), 1 paciente por vía lateral (0'27%) y 1 paciente por vía combinada, anterior y posterior (0'27%). El paciente intervenido por vía



lateral se corresponde al único paciente intervenido por un tumor, siendo un meningioma de agujero magno que comprimía la médula espinal, causando la mielopatía.

De los pacientes intervenidos, 87 presentaban alguna alteración neurofisiológica en el estudio basal preoperatorio (23'90%). Se registraron 4 pacientes con ausencia de PESSs y/o PEMMs; 19 pacientes con alteración de PESSs y/o PEMMs; 13 pacientes con potenciales evocados basales alterados; y 24 pacientes con varias alteraciones de manera simultánea (3 pacientes con alteración de potenciales evocados basales junto con ausencia y alteración de PESSs y/o PEMMs; 1 paciente con ausencia y alteración de PESSs y/o PEMMs; 6 pacientes con alteración de potenciales evocados basales y ausencia de PESSs y/o PEMMs; y 14 pacientes con alteración de potenciales evocados basales y alteración de PESSs y/o PEMMs).

La preparación de la monitorización intraoperatoria no superó en ningún caso los 20 minutos, y se realizó de manera simultánea a la inducción anestésica. Durante la intervención, un total de 43 pacientes presentaron *warnings* (11'81%), distribuidos como se muestra en la Tabla 2: 16 alteraciones de los PEMMs, 17 alteraciones conjuntas de PEMMs y PESSs, 3 alteraciones conjuntas de PEMMs y disminución de la duración del potencial de acción de unidad motora (PAUM), 1 alteración conjunta de PEMMs, PESSs y disminución de la duración del PAUM, 5 alteraciones atribuibles a la anestesia, y 1 alteración atribuible a la anestesia junto con una disminución de la duración del PAUM. Asimismo, un paciente presentó una convulsión.

**Tabla 2: *warnings***

<b>Sin alteraciones</b>	320	88'18%
<b>PEMM</b>	16	4'37%
<b>PESS</b>	0	0%
<b>PAUM</b>	0	0%
<b>Anestesia</b>	5	1'35%
<b>PEMM/PESS</b>	17	4'66%
<b>PEMM/PESS/PAUM</b>	1	0'27%
<b>PEMM/PAUM</b>	3	0'82%
<b>PAUM/Anestesia</b>	1	0'27%
<b>Convulsión</b>	1	0'27%

Ante estas alteraciones, se tomaron diferentes actitudes con el fin de corregirlas y evitar daños medulares. Las actitudes más frecuentes fueron recolocación cervical (19) y aumento de la tensión arterial (22), como se muestra en la Tabla 3; realizándose un total de 64 actitudes diferentes en los 43 pacientes con *warning* durante la cirugía.

**Tabla 3: actitud intraoperatoria ante los warnings**

Actitud intraoperatoria	Número
Recolocación cervical	19
Recolocación del tornillo	1
Recolocación del miembro	2
Administración de corticoides	7
Aumento de la tensión arterial	22
Espera	9
Finalizar cirugía	4

Durante el postoperatorio, 353 pacientes no tuvieron cambios clínicos; objetivándose lesión medular diferida en 1 paciente (0'27%), empeoramiento en 5 pacientes (1'37%) y mejoría en 5 pacientes (1'37%). En base a esto, hubo 322 verdaderos negativos, 6 verdaderos positivos y 36 “falsos positivos” (pacientes con *warning* durante la cirugía en los que, mediante cambios en la actitud quirúrgica y/o en otros parámetros, se consiguió revertir el *warning*). Dentro del grupo de 36 “falsos positivos”, en 3 de ellos se decidió finalizar la cirugía para evitar un daño medular permanente, lo que se consiguió, ya que no presentaron un empeoramiento en el postoperatorio inmediato.

- Pacientes con mejoría postoperatoria: cuatro pacientes presentaban alteraciones preoperatorias en PEMMS y/o PESSs, uno de los cuales también tenía los potenciales basales alterados; y el quinto paciente no tenía alteraciones en el estudio neurofisiológico prequirúrgico.
- Pacientes con empeoramiento postoperatorio: solo un paciente presentó alteraciones preoperatorias en el estudio electrofisiológico, siendo una alteración en PEMMs y/o PESSs con alteración de los potenciales basales.

Con estos datos, la sensibilidad conjunta de la monitorización intraoperatoria ha sido del 100%, con una especificidad del 89'91%.

