



이 은 미

울산대학교의과대학 울산대학교병원 신경과학교실

## Basic pharmacology of anesthetic agents and their effect on INM

Eun-mi Lee, MD

Department of Neurology, University of Ulsan College of Medicine, Ulsan University Hospital, Ulsan, Korea

Experience with INM, the use of an adequate INM modality, and knowledge of the effect of anesthetic techniques and agents on neurophysiological parameters are fundamental for reliable measurements. Therefore, it is emphasized on the necessity of reviewing anesthesia which influences on INM. The current gold standard in INM is TIVA without neuromuscular block, with propofol as hypnotic and remifentanyl, sufentanil or ketamine as analgesic agents. Tailoring the anesthetic regimen to optimize INM signal and early coordinated team response can help to prevent surgical complications.

**Key Words:** Intraoperative Neurophysiological Monitoring, Evoked Potentials, anesthesia

### 서론

전신마취란 가역적인 무의식을 동반하는 감각의 소실을 의미한다. 이를 위해서는 무의식, 기억상실, 반사둔화, 무통, 근육마비 등 다양한 요소가 적절히 조절되어야 한다. 즉 무의식상태에서 통증 없이 심한 수술 자극에 대한 근육 및 반사 반응이 억제된 상태가 유지되어야 하므로 근육이완제, 진정제, 진통제 등 여러 약제가 동시에 사용된다. 고전적인 흡입마취제의 개발 외에 1980년대 빠른 발현과 짧은 작용시간을 갖는 새로운 마취 약물이 개발됨에 따라 완전정맥 마취가 발전하게 되었고, 그 외에 근이완제, 진통제 등의 약제 뿐만 아니라 지속정주 조절주입기(syringe pump)나 목표농도 조절 주입 펌프(target controlled infusion pump)와 같은 안정적 정맥마취 유지를 위한 방법, 근이완제의 잔류효과의 양적인 측정방법으로서 신경자극기(Trains of four ratio), bispectral index (BIS)등의 마취

심도 감시 장비를 포함하여 전체적인 마취 기법이 개발되어 왔다.

수술중 신경생리 감시(INM)는 수술 중 국소 또는 전반적 중추신경계의 혈류 공급 및 산소화를 반영하는 신경계 대사상태를 평가하거나 신경구조물의 전반적 기능 또는 세부 기능을 반영하는 신경계기능상태에 대한 평가를 하는 것으로 유발전위(EP), 근전도(EMG), 뇌파(EEG), 뇌혈류(TCD) 등의 검사를 진행하면서 수술 진행 중 발생하는 기능적 변화를 감시하여 신경 손상 가능성을 조기 예측하게 된다. INM 감시에 적절한 마취기법은 신속한 작용, 쉬운 마취 심도 조절, 가역성이 보장된 약제이면서 다양한 신경기능 감시 파형에 영향을 주지 않는 안전하고 효율적인 방법이어야 한다. 뇌혈류검사는 마취에 민감한 영향을 받지 않지만 다른 전기생리학적 검사는 대부분 마취약제의 영향을 받으며, 마취약제의 종류와 농도에 따라 INM의 파형 형성에 지대한 영향을 미칠 수 있다. 현재 대부분의 INM에서 가장 보편적으로 사용하는 마취기법은 프로포폴(propofol)과 저용량의 아편 유사제 (opioid)를 이용한 완전정맥마취(total intravenous anesthesia, TIVA)이다. 여기에서는 전신마취제의 종류와 작용기전 등 특징을 기술하고, INM의 영향을 고찰하여 임상신경생리 전문가로서 마취 과정에 대한 지식을 기본으로, 수술 중 변화에 대해 집도의나 마취팀과 적절

Eun-mi Lee, MD

Department of Neurology, University of Ulsan College of Medicine, Ulsan University Hospital, 877, Bangeojinsunwhando-ro, Dong-gu, Ulsan, 682-714, South Korea

Fax: 052-250-7088 Tel: 052-250-8891

E-mail: emlee@uuh.ulsan.kr

히 소통하는 능력에 도움을 주고자 한다.

