

# Introdução ao Monitoramento Neurofisiológico Intraoperatório para Anestesiastas

Heidi Yu Wing-hay<sup>1†</sup>, Eric Chung Chun-kwong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Residente, Departamento de Anestesia, Hospital Queen Mary, Hong Kong

<sup>2</sup>Consultor Associado, Departamento de Anestesia, Hospital Queen Mary, Hong Kong

Editado por: Dra. Clara Poon Ching-Mei, Consultora Associada, Departamento de Anestesia, Hospital Queen Mary, Hong Kong

†Autor Correspondente e e-mail: heidiyuwinghay@gmail.com

Publicado em 5 de fevereiro de 2019



## PONTOS-CHAVE E OBJETIVOS

- O monitoramento neurofisiológico intraoperatório (MIO) pode potencialmente reduzir o risco de lesão às estruturas neurais durante a cirurgia.
- Há diferentes modalidades de MIO, cada uma monitorando uma via neural diferente.
- Uma boa compreensão das interações entre MIO e anestesia permite que o anestesiasta adapte o regime anestésico para otimizar os sinais de MIO.
- As alternâncias de sinais de MIO podem significar lesão neurológica em curso, que pode estar relacionada a fatores cirúrgicos, anestésicos e fisiológicos.
- Uma resposta coordenada e precoce da equipe à mudança de sinal de MIO é a chave para uma gestão bem-sucedida da lesão neural.

## INTRODUÇÃO

O monitoramento neurofisiológico intraoperatório (MIO) está evoluindo em direção a um padrão de cuidado a fim de minimizar o risco de lesão às vias neurais durante procedimentos neurocirúrgicos. Sua importância reside não apenas em diagnosticar a lesão, mas também em criar uma janela de oportunidade para salvar tecidos neurais sob risco antes que o dano se torne irreversível. Para maximizar seu valor, é essencial que equipe cirúrgica tenha uma compreensão básica dos princípios de neuromonitoramento e que o anestesiasta entenda como isso pode ser afetado pela anestesia. Existem numerosas modalidades no arsenal de MIO, e elas podem ser classificadas em 2 tipos:

1) detecção de atividade espontânea, como eletroencefalografia (EEG) e eletromiografia (EMG), e 2) medição de resposta elétrica evocada de uma via neural específica após estimulação ativa. Exemplos do último tipo incluem o potencial evocado somatossensorial (PESS), potencial evocado motor (PEM) e potencial evocado auditivo do tronco encefálico (PEATE). Essas modalidades podem ser usadas isolada ou combinadamente, dependendo das estruturas que estão sob risco durante a cirurgia. Neste tutorial, discutiremos os princípios básicos das modalidades de MIO mais utilizadas, os fatores que afetam os sinais de MIO, e abordagens clínicas para abordar as mudanças de sinal.

## PORQUE DEVEMOS CONSIDERAR O NEUROMONITORAMENTO INTRAOPERATÓRIO?

O neuromonitoramento intraoperatório pode ser útil no período perioperatório para pacientes com alto risco de desenvolver

---

Há um teste online disponível para Educação Médica Contínua (EMC) autodidata. Estima-se que leva 1 hora para concluí-lo. Por favor, registre o tempo gasto e relate-o ao seu órgão de reconhecimento se você quiser solicitar pontos de EMC. Um certificado será entregue a quem passar no teste. Por favor, consulte a política de reconhecimento [aqui](#).

Assine os tutoriais ATOTW visitando [www.wfsahq.org/resources/anaesthesia-tutorial-of-the-week](http://www.wfsahq.org/resources/anaesthesia-tutorial-of-the-week)

complicações neurológicas decorrentes da cirurgia. Os mecanismos da lesão incluem a perturbação mecânica direta causada por manobras cirúrgicas, lesão térmica causada por coagulação cirúrgica, lesão por pressão causada pelo posicionamento do paciente, e isquemia devido a hipoperfusão local ou global.

1. Alta sensibilidade e especificidade (isto é, baixa taxa de falsos negativos e falsos positivos)
2. Rápido tempo de resposta (responsivo a mudanças na condição do paciente)
3. Capaz de detectar lesão ao tecido com antecedência suficiente para permitir que sejam feitas intervenções terapêuticas antes que ocorra dano irreversível
4. Ajuda a esclarecer metas fisiológicas
5. Fornece um prognóstico para orientar o cuidado subsequente

**Tabela 1.** Características de uma boa modalidade de MIO

Por causa de variações anatômicas e fisiológicas em colaterais vasculares, anomalias, dominância, autorregulação neurovascular e reserva, a tolerância isquêmica varia enormemente entre os indivíduos. Um exemplo pode ser visto entre pacientes que exibem dependência de derivação (“shunt”) variável durante endarterectomias. Além disso, a natureza da cirurgia pode expor os pacientes a diferentes graus de lesão neural direta ou compromisso vascular. Fatores sistêmicos como anemia, hipotensão e hipóxia podem contribuir para lesões secundárias.

Apesar dessas amplas diferenças em suscetibilidades neurais, o MIO é uma opção atraente para se determinar o bem-estar do sistema nervoso em tempo real. A Tabela 1 resume as características ideais de uma modalidade de MIO. Resultados falso-negativos refletem uma falha genuína do MIO, potencialmente levando a danos neurais não percebidos e consequências devastadoras. Resultados falso-positivos podem desencadear intervenções desnecessárias que podem trazer seus próprios riscos.

Exemplos de uso comum de modalidades de MIO em várias cirurgias são mostrados na Tabela 2.

Nos primeiros dias de seu desenvolvimento, o MIO era ocasionalmente realizado por anestesiistas. Agora é mais comumente feito por neurofisiologistas dedicados, que, junto com os anestesiistas, cirurgiões e pessoal cirúrgico, formam uma equipe intraoperatória multidisciplinar. O sucesso do MIO depende da estreita colaboração dentro da equipe: 1) clara compreensão comum da localização, natureza e tempo de possível lesão neurológica, para que se possa escolher modalidades de monitoramento adequadas. 2) minimização de interferência anestésica e técnica na obtenção do sinal; 3) reconhecimento e interpretação precoces de mudança de sinal de MIO; 4) comunicação clara de mudanças de sinal de MIO à equipe intraoperatória; e 5) resposta imediata e coordenada da equipe multidisciplinar à mudança do sinal.

