

현장 및 원격 수술중신경계감시



이 은 미

울산대학교 의과대학 울산대학교병원 신경과학교실

On-site and Remote INM

Eun-Mi, Lee, M.D., Ph.D.

Department of Neurology, Ulsan University Hospital, University of Ulsan college of Medicine

Intraoperative neurophysiological monitoring (INM) in has changed over time with the creating of modified clinical practice models. Clinical practice models of INM have differing levels of supervision, depending on the complexity of the cases being monitored and the proximity of the supervising and interpreting neurophysiologist. Besides following the principle on personally local supervision model (on-site INM), progressive advances on super-high-speed information communications network lines have reduced the effort of local supervision for neurophysiologists (nearby INM, remote INM) in clinical practice. In this article, we will discuss the different practice models of INM, representative monitoring modality and surgical application of each model and limitation and concern of remote INM.

Key Words: Telemedicine, intraoperative neurophysiological monitoring, remote model, on-site model, local model

서론

수술중신경생리감시는 수술 전 환자에 대한 신경학적 평가, 영상의 리뷰, 수술 중 발생할 수 있는 신경 구조물의 예 측 및 위험을 최소화하기 위하여 수술중 뇌파, 유발전위, 침근전도 등 다양한 감시종류를 적절히 조합하는 계획을 세우고, 수술 중 경고 기준 이상의 변화 시 적절한 해석 및 즉각적 대응을 포함하는 연속적인 과정을 포함한다. 크게 목적에 따라 신경생리전문의가 직접 수술장에서 고차원적 신경계구조물(뇌피질, 뇌간, 뇌신경 및 척수근) 위치를 파악하는 지도화(mapping)와 신경생리기사의 보조 하에서 직, 간접적으로 지도. 감독하면서 수술 전과 비교하여 수술 과정 중 각 신경생리검사 유형별 미리 설정된 위험 경고 기

준에 따라 위험을 판단하고 추가적 조치를 원하는 추적 감시(모니터링)로 나눌 수 있다. 수술방에서 감시 판독이 바로 이루어지는 고전적 로컬 감시 모델은 class I, class II의 임상근거를 가지며 그 유용성 및 효과가 입증되었다¹. 그러므로 신경생리전문의 및 이의 감독하에 있는 신경생리기사는 고전적 로컬 감시 모델을 근간으로 수술중신경생리감시를 받는 환자 곁에 상주하며 실시간 판단을 제공한다. 우리나라의 건강보험공단 행위 급여 목록에서도 수술중신경생리감시는 즉각적 판독이 가능한 신경과 및 재활의학과 전문의가 감시 및 판독을 한 경우에 요양급여 비용을 산정하도록 하고 있다.

수술중신경생리감시 도입 초기인 1990년대 초반에는, 신경생리전문의가 각 수술방에 상주하는 신경생리기사를 감독하는 고전적 모델이 사용되었으나 (현장감시, on-site monitoring), 90년대 중후반부터는 검사 진행상황을 전산망으로 연결된 원내 중앙감시센터에서 감독 가능하며, 필요시 수술장에 바로 진입가능한 시스템을 마련하여 공간적 유연성을 발휘할 수 있게 되었다 (근접감시, nearby monitoring). 전산망 연결은 되어 있으나 물리적 공간 이동 제약이 심해 수술장에 직접 출입이 불가능한 경우를 원격(remote site) 감

Eun-Mi Lee

Department of Neurology, Ulsan University Hospital, University of Ulsan college of Medicine

877, Bangeojinsunhwando-ro, Dong-gu, Ulsan, Republic of Korea

Tel: 052-250-8891

Fax: 052-250-7088

E-mail: saltmoon@hanmail.net

시라 하며, 최근 10여년 사이에 기술적으로는 원외 원격 감시, 심지어는 국외에서의 지원도 가능하다(remote monitoring). 즉 수술중신경생리감시의 도입시기에는 감시 체계 구축, 전문인력 확보에 힘입어 양적으로 성장했다면, 수술중신경생리감시가 보편화되면서 감시 수준에 따른 시공간적 확장성, 효율성을 고려한 감시 수준의 적용 등 질적 성장에 관심이 대두되고 있다.