## 본 론

전신마취는 사용하는 약제의 투여 경로에 따라 2가지로 나눌 수 있다. 흡입마취제로 마취를 유도하고 유지하는 방법을 흡입마취(volatile induction and maintenance anesthesia, VIMA) 라고 하며, 정맥마취제로 마취의 유도 및 유지하는 경우를 완전정맥마취(TIVA) 라고 한다. 주 마취제 외 마취 보조를 위해 사용되는 약물도 있으며(Figure 1.) 각각 IMN에 미치는 영향 또한 다르다(Table 1).

### 1. 흡입마취 (inhalation agents)

흡입마취제는 투여 및 배설이 폐를 통해서 이루어진다는 점과 마취심도를 신속하게 변화시킬수 있고, 즉시 농도를 측정할 수 있다는 것이 장점으로 현재 임상에서 가장 흔히 사용되는 마취방법이다. 일반적으로 흡입마취제 효과를 나타내는 강도는 최소 폐포내 농도 (minimum alveolar concentration, MAC) 으로 표현하는데, 이는 피부절개 등 표준

자극에서 50%의 환자가 움직이지 않을 때의 폐포 내 마취제의 농도를 말한다. 혈액-가스 분배계수가 클수록 용해도가 크며 마취유도가 지연된다(Table 2). 억제성인 GABA 수용체와 glycine 수용체의 기능을 항진시키고, 흥분성인 nicotinic acetylcholine 수용체 및 glutamate 수용체 기능을 억제시키는 작용기전을 갖는다.

#### 1) Halogenated inhalation anesthetics

Halothane은 최초의 휘발성 fluorinated anesthetic 이며 할로탄의 20% 이상이 간에서 대사(trifluoroacetic acid 등) 되는데 대사체가 치명적인 간독성이 발생할 가능성이 낮게나마 있고, enflurane은 신장에 대한 독성 및 부작용으로 사용 빈도가 감소하여 현재 대부분은 독성이 적은 desflurane, sevoflurane, isoflurane등의 약물로 대체되었다. Isoflurane은 체내 흡수나 제거가 sevoflurane이나 desflurane보다 느리나, 이들 약제보다 비용이 적게 들어 장시간의 수술에 사용된다. Sevoflurane은 isoflurane에 비해 냄새가 덜 자극적이어서 기관지 자극이 적고 desflurane보다 강한 효력을 나타낸다 또한 혈액에 대한 용해성이 낮아 (blood-gas coefficient 0.65) 마취로부터의 각성이 빠르나, 각성시 섬망의 빈도가 높고, 나이에 반비례하여 증가하므로 특히 소아 마취시 유념해야 한다. Desflurane은 자극적인 냄새로 인해 흡입마취제를 통한 마취 유도에는 흔히 사용되지 않으나 혈액에 대한 용해성이 낮아 (blood-gas coefficient 0.42) 흡입마취제 중 마취로부터의 회복이 가장 빠르다는 큰 장점을 가지고 있다. 세 가지 흡입마취제 모두 대뇌피질의 시냅스 전달을 억제하고 척수 운동신경원의 흥분성을 용량 의존적으로 감소시키므로 유발전위 잠복기 연장, 진폭 감소 효과를 나타낸다. 다중연접으로 형성되는 피질 SSEP 의 파형 형성에 영향이 크고, 피질하 및 말초 SSEP 의 경우 마취에 영향을 덜 받는다(Table 3). 특히 흡입마취제는 SSEP 보다 MEP 억제 효과가 높다. 전신마취에 필요한 MAC 농도는 0.8-1.0 MAC (minimum alveolar concentration, 최소 폐포내농도)를 유지하는데 MAC 수치가 높아지면 흡입마취제의 농도가 높아 신경계추적감시 검사가 원활하지 않으므로 1.0 이하로 유지해야만 한다. MAC

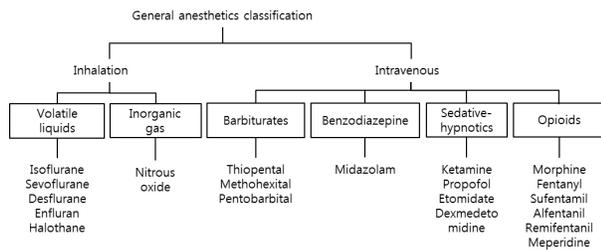


Figure 1. Classification of general anesthetics.