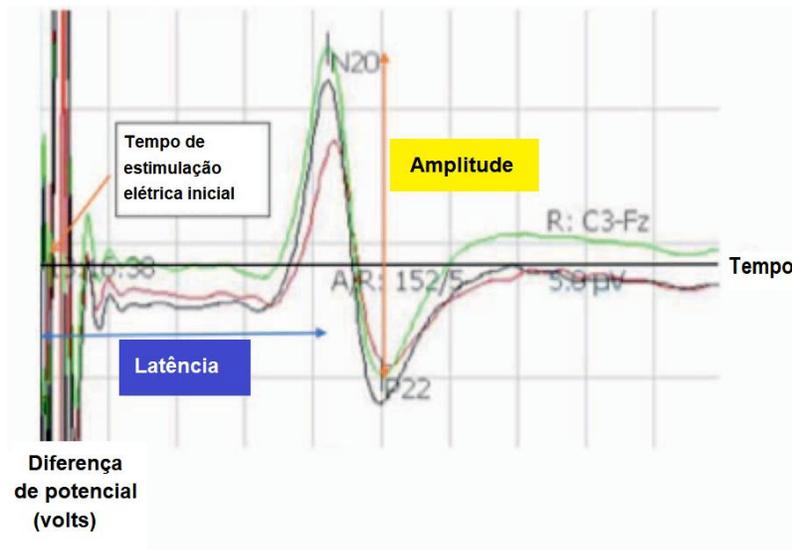
Tipo de cirurgia	Modalidades de MIO comumente usadas
Cirurgias intracranianas ou vasculares envolvendo vias corticais/subcorticais ou seus suprimentos sanguíneos <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ressecção de tumor intracraniano/malformação arteriovenosa</li> <li>2. Cirurgias vasculares envolvendo sistemas carotídeos (p.ex.: endarteriectomia da carótida, cirurgia reconstrutiva de cabeça e pescoço, cirurgia de aneurisma do arco aórtico)</li> </ol>	Potenciais evocados somatossensoriais (PESS) Potenciais evocados motores (PEM)
Cirurgia da fossa posterior, ângulo cerebelopontino, ou tronco cerebral	Potenciais evocados auditivos do tronco encefálico (PEATE)
Cirurgia com risco de lesão direta à medula espinhal/raízes ou risco de comprometimento de seu suprimento sanguíneo. <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Remoção de tumor espinhal intramedular / extramedular / intradural</li> <li>2. Cirurgia de deformidade da coluna</li> <li>3. Trauma da coluna</li> <li>4. Outras cirurgias descompressivas da coluna</li> <li>5. Embolização de tumores vasculares/malformação arteriovenosas da medula espinhal</li> <li>6. Reparo de aneurisma toracoabdominal</li> </ol>	Potenciais evocados somatossensoriais (PESS) Potenciais evocados motores (PEM) Eletromiografia (EMG desencadeada/spontânea)

Cirurgia perto dos nervos cranianos ou periféricos

1. Cirurgia da parótida (perto do nervo facial)
2. Cirurgia da tireoide (perto do nervo laríngeo recorrente)
3. Ressecção cirúrgica de schwannoma vestibular (perto do nervo facial e nervos cranianos inferiores)

Eletromiografia (EMG desencadeada/espontânea)

**Tabela 2.** Exemplos de modalidades de MIO usadas em vários procedimentos cirúrgicos.



**Figura 1.** Exemplos de uma resposta evocada. Latência (unidade: segundos) e amplitude (unidade: volts) são parâmetros importante na descrição de potenciais evocados.

## POTENCIAIS EVOCADOS

No monitoramento de potencial evocado, a via neural é investigada aplicando-se estimulação elétrica em uma das extremidades da via, com a resposta sendo medida na outra extremidade na forma de uma diferença de potencial (volts). Espera-se que respostas evocadas surjam dentro de um certo período (latência) a partir da estimulação e exibam uma certa força (amplitude) e padrão (Figura 1). Essas características são importantes na descrição da resposta evocada. Qualquer diminuição de amplitude, aumento da latência ou mudança importante no padrão sugere possível comprometimento de tecido neural.

### Potenciais Evocados Somatossensoriais (PESS)

Os PESS são uma das modalidades mais comumente realizadas, e monitoram as vias sensoriais ascendentes por meio de estimulação elétrica transcutânea de um nervo periférico.<sup>1</sup> Os sinais elétricos viajam até a raiz dorsal do nervo após a estimulação e sobe pela medula espinhal por meio das colunas dorsais. Ele faz a sinapse na junção cervicobulbar e cruza, subindo para o tálamo e finalmente, para o córtex sensorial (Figura 2). Os PESS de membros superiores são geralmente gerados a partir da estimulação do nervo mediano ou ulnar no punho, enquanto os PESS de membros inferiores são a partir da estimulação do nervo tibial posterior no tornozelo ou fossa poplíteia. Os sinais resultantes serão registrados em várias estações ao longo da via e sua média calculada após várias estimulações. As localizações padrão dos eletrodos incluem o ponto de Erb, a fossa poplíteia (“PESS periféricos”), a coluna cervical (“PESS subcorticais”), e o córtex somatossensorial (“PESS corticais”; Figura 3). Pode ser realizado continuamente durante o procedimento e dar um monitoramento próximo ao tempo real da via sensorial.

O PESS tem sido usado há muito tempo para monitorar a função da coluna dorsal e sua integridade durante cirurgia de escoliose, e é cada vez mais usado em cirurgias maiores da coluna ou aorta, quando a chance de lesão da medula espinhal é significativa. Tem uma vantagem adicional de detectar o mau posicionamento dos membros superiores, causando lesão do plexo braquial, que pode se manifestar como uma perda de sinal cruzando o ponto de Erb. Também é uma modalidade mais comumente escolhida para monitorar a perfusão da artéria cerebral média ou artéria cerebral anterior durante endarterectomias da carótida e procedimentos neurocirúrgicos.