## **Discusión**

La MCA es un trastorno de carácter generalmente progresivo, sin haberse descrito nunca la regresión espontánea de los síntomas<sup>7</sup>; por lo que la cirugía se considera el tratamiento de elección, siendo el objetivo principal evitar la progresión de los síntomas y la aparición de complicaciones como el síndrome de compresión centromedular o la lesión medular secundaria a traumatismos menores<sup>7</sup>, y una mejoría de los síntomas. Por ello, es muy importante el correcto diagnóstico de los pacientes, empleando técnicas neurofisiológicas como PEMMs y PESSs en pacientes con pruebas de imagen dudosas, y como parte del estudio preoperatorio para facilitar la monitorización durante la cirugía.

Según de Oliveira Vilaça et al.<sup>7</sup>, en pacientes de mediana edad se afectan preferentemente los niveles C5-C6 y C6-C7; siendo nuestros hallazgos consistentes.

Durante la cirugía, el empleo de la monitorización intraoperatoria es esencial para evaluar la integridad del sistema nervioso, por el riesgo de lesión de los distintos elementos. Por ello, es esencial la monitorización y la detección de alteraciones de manera precoz, para evitar un daño permanente<sup>15</sup>. Los riesgos quirúrgicos en la cirugía de mielopatía cervical son: manipulación con materiales de osteosíntesis, técnicas de descompresión, estiramiento excesivo de raíces y haces nerviosos, o isquemia medular<sup>16</sup>.

En un primer momento, se emplearon los PESSs para valorar la integridad de las vías sensitivas; pero se trata de respuestas muy pequeñas que necesitan un promediado para distinguirse de la actividad electroencefalográfica<sup>16,17</sup>, por lo que el tiempo típico de obtención es cada 5 minutos<sup>15</sup>. Esto hace que no sirvan para la monitorización seriada en momentos críticos de la cirugía; y que no permitan valorar la integridad de la vía motora<sup>5</sup>. Además, puede haber falsos negativos cuando se emplean de forma exclusiva, ya que una pérdida de la perfusión de la arteria espinal anterior no afectaría a la irrigación de los cordones posteriores, donde se localiza la vía sensitiva<sup>15</sup>.

Por ello, actualmente se recomienda el empleo concomitante de PEMMs y PESSs, ya que los PEMMs son más sensibles para la detección de lesiones en los dos tercios anteriores de la médula espinal<sup>15</sup> y se pueden emplear en situaciones donde se requiere monitorización seriada estrecha<sup>18</sup>; siendo útiles para la detección de lesiones de la cauda equina, raíces nerviosas y lesiones unilaterales medulares<sup>17</sup>. En nuestro estudio no se ha encontrado ninguna alteración de los PESSs aislada, sí evidenciándose 16 casos con alteraciones aisladas en los PEMMs, lo que se correlaciona con la mayor sensibilidad de éstos descrita en la literatura, especialmente en pacientes con MCA o neuropatías<sup>7</sup>. Como ya se comentó, el principal inconveniente de los PEMMs es la interferencia con la anestesia, ya que la mayoría de anestésicos inhalados provocan un aumento de la latencia y una disminución de la amplitud de los PEMMs de forma dosis-dependiente.<sup>15</sup> En nuestro estudio, se empleó sevoflurano en 7 pacientes, de los cuales en solo uno hubo interferencias con la monitorización; ya que, de manera general, una concentración menor de 0'5 de la concentración alveolar mínima debería permitir un registro de PEMMs valorable<sup>15</sup>. Por otro lado, el empleo de PEMMs requiere la ausencia del bloqueo neuromuscular, por lo que la estimulación puede provocar movimientos durante la cirugía con el posible daño accidental si no se advierte al cirujano. Es importante destacar, dada la aparición de un episodio de convulsión durante la cirugía, que la estimulación transcraneal empleada para la obtención de PEMMs no es una técnica inocua, ya que puede ocasionar crisis epilépticas como efecto secundario,

junto a laceraciones en la cavidad oral, fracturas mandibulares o arritmias cardiacas entre otros<sup>15,16</sup>. No obstante, los beneficios que aporta compensan sobradamente dichas morbilidades asociadas, ya que pueden predecir los resultados de la cirugía y son una técnica sensible para detectar potenciales lesiones neurológicas durante la cirugía<sup>5</sup>. Sin embargo, no hay evidencia de que sean más importantes que los parámetros clínicos<sup>5</sup>.