여기서는 수술중신경생리감사의 감시 운영 행태를 수준(level)에 따라 구분해보고, 고전적 로컬 감시 모델을 구성하는 현장 감시 및 근접 감시를 사용하는 대표적인 검사 방법 및 임상 적용 분야를 알아보고, 정보통신 기술 발전과 맞물려 대두되고 있는 원격 수술중신경생리감사의 한계와 제도적 보완점에 대해 살펴보고자 한다.

본론

신경생리전문의와 검사 진행 장소의 물리적 위치 관계 및 감시 운영 행태에 따라 크게 현장 감시와 원격 감시로 나눌 수 있다. 좀더 세분화하면 주요수술의 전체 진행과정을 환자 1명에 신경생리전문의 1인이 일대일로 대응하여 실시간 감시 및 해석, INM team과 feedback 의사결정을 하는 경우 개별 집중 현장 감시(personally, intensive on-site monitoring)라 정의할 수 있고 절대적인 시공간 제약을 받는다. 이보다 공간적 제약이 완화된 감시 모델로는 수술방 2-3곳을 전담하며 직접 라운딩하며 여러 명의 신경생리기사와 및 집도의, 마취의(INM-Team)와 의사소통을 하기도 하고, 각 수술방의 감시 데이터가 원내 전용 통신망을 통해 수술방 근처 중앙감시센터로 연결되어 실시간으로 수술방의 검사 진행상태를 모니터링하면서, 신경생리기사의 요청(on-call)이 있거나, 중앙감시센터에서 파형의 변화를 미리 감지하여 바로 수술방으로 이동하여 참여할 수 있는 경우를 근접 감시(nearby-monitoring)라 정의할 수 있고, 이 둘을 적절히 섞어 운영하는 경우를 로컬 감시 모델이라 할 수 있다. 로컬 감시 모델은 신경생리전문의가 감시장비를 운용하는 신경생리기사를 직접 관리 감독하며, 감시 중 발생하는 기술적 문제의 확인 및 해결을 지원한다. 즉 검사 시간의 전체 내지 일부 시간에 신경생리전문의가 수술방에 실제로 존재하며 집도의 및 마취과의사와 직접 대면하면서 실시간 의사결정을 내리는 구조이다. 로컬 감시의 노동강도, 시공간적 제약으로 인해 신경생리전문의는 최대 동시 3명까지 감독할 수 있다². 이와 다른 운영 행태로 원격 감시

(remote monitoring) 모델이 있으며, 독립된 공간에서 중앙 처리 네트워크가 있어 실시간으로 수술방의 검사 진행상태 모니터링은 가능하나 수술장예의 직접 참여는 불가능한 경우 원격 감시(remote monitoring)라 하며, 이 또한 원격지 신경감시전문의의 위치에 따라 원내, 원외로 나눌 수 있다.

1. 현장 감시(onsite-INM)

고도의 신경해부학적 지식을 기반으로 수술장에서 실시간의 평가 및 판단, 집도의와의 직접 의사소통이 필요한 경우가 많으므로 신경생리학을 전공한 전문의사와 이를 기술적으로 보조하는 전기생리학 기사가 참여하게 된다. 시행하는 검사 종류로는 뇌피질뇌파(electrocorticography, EcoG), 직접 뇌피질 자극술(direct cortical stimulation), 체성감각 유발전위(Somatosensory Evoked potential, SSEP), 근전도(Electromyography)가 대표적이며 주로 뇌피질 및 뇌간의 언어중추, 운동중추, 감각중추, 시각 중추, 뇌신경 및 척수 신경뿌리 등 신경계구조물의 위치 및 경계선을 찾아내어 외과적 절제 수술 도중 병소를 가급적 충분히 절제하면서 중요한 뇌기능을 최대한 보존하고 신경학적 손상을 예방하기 위한 목적으로 시행하게 된다. 고전적 모델인 현장 감시의 대표적인 적응증은 다음과 같다.

