

척추 수술시 운동유발전위 및 지속적인 근전도 감시

양준영 · 이준규 · 송호섭

충남대학교 의과대학 정형외과학교실

Motor Evoked Potential and Continuous Electromyography Monitoring during Spinal Surgery

Jun-Young Yang, M.D., June-Kyu Lee, M.D., and Ho-Sup Song, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Chungnam National University School of Medicine, Daejeon, Korea

Purpose: A prospective study to determine the usefulness of the spinal cord monitoring (SCM) for predicting and preventing iatrogenic nerve injury during spinal surgery.

Materials and Methods: We studied 27 cases with adolescent idiopathic scoliosis (AIS, 7), degenerative spinal deformity (DSD, 13), and spinal stenosis (7) who received decompression and SCM including MEP and EMG. Intravenous anesthesia was performed using propofol. We initially could not measure SCM because of the presence of muscle relaxants. But later could check SCM in 24 cases. We evaluated the success rate of SCM, the degree of electrical stimulus, and abnormal signals.

Results: The success rate of SCM was 88.9%. MEP showed an increased stimulus indicating a normal neurologic response in: AIS (26.6%), DSD (24.3%), and spinal stenosis (15.7%). EMG showed abnormal signals in 4 cases. but 3 cases had no significant nerve damage. In one case, we reinserted the pedicle screw because we found nerve irritation by the probe. None of these cases had neural deficits after the operation.

Conclusion: MEP and EMG allow for correction and decompression without spinal cord or nerve root injury with appropriate anesthesia technique and interpretation of abnormal signals required for SCM.

Key Words: Spinal surgery, Motor evoked potential, Electromyography

서 론

척추의 질환이나 척수 병변으로 수술적 치료를 시행하는 경우 술 중 조작으로 발생하는 신경 손상의 빈도는 다양하게 보고되었다. 이중 척추경 나사를 이용한 조작으로 발생하는 신경근 손상의 빈도는 0.4%²⁶⁾, 척추측만증 수술시 발생빈도는 0.72-3.2%^{1,17)}, 척수내 종양 수술시 발생 빈도는 23.8-65.4%^{4,5)}이다. 따라서 술중 가역적인 척수 및 신경근의 손상을 파악하기 위하여 Wake-up test, 체성감각유발전위 검사(somatosensory evoked potentials), 운동유발전위 검사(motor evoked potentials) 등이 시도되고 있다.

신경손상을 파악하기 위하여 전기진단법으로서 체성감각유발전위 검사가 최초 시도된 이래⁶⁾, 체성감각유발전위 검사는 술중 감각신경계(sensory tracts) 및 운동신경계(motor tracts) 손상을 감시하는 장치로 많이 사용되었다¹⁸⁾. 그러나 체성감각유발전위 검사는 주로 감각신경계 즉 척수의 후주에 대한 감시 방법으로, 척추 수술에서 흔히 손상받기 쉬운 척수 전주 및 측주에 대한 감시가 부적절할 수 있다^{11,27)}. 이러한 문제로 술 중 신경 손상을 감시하기 위하여 운동유발전위 검사를 도입하였으며, 이 방법은 체성감각유발전위 검사보다 위음성이 적고 지연 시간 없이 신경 손상에 대한 실시간 정보를 제공하며 운

통신저자 : 양 준 영
대전시 중구 대사동 640
충남대학교 의과대학 정형외과학교실
TEL: 042-280-7351 • FAX: 042-252-7098
E-mail: jyyang@cnu.ac.kr

Address reprint requests to
Jun-Young Yang, M.D.
Department of Orthopedic Surgery, Chungnam National University School of Medicine, 640, Daesa-Dong, Jung-Gu, Daejeon 301-721, Korea
Tel: +82,42-280-7351, Fax: +82,42-252-7098
E-mail: jyyang@cnu.ac.kr

동신경계에 대한 직접적인 감시가 가능하여 외국에서는 최근 많이 사용되고 있으나 우리나라에서는 현재 도입 단계로 볼 수 있으며^{3,7,11,27)}, 이에 대한 임상 연구도 현재까지 보고된 바 없다.

본 연구에서는 연소기 척추 측만증, 퇴행성 척추 변형, 퇴행성 요추 병변의 수술적 치료에 있어 운동유발전위 및 지속적인 근전도 감시로 각각의 질환에서 나타나는 전기 신호의 특징 및 이상 신호에 대한 평가 그리고 변형 교정, 감압술, 척추경 나사못 삽입 등의 수술 술기상 유용성을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

척추 병변으로 수술적 치료 시 운동유발전위 검사를 시행한 27예를 대상으로 하였으며, 남자가 12예, 여자가 15예였고, 평균연령은 52.4세(범위 16-72세)였다. 술 전 진단으로 연소기 척추 측만증 7예, 퇴행성 척추변형 13예, 척추관 협착증 7예였다.