## Potenciais Evocados Motores (PEM)

O PEM é usado para monitorar a integridade dos tratos córtico-espinhal e córtico-bulbar descendentes. Começa com a estimulação do córtex motor, e a atividade elétrica desce ao longo dos tratos motores e faz a sinapse no corno anterior da medula espinhal ou núcleos de nervos cranianos.<sup>2</sup> Em seguida, viaja ao longo de um nervo periférico ou craniano, cruzando a junção neuromuscular para produzir contração muscular (Figura 4). O PEM pode ser provocado ou por estimulação elétrica transcraniana (EETC) através do couro cabeludo ou estimulação elétrica direta (EED) sobre o cérebro. A EETC é usada para monitoramento funcional do sistema motor, enquanto a EED fornece uma resolução espacial mais alta do córtex motor e tratos subcorticais, e é usada para mapeamento motor intraoperatório.

Ao nível espinhal, as respostas evocadas podem ser medidas nos espaços epidural ou intratecal como ondas D (diretas) ou I (indiretas). As ondas D são picos negativos que se supõe serem provocados por ativações diretas de fibras córtico-espinhais, com picos subsequentes chamados de ondas I. Contudo, os potenciais de ação muscular composto (PAMCs) nos músculos efetores são mais comumente medidos por causa de sua sensibilidade, especificidade, e invasividade mínima.

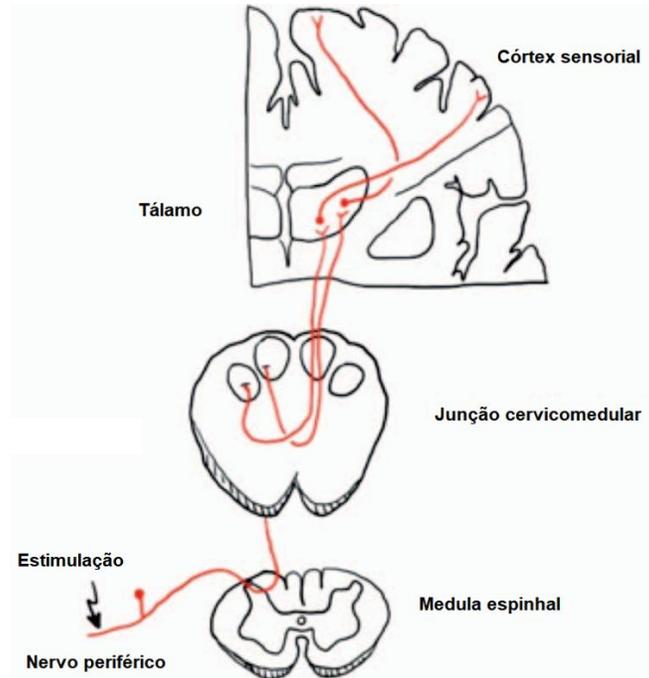
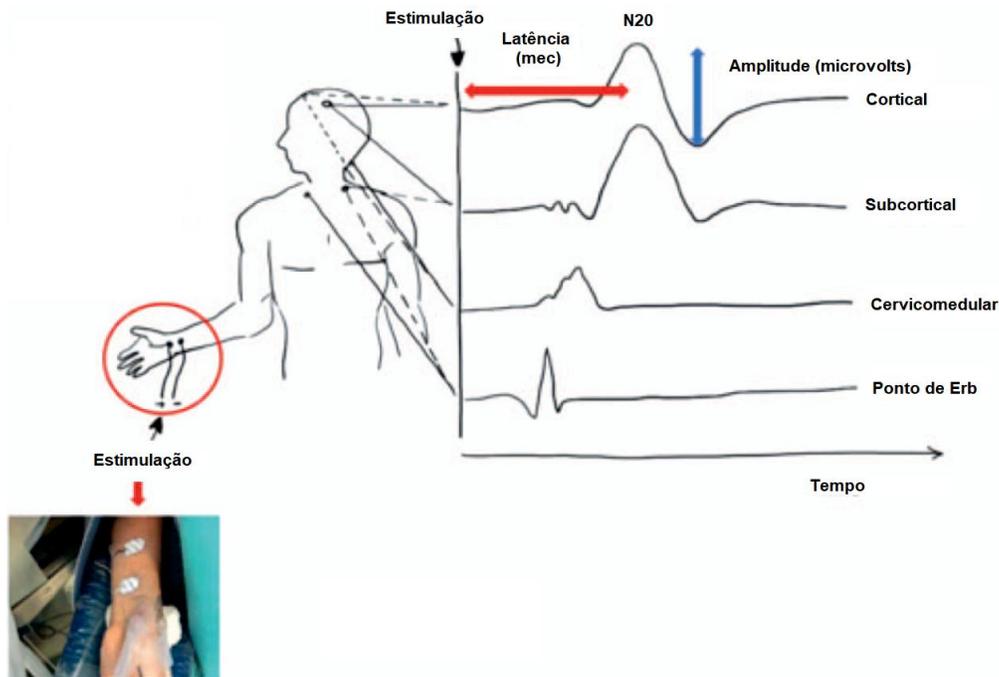
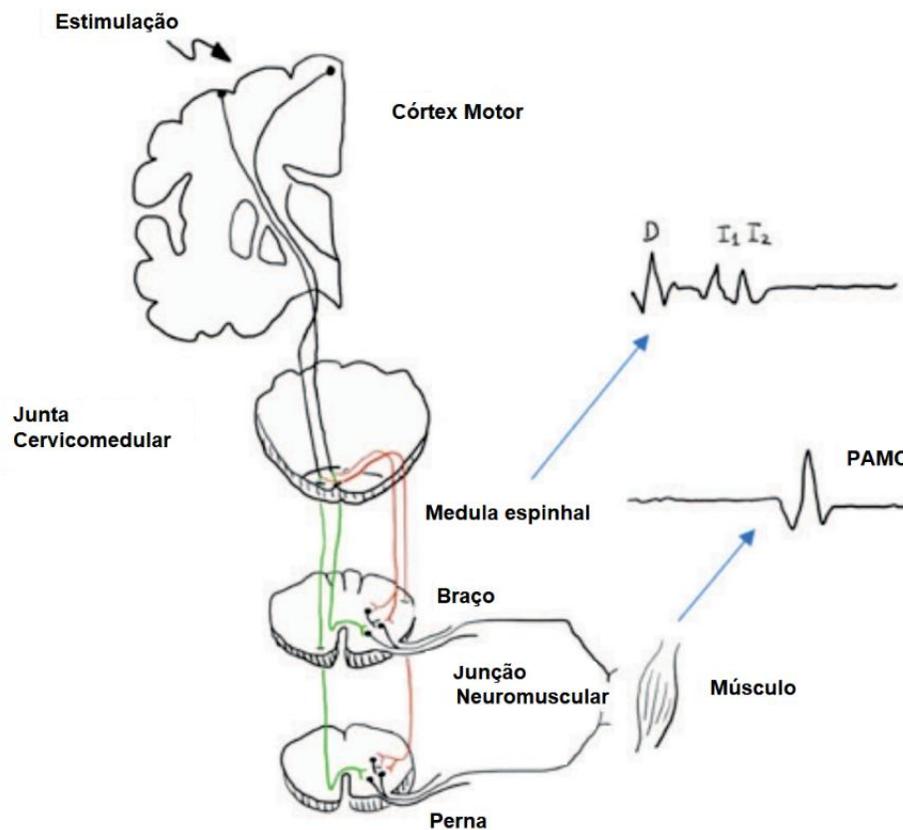