Una vez detectado el *warning* durante la cirugía, es esencial filiar su etiología y corregir el factor determinante para evitar daños permanentes. Tras descartar la interferencia de la anestesia y otros factores en la obtención de los potenciales evocados; las alteraciones pueden deberse a cambios en la temperatura corporal, en la oxigenación y en la tensión arterial. Se cree que una pérdida brusca de los potenciales se asocia a una lesión severa y potencialmente irreversible; mientras que una alteración gradual se suele deber a una lesión moderada y con mayor posibilidad de recuperación<sup>16</sup>. Por ello, puede ser un factor determinante en la detección de pacientes con alteraciones potencialmente reversibles mediante cambios durante la realización de la cirugía.

La temperatura puede ocasionar una disminución brusca en los potenciales evocados tras exponer la médula espinal; aunque es más frecuente el aumento de la latencia junto a disminución de la velocidad de conducción medular en hipotermia<sup>15</sup>. En nuestro estudio no se ha recogido la posible interferencia de la temperatura, siendo una limitación, ya que alguna alteración en los potenciales evocados podría haberse debido a hipotermia. No obstante, se monitorizó en todos los pacientes la temperatura rectal, manteniendo al paciente con sistemas de calefacción y en ninguno de ellos se registró hipotermia.

Respecto a las alteraciones en la oxigenación y en la tensión arterial, la hipoxia altera los potenciales evocados antes de que se alteren otros parámetros<sup>16</sup>, algo que también contribuye a su gran sensibilidad. El flujo sanguíneo medular es un factor determinante para la correcta función medular y que se correlaciona positivamente con la presión arterial sistémica<sup>7</sup>, de manera que pequeños descensos en la tensión arterial sistémica pueden provocar alteraciones en los potenciales evocados, que revierten cuando la presión de perfusión medular aumenta<sup>15</sup>. El aumento del flujo sanguíneo medular a partir de la circulación colateral aumenta si se aumenta la presión arterial sistémica, mediante el uso de vasopresores o una carga de volumen<sup>9</sup>. Como ya se ha comentado, la presión de perfusión medular se puede estimar restando a la presión arterial media la presión del espacio subaracnoideo medular, debiendo ser positiva para una correcta perfusión medular. Hay que tener en cuenta que, en pacientes con compresión medular, la presión de perfusión medular es más sensible a la hipotensión arterial y a la disminución del retorno venoso, viéndose comprometida en ambas circunstancias. Además, ya que también contribuyen a la presión de perfusión medular factores locales

como la colocación del paciente, no se ha podido determinar un valor mínimo de tensión arterial sistémica aceptable para la monitorización<sup>15</sup>.

Dentro de estos factores locales se encuentra la manipulación cervical durante la colocación del paciente<sup>14,19</sup>, ya que los movimientos de flexión o extensión cervical pueden reducir el diámetro del canal medular de forma significativa, con compresión vascular y/o daño directo medular que pueden ocasionar déficits neurológicos<sup>1,14</sup>. En pacientes con compresión posterior o con más de dos niveles afectados, se prefiere el abordaje posterior<sup>7</sup>; si bien éste tiende a colocar la columna cervical con una ligera flexión con posible daño secundario. Además, la tracción empleada para poder observar los niveles cervicales bajos con la radiografía lateral puede provocar un estiramiento pasivo del plexo braquial con neurapraxia secundaria<sup>15</sup>. Del mismo modo, la extensión de la cabeza provoca una disminución de la superficie del canal medular, que puede producir una caída de los potenciales motores que se recupera al corregir la posición<sup>15</sup>.

Tras detectar la causa del *warning*, es importante tratar de revertirla y monitorizar la duración de la alteración, ya que tiene importante valor pronóstico<sup>15</sup>. Para ello, y debido al carácter multifactorial de la alteración, se prefieren realizar varias actitudes simultáneamente. Como ya se ha comentado, tanto la recolocación del paciente<sup>14,15</sup> como el aumento de la tensión arterial<sup>15</sup> pueden revertir los *warning*, algo que se realizó en múltiples ocasiones durante el estudio. Asimismo, en 7 pacientes se administraron corticoides, ya que la administración de altas dosis en pacientes con una lesión medular aguda ha demostrado mejorar la recuperación neurológica, si se administran en las primeras 8 horas tras el trauma<sup>20</sup>. Esto se debe a que, tras la lesión directa, se produce una segunda lesión a nivel celular con aumento de los radicales libres de oxígeno, que serían neutralizados por la acción antiinflamatoria de los corticoides<sup>18</sup>.