술 전 임상 증상으로 연소기 척추 측만증에서는 신경학적 이상을 보이지 않았으나, 나머지 20예에서는 경증에서 중증의 근력 감소, 이상 감각, 통증 등을 포함하는 신경학적 이상 소견을 보였으며, 특히 3예에서는 침범된 신경근 부위의 근력 약화 소견을 보였다.

수술의 방법으로 연소기 척추 측만증에서는 척추경 나사못을 이용한 변형교정술 및 유합술을 시행하였고, 퇴행성 척추변형 및 요추병변에서는 감압술과 척추경 나사못을 이용한 유합술을 시행하였다.

2. 마취의 방법

모든 환자는 수술 전처치로 midazolam (Dormicum, Roche Korea, Korea) 2 mg을 근주하였다. 수술 동안의 환자는 침습적 동맥압, 심전도, 산소 포화도, 호기말 이산화탄소, 중심 정맥압 감시를 시행하였다. 또한, 모든 환자는 BIS감시(BIS XP monitor A 2000; Aspect Medical System Inc., Natick, MA)를 시행하였다. 마취유도는 1% propofol (Diprivan, Astra-Zeneca, UK)을 목표 농도 조절 주입기를 통해 처음 혈장 농도를 5 μ g/ml로 정주하였다¹⁵⁾. 이 목표 농도는 수술 동안 BIS가 40-50으로 안정화 되도록 3.5-4.5 μ g/ml로 낮추었다. Remifentanyl (Ultiva, GSK, UK)은 일정한 효과치

의 농도를 유지하기 위해 computer-assisted continuous infusion system을 사용하여 정주하였다. Computer-assisted continuous infusion system에 사용된 약동학적 변수들은 Minto 등¹⁶⁾의 제안을 근거로 하였다. 마취 유도 동안의 remifentanyl 효과치의 농도는 4 ng/ml로 유지하였고 수술 동안에는 5 ng/ml로 유지하였다. 모든 환자는 기관 삽관을 용이하게 하기 위해 rocuronium 0.6 mg/kg를 정주하였다. 연구 초반 3예에서는 술중 지속적인 근이완제를 투여하였으며 이는 신경감시가 원활히 시행되지 못한 원인으로 확인되어, 이후 나머지 24예에서는 추가적인 근이완제를 투여하지 않았으며 이 모든 예에서는 적절한 신경감시가 가능하였다. 호흡은 공기를 포함한 흡입산소농도 50%에서 호기말 이산화탄소 분압이 34-40이 되도록 조절 호흡하였다.

3. 운동유발전위 검사

신경 감시는 경두개 전기자극 운동유발전위 검사(transcranial electrical stimulation - motor evoked potential)와 지속적인 근전도 감시(continuous electromyography monitoring)가 가능한 NIM-SPINETM (Medtronic, Sofamor Danek)기기를 사용하였다. 경피적 전기 자극을 위하여 두피에 2개의 전극을 삽입하였으며, 기록 전극은 수술 부위를 고려하여 상하지 좌·우측에 각각의 운동신경 단위에 삽입하였다(Table 1). 기준치(base line) 설정은 술전 안정된 상태의 근전도 기록을 기준으로 하였으며 이때 기본 100 mA로 경두개 전기자극을 가하여 운동유발전위가 정상적으로 기록되는 것을 확인하였다. 신경 손상이나 전기 자극에 대한 반응을 평가하기 위하여 술전 결정된 강도로 간헐적인 경피적 전기 자극을 가하여 운동유발전위 검사를 시행하고 이를 술전 운동유발전위와 비교하여 신경손상을 평가하였다. 또한

Table 1. Electrode Reference according to Each Level

Level	Electrode Reference
C8-T1	Abductor Digiti Minimi
T2-T5	TBD*
T6-T12	Rectus Abdominus
L2-L4	Vastus Lateralis
L5	Extensor Hallucis Longus
S1-S2	Abductor Hallucis

*TBD, To be determined, electrode reference at intercostal muscles.