Table 1. Effect of anesthetic agents on SSEP and MEP<sup>1,2</sup>

| Anesthetic agent | SSEP                                    | MEP |
|------------------|---|-----|
| Volatile agents  | ↓ over 1 minimum alveolar concentration | ↓   |
| Propofol         | →                                       | →   |
| Barbiturates     | →                                       | ↓   |
| Benzodiazepine   | → at premedication dose                 | →   |
| Ketamine         | ↑                                       | ↑   |
| Etomidate        | Cortical response ↑                     | →   |
| Opioids          | →                                       | →   |

Table 2. Properties of Modern Inhalation Anesthetics at 37°C

| Anesthetics                   | N <sub>2</sub> O | Desflurane | Sevoflurane | Enflurane | Isoflurane | Halothane |
|-------------------------------|------------------|------------|-------------|-----------|------------|-----------|
| MAC (%)                       | 105              | 6          | 2           | 1.7       | 1.2        | 0.75      |
| Blood-gas coefficient at 37°C | 0.47             | 0.42       | 0.65        | 1.8       | 1.4        | 2.4       |

**Table 3.** Effect of Intravenous Anesthetics on Somatosensory Evoked Potentials<sup>a</sup>

| Drug/dose               | Cortical waveform |           | Subcortical waveform |
|-------------------------|-------------------|-----------|----------------------|
|                         | latency           | amplitude |                      |
| Isoflurane              |                   |           |                      |
| 0.5 MAC + 60% N2O       | <10% ↑            | 50-70% ↓  | Negligible           |
| 1.0 MAC + 60% N2O       | 10-15% ↑          | 50-70% ↓  | Negligible           |
| Enflurane               |                   |           |                      |
| 0.5 MAC + 60% N2O       | <10% ↑            | ~50% ↓    | Negligible           |
| 1.0 MAC + 60% N2O       | 20% ↑             | ~85% ↓    | Negligible           |
| Sevoflurane             |                   |           |                      |
| 0.5 MAC + 66% N2O       | <5% ↑             | 38% ↓     | Negligible           |
| 1.0 MAC + 66% N2O       | <10% ↑            | ~45% ↓    | Negligible           |
| Desflurane              |                   |           |                      |
| 0.5 MAC                 | <5% ↑             | <20% ↓    | Negligible           |
| 1.0 MAC                 | 3-8% ↑            | 30-40% ↓  | Negligible           |
| with 65% N2O            | ≥15% ↑            | >60% ↓    | Negligible           |
| Nitrous oxide 60-65 %   | No effect         | 50-55% ↓  | Negligible           |
| Thiopental 2.5-5.0mg/kg | <10% ↑            | 5-30% ↓   | Negligible           |

Negligible, less than 5% change in latency; ↑, increase; ↓, decrease.

0.5 이상에서는 단일 MEP 반응의 일관성이 떨어진다. Desflurane 0.6-0.8 MAC 및 0.5 MAC에서 propofol 과 remifentanil 병용투여보다 Tc-MEP 및 SSEP 의 유의한 잠복기 연장 및 진폭을 유발하긴 하였으나 감시에 적절한 정도의 신경생리신호를 추적 감시할 수 있었다는 연구가 있다.<sup>3,4</sup> 척수신경원 근위부의 경막외 전극에서 기록된 D파형 및 근신경접합부의 시냅스는 흡입마취제에 영향이 비교적 적어 MAC 0.5 이하로 유지하고, 다중펄스 MEP를 사용하는 경우 근육 MEP를 얻을 수 있다. 그렇지만, 근육 MEP를 최적으로 감시하기 위한 가장 좋은 방법은 흡입마취를 피하는 것이다.

2) Nitrous oxide

아산화질소(nitrous oxide)는 보조적인 흡입마취제로서 진정작용과 진통작용이 있지만 단독으로는 마취상태를 충분히 유지할 수 없다. 휘발성 약물에 대한 비인화성 담체(non-flammable carrier)로 사용하며 주 마취제와 함께 투여시 약물의 농도를 현저히 감소시킬 수 있으며 마취를 보다 안정적으로 하는 역할을 한다. 65% 아산화질소는 흡입주마취제의 MAC을 50% 정도 감소시킨다. 아산화질소는 심혈관계나 호흡기계에는 거의 영향이 없다. 단독으로 사용시 유발전위 파형 변화는 없으나 진폭 및 잠복기를 연장시킨다. 그러나 흡입마취제와 복합 사용시 이 효과는 증강된다.