Figura 2. Via sensorial ascendente monitorada por PESS.

Essas são as atividades elétricas dentro dos músculos efetores, resultando da ativação síncrona dos neurônios motores correspondentes dentro de um feixe nervoso. Os eletrodos registradores são geralmente colocados em músculos selecionados inervados por regiões cerebrais, raízes nervosas, ou nervos cranianos que foram julgados sob risco. Locais comumente monitorados nas extremidades incluem os músculos da região tenar, tibial anterior e abductor do hálux.



**Figura 3.** Colocação de eletrodos de PESS para membro superior (nervo mediano no punho [circulado]) e as formas de onda resultantes. A nomenclatura que é usada para os picos e vales das formas de onda de PESS usa N e P, respectivamente, para designar a polaridade do sinal registrado (negativo é para cima, positivo é para baixo), e uma integral para denotar a latência nominal pós-estímulo do sinal em adultos normais. O sinal proeminente de PESS cortical para o membro superior é o pico N20 (desvio para cima em cerca de 20ms) e, para o membro inferior, é o N45.



**Figura 4.** Via motora monitorada por PEM com forma de onda registrada do nível da medula (ondas D e I) e nível muscular (PAMC). Estimulação do córtex motor gera potenciais evocados que se propagam pelo cérebro e medula espinhal para causar contração muscular. A resposta é tipicamente registrada perto do músculo como um potencial de ação muscular composta (PAMC). A resposta também pode ser

registrada sobre a coluna espinhal com uma onda D seguida de uma série de ondas I (descargas repetitivas de alta frequência a partir das fibras córtico-espinhais). Ao nível da medula espinhal, a maioria das fibras motoras residem no trato córtico-espinhal lateral (via vermelha) após o cruzamento no nível do tronco encefálico. O trato córtico-espinhal anterior (via verde) contém menos tratos motores.

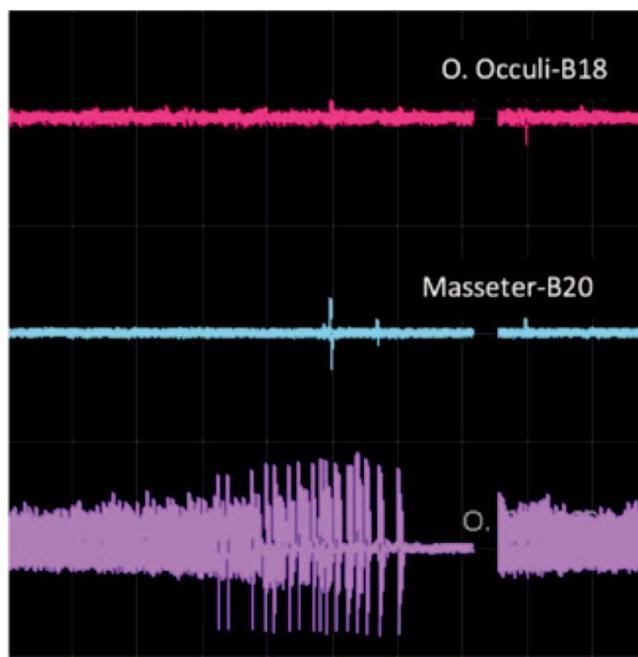
Uma desvantagem dos PEMs é que eles são realizados apenas em intervalos e, por isso, representam um risco potencial para a detecção tardia da lesão neural.

Déficits motores são uma morbidade significativa após a cirurgia, e o PEM pode ser usado se a via motora estiver sob risco. Os neurônios motores têm uma alta demanda metabólica, e, ao nível espinhal, são nutridas apenas por uma única artéria espinhal anterior com reforço variável das artérias espinho-medulares. O PEM é usado em cirurgias maiores da coluna ou intracraniais para detectar lesão mecânica ou isquêmica ao longo do trato ou na terminação nervosa motora. É geralmente usado em conjunto com PESS para monitoramento da medula espinhal, já que, juntos, eles cobrem grosseiramente a medula espinhal de modo anteroposterior. Também tem um papel na cirurgia aórtica, na qual a circulação espinhal anterior pode ser comprometida devido a insuficiências da artéria espinho-medular (p. ex.: oclusão da artéria de Adamkiewicz).

## Potencial Evocado Auditivo do Tronco Encefálico (PEATE)

O PEATE é usado para monitorar o nervo vestibulococlear (nervo craniano VIII) e função do tronco encefálico.<sup>3</sup> O estímulo acústico é entregue por um dispositivo no canal auditivo. Os sinais elétricos, gerados pelo coclear, viajam ao longo do nervo vestibulococlear até o núcleo e várias estruturas do tronco encefálico. A resposta é registrada por um eletrodo colocado na mastoide ou lóbulo da orelha.

O PEATE é usado durante cirurgias da fossa posterior (p.ex.: excisão de schwannoma vestibular, descompressão microvascular para espasmo hemifacial ou neuralgia trigeminal) para avaliar a função do tronco encefálico e de audição, que podem ser comprometidas como resultado de tração cerebelar, lesão vascular (p.ex.: lesão da artéria cerebelar inferior posterior), ou lesão mecânica direta ou térmica do nervo vestibulococlear e tronco encefálico.