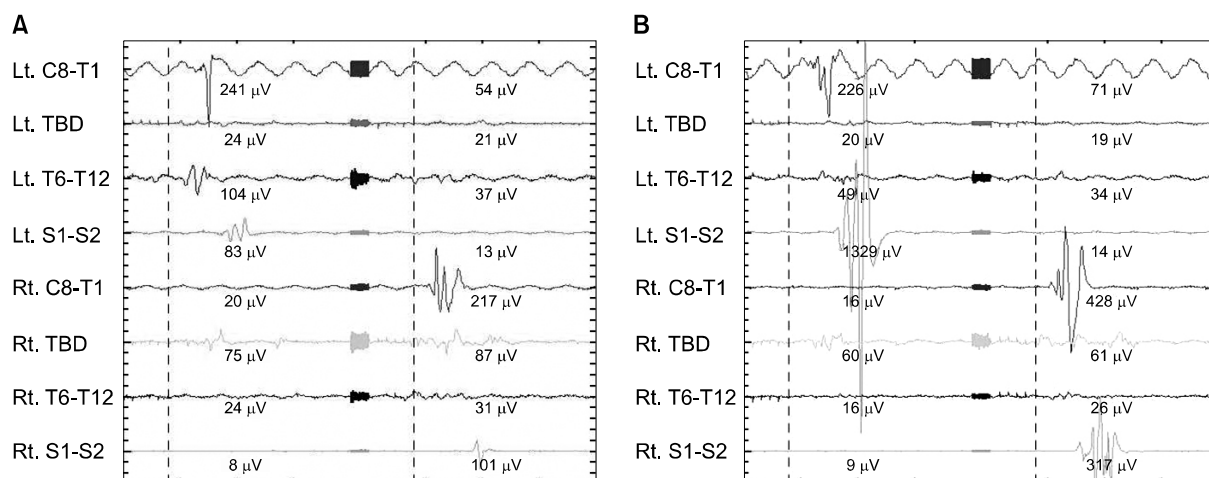


Fig. 1. (A) Normal muscular response by motor evoked potential (MEP) stimulus at 70 mA before pedicle screw placement. (B) Similar muscular response by MEP stimulus at 90 mA after pedicle screw placement.

술 후 유효한 운동유발전위를 유도하기 위하여 술 전에 설정한 기준치와 동일한 강도로 자극을 가하거나, 반응이 약해지는 경우 20 mA씩 증량하여 자극의 강도를 높였다. 운동유발전위 검사에서는 운동유발전위를 유도하기 위하여 필요한 자극의 강도가 50% 이상 증가된 경우를 유해한 신경손상으로 평가하였고²⁰⁾, 지속적인 근전도 감시에서는 진폭의 크기가 최소 50 μ V (event threshold level $\geq 50 \mu$ V) 이상인 것을 유해한 신경 손상의 징후로 판단하였다.

결 과

운동유발전위 및 지속적 근전도 검사는 27예 중 24예에서(88.9%)에서 가능하였는데, 이들은 술 중 지속적으로 근이완제를 투여하지 않은 군으로 연소기 척추 측만증 7예, 퇴행성 척추변형 10예, 척추관 협착증 7예였다. 전 기진단 검사가 부적절하였던 3예는 모두 술중 지속적인 근이완제 투여로 술전 및 술중 운동유발전위 검사시 근육의 반응이 미비하였다. 근이완제의 영향을 평가하기 위하여 수술 종료전 근이완제 투여를 중지한 시점에서, 운동유발전위 검사는 평균 38분(범위 30–50분)에 정상적인 반응을 보였으나 술전 및 술중 기록과 비교할 수 없었다.

연소기 척추 측만증의 7예는 Lenke 분류¹⁰⁾에 따라 1AN 5예, 1BN 1예, 5BN 1예였다. 수술의 방법은 척추경 나사못을 이용한 척추 측만증 수술법에 따라 선택적 유합을 시행하였다. 수술 시간은 평균 5.2시간(범위

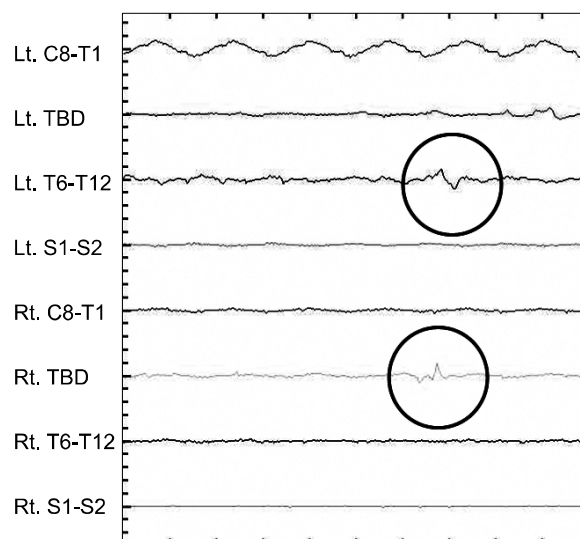


Fig. 2. Channel 3 and 6 show abnormal signals below the event threshold, indicating proximity of the pedicle screw to the nerve root.