Una vez revertido el *warning*, la cirugía puede continuar. Hay casos en los que las alteraciones persisten, y se prefiere finalizar la cirugía a causar un mayor daño neurológico al paciente; ya que los cambios en los potenciales evocados tienen buena correlación con la aparición de nuevos signos neurológicos de lesión medular<sup>11</sup>. En este estudio, a pesar de la actitud tomada, hubo 6 pacientes con empeoramiento clínico tras la cirugía (verdaderos positivos, 1'65%), uno de ellos con una lesión diferida. Sin embargo, destaca que hubo 36 pacientes con alteraciones en los potenciales evocados durante la cirugía, y en los que, gracias a las acciones descritas previamente, se logró la recuperación intraoperatoria de dichos potenciales y que despertasen sin clínica; representando un 10'19% de nuestra muestra. Además, hubo 5 pacientes en los que hubo una mejoría clínica en el postoperatorio inmediato (1'37%), que son aquellos en los que aumentaron los PEMM durante la cirugía.

Analizando los pacientes con mejoría clínica tras la cirugía, en nuestro estudio no se han recogido posibles mejorías en la amplitud de los potenciales evocados en el postoperatorio, una vez finalizada la intervención, aunque un estudio publicado en 2018 por Min Kyu Park et al<sup>21</sup> demostró que 11 pacientes de 29 intervenidos por mielopatía cervical compresiva mostraban cambios positivos en la amplitud y latencia de los PEMMs. Este estudio, además, realizó un seguimiento al mes de la intervención y a los seis meses; valorando la correlación entre los cambios en los PEMMs con la mejoría funcional del paciente, medida con el Índice de Barthel modificado para Corea. Se concluyó que la mejoría en los PEMMs durante la cirugía afecta a la mejoría funcional en el primer mes tras la intervención; pero sin cambios significativos respecto al grupo que no tuvo mejoría de los PEMMs intraoperatoria a los 6 meses de la intervención<sup>21</sup>. Como posibles explicaciones para esta recuperación durante la cirugía, se proponen un aumento en la excitabilidad neuronal y un aumento en el aporte sanguíneo medular<sup>21</sup>. Posibles limitaciones de este estudio son el tamaño muestral y la ausencia de análisis de las pruebas de imagen. Estos cambios positivos en los PEMMs podrían deberse a la realización en una cirugía precoz<sup>5</sup>, ya que el momento de realización de la cirugía es especialmente importante en pacientes con MCA<sup>1</sup>.

En 2016, Shin Hye Chang et al.<sup>18</sup> describió los cambios intraoperatorios en los potenciales evocados y los resultados de la cirugía, con una muestra de 190 pacientes. De ellos, 79 pacientes tenían un déficit motor en el preoperatorio (41'57%), que se corrigió en 8 pacientes (10'1%); con un aumento significativo de los déficits motores en el postoperatorio en pacientes con alteraciones motoras ya presentes en el preoperatorio<sup>18</sup>. Nosotros hemos detectado a 87 pacientes con alteraciones preoperatorias (23'90%), siendo alteraciones y/o ausencias en los PEMMs y/o PESSs un total de 64 (17'58%); y con mejoría inmediata en 5 pacientes (1'37%). Asociamos el menor porcentaje de mejoría en nuestro estudio a que Shin Hye Chang et al. realizaron un seguimiento a las 4 semanas; mientras que nosotros solo evaluamos al paciente en el postoperatorio inmediato y durante el ingreso, sin poder documentar la mejoría a medio plazo. Asimismo, se puede deber a que su cohorte de pacientes incluye pacientes intervenidos de todos los niveles medulares, y no sólo de niveles cervicales como nuestro estudio.

Por su parte, Ibrahim et al.<sup>22</sup> analizaron una cohorte de 121 pacientes, donde 7 pacientes tuvieron un *warning* durante la cirugía (5'78%), de los que solo cuatro fueron detectados mediante la monitorización intraoperatoria. En nuestro estudio, 43 pacientes presentaron algún *warning* (11'81%), sin ningún falso negativo. Hay que tener en cuenta que Ibrahim et al. incluyeron en el estudio intervenciones medulares a nivel cervical, torácico y lumbar; siendo 57 pacientes intervenidos en un nivel cervical, sin análisis de los subgrupos por separado.