2. 정맥 전신마취 (intravenous anesthesia)

과거 전신마취에 있어 정맥 약물의 사용은 혈액내로 약물이 직접 주입되므로, 흡입마취에 비해 작용발현시간이 빨라 전신마취 유도 (induction) 및 흡입마취의 보조용도로 이용되었다. 90년대 프로포폴의 개발과 컴퓨터화된 조절주입기의 개발 등 마취기술의 발달로 최근에는 단독으로 사용이 증가되어 왔다. 완전 정맥마취를 위해서는 몇 가지 약제를 동시에 투여하는데 최면-진정제 및 진통제, 비탈분극성 신경근차단제가 기본이 된다. 아편계 진통제와 혼합 사용시 심혈관계 반사 억제, 향상된 진정작용, 수술 전후 진통 등의 효과를 추가적으로 기대할 수 있다. Benzodiazepine 계는 상대적으로 barbiturate 나 propofol에 비해 작용시간과 회복시간이 느리지만, 마취전 약제로 사용시 긴장완화나 기억상실, 진정상태를 유도하는데 사용할 수 있다. 완전 정맥 마취를 위해서는 propofol이나 remifentanil 이외에도 benzodiazepine이나 다른 아편 유사체 등 여러 정맥마취제를 조합하여 사용할 수 있다(Table 4). 마취 유도의 순서는 주 마취제인 propofol을 혈관내 지속 정주하고, rocuronium 같은 근이완제를 투여한다. 환자 의식이 소실되면 기관 삽관을 시행한다. 정맥마취 상태에서는 흡입마취와 달리 마취의 심도를 투약용량만으로는 예측하기 어려워 BIS (bispectral index)라는 장치를 통해 보조적으로 마취의 심도를 측정한다. 의식수준을 예측하기 위한 BIS index 로 100은 완전각성상태, 0은 뇌의 활성도가 전혀 없는 상태를 반

**Table 4.** Typical adult doses of commonly used sedative and analgesic drugs<sup>6,7</sup>

| Drug name                     | Loading dose   | Maintenance infusion rate   |
|-------------------------------|--|---|
| Intravenous anesthetic agents |  |   |
| Propofol                      | 2-2.5 mg/kg followed by 10 mg/kg/hr for 10 min (4-6 µg/ml for TCI) | 3-6 mg/kg/hr (3-6 µg/ml without opioids or 2.5-4µg/ml with opioids) |
| Opioids                       |  |   |
| Fentanyl                      | 4-20 µg/kg   | 2-10 µg/kg/hr   |
| Alfentanil                    | 25-100 µg/kg   | 0.25-2 µg/kg/min  |
| Sufentanil                    | 0.25-2 µg/kg   | 0.5-1.5 µg/kg/hr  |
| Remifentanil                  | 1-2 µg/kg  | 0.1-1.0 µg/kg/min   |

영한다. BIS index 40이하인 경우 깊은 마취상태로 MEP, SEP 파형이 작게 관찰될 수 있으므로, INM을 하는 경우 50-60정도로 유지하는 것을 추천한다. 정맥 점적 투여 (infusion)하는 방법은 시간당, 체중당 주입용량을 계산하여 주입하는 syringe pump가 대중적으로 사용되며, 현재는 환자의 성별, 나이, 키, 체중을 입력하고 목표 혈중농도를 설정하면 약동표준모델에 의해 가상 혈중농도를 예측하여 자동으로 약물 주입속도를 조절하는 목표농도조절주입기(Target controller infusor, TCI)도 사용된다.