4.1–7.4시간)이었으며, 술후 유효한 운동유발전위를 얻기 위하여 증가된 자극의 강도는 평균 26.6% (범위 10–30%)였다(Fig. 1). 1예에서 지속적 근전도 감시상 흉추 척추경 나사못 삽입 시 신경손상 역치 이하의 약한 파형이 관찰되었으나 이는 지속적인 신경손상 파형(train warning wave)의 형태 및 진폭과 차이가 있어 나사못이 신경근의 근접한 부위에 위치한 것으로 판단하였다(Fig. 2, Table 2).

퇴행성 척추변형 10예는 각 유합범위에 따라 T12–L5 1예, L1–L5 3예, L2–L5 3예, L2–S1 2예, L2–Ilium

Table 2. MEP Characteristic of Each Group

Case	Number	Mean Op. Time (Hours)	Mean Increase of MEP Stimulus	Abnormal Signals in Continuous EMG	Intraoperative Complications
AIS*	7	5.2	26.6%	1	None
LDK [†]	10	5.6	24.3%	2	1
SS	7	3.8	15.7%	1	None

*AIS, Adolescent Idiopathic Scoliosis; [†]LDK, Lumbar Degenerative Kyphoscoliosis; [‡]SS, Spinal Stenosis.

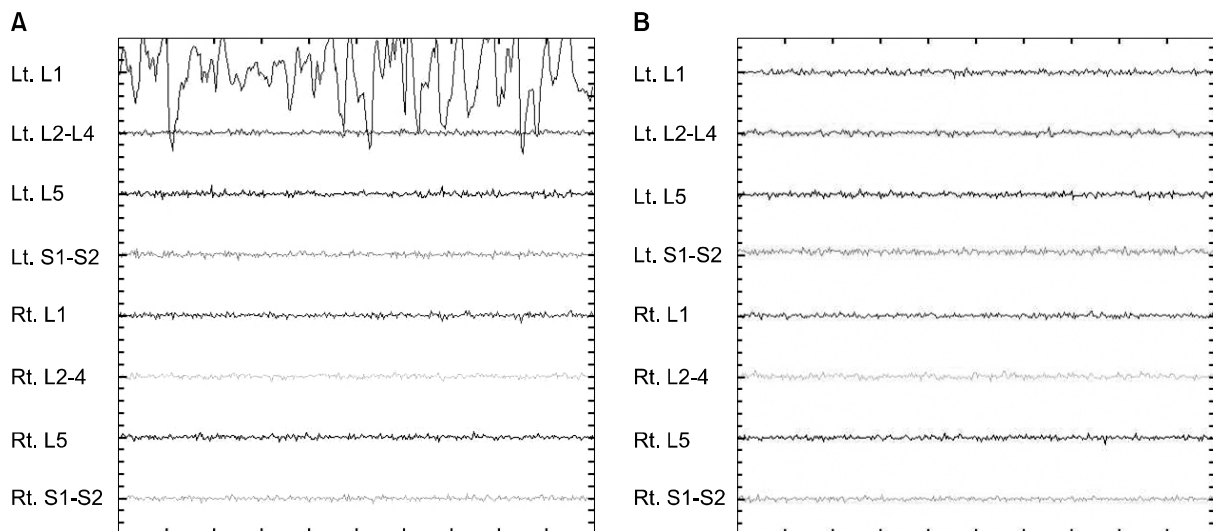


Fig. 3. (A) Channel 1 shows the severe train warning wave of the L1 nerve root, indicating reversible nerve root injury. (B) Normal signals after replacement of the pedicle screw.

1예였고, 질환 부위에 대한 감압술과 척추경 및 장골 나사못을 이용한 유합술을 시행하였다. 수술 시간은 평균 5.6시간(범위 3.6–6.4시간)이었으며, 술후 유효한 운동유발전위를 얻기 위하여 증가된 자극의 강도는 평균 24.3% (범위 10–40%)였다. 지속적인 근전도 감시 상 이상 신호가 감지된 2예 중 1예는 척추경 나사못이 신경근의 근접한 부위에 위치한 것으로 판단하였다. 나머지 1예(4.2%, 1/24예)에서는 신경 손상을 의미하는 지속적인 파형이 관찰되어 탐침자로 신경근이 자극되는 것을 확인한 후 척추경 나사못의 삽입점을 바꾸어 재삽입하였고, 술후 신경손상의 증거는 없었다(Fig. 3A–B).