En estudios referidos únicamente a la monitorización intraoperatoria de columna vertebral cervical, destacan los estudios de Ajiboye et al.<sup>23</sup>, de Dong Gun Kim et al.<sup>24</sup>. Ambos se refieren a la monitorización intraoperatoria en discectomía cervical anterior y fusión, siendo un procedimiento muy común de descompresión medular espinal, y con bajo riesgo de complicaciones. Por ello, el uso de monitorización intraoperatoria en cirugía cervical, y especialmente en discectomía cervical anterior, es controvertido<sup>23</sup>. El primero<sup>23</sup> es un estudio retrospectivo donde se incluyeron pacientes intervenidos entre 2007-2014 en Estados Unidos, con MCA o radiculopatía, donde solo 2.627 pacientes (17'1%) emplearon monitorización intraoperatoria, de los 15.395 intervenidos. Con estos datos, hubo 41 pacientes con un daño neurológico tras 30 días de la cirugía (0'27%), siendo no significativas las variaciones entre los pacientes con monitorización intraoperatoria y sin ésta (0'23% y 0'27% respectivamente,  $p=0'84$ ). Estas tasas de lesión medular postquirúrgica no se corresponden con las tasas reportadas en la bibliografía, ya que algunos estudios hablan de un 4'5% de lesión medular en cirugía de escoliosis<sup>25</sup>, y de hasta un 10% en pacientes en los que se colocan tornillos pediculares<sup>26</sup>. Por ello, es posible que se infraestimen los pacientes con lesiones medulares provocadas durante la cirugía en ausencia de monitorización intraoperatoria.

Por su parte, Dong Gun Kim et al.<sup>24</sup> recogieron de manera prospectiva 200 pacientes intervenidos con la misma técnica, con monitorización de los PEMMs en 177 de ellos (88'5%). De estos 177 pacientes, 12 presentaron *warnings* durante la cirugía (6'8%), de los cuales 9 tuvieron alteraciones persistentes (5'1%) y 6 tuvieron déficits neurológicos motores tras la cirugía (3%), uno de los cuales se sometió a una cirugía adicional por la sospecha de un hematoma. Por ello, en este estudio hablan de que la monitorización intraoperatoria con PEMMs puede ser útil para detectar lesiones medulares durante la cirugía, empleando los PESSs en casos donde los PEMMs no puedan obtenerse<sup>24</sup>. Además, otro estudio de 2015<sup>27</sup> también apoya esta idea a favor de la monitorización intraoperatoria en cirugías poco complejas, empleando como muestra 1.100.000 altas hospitalarias en Estados Unidos, con un 4'9% de empleo de monitorización intraoperatoria. Se reportaron complicaciones neurológicas en el 1'4% de cirugías no monitorizadas frente al 0'8% de cirugías monitorizadas, con un OR de 0'6 al emplear una regresión logística multivariable (IC95% 0'46-0'76,  $p<0'001$ ). Además, destacan las laminectomías como el procedimiento donde más se reduce el riesgo (2'7% vs. 1'7%), siendo las fijaciones anteriores cervicales las de menor reducción (0'2% vs 0'15%). En base a esto, Ney et al. asocian la monitorización intraoperatoria con una menor tasa de complicaciones neurológicas de la cirugía<sup>27</sup>.

Desde nuestro punto de vista, el dato más llamativo de nuestro estudio son los 36 pacientes en los que, una vez detectado el *warning* y tomadas las medidas correctoras pertinentes, no se objetivó un empeoramiento clínico, siendo nuestros "falsos positivos". Esto apoya la recomendación de otros

autores<sup>7,12,18,22,24,27</sup> de emplear la monitorización neurofisiológica intraoperatoria de forma rutinaria para optimizar la seguridad de la cirugía, ya que sus posibles efectos adversos son poco frecuentes<sup>14,15</sup>, su preparación no aumenta de forma llamativa el tiempo intraoperatorio y permite detectar alteraciones funcionales en la médula espinal antes de que se establezca un daño irreversible con su consecuente repercusión clínica. Hay que tener en cuenta la ausencia de evidencia científica con estudios randomizados, ya que plantea problemas éticos al negar a un grupo de pacientes una técnica segura y que permite detectar de forma precoz alteraciones funcionales medulares, previniendo de esa forma lesiones neurológicas postoperatorias temporales o definitivas. Sin embargo, su relación riesgo-beneficio hace que, actualmente, sea una parte esencial de las cirugías que implican a la médula espinal, directa o indirectamente .