1) 뇌전증수술의 뇌피질뇌파 감시

뇌전증 수술에서 절제범위를 좀더 정밀하게 결정하기 위해 뇌절제 부위 경계는 뇌전증 병소 주변 신경조직의 정상 기능 위치(cortical mapping), 뇌전증으로 인한 기능이상을 보이는 네트워크(회로)범위, 병소 및 주변조직을 절제 시 발생할 수 있는 결과 모두를 고려하여 결정된다. 예를 들면 정상 MRI를 보이는 측두엽 뇌전증에서 전방측두엽 절제술의 경계는 수술중 뇌피질뇌파를 시행함으로써 전기생리학적으로 불안정한 흥분성영역(irritative zone)을 충분히 포함한 좀 더 넓은 부위로 결정될 수 있다. 이 검사는 추적감시를 목적으로 하는 검사방법과 달리 시간적 제한이 있으며, 뇌피질뇌파를 전문적으로 판독할 수 있는 뇌전증 전문의가 주로 검사를 시행하고 해석한다. 흥분성영역이 뇌전증병소와 완벽하게 일치하지 않는다는 한계가 있음에도 불구하고, 중요한 실시간 기능적 정보를 제공해서 뇌피질뇌파감시를 참조한 분석은 절제 범위의 결정에 영향을 준다.

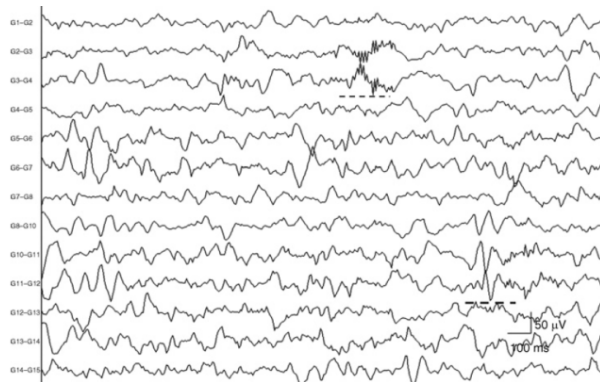


Figure 1. ECoG during epilepsy surgery.

2) 천막상부 및 뇌간 종양 절제 수술의 신경감시

체성감각유발전위검사(SSEP)는 수술 부위 뇌 반대측 상지에서 정중신경, 하지에서 경골신경을 자극하여 중심구전후의 뇌피질 표면에서 위상역전반응(phase-reversal)을 관찰할 수 있다. 정중신경 자극시 반대측 뇌의 감각영역피질을 흥분시켜 N20P30파형을 유발하며 운동영역피질에서는 반대로 P20N30의 전위를 형성하여 중심고랑 근처의 뇌종양 절제시 일차 운동 및 일차 감각피질영역의 경계선을 정확한 구분지음으로서 수술 이후 운동중추 손상을 최소화할 수 있다. 특히 종양으로 인해 해부학적 위치가 원래의 위치에서 변경되는 경우, 예상보다 다른 부위에서 위상역전반응이 나타날 수 있음을 알고 있어야 하며, 뇌종양으로 인하여 감각중추나 운동중추의 기능이 심각하게 손상된 경우 이로 인하여 파형이 원활하게 형성되지 않으므로 검사 파형이 예상과 다르다면 반드시 수술전 뇌영상 리뷰나 환자의 신경학적 상태를 직접 평가해서 사전 정보를 알고 있어야 하며 전기자극 부위를 옮겨가면서 종합적으로 판단해야 한다. 위상역전의 기록은 단지 중심고랑이 위치하는 것을 의미하며, 운동기능피질의 구체적 분포에 대해서는 알기 어렵다.