척추관 협착증 7예는 유합범위에 따라 L4–L5 1예, L3–L5 3예, L4–S1 2예, L3–S1 1예였고, 질환 부위에 대한 감압술과 척추경 나사못을 이용한 유합술을 시행하였다. 수술 시간은 평균 3.8시간(범위 1.9–5.2시간)이었으며, 술후 유효한 운동유발전위를 얻기 위하여 증가된 자극의 강도는 평균 15.7% (범위 0–30%)였다. 1예에서

지속적인 근전도 감시상 kerrison punch로 신경공의 감압술을 시행하는 도중 단발성의 신경 손상 징후가 감지되었으나 지속적으로 나타나지 않고 소실되어 기구조작으로 인한 일시적 현상으로 판단하였다(Table 3).

연령에 따라 최초 운동유발 전위 자극의 강도(baseline MEP stimulus)가 영향을 받았는데 이는 주로 연령이 적은 연소기 척추 측만증에서 특징적으로 나타났다. 즉, 마취 유도 후 연소기 척추 측만증에서는 최초 자극의 강도가 높아지는 현상을 보였는데 이는 수술 부위에 대한 수술적 도달이 종료되는 시점에서 운동유발전위 자극의 강도가 줄어드는 경향을 보였다.

운동유발전위 및 지속적인 근전도 검사상 술전 근력 약화를 보인 3예에서는 운동유발전위 자극에 대한 반응이 술전 감소되어 있는 소견을 보였으나 술후 최종 운동유발전위 검사에서 자극에 대한 반응이 술전과 큰 차이를 보이지 않아 술중 신경손상의 가능성을 배제하였다. 또한 후궁판이나 후관절에 부분적인 절골술을 시행하는 경우

Table 3. Abnormal EMG Finding and Interpretation

Case	Level	Abnormal EMG	Interpretation	Intraoperative Complications	Final MEP Findings
AIS	1AN	Weak wave	Proximity of screw to nerve	None	Normal
	L2-S1	Weak wave	Proximity of screw to nerve	None	Normal
LDK	T12-L5	Train	Medial pedicular wall violation	Reversible nerve	Normal
		warning wave	with nerve irritation	root injury	
SS	L3-L5	Solitary warning wave	Proximity of punch to nerve	None	Normal

지속적인 근전도검사상 신경손상 역치이하의 진폭과 지속기간을 가진 약한 파형이 관찰되었으나 절골술후 소실되어 유해한 신경손상으로 판단하지 않았다.

고 찰

척추 수술에서 척수 및 신경근의 손상은 술후 운동 신경이나 감각 신경의 장애를 유발하는 주요한 합병증으로 여러 술자들은 술 중 조작으로 발생하는 가역적인 신경 손상이 술 후 비가역적인 신경 장애로 발전하는 것을 막기 위하여 많은 노력을 기울여 왔다. 따라서 급성 척수 손상의 예측이나 신경 손상 정도 및 예후를 측정하기 위하여 여러 가지 전기진단 방법이 사용되었으며, 이중 체성감각유발전위 검사가 가장 많이 사용되었다. 그러나 실제의 예후와 체성감각유발전위 검사의 결과가 부합되지 않으며^{11,18,25)}, 운동유발전위가 체성감각유발전위 검사보다 신경손상 정도 및 예후를 추정하는데 더 유용하다^{3,7,12)}. 본 연구에서는 술 중 신경 손상을 예측하기 위하여 척추 외과 의사 간단히 장착하고 결과를 판독할 수 있는 경두개 전기자극 운동유발전위 검사 및 지속적인 근전도 감시 장치를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 근전도 감시 장치는 자가역치(auto-threshold)가 10-20초 동안 측정된 역치의 평균값을 계산하여 설정되며, 추후의 10-20초 동안 평균값에 따라 증가·감소되거나 원래의 값으로 돌아간다.

운동유발전위 검사는 경추에서 요추에 이르기까지 수술 부위에 따라 원하는 사지를 개별적으로 감시할 수 있고, 체성감각유발전위 검사보다 더 큰 진폭을 가지고 또한 실시간 정보를 제공하는 장점이 있다^{3,7,11,27)}. 하지만 운동유발전위 검사나 체성감각유발전위 검사를 시행하는데 술 중 신경 손상을 의미하는 이상 신호의 기준(criteria)이 있어야 하며, 체성감각유발전위 검사의 경우 신경손상을 의미하는 이상 신호의 기준이 어느 정도

정립되어 있으나 운동유발전위 검사의 경우 이견이 많다^{2,9,23)}.