**Figura 5.** (Dois traços superiores) atividade normal de EMG espontânea em paciente sob anestesia geral. (Traço inferior) Descarga neurotônica durante irritação nervosa.

Nervos Cranianos	Músculos Inervados
III, IV, VI	Músculos extraoculares
V	Masseter, temporal
VII	Orbicular do olho, orbicular da boca, mental, ventre frontal
IX	Estilofaríngeo
X	Músculos faríngeos e laríngeos
XI	Esternocleidomastóideo, trapézio
XII	Língua

**Tabela 3.** PAMC de músculo-alvo medido em monitoramento por EMG de nervo craniano diferente

## ELETROMIOGRAFIA

A EMG intraoperatória monitora os nervos cranianos motores, nervos espinhais ou periféricos sob risco olhando para os PAMCs espontâneos ou evocados dos músculos efetores correspondentes.<sup>4</sup>

A EMG espontânea registra atividades elétricas livres dos músculos, que normalmente são de baixa frequência e amplitude. Quando o nervo é esticado ou irritado, serão produzidas descargas neurotônicas de alta frequência, que alertam a equipe cirúrgica quanto a potencial dano ao nervo motor (Figure 5). A ausência de tais descargas (isto é, uma “resposta negativa”) sugere ou um nervo intacto ou denervação total perturbando toda a condução nervosa.

A EMG provocada, por outro lado, é produzida por estimulação direta e intencional de nervos periféricos ou cranianos, com o PMAC resultante registrado a partir dos músculos inervados correspondentes (Tabela 3). Um PMAC positivo de uma estimulação aplicada apropriadamente ajudará a identificar estruturas nervosas quando a diferenciação visual for difícil (p.ex.: devido a invasão tumoral) e a confirmar a integridade do nervo distal à estimulação. Uma aplicação comum da EMG provocada é o mapeamento e monitoramento do nervo facial durante ressecção de schwannoma vestibular ou tumor da parótida.

## ANESTESIA E MIO

Há considerações anestésicas especiais com o MIO.

1. Muitos agentes anestésicos produzem supressão dependente de dose de potenciais evocados, tornando essencial que os anestesistas escolham um regime compatível com as modalidades de MIO propostas.

Agentes Anestésicos	PESS	PEM
Agentes voláteis	Suprimido acima de 1 concentração alveolar mínima	Suprimido
Propofol	Inalterado	Inalterado
Barbitúricos	Inalterado	Suprimido
Benzodiazepina	Inalterado na dose de pré-medicação	Inalterado
Cetamina	Aumentado	Aumentado
Etomidato	Resposta cortical aumentada	Inalterado
Opioides	Inalterado	Inalterado

**Tabela 4.** Efeito de Agentes Anestésicos sobre o PESS e PEM

2. Os anestesistas devem fornecer um meio fisiológico e anestésico estável para facilitar a interpretação significativa das mudanças de sinal e precisa orientação cirúrgica.
3. Quando for confirmada uma mudança verdadeira do sinal, os anestesistas devem estar atentos para potenciais causas não-cirúrgicas de lesão neural e estar prontos para agir prontamente a fim de aliviar danos futuros e lesões secundárias.
4. Usar o MIO pode representar risco ao paciente. Os anestesistas devem tomar precauções adequadas (veja a seção “Complicações com MIO e Precauções” abaixo).

## Agentes Anestésicos

A maioria dos agentes anestésicos alteram a função neural produzindo depressão dependente de dose em atividades sinápticas. Geralmente, agentes inalatórios têm mais efeito sobre os potenciais evocados do que agentes anestésicos intravenosos (Tabela 4). A escolha e dose desses agentes hipnóticos devem ser adaptadas à modalidade usada.

### Agentes Voláteis

Agentes inalatórios causam uma diminuição de amplitude e aumento dependente de dose da latência de respostas evocadas. Para PESS, tais efeitos são mais destacados nas respostas corticais do que em respostas subcorticais e periféricas. PESS adequados geralmente podem ser registrados em concentração alveolar mínima  $<1$ . Contudo, para pacientes com deficiência neurológica basal ou neuropatia decorrente de doença sistêmica, níveis mais baixos de agentes inalatórios podem abolir os potenciais e tornar o monitoramento impossível. O PME é afetado por concentrações ainda mais baixas de agentes voláteis, pois eles suprimem a excitabilidade do neurônio motor inferior mais profundamente. Os PEATEs e a EMG são resistentes a agentes inalatórios.

### Agentes Intravenosos

Os sinais de PESS não são afetados por altas doses de barbitúricos, enquanto os sinais de PEM são sensíveis aos barbitúricos. Os benzodiazepínicos usados em doses de pré-medicação não suprimiriam PESSs e PEMs. A cetamina pode aumentar as respostas de PESS e PEM, o que pode ser benéfico para o monitoramento quando usado para suplementar anestesia e analgesia. O etomidato pode aumentar a amplitude dos registros de PESS cortical sem afetar os potenciais evocados periféricos ou respostas subcorticais. Há estudos limitados sobre o efeito da dexmedetomidina sobre potenciais evocados. Os PESSs e PEMs mostram-se registráveis em doses clínicas baixas, mas os registros de PEM podem se perder em doses mais altas.

Conhecido por seu perfil farmacocinético e titulabilidade favoráveis, o propofol suprime PESSs e PEMs de maneira dependente da dose, mas em grau muito menor, permitindo medições adequadas em doses clínicas comumente usadas. É considerado o agente anestésico preferido para facilitar o MIO, especialmente quando é utilizado o monitoramento de PEM.

Todos os agentes anestésicos levam um tempo para se equilibrarem após a dose de ajuste. Portanto, não é desejável alterar a dose desnecessariamente durante os passos críticos da cirurgia, já que isso pode confundir a interpretação dos sinais de MIO.

### Opioides

Os potenciais evocados podem ser registrados até mesmo em doses muito altas de opioides, então, as infusões de opioides potentes de ação curta, como o remifentanil, são comumente usadas para reduzir as exigências anestésicas durante procedimentos cirúrgicos envolvendo o monitoramento de potenciais evocados.