#### 1) 진통제(Analgesics): 아편 유사제(opioids)

아편 유사제는 중추신경계에 있는 opioid 수용체와 결합하여 작용을 나타내며 작용제로는 morphine, meperidine, fentanyl, sufentanil, alfentanil, remifentanil 등이 있으며 길항제로는 naloxone이 있다. 수술중 적절한 진통, 진정효과를 낸다. 마취 유도 전 사용하면 기관내 삽관에 따른 혈압상승과 빈맥 등 자율신경계 반응을 예방할 수 있다. propofol은 진통효과가 없는 진정제이므로 주 마취제로 단독 사용할 때 기관 삽관 및 통증을 수반하는 수술 자극에 대해 심혈관계 반응을 억제하지 못하므로 추가적 진통제의 병용이 반드시 필요하며, 흡입마취제나 ketamine 은 진통효과를 갖고 있지만, 전신마취에는 추가적 진통제를 사용하는 것이 바람직하다. 일반적으로 심혈관기능을 억제시키지 않는 편이나, 중등도의 말초혈관확장에 의해 혈압저하, 심박출량 저하가 일어나기도 하며 과량시 서맥 및 호흡중추 억제, 경련을 유발할 수 있다. 작용시간에 따라 수술 후 구역, 구토 발생가능성을 높인다. 합성 아편 유사제인 fentanyl, alfentanil, sufentanil, remifentanil 의 유발전위예의 영향은 미미하여 SSEP 및 MEP 감시에 필수적이다. Fentanyl은 morphine 보다 50-100배 강력하며, morphine과 달리 혈뇌장벽을 쉽게 통과하여 정맥 주사 후 3-5분 후 빠르게 최대

효과가 나타난다. Remifentanil은 fentanyl의 4-anilidopiperidine 유도체인 u 수용체 작용제로서 역가는 fentanyl 과 비슷하나 alfentanil 보다는 15-30배 높다. 작용발현시간이 1분이내로 매우 빠르며, 투여 중단 후 작용지속시간 역시 3-10분으로 매우 짧아 “ultra-short acting opioid” 로 마취 약제영역에서 획기적인 전환점이 되었다. Remifentanil을 제외한 기존의 마약제는 장시간 투여를 하게 되면 말초조직에 축적이 되고 배설이 지연되는 단점이 있다. Remifentanil은 처음으로 개발된 esterase-대사 마약제로서 비특이성 esterase들에 의해서 조직과 혈장에서 신속히 대사되므로 사용기간이나 용량에 영향을 받지 않는 빠른 대사가 이루어지고 신 혹은 간 손상의 경우에도 대사가 영향을 받지 않는다. 또한 혈액-뇌 평형이 신속히 이루어지므로, 투여 용량 변경 후 마취 깊이를 신속하게 변화시킬 수 있다. 장기간 지속 주입을 하더라도 상황 민감성 반감기(context-sensitive half-life time, CSHT)가 약 4분 정도로 거의 일정하게 유지되기 때문에 빠른 효과 발현과 소실을 주된 장점이다. 또한 remifentanil은 흡입마취제와 병용 시 단일 흡입마취제의 양을 60% 정도 감량할 있고, propofol의 경우에도 투여량을 40-50% 정도 더 감량할 수 있게 하므로 주 마취제의 농도 의존적 INM 의 영향을 줄일 수 있다. 이러한 장점을 살려 현재 propofol과 병용하여 완전정맥마취에 가장 흔히 사용되고 있다<sup>8</sup>. 초기 일회 투여용량은 0.5-1µg/kg로 1분 정도에 걸쳐 서서히 투여하여 저혈압 서맥, 오심구토 등 부작용의 발현을 최소화하고 기관내 삽관을 하는 경우에는 유지용량을 0.2-0.5µg/kg/min로 하여 지속적으로 투여하여야 한다. 보통 remifentanil의 효과가 나타나게 되면 혈압은 어느 정도 떨어지게 되고, 맥박수도 다른 어떤 마취 방법에서의 경우보다 더 떨어지는 것을 보게 된다. propofol이나 흡입마취제와 병용 투여할 경우 0.1-0.2µg/kg/min으로 줄여 투여한다. 보통 수술 종료와 동시에 투여를 중단

하거나 수술 종료가 예상된 5분에서 10분 전에 중단할 수 있다.

2) 최면-진정제 (sedatives-hypnotics)

(1) 프로포폴

가장 널리 사용하는 정맥마취제로 GABA<sub>A</sub> 수용체를 자극함으로써 중추억제성 신경전달을 촉진시키며, 진정, 수면, 항불안, 기억상실, 항구토, 항경련 효과가 있으며 진통 효과는 없다<sup>9</sup>. 지방용해성이 높아 혈액뇌장벽을 신속히 통과하며 신속한 재분포 및 높은 간청소율로 인해 barbiturate와 비슷한 정도의 빠른 작용과 약물 투여 중단시 신속하게 회복하는 장점이 있다 (distribution half-time; 2-8min, redistribution half time; 30-60min). 마취유지가 오래되면 호흡저하와 혈관이완으로 인해 무호흡과 혈압저하를 일으킬 수 있다. 마취 유도과 유지에 모두 사용할 수 있으며, 완전정맥마취와 균형마취의 기본으로 사용된다. SSEP 및 MEP에 용량의존적으로 진폭감소를 유도하나 잠복기에 거의 영향이 없다. 지속 정주시 안정적이고 예측가능한 혈장 농도 유지가 가능하여 INM을 위한 최적의 마취 방법으로 가장 많이 사용되고 있다.