운동유발전위 검사에서 신경 손상을 의미하는 이상 신호에 대한 기준으로 Calancie 등²⁾은 역치기준(threshold criterion)을 제시하였는데 이는 최소 1시간 이상 양호한 운동유발전위 반응을 얻기 위하여 필요한 자극 전압이 100 V 이상 증가된 경우라 하였고, Langeloo 등⁹⁾은 진폭 기준(amplitude criterion)을 제시하였는데 이는 근육반응 진폭이 정상 기준치보다 80% 이상 감소한 경우라 하였으며, Quinones-Hinojosa 등²³⁾은 파형 기준(waveform criterion)을 제시하였는데 이는 자극 전압 역치가 증가되면서 근육 반응 파형의 형태(morphology)나 기간(duration)이 변화된 경우라 하였다. 술자들의 선호에 따라 상기 방법이 각각 사용되고 있으나 일반적으로 운동유발전위 검사에서 운동유발전위를 유도하기 위하여 필요한 자극의 강도가 50% 이상 증가된 경우를 신경 손상이 있다고 한다²⁰⁾. 저자들의 경우 양호한 운동유발전위를 유도하기 위하여 필요한 자극의 강도가 50% 이상 증가된 것을 유해한 신경 손상으로 평가하였는데, 이를 기준으로 술 중 및 술 후 신경 손상은 없었다. 또한 지속적인 근전도 감시를 통하여 술중 조작 시 자가역치를 고려한 유해한 신경 손상 역치를 설정하여 평가한 결과 1예(4.2%)에서 실제적인 신경 손상(true positive)을 발견하였다.

Langeloo 등⁹⁾의 연구에서 진폭 기준을 근거로 신경 손상 예측시 위음성 없이 7.1%의 위양성을 보고하였고, Pelosi 등²¹⁾의 연구에서도 운동유발전위 검사는 체성감각유발전위 검사보다 더욱 예민하게 신경 손상을 예측한다고 보고하였다. 비록 술 중 신경감시를 위하여 체성감각유발전위 검사와 운동유발전위 검사를 동시에 시행하면 가장 이상적이라 할 수 있으나, 모든 경우에서 이 둘의 검사가 가능하지 않으며 본 연구에서 사용된 운동유발전

위 검사는 비교적 쉽고 간편하게 적용할 수 있는 방법이라 사료된다. 위양성이 증가하면 술자가 술 중 조작을 변화해야하는 불편감이 증가하고, 운동유발전위 검사에서 위양성을 줄이려고 노력하면 위음성이 증가하여 술후 비가역적인 신경 손상이 증가할 것이다. 저자의 경우 연구 대상이 적어 실제적인 위양성을 평가하기는 어려웠으나 근전도 감시에서 유해한 신경 손상 역치 이하의 비정상적인 신호를 위양성이라 가정할 경우 위양성률은 12.5% (3/24예)였다. 하지만, 이는 위양성으로 인하여 술기상 조작에 변화가 있더라도 수술의 목표에 도달하는데 큰 장애가 없었고, 운동유발전위 검사가 위음성인 경우 술후 결과가 치명적인 합병증을 유발할 수 있으므로 검사의 신뢰도가 없다고 할 수 없을 것으로 사료된다.

전신마취 시 사용된 마취약제 용량, 마취 시간 등은 운동유발전위 검사에 영향을 주며, 마취약제가 증량되면 운동유발전위가 약화되거나 개인 편차가 크게 나타나는데 이 경우 운동유발전위 검사는 신경 손상을 감시하는데 유용하지 않게 된다^{8,13,22)}. 이러한 점에 비추어 본 연구 초기 3예에서는 신경 감시가 제대로 이루어지지 않아 마취과와 토의 후 마취 방법과 용량 등을 변경하여 시행하였다. 운동유발전위 검사에서 마취약제의 용량과 별도로 전신마취제에 노출된 기간이 길어지면 점차 진폭이 약화되는데, 운동유발전위 반응을 유도하기 위해서는 술전에 비하여 수술의 최종시기에 필요한 자극의 최소역치가 50 μV 이상이라고 한다¹⁴⁾. 본 연구에서도 각각의 질환마다 술후 유효한 운동유발전위를 얻기위하여 자극의 강도가 증가하였는데 이는 마취시간 증가, 약제 축적효과, 수술 장 환경 등의 원인을 고려할 수 있다. 그러나 저자들이 사용한 마취 방법은 전기진단 검사에 가장 영향이 적은 정맥 마취를 시행하였고, 마취약제는 propofol/remifentanyl을 사용하여 술 중 용량을 일정하게 유지하여 마취 방법에 의한 영향을 최소화하였다. 특히 연소기 척추 측만증이나 퇴행성 척추 변형의 수술에서 수술 시간은 평균 3시간 이상이었지만, 술 후 양호한 운동유발전위를 유도하기 위하여 필요한 자극의 최소 역치는 술 전과 비교하여 통계적으로 유의하게 증가하지는 않았다.