## **Conclusión**

La MCA es una de las principales causas de mielopatía cervical, siendo los estudios neurofisiológicos esenciales para su correcto diagnóstico y seguimiento. Como parte de ellos, destacan los PEMMs, por su alta sensibilidad para detectar alteraciones medulares, y por poder emplearse como parte de la monitorización intraoperatoria en cirugía de médula espinal entre otras. Actualmente, su empleo es esencial para garantizar la seguridad de la cirugía, evitando posibles déficits neurológicos de nueva aparición en el postoperatorio al modificar la actitud del cirujano durante la cirugía, y permitir corregir los factores que han desencadenado la alteración de la función medular. Se trata de una técnica segura, que no alarga de forma llamativa el tiempo de la cirugía y con beneficios que sobrepasan sus limitaciones y posibles efectos secundarios, habiendo evitado potenciales lesiones medulares en más del 10% de los pacientes de nuestra serie. Por ello, es recomendable su empleo en las cirugías en las que, potencialmente, pueda haber un daño neurológico.



## **Bibliografía**

1. Bakhsheshian J, Mehta VA, Liu JC. Current Diagnosis and Management of Cervical Spondylotic Myelopathy. *Global Spine J.* 2017;7(6):572-586.
2. Nishida N, Kato Y, Imajo Y, Kawano S, Taguchi T. Biomechanical analysis of cervical spondylotic myelopathy: the influence of dynamic factors and morphometry of the spinal cord. *J Spinal Cord Med.* 2012;35(4):256-61.
3. Brain WR, Northfield D, Wilkinson M. The neurological manifestations of cervical spondylosis. *Brain.* 1952;75(2):187–225.
4. Sadasivan KK, Reddy RP, Albright JA. The natural history of cervical spondylotic myelopathy. *Yale J Biol Med.* 1993;66(3):235-42.
5. Zileli, M., Borkar, S., Sinha, S., Reinas, R., Alves, Ó., Kim, S., Pawar, S., Murali, B. and Parthiban, J. Cervical Spondylotic Myelopathy: Natural Course and the Value of Diagnostic Techniques –WFNS Spine Committee Recommendations. *Neurospine* 2019;16(3):386-402.
6. Mattei TA, Goulart CR, Milano JB, Dutra LP, Fasset DR. Cervical spondylotic myelopathy: pathophysiology, diagnosis, and surgical techniques. *ISRN Neurol.* 2011;2011:463729.
7. de Oliveira Vilaça C, Orsini M, Leite MA, et al. Cervical Spondylotic Myelopathy: What the Neurologist Should Know. *Neurol Int.* 2016;8(4):6330. Published 2016 Nov 23.
8. Deftereos SN. Abnormal central motor conduction at the upper but not lower limbs correlates with severe cervical spondylosis: discussion of an unexpected observation. *Spinal Cord Ser Cases.* 2017;3:17009.
9. Directly measuring spinal cord blood flow and spinal cord perfusion pressure via the collateral network: Correlations with changes in systemic blood pressure Kise Y, Kuniyoshi Y, Inafuju H, Nagano T, Hirayasu T, Tamashiro S. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, Volume 149, Issue 1, 360-366
10. Lyu RK, Tang LM, Chen CJ, Chen CM, Chang HS, Wu YR. The use of evoked potentials for clinical correlation and surgical outcome in cervical spondylotic myelopathy with intramedullary high signal intensity on MRI. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2004;75(2):256-61.