(2) Barbiturates

Thiopental은 마취유도시 흔히 사용되는 barbiturate로 지질용해성이 매우 높은 약물로서 재빨리 뇌에 확산되어 혈장과 뇌의 평형상태에 도달하기 때문에, 정맥으로 유도 용량을 주사하면 한번의 순환만으로도 30초 내에 마취가 유도된다. 마취유도 목적으로 성인에서 3-5mg/kg 로 사용한다. Thiopental은 투여 후 회복도 빨리 진행되는데 뇌 이외의 다른 조직으로 재분포가 일어난다. 간으로 대사되며, 용량에 따라 심장 및 호흡 중추를 억제한다. 뇌압과 뇌혈류를 증가시키지 않기 때문에 뇌부종이 있는 환자에서 장점으로 사용될 수 있다. 대뇌 대사와 산소이용을 감소시키므로 대뇌기능 저하를 일으키며, 유도 즉시 진폭과 잠복기가 연장된다. 피질 전위의 잠복기가 가장 영향을 받고, 피질하 및 말초 반응에의 영향은 미미하다.

(3) Benzodiazepines

Diazepam, lorazepam, midazolam 등이 일차적으로 예비마취로 사용되며, 최면, 진정, 기억상실, 항경련 작용 및 근육이완작용이 있다. Thiopental 보다는 호흡, 순환계통 억제 효과는 적은 반면, 중추신경계 억제작용이 서서히 나타나고, 마취심도가 높지 않아 단독 정맥마취로 적합하지 않으며, 회복이 느린 편이다. Midazolam은 수용성의 ben-

zodiazepine으로 정맥 내 투여나 근육주사가 가능하며, 그 작용시간이 다른 benzodiazepine에 비하여 짧아 정맥투여 시 3-5분경 최대 효과가 나타나고, 2-4시간 정도의 빠른 반감기를 보여 마취 영역에서 많이 사용되고 있다. 일차적인 대사는 간에서 hydroxylation을 통하여 이루어지며, 주된 대사산물인 1-hydroxymidazolam은 약효가 미미한 것으로 알려져 있으나, 신장을 통해 배설되기 때문에 신기능이 저하된 환자에게는 체내에 축적되어 진정작용을 부가시킬 수 있다. Benzodiazepine 계열 또한 MEP 진폭을 감소시키나 thiopental 의 효과보다는 약하다. Midazolam 은 단독 유도용량으로 사용시 SSEP 는 약간의 감소 소견을 보인다.

(4) Ketamine

Ketamine의 작용은 NMDA 수용체에 비경쟁적으로 결합하는 길항제로 작용하여, 흥분성 신경전달을 억제하여 중추억제 작용을 한다. 정맥마취제 중 유일하게 진통작용과 함께, 교감신경계통의 직접적 자극효과에 의해 카테콜아민 분비가 증가되어 용량의존적인 심혈관계 자극효과가 있다. 주입 후 2-4분부터 혈압상승 및 맥박수, 심박출량 증가, 기도 평활근 이완시키므로 기도저항 감소의 효과가 있고, 10-20분이 지나면 정상화된다. 제한성심외막염이나 심장압전 등 심혈관계 기능 저하 환자나 쇼크 상태의 외상환자에서 마취 유도시 장점으로 사용될 수 있다. 다른 마취약제와 달리 ketamine은 SSEP 및 MEP의 진폭이 증가시킨다. 이러한 이유로 기존 신경학적 손상으로 인해 수술 전 기준 파형의 진폭 감소 및 잠복기 연장되어 있는 경우 적절한 마취약제로 선택할 수 있다. 그러나 뇌혈류를 증가시키고, 뇌의 산소이용과 뇌압을 상승시키는 경향이 있고, 환각 및 발작을 유발하기도 하여 고혈압이나 뇌혈관질환 병력, 정신질환병력, 뇌압상승 우려가 있는 대뇌 관련 수술에서는 사용을 조심해야 한다.