연소기 척추 측만증처럼 연령이 적은 군에서 마취유도 시 근이완제의 투여로 최초 운동유발전위 자극강도가 200 mA로 높은 경우가 있었으나 이는 추체 후궁에 수술적 도달(surgical approach)이 종료되는 시점에서 근이

완제 효과가 소실되어 추후 검사에 영향을 주지 않았다. 따라서 근이완제는 기관 삽관을 위하여 초기에 투여하고 이후 술 중에는 제한하는 것이 운동유발전위 검사를 실시하는 과정에서 아주 중요한 점임을 강조한다. 이외에 체온도 운동유발전위 검사에 영향을 주며 저체온의 경우 위음성이 증가할 수 있다. 따라서 운동유발전위 검사나 체성감각유발전위 검사에서 적절한 체온을 유지하는 것이 중요하고, 적절한 체온은 기저 체온에서 2-2.5°C 내외라고 한다^{19,24)}. 본 연구에서 술 중 환자의 체온에 대한 감시는 이루어 지지 않았으나, 적절한 외부 환경을 유지하였고 운동유발전위 유도를 위한 자극의 최소 역치가 증가하지 않아 결과를 해석하는 변수로 고려하지 않았다.

결론

본 연구는 국내에서 최초로 연구된 척추 수술시 운동유발전위 검사와 지속적인 근전도 감시에 대한 결과 보고로 신경 감시를 통하여 신경 감압술시 기구의 조작으로 인한 척수 및 신경근의 손상을 줄이고, 척추경 나사못 삽입 시 신경근과 나사못의 근접도를 평가하여 신경 손상을 예방할 수 있었다. 또한 신경 감시를 위한 정확한 마취 방법과 술 중 이상 반응을 정확히 해석하는 판단 기준 설정에 대한 추후 연구에 본 연구 결과가 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Bridwell KH, Lenke LG, Baldus C, Blanke K: Major intraoperative neurologic deficits in pediatric and adult spinal deformity patients. Incidence and etiology at one institution. *Spine*, 23: 324-331, 1998.
2. Calancie B, Harris W, Broton JG, Alexeeva N, Green BA: "Threshold-level" multipulse transcranial electrical stimulation of motor cortex for intraoperative monitoring of spinal motor tracts: description of method and comparison to somatosensory evoked potential monitoring. *J Neurosurg*, 88: 457-470, 1998.
3. Cioni B, Meglio M, Rossi GF: Intraoperative motor evoked potentials monitoring in spinal neurosurgery. *Arch Ital Biol*, 137: 115-126, 1999.
4. Constantini S, Miller DC, Allen JC, Rorke LB, Freed D, Epstein FJ: Radical excision of intramedullary spinal cord