## Relaxantes Musculares

O monitoramento de PEM e de EMG é afetado por relaxantes musculares, que inibem atividades elétricas nas junções neuromusculares, afetando o registro de sinais conforme a contração muscular não pode mais ser gerada mediante estimulação neural.

Se o registro de PEM ou EMG é necessário logo após a intubação endotraqueal, pode-se administrar uma dose cautelar de relaxante muscular de ação curta antes da laringoscopia e permitir que se efeito passe antes de começar o monitoramento. Se necessário, agentes de reversão também podem ser dados antes do monitoramento. A intubação sem bloqueadores neuromusculares é possível com profundidade anestésica adequada por infusão de propofol e remifentanil.

Ocasionalmente, um leve grau de bloqueio neuromuscular é desejável em algumas cirurgias que também monitoram PEM ou EMG. Por exemplo, o relaxamento dos músculos paraespinhais geralmente facilita a dissecação inicial durante cirurgia de correção da escoliose. Se um relaxante muscular tiver que ser usado intraoperatoriamente enquanto se monitora o PEM ou a EMG, o nível de paralisia deve ser cuidadosamente controlado e monitorado, idealmente orientado por um estimulador nervoso com acelerômetro, ao invés de inspeção visual. O bloqueio neuromuscular deve ser mantido em um nível estável e

leve durante todo o período de monitoramento com uma infusão de bloqueador neuromuscular, visando não mais de duas contrações em sequência de quatro estímulos (“train-of-four”).

Com as técnicas anestésicas atuais (p.ex. anestesia intravenosa total com infusão de propofol e remifentanil), é possível evitar completamente o uso de bloqueadores neuromusculares na maioria dos casos, fornecendo um ambiente anestésico para um registro de PEM e EMG mais confiável.

## Parâmetros Fisiológicos

Vários fatores fisiológicos podem afetar o monitoramento de potencial evocado. Um suprimento inadequado de oxigênio para não consiga satisfazer a demanda metabólica dos tecidos neurais é a principal causa de mudanças patológicas de sinal vistas em potenciais evocados (p.ex.: aumento de latência e diminuição de amplitude). O suprimento de oxigênio para o cérebro depende de conteúdo adequado de oxigênio no sangue e de perfusão cerebral apropriada, que, por sua vez, é afetada pela pressão arterial sistêmica e calibre dos vasos intracranianos.

- *A redução da pressão sistêmica ou regional* pode deprimir o monitoramento de potencial evocado cortical. O aumento de latência e queda da amplitude do PESS e PEM estão associados a uma redução no fluxo de sangue cerebral e possíveis eventos embólicos. Pacientes com perfusão basal cerebral ou espinhal normal ou autorregulação prejudicada estão sob maior risco de isquemia com flutuações do fluxo sanguíneo.
- *A hiperventilação* e a hipocapnia resultante podem comprimir a vasculatura cerebral e diminuir a entrega de oxigênio. O efeito é mais significativo em pacientes com anatomia vascular comprometida ou quando a autorregulação compensatória já está maximizada.
- *A anemia e a hipoxemia* reduzem o conteúdo de oxigênio no sangue. A latência de potenciais evocados começa a aumentar e a amplitude diminui quando os hematócritos caem de 10% a 15%. A mudança de sinal de MIO pode ocorrer em um nível mais alto de hematócritos se houver uma hipoperfusão concomitante.

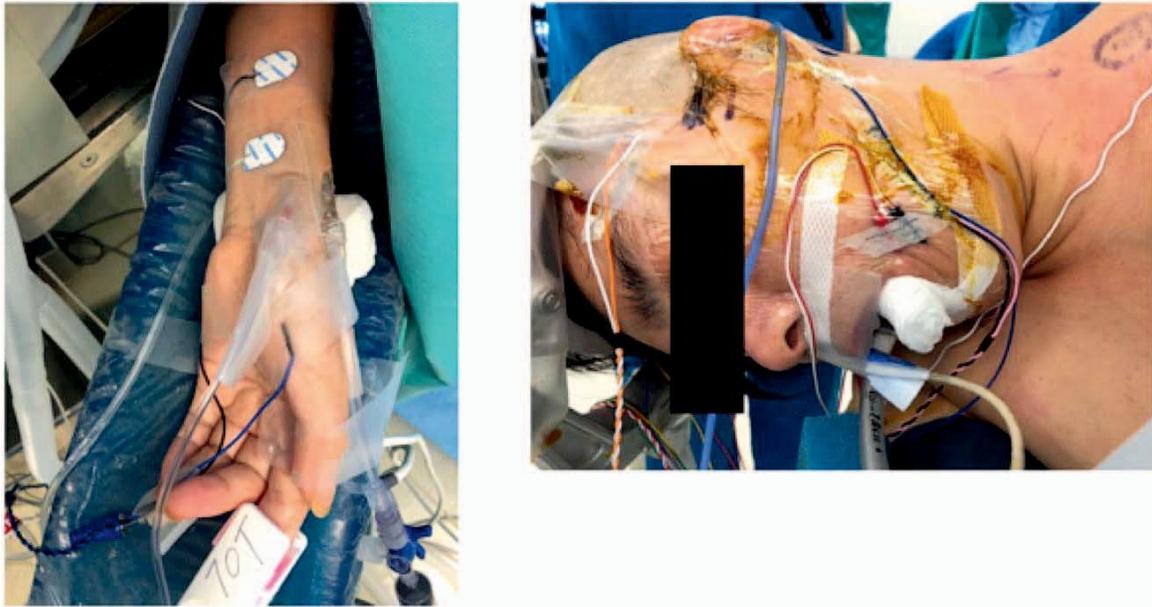
A hipotermia diminui as velocidades de condução dos nervos central e periférico, aumentando, assim, a latência do PESS. Portanto, a temperatura central deve ser mantida dentro de cerca de 2°C da linha basal. A hipotermia regional, por exemplo, ao expor a medula espinhal ou o ângulo cerebelopontino à irrigação fria, também pode afetar o monitoramento de potencial evocado. O resfriamento de membro (p.ex.: por infusão fria de fluidos) pode aumentar o limiar de estimulação de PESS nessa extremidade e alterar o grau de estimulação de nervos periféricos.