(5) Etomidate

다른 마취제에 비해 유도용량에서 심혈관, 호흡 억제가 미미하여 심혈관계 기능에 제한이 있는 환자의 마취 유도에 적합하다. 빠른 작용시간, 최소에 가까운 혈압 저하와 심박동 변화를 보이며 무호흡은 거의 발생하지 않는다. 진통작용은 없어 아편계 마취제와 함께 사용한다. cortical SSEP 진폭을 증가시키며, barbituration, propofol과 비교 시 MEP 억제는 미미한 편으로 유도용량에서 일시적인 MEP 진폭 감소를 보이나 잠복기 연장에 변화는 없다. 기술된 모든 정맥마취제 중 유도 및 지속 정주 유지 용량에서 가장 MEP 감소 영향이 적다. 그러나 지속 사용시 부신 기

능 저하(adrenocortical suppression) 를 야기시킨다는 우려가 있다.

### 3) 신경근차단제 (neuromuscular blocker)

수술전 기관내관의 삽관(endotracheal tube insertion)을 용이하게 하며, 수술중 환자의 근강직을 억제하고 유연하게 하므로 수술 부위의 원활한 절개, 수술시야 확보하기 위해 사용한다. 주로 비탈분극성 근이완제인 rocuronium, vecuronium, atracurium 등을 사용한다. 이와 같은 약물은 근이완 작용시간이 짧으면서 지속시간이 길지 않은 특징이 있다. 하지만 이런 신경근이완제는 INM에 사용하는 MEP 혹은 EMG의 신호를 감소시키거나 심지어 없앨 수도 있으므로 MEP나 EMG와 같은 INM기법을 이용하는 수술에서 신경근이완제는 기관내관의 삽관 직전에 속효성제제 (short acting drug)를 1회만 사용하는 것을 권한다 (rocuronium). 반복 투여가 필요한 경우 투여 간격에 유의하고 신경근 감시에 각별한 주의를 기울여야 한다. 신경근이완제의 체내 잔류는 사연속반응(train of four)의 검사를 통해 비교적 쉽게 알 수 있다. 근육활동을 기록하지 않는 SSEP, BAEP 및 EEG에는 영향이 없다. 그러나 근육 MEP 감시를 위해서는 최소화하여 사용해야 한다. 기관삽관시 속효성의 신경근 차단제를 사용할 것을 권고하며 수술 중 TOF를 적어도 2 이상으로 유지해야 적절한 정도의 MEP 및 EMG 감시를 할 수 있다.

### 3. 마취약제 및 임상적인 고려사항

대부분의 마취약제가 용량 의존적으로 시냅스 활동을 억제하여 유발전위를 감소시키므로 적절한 INM 조합 방법을 계획함에 앞서 마취 약제를 선택해야 한다. 일반적으로 흡입제제는 정맥제제보다 유발전위에의 영향이 크다. 마취약제의 용량과 선택은 사용되는 INM 종류에 따라 맞춤 선택이 필요하다. 정맥마취로 진행을 해야만 IMN이 가능한 경우도 있고, 흡입마취로 진행을 해도 IMN을 할 수 있는 수술도 있다. BAEP는 마취의 영향을 거의 받지 않아서 흡입마취, 정맥마취 상관없이 잘 관찰된다. EMG를 감시하는 경우 근이완제의 사용만 매우 자제된다면 흡입마취로도 가능하다. 미세혈관감압술(MVD), 소뇌교각교(CPA) 종양제거 수술과 같이 BAEP 및 spontaneous 및 triggered EMG 검사가 위주인 수술인 경우 마취제 종류가 신경계 추적감시 검사에 크게 영향을 미치지 않는다. 정맥마취만을 시행해야 하는 수술은 척추 수술, 대뇌수술, 대동맥류 혈관 수술