11. Bednarík J, Kadanka Z, Vohánka S, et al. The value of somatosensory and motor evoked potentials in pre-clinical spondylotic cervical cord compression. *Eur Spine J.* 1998;7(6):493-500.
12. Nardone R, Höller Y, Brigo F, Frey VN, Lochner P, Leis S, Golaszewski S, Trinka E. The contribution of neurophysiology in the diagnosis and management of cervical spondylotic myelopathy: a review. *Spinal Cord.* 2016 Oct;54(10):756-766.
13. Mazur MD, White A, McEvoy S, Bisson EF. Transcranial magnetic stimulation of the motor cortex correlates with objective clinical measures in patients with cervical spondylotic myelopathy. *Spine (Phila Pa 1976).* 2014;39(14):1113-20.
14. Plata-Bello J, Pérez-Lorensu PJ, Roldán-Delgado H, Brage L, Rocha V, Hernández-Hernández V, Dóniz A, García-Marín V. Role of multimodal intraoperative neurophysiological monitoring during positioning of patient prior to cervical spine surgery. *Clin Neurophysiol.* 2014 Sep;126(2015):1264-1270.
15. Pajewski TN, Arlet V, Phillips LH. Current approach on spinal cord monitoring: the point of view of the neurologist, the anesthesiologist and the spine surgeon. *Eur Spine J.* 2007;16 Suppl 2(Suppl 2):S115–S129.
16. Imirizaldu L., Urriza J., Olaziregi O., Hidalgo A., Pabón R.M.. Monitorización neurofisiológica intraoperatoria en cirugía de columna. *Anales Sis San Navarra* [Internet]. 2009 [citado 2019 Nov 10]
17. Pérez-Orribo L, Pérez-Lorensu PJ, Roldán-Delgado H, García-Conde M, Spreáfico M, García-Marín V. Monitorización neurofisiológica intraoperatoria de la médula espinal: nuestra experiencia. *Rev Neurol* 2008;47 (05):236-241
18. Chang SH, Park YG, Kim DH, Yoon SY. Monitoring of Motor and Somatosensory Evoked Potentials During Spine Surgery: Intraoperative Changes and Postoperative Outcomes. *Ann Rehabil Med.* 2016;40(3):470–480.
19. Di Martino A, Papalia R, Caldaria A, Torre G, Denaro L, Denaro V. Should evoked potential monitoring be used in degenerative cervical spine surgery? A systematic review. *J Orthop Traumatol.* 2019;20(1):19. Published 2019 Apr 2.
20. Lee BH, Lee KH, Yoon DH, et al. Effects of methylprednisolone on the neural conduction of the motor evoked potentials in spinal cord injured rats. *J Korean Med Sci.* 2005;20(1):132–138.

21. Park MK, Lee SJ, Kim SB, et al. The effect of positive changes during intraoperative monitoring of the functional improvement in patients with cervical compressive myelopathy. *Clin Interv Aging*. 2018;13:1211–1218. Published 2018 Jul 5.
22. Ibrahim T, Mrowczynski O, Zalatimo O, et al. The Impact of Neurophysiological Intraoperative Monitoring during Spinal Cord and Spine Surgery: A Critical Analysis of 121 Cases. *Cureus*. 2017;9(11):e1861. Published 2017 Nov 19.
23. Ajiboye RM, D'Oro A, Ashana AO, et al. Routine Use of Intraoperative Neuromonitoring During ACDFs for the Treatment of Spondylotic Myelopathy and Radiculopathy Is Questionable: A Review of 15,395 Cases. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2017;42(1):14–19.
24. Kim DG, Jo SR, Park YS, et al. Multi-channel motor evoked potential monitoring during anterior cervical discectomy and fusion. *Clin Neurophysiol Pract*. 2017;2:48–53. Published 2017 Jan 9.
25. Schwartz DM, Auerbach JD, Dormans JP, Flynn J, Drummond DS, Bowe JA, et al. Neurophysiological detection of impending spinal cord injury during scoliosis surgery. *J Bone Joint Surg Am* 2007; 89: 2440-9.
26. Holland NR, Kostuik JP. Continuous electromyographic monitoring to detect nerve root injury during thoracolumbar scoliosis surgery. *Spine* 1997; 22: 2547-50.
27. Ney JP, van der Goes DN, Nuwer MR. Does intraoperative neurophysiologic monitoring matter in noncomplex spine surgeries?. *Neurology*. 2015;85(24):2151–2158.

## **¿Qué he aprendido con la realización de este trabajo?**

Lo principal que he aprendido durante la realización de este Trabajo de Fin de Grado ha sido a seguir una sistemática de trabajo ya que, una vez implementada, me ha permitido ser más eficiente durante el proceso de realización. También he aprendido a trabajar de forma autónoma para cumplir los objetivos que me proponían los tutores, siendo crítica con mi trabajo y aceptando las correcciones que me han ido realizando; y a realizar una revisión sistemática de la literatura con la posterior síntesis de conocimientos. Quiero destacar también la adquisición de conocimientos en el campo de la Neurocirugía y la Neurofisiología Clínica, ambos campos relativamente desconocidos durante la carrera (en especial este último), y que espero emplear en mi ejercicio profesional.