- tumors: surgical morbidity and long-term follow-up evaluation in 164 children and young adults. *J Neurosurg*, 93(Suppl 2): S183-S193, 2000.
5. **Cristante L, Herrmann HD:** Surgical management of intramedullary spinal cord tumors: functional outcome and sources of morbidity. *Neurosurgery*, 35: 69-76, 1994.
 6. **Dawson GD:** Cerebral responses to nerve stimulation in man. *Br Med Bull*, 6: 326-329, 1950.
 7. **Jones SJ, Harrison R, Koh KF, Mendoza N, Crockard HA:** Motor evoked potential monitoring during spinal surgery: responses of distal limb muscles to transcranial cortical stimulation with pulse trains. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 100: 375-383, 1996.
 8. **Kalkman CJ, ten Brink SA, Been HD, Bovill JG:** Variability of somatosensory cortical evoked potentials during spinal surgery. Effects of anesthetic technique and high-pass digital filtering. *Spine*, 16: 924-929, 1991.
 9. **Langeloo DD, Lelivelt A, Louis Journée H, Slappendel R, de Kleuver M:** Transcranial electrical motor-evoked potential monitoring during surgery for spinal deformity: a study of 145 patients. *Spine*, 28: 1043-1050, 2003.
 10. **Lenke LG, Betz RR, Harms J, et al:** Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am*, 83: 1169-1181, 2001.
 11. **Lesser RP, Raudzens P, Lüders H, et al:** Postoperative neurological deficits may occur despite unchanged intraoperative somatosensory evoked potentials. *Ann Neurol*, 19: 22-25, 1986.
 12. **Levy WJ, McCaffrey M, Hagichi S:** Motor evoked potential as a predictor of recovery in chronic spinal cord injury. *Neurosurgery*, 20: 138-142, 1987.
 13. **Lubicky JP, Spadaro JA, Yuan HA, Fredrickson BE, Henderson N:** Variability of somatosensory cortical evoked potential monitoring during spinal surgery. *Spine*, 14: 790-798, 1989.
 14. **Lyon R, Feiner J, Lieberman JA:** Progressive suppression of motor evoked potentials during general anesthesia: the phenomenon of "anesthetic fade". *J Neurosurg Anesthesiol*, 17: 13-19, 2005.
 15. **Marsh B, White M, Morton N, Kenny GN:** Pharmacokinetic model driven infusion of propofol in children. *Br J Anaesth*, 67: 41-48, 1991.
 16. **Minto CF, Schnider TW, Egan TD, et al:** Influence of age and gender on the pharmacokinetics and pharmacodynamics of remifentanyl. I. Model development. *Anesthesiology*, 86: 10-23, 1997.
 17. **Nuwer MR:** Spinal cord monitoring with somatosensory techniques. *J Clin Neurophysiol*, 15: 183-193, 1998.
 18. **Nuwer MR, Dawson EG, Carlson LG, Kanim LE, Sherman JE:** Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: results of a large multicenter survey. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 96: 6-11, 1995.
 19. **Oro J, Haghighi SS:** Effects of altering core body temperature on somatosensory and motor evoked potentials in rats. *Spine*, 17: 498-503, 1992.
 20. **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*, 16(Suppl 2): S115-S129, 2007.
 21. **Pelosi L, Lamb J, Grevitt M, Mehdian SM, Webb JK, Blumhardt LD:** Combined monitoring of motor and somatosensory evoked potentials in orthopaedic spinal surgery. *Clin Neurophysiol*, 113: 1082-1091, 2002.
 22. **Perlik SJ, VanEgeren R, Fisher MA:** Somatosensory evoked potential surgical monitoring. Observations during combined isoflurane-nitrous oxide anesthesia. *Spine*, 17: 273-276, 1992.
 23. **Quiñones-Hinojosa A, Lyon R, Zada G, et al:** Changes in transcranial motor evoked potentials during intramedullary spinal cord tumor resection correlate with postoperative motor function. *Neurosurgery*, 56: 982-993, 2005.
 24. **Sakamoto T, Kawaguchi M, Kakimoto M, Inoue S, Takahashi M, Furuya H:** The effect of hypothermia on myogenic motor-evoked potentials to electrical stimulation with a single pulse and a train of pulses under propofol/ketamine/fentanyl anesthesia in rabbits. *Anesth Analg*, 96: 1692-1697, 2003.
 25. **York DH, Watts C, Raffensberger M, Spagnolia T, Joyce C:** Utilization of somatosensory evoked cortical potentials in spinal cord injury. Prognostic limitations. *Spine*, 8: 832-839,

1983.

26. Yuan HA, Garfin SR, Dickman CA, Mardjetko SM: A historical cohort study of pedicle screw fixation in thoracic, lumbar, and sacral spinal fusions. *Spine*, 19(Suppl 20): S2279-S2296, 1994.

27. Zornow MH, Grafe MR, Tybor C, Swenson MR: Preservation of evoked potentials in a case of anterior spinal artery syndrome. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 77: 137-139, 1990.

= 국문초록 =

목 적: 척추 수술에서 발생할 수 있는 척수 및 신경근의 손상을 예측, 예방하고자 운동유발전위(MEP) 및 근전도 검사(EMG)를 시행하여 유용성에 대한 전향적 연구를 시행하였다.

대상 및 방법: 정맥마취 하에, 수술 중 MEP 및 EMG를 시행한, 연소기 척추 측만증(AIS) 7예, 퇴행성 척추변형(DSD) 13예, 척추관 협착증(SS) 7예를 대상으로 하였다. 근이완제의 과다투여로 인하여 3예에서 신경 감시가 이루어지지 않았으나, 이의 교정으로 24예에서 가능하였다. 신경감시의 성공율, MEP를 위한 전기자극, 그리고 비정상적인 신호를 평가하였다.

결 과: 신경감시의 성공률은 88.9%였다. 정상 신경반응을 의미하는 MEP를 얻기 위하여 증가된 자극의 강도는 AIS; 26.6%, DSD; 24.3%, SS; 15.7%였다. EMG에서 신경 손상의 징후는 총 4예에서 관찰되었고, 이중 3예는 유해한 신경 손상이 아니었다. 1예는 술중 탐침자로 신경 손상이 확인되어 척추경 나사못의 삽입점을 바꾸었다. 신경 손상의 징후를 보인 예에서 술후 신경 손상은 없었다.

결 론: MEP와 EMG는 감압술 및 기구의 조작으로 인한 척수 및 신경근의 손상을 예방할 수 있으며, 이를 위한 마취 방법과 술 중 이상 반응을 해석하는 것이 필수적이다.

색인 단어: 국문색인단어척추수술, 운동유발전위 검사, 근전도 검사