O posicionamento do paciente para cirurgia pode causar comprometimento vascular ou neurológico, levando a mudanças de sinal. Por exemplo, a posição lateral do paciente pode causar compressão direta do plexo braquial ou insuficiência vascular do braço dependente. A flexão do pescoço para cirurgias espinhais ou da fossa posterior pode causar pressão mecânica na medula, nos nervos, ou em vasos importantes, especialmente se essas estruturas já estiverem pré-dispostas por causa de patologias subjacentes. Em pacientes com alto risco de lesão neural posicional, pode ser desejável medir os potenciais evocados antes e após o posicionamento do paciente. Se os potenciais diminuem após a adoção da posição de operação, a postura do paciente deve ser reajustada antes que a cirurgia comece. Também é importante notar que a lesão neural posicional pode levar a mudanças de sinal de maneira gradual e insidiosa; por isso, deve permanecer como um diagnóstico diferencial de mudança intraoperatória de sinal.

## COMPLICAÇÕES COM MIO E PRECAUÇÕES

Durante a estimulação de PEMs, os músculos de mastigação são ativados e isso pode resultar em lesão por mordida caso bloqueadores de mordida não sejam meticulosamente colocados.<sup>5</sup> Tanto as estimulações de PESS quanto as de PEM resultarão em movimento do paciente, especialmente quando a corrente de estimulação é alta. Se o paciente se mover vigorosamente durante a aquisição de PEM, os anestesistas devem informar os neurofisiologistas para checar se uma corrente de estimulação mais baixa pode ser usada. Qualquer movimento do paciente pode ser devastador se ocorrer durante um estágio crítico da cirurgia (p.ex.: aplicação de grampos durante cirurgia de aneurisma intracraniano). Por isso, uma boa comunicação entre os anestesistas, cirurgiões e neurofisiologistas é extremamente importante. Durante a aquisição de PESS em um paciente não-paralisado, os movimentos de membros distais também podem afetar a medição da pressão arterial ou do oxímetro de pulso se a linha arterial ou o oxímetro de pulso estiverem na mesma extremidade.

Eletrodos de agulhas subdérmicas podem ser colocados bem próximos do acesso vascular (Figura 6) ou até mesmo do tubo endotraqueal (p. ex., durante monitoramento dos nervos cranianos VII, IX, X e XII), então, a comunicação com o neurofisiologista é desejável quando da colocação e reajuste desses eletrodos intraoperatoriamente. As diretrizes locais sobre manuseio e descarte seguros de objetos cortantes deve ser seguido, pois os eletrodos do tipo “saca-rolhas” ou de agulha subdérmica podem estar contaminados com o sangue do paciente. Quando da remoção dos eletrodos, os locais devem ser comprimidos até que se atinja a hemostasia.



**Figura 6.** (A) As agulhas hipodérmicas usadas para PEM de membro superior e o eletrodo percutâneo para estimulação do nervo mediano (PESS de membro superior) podem estar bem próximas das linhas arteriais e acesso vascular periférico, e (B) aqueles usados para monitoramento de nervo craniano podem estar próximos da via aérea do paciente.

## GESTÃO DA MUDANÇA DE SINAL DE MIO

É importante que um meio fisiológico e anestésico ideal e estável esteja presente durante a aquisição de uma leitura basal, pois isso será consultado durante o restante do procedimento. Existem diferentes critérios sobre o que constitui uma mudança de sinal significativa, em parte por causa das variações em protocolos de estudo, regime anestésico e configuração de neuromonitoramento. Uma perda total verdadeira e súbita de sinais sempre deve acarretar intervenções de solução, enquanto uma redução de 50% na amplitude e um aumento de 10% na latência para sinais evocados são considerados significativos e devem ser comunicados à toda a equipe cirúrgica (anestesiologistas, cirurgiões e pessoal de neuromonitoramento) de forma que a causa possa ser identificada e tratada prontamente para prevenir danos adicionais aos tecidos nervosos.

Quando uma mudança significativa de sinal é detectada, a persistência desta mudança deve ser confirmada, e questões técnicas (falso-positivos) devem ser descartadas. Isso pode envolver a repetição dos potenciais evocados, certificando-se de que os parâmetros tanto de registro quanto de estimulação estejam corretos, ou fazendo a verificação cruzada com outras modalidades em busca de mudanças associadas.

A gestão varia dependendo da causa provável. A lista de diagnósticos diferenciais para mudança de sinal pode ser reduzida considerando-se o padrão da mudança, a localização no trato onde a queda de sinal ocorre e a lateralidade da mudança. Etiologias anestésicas e fisiológicas podem causar mudanças globais nos sinais, enquanto alterações de sinais unilaterais ou de um membro geralmente indicam fatores cirúrgicos, técnicos ou posicionais. Em caso de PESS, mais de uma estação ao longo da via geralmente é monitorada, e a estação onde o sinal começa a cair pode ajudar a localizar o local e causa da lesão.

A relação temporal entre a mudança nos sinais de monitoramento e as manobras cirúrgicas podem sugerir a causa provável para a mudança. Exemplos de tais manipulações cirúrgicas incluem uma tração cerebral ou distração espinhal excessiva, grampeamento vascular ou pinçamento cruzado prolongado ou mal colocado, ou vasoespasma localizado durante intervenções cirúrgicas. Se ocorrer mudança de sinal durante o clampeamento de um aneurisma ou pinçamento cruzado da carótida, e o padrão da mudança for consistente com as intervenções, então, uma causa cirúrgica da isquemia é bastante provável para explicar a mudança.

Em resposta à mudança de sinal, os cirurgiões podem suspender temporariamente quaisquer manipulações e observar alguma recuperação espontânea do sinal. A irrigação do campo cirúrgico com solução salina morna ajuda a promover o fluxo sanguíneo regional e a remover metabólitos irritantes que podem ter propriedades de bloqueio axonal. A aplicação local preventiva de papaverina e o aumento da pressão sanguínea arterial facilitam a perfusão local para resistir à isquemia. O anestesista deve otimizar prontamente a perfusão e suprimento de oxigênio aos tecidos neurais visando uma pressão arterial normal ou supranormal, corrigindo a anemia, e ajustando meticulosamente a profundidade anestésica.