직접 뇌피질 자극술(Direct cortical stimulation)은 중요한 뇌기능(언어, 운동, 감각, 시각 등) 위치를 정확히 평가하여 보존하기 위해 시행하며, 특히 뇌종양과 같은 구조적 병변은 정상적인 해부학적 표식을 변형시켜 육안으로 기능적 위치를 구분하기 어렵게 만드는 경우가 많아 언어중추, 일차운동감각신경, 시각중추 부위를 양극자극기로 노출된 뇌 표면에서 위치를 옮겨가면서 자극하거나, 경막하전극(subdural electrode strip or grid)을 부착하고 번호를 바꾸어가면서 자극하여 자극반대편의 혀, 얼굴, 팔의 움직임을

육안 또는 미리 설치한 근전도로 확인한다. 운동영역 지도화는 근이완제를 사용하지 않은 상태의 전신마취 및 각성 상태에서 가능하며, 전신마취인 경우 좀더 높은 자극이 필요하다. 수술장에서 직접 뇌피질 자극술을 통한 운동영역 위치 확인은 감각신경유발전위를 이용한 중심고랑 구별법보다 시간적 소모가 많고, 근육움직임 반응이 나타나지 않을 때 기능이 없다고 말하기 힘든 단점이 있다. 종양절제수술에서 운동기능검사를 제외한 감각, 시각, 언어기능의 검사는 모니터링 목적으로는 뇌종양을 절제할 때까지 환자가 각성상태를 유지해야 하므로 환자가 점차 지치게 되고 신경생리전문의로도 시간적 소모가 많다.

뇌간 수술의 경우 외과적 절제로 인한 뇌신경핵의 손상 및 뇌신경 건인에 의한 간접 손상이 가능하므로 전기직접 자극을 직접 뇌간 및 뇌신경을 자극하고 기록전극에서의 유발근전도(triggered EMG) 반응을 보면서 외전신경, 안면신경 및 미주신경, 부신경, 설하신경 등 운동신경핵의 위치를 확인할 수 있다. 그러나 뇌병변 위치와 수술접근 방법 및 노출된 수술시야에 따라 자극을 가할 수 없거나, 자극이 무의미한 경우 뇌신경, 뇌신경핵의 위치 및 뇌간 기능 평가에는 기술적 제한이 있을 수 있다. 신경구조물 위치 평가가 가능한 대표적 근반응 위치로는 외전근, 안면근, 설근, 연구개 근육, 흉쇄유돌근 및 승모근에 기록전극을 설치하게 되며, 성대의 경우 표피전극이 부착된 특수 제작된 기도관을 이용하게 된다. 수술 중 신경손상을 감시하는 목적으로는 운동 신경을 담당하는 뇌신경의 경우 자발적 근전도 흥분을 지속적으로 기록하여(free running EMG) 근전도 파형과 함께 소리의 변화를 기록하며, 신경허혈이나 신경계 변형과 관련된 파형의 출현, 지속 유무를 감시하게 된다. 청각, 전정신경의 압박 및 신전, 허혈로 인한 손상 및 뇌간의 외측망상계(lateral lemniscal pathway)를 감시하기 위하여 뇌간청각유발전위(BAEP) 및 뇌간을 통과하는 좀더 광범위한 감각신경계인 내측망상계(medial lemniscal pathway) 기능 이상을 간접적, 보조적으로 확인하기 위해 체성감각유발전위(SSEP)가 뇌간 기능 감시방법으로 널리 이용된다.

뇌간은 주요한 뇌기능의 경로이면서 다양한 조절기능을 수행하는 밀집된 신경구조물의 복합체로 신경구조물의 기능 확인 및 추적감시가 복합되는 고도복잡수술이 많아 현장 직접 감시가 요구되는 경우가 많다.