중 운동기능을 평가하는 MEP를 이용하는 경우이다. MEP를 이용한 INM에 있어서는 정맥마취를 이용한 마취기법이 기존의 흡입마취제제를 이용한 마취기법에 비해 MEP의 생성률과 파형의 크기에 있어 탁월하게 우월한 것으로 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 TIVA를 이용한 마취에서도 정맥마취제의 농도가 지나치게 높을 경우에는 MEP형성을 저해하고 EEG의 파형 크기를 감소시킬 수 있음을 유의해야 한다. INM을 하는 수술의 경우 신경생리기능에 영향을 덜 미치는 마취제를 선택해야 하며, 마취유도가 된 이후부터 마취유지단계로 전환되는 시점이 빠를수록 본 수술이 시작되기 전 추적감시를 위한 기준파형을 설정하는데 유리하므로, 마취 유도시 일회성 투여 (bolus injection) 용량을 최소화하고, 마취 심도가 알아진 채로 마취 유지를 할 때에는 환자마다 약물 효과의 개인차가 있으므로 INM에 영향을 주지 않는 범위에서 마취수준을 일정하게 유지해야 한다. 특히 수술중 중요한 시기에는 근이완제 사용을 자제해야 한다. 일회성의 신경근차단제를 사용하는 경우에는 수술중 움직임을 줄일 수는 있으나, EMG, MEP 해석에 혼동을 줄 수 있으므로, 신경근차단을 할 때에는 지속정맥주입을 사용해야 한다. 특히 뇌동맥류를 절찰하거나, 척추 종양을 제거하거나, 척추수술에서 correction, 불안정 경추환자의 positioning 등 중요한 시기에는 마취제 변경을 하지 않아야 한다. 수술중 뇌파에서 빠른 파형의 증가는 낮은 마취농도, barbiturate나 benzodiazepine 약제와 관련이 있다. MEP와 EMG 파형이 사라지면 신경근차단제나 benzodiazepine 사용 여부를 확인하고, 잔여 효과와 맞추어 TOF으로 평가한다.

## 결론

마취방법의 선택을 위해 영향을 미치는 주요요인으로 환자 상태, 감시해야 할 신경계구조물 및 경로, 마취과 의사의 경험과 기술, 집도의의 선호도 등을 들 수 있으며, 적절한 INM을 단독 또는 여러종류로 조합하여 사용하게 되므로 신경 감시에 방해되지 않는 최적의 마취 방법을 선택하여야 한다. 환자의 활력징후 및 마취 심도를 관찰하기 위한 감시 장비와 INM을 위한 마취 방법의 안정적 실행을 위해 현대화된 마취 장비가 잘 갖추어져 있어야 하며, INM 시에는 마취 깊이를 안정적으로 유지하여 안정적 생리 환경을 유지하여 유의한 신호 변화의 해석을 가능하게 함으로서 정확하고 안전한 수술을 보조해야 한다. 선택된 마취방법

에서 신경계감시가 적절하게 효과를 발휘하기 위해서는 신경계감시팀이 마취방법에 대한 지식과, 이의 유발전위예의 영향을 판단하는데 능숙해야 한다.

## References

1. Kumar A, Bhattacharya A, Makhija N. Evoked potential monitoring in anaesthesia and analgesia. *Anaesthesia* 2000; 55:225-241.
2. Nunes RR, Bersot CDA, Garritano JG. Intraoperative neurophysiological monitoring in neuroanesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol* 2018;31:532-538.
3. Martin DP, Bhalla T, Thung A, Rice J, Beebe A, Samora W, et al. A preliminary study of volatile agents or total intravenous anesthesia for neurophysiological monitoring during posterior spinal fusion in adolescents with idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2014;39:E1318-1324.
4. Sloan TB, Toleikis JR, Toleikis SC, Koht A. Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery with total intravenous anesthesia or balanced anesthesia with 3% desflurane. *J Clin Monit Comput* 2015;29:77-85.
5. Banoub M, Tetzlaff JE, Schubert A. Pharmacologic and physiologic influences affecting sensory evoked potentials: implications for perioperative monitoring. *Anesthesiology* 2003;99:716-737.
6. Ghisi D, Fanelli A, Tosi M, Nuzzi M, Fanelli G. Monitored anesthesia care. *Minerva Anesthesiol* 2005;71:533-538.
7. YS O. Monitored anesthesia care. *Jorean J Anesthesiol* 2003; 44:291-303.
8. 김시오. Remifentanyl: 마취 중 사용. *정맥마취* 2005;9:171-179.
9. Sahinovic MM, Struys M, Absalom AR. Clinical Pharmacokinetics and Pharmacodynamics of Propofol. *Clin Pharmacokinet* 2018;57:1539-1558.