Se os potenciais evocados não se recuperarem, uma decisão conjunta deve ser feita sobre se a abordagem cirúrgica deve ser modificada, como diminuição da distração da coluna vertebral, remoção do implante espinhal ou descontinuação da ressecção

tumoral. Também pode tornar necessária a revisão de um plano de gestão pós-operatória e metas fisiológicas. Em alguns centros de coluna, a administração de metilprednisolona seria considerada caso se suspeitasse de uma lesão à medula espinhal. Boa comunicação com a equipe operatória é essencial, e uma lista de verificação especialmente elaborada foi usada para promover a um esforço coordenado de ressuscitação em tais situações (Figura 7).<sup>6,7</sup>

Lista de verificação para resposta multidisciplinar a mudanças de neuromonitoramento durante cirurgia		
<input type="checkbox"/> Pausar a cirurgia e anunciar mudanças de sinal <input type="checkbox"/> Convocar anestesistas e neurocirurgiões sêniores de plantão		
Neurofisiologista / fornecedores de MIO	Anestesistas	Neurocirurgiões
<input type="checkbox"/> Repetir triagem de testes de MIO <input type="checkbox"/> Checar eletrodos e conexões <input type="checkbox"/> Confirmar a impedância de eletrodos estimuladores e registradores, otimizar os parâmetros de estimulação e a configuração da máquina de MIO <input type="checkbox"/> Descartar artefato / ruído <input type="checkbox"/> Avaliar o padrão e regularidade das mudanças <input type="checkbox"/> Mudanças focais / assimétricas X simétricas	<input type="checkbox"/> Garantir que não seja administrada nenhuma droga que possa afetar agudamente os potenciais evocados <input type="checkbox"/> Checar a extensão do bloqueio neuromuscular e da paralisia <input type="checkbox"/> Checar a posição do pescoço e da extremidade (esp. se houver perda unilateral de sinal) <input type="checkbox"/> Otimizar a PAM (ao menos 70mmHg ou 10-20% acima do nível pré-operatório) <input type="checkbox"/> Otimizar hematócritos (meta > Hct > 30%) <input type="checkbox"/> Otimizar pH e pCO <sub>2</sub> <input type="checkbox"/> Manter normotermia e normoglicemia	<input type="checkbox"/> Avaliar qualquer manobra (p.ex.: retração cirúrgica) logo antes do alerta de MIO <input type="checkbox"/> Considerar a suspensão do procedimento cirúrgico e observar qualquer recuperação dos sinais de MIO <input type="checkbox"/> Irrigar o local da cirurgia com solução salina morna e/ou papaverina <input type="checkbox"/> Realizar testes de imagem perioperatórios para avaliação adicional, caso necessário
Considerações em curso: <input type="checkbox"/> Teste de despertar (cirurgia da coluna) <input type="checkbox"/> Considerar estratégias de neuroproteção <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ [para cirurgia da coluna] protocolo de metilprednisolona intravenosa</li> <li>▪ [para cirurgia intracraniana surto-supressão farmacológico]</li> </ul> <input type="checkbox"/> Quantificar qualquer recuperação de sinal após intervenções <input type="checkbox"/> Considerar alternativas cirúrgicas / planos de emergência. Reavaliar as metas hemodinâmicas perioperatória com base nas respostas aos sinais de MIO para medidas de salvamento		

Figura 7. Exemplo de uma lista de verificação multidisciplinar para responder a mudanças de sinal de MIO intraoperatórias

## CONCLUSÃO

O MIO oferece uma opção atraente de monitoramento em tempo real do sistema nervoso, mas a implementação bem-sucedida deve ser construída sobre uma abordagem de equipe para facilitar o MIO e as medidas corretivas apropriadas quando acontecerem mudanças significativas de sinal. O anestesista desempenha um papel importante na avaliação do impacto da anestesia e da fisiologia sobre os sinais de MIO, e na otimização desses fatores intraoperatoriamente. Há evidências crescentes de que o MIO reduz a deficiência neurológica decorrente de cirurgia, mas ainda faltam um protocolo e diretrizes universais para seu uso e interpretação. Isso se deve, em parte, às variações no estado neurológico pré-mórbido dos pacientes, ao tipo de anestesia, à configuração do neuromonitoramento, e à natureza e abordagem da cirurgia. Cada instituição pode desenvolver seu próprio protocolo sobre o que e como monitorar e qual grau de alteração do sinal corresponde a um critério de mudança significativa, tornando vital a comunicação entre o pessoal intraoperatório.

## REFERÊNCIAS

1. Toleikis JR. Intraoperative monitoring using somatosensory evoked potentials: a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *J Clin Monitor Comput.* 2005;19:241-258. doi:10.1007/s10877-005-4397-0
2. MacDonald DB, Skinner S, Shils J, Yingling C; American Society of Neurophysiological Monitoring. Intraoperative motor evoked potential monitoring: a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *Clin Neurophysiol.* 2013;124:2291-2316. doi:10.1016/j.clinph.2013.07.025
3. Martin WH, Stecker MM. ASNM position statement: intraoperative monitoring of auditory evoked potentials. *J Clin Monitor Comput.* 2008;22:75-85. doi:10.1007/s10877-007-9108-6
4. Leppanen RE. Intraoperative monitoring of segmental spinal nerve root function with free-run and electrically-triggered electromyography and spinal cord function with reflexes and F-responses: a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *J Clin Monitor Comput.* 2005;19:437-461. doi:10.1007/s10877-005-0086-2
5. MacDonald DB. Safety of intraoperative transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring. *J Clin Neurophysiol.* 2002;19:416-429.
6. Skinner S, Holdefer R, McAuliffe JJ, Sala F. Medical error avoidance in intraoperative neurophysiological monitoring: the communication imperative. *J Clin Neurophysiol.* 2017;34:477-483. doi:10.1097/WNP.0000000000000419
7. Vitale MG, Skaggs DL, Pace GI, et al. Best practices in intraoperative neuromonitoring in spine deformity surgery: development of an intraoperative checklist to optimise response. *Spine Deform.* 2014;2:333-339. doi:10.1016/j.jspd.2014.05.003



Este trabalho da WFSA está licenciado sob uma Licença Internacional Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0. Para ver esta licença, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>