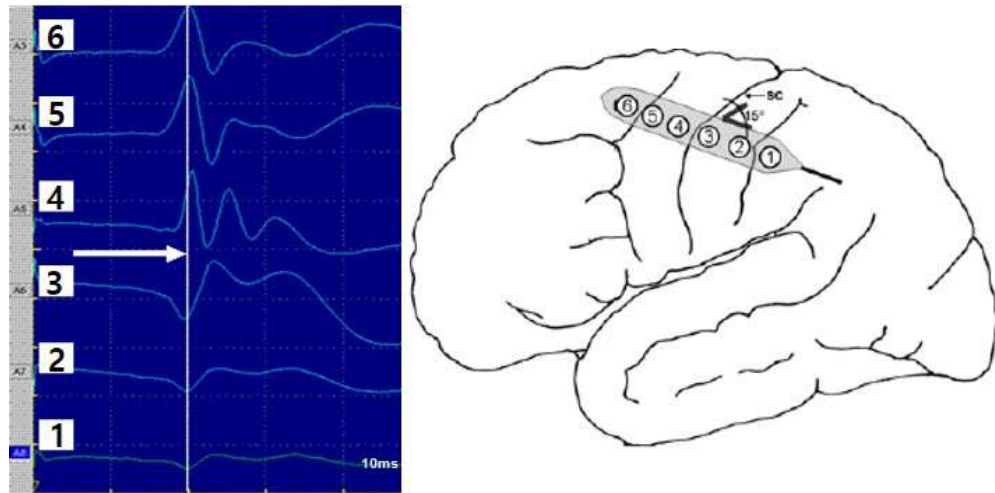


Figure 2. Localization of central sulcus. The cortical potentials are recorded on subdural electrode by medial nerve stimulation. Phase reversal of cortical waves between electrode 3 and electrode 4 is observed about 20 msec (arrow). Schematic drawing shows the electrode relation to the central sulcus.

3) 근전도를 이용한 선택적 배부신경술 절제술 (selective dorsal rhizotomy)

뇌성마비 환자에서 상당수는 상하지 (주로 하지)의 근신 경계반사의 과흥분으로 근긴장성이 항진되어 강직성 보행 장애를 초래한다. 운동신경근을 절제할 경우 근위약 합병증이 발생하므로 운동 감각 신경을 구분하고 선택적으로 과흥분된 감각신경근을 절제하여 강직을 교정하는 수술을 선택적 감각신경근 절제술(selective dorsal rhizotomy) 한다. 신경근분포에 따라 대표 근육을 설정하여 근전도 침전극에서의 반응을 기록하며 갈고리모양의 양극성 자극기를 사용해 신경근을 살짝 들어올려 자극하며 근전도 반응을 세분하여 grade 3 이상을 나타낸 감각 신경근 절제를 하게 된다. 자극 역치값을 점차 올리면서 실제 근수축 여부, 근전도 파형 특징을 보면서 운동, 감각신경근을 구분한다.

2. 근접 감시 (Nearby INM)

수술 중 신경계 합병증 우려가 있는 주요 수술 (main procedure) 진행 전 기저상태에서 신경생리검사 종류에 따른 정량 평가 지표를 명확히 설정하고, 검사 방법마다 미리 정해 놓은 적절한 경고 기준을 마련해 놓는 것이 중요하다. 신경생리기사가 생체 데이터를 획득 및 기계적 오류에 대처하는 일차 감시자 역할을 하며, 개입이나 소통이 필요한 시점에 즉각적으로 신경생리감시전문의와 소통하는 시스템

을 구축하는 것이 중요하다. 원내 감시망을 이용하는 경우, 신경생리감시전문의는 검사실 장비와 실시간으로 연동된 모니터가 마련된 독립된 전용공간에서의 PC, 무선 노트북이나 태블릿 PC 등을 이용할 수 있다. 수술장에서 마취시작부터 끝까지 한 환자 당 한 명의 마취과 의사가 배당되어 환자 마취를 감시하지 않듯이, 중요도에 따라 모니터링이 주목적인 수술은 여러 신경생리기사를 두고 전담 신경생리전문의가 라운딩하면서 다중 검사에서 벌어지는 상황을 감독, 지원하는 방식이 일반적이다. 완화된 현장 감시 모델인 근접 감시를 사용하는 대표적인 검사 방법 및 임상 적용 분야는 다음과 같다.



Figure 3. Nearby INM. Neurophysiologist monitors from a nearby site with online (tablet PC) and goes into the operation room if needed.

1) 척추 신경계 감시

체성감각유발전위 (SSEP), 경두개 전기자극을 이용한 운동유발전위 (Tc-MEP)를 같이 사용하고, 경추부 및 요추추부 신경근 감시가 필요시 침근전도를 추가한다. 척수측만증, 퇴행성 척추질환 및 외상으로 인한 척수압박병증 발생시 유합고정술, 척수중앙 등에서 사용한다. 자극의 기술적 방법은 과거 많이 다뤄졌음으로 자세한 소개는 생략한다. 체성감각유발 전위의 경고 수준은 진폭이 기저상태에 비해 50%이상 감소하거나 절대값폭기가 10%이상이면 경고를 하고, 진폭이 90% 이상까지 감소하면 수술을 중단하고 견인을 풀거나, 혈압상승 및 관류 증가 유도 등 중재술을 고려한다. 운동유발전위의 경고 수준으로 많이 사용하는 기준은 수술의 종류에 따라 다양한데 척추수술에서는 진폭 80% 이상 감소^{3,4}나 파형 소실 기준^{5,6}을 선호한다. 기저질환으로 이미 피질척수로나, 감각신경로가 손상이 심한 경우 기저상태 평가가 제한되거나 높은 자극 역치가 요구되는 경우 검사의 신뢰성이 떨어질 수 있으므로 수술전 환자의 신경학적 검사 및 수술전 유발전위검사 결과를 참조하여 해석해야 한다.

2) 경두개초음파를 이용한 수술중신경계감시

경동맥내막절제술 시행 과정에서 동측 중대뇌동맥(MCA)의 혈류속도를 감시하여 수술 중, 후 혈류역학 변화와 색전 발생에 대한 중요한 정보를 제공한다. 지속감시 중 결찰 (clamping)로 인해 측부순환이 불충분한 경우 중대뇌동맥 평균혈류속도(MV)가 결찰 전 기저상태와 비교해 50% 이상 감소하거나 절대적 속도가 20cm/sec 이하로 감소하면 유의한 경고수준으로 본다⁷. 유의미한 혈류감소가 있는

환자는 셌트(shunt)를 삽입하는 우회술을 시행하여 뇌허혈 손상을 예방하고, 내막 박리, 선택적 셌트 삽입, 결찰 제거, 상처 봉합의 일련의 과정 중 미세색전 (microembolism)을 발견할 수 있는 장점이 있다. 결찰을 풀고 나서 최고수축기 혈류속도 (PSV) 증가율로 과관류증후군의 위험도를 평가할 수도 있다.

3. 원격감시

1) 미국의 원격 수술중신경계감시 모델의 의료보험제도 선례

미국은 증가하는 수술중신경생리감시 수요의 양적 팽창, 이를 따라잡지 못하는 신경생리감시전문의 인력자원의 제한된 공급, 낮은 의료서비스 접근성 등 원격 감시시장이 활성화될 수 밖에 없는 환경에서 정보통신망의 기술적 뒷받침을 통해 원격 수술중신경생리감시 모델은 비약적으로 발전하였다. 과거에는 신경생리전문의의 로컬 모델을 적용한 수술중신경생리감시만 보험 청구가 인정되었으나 2001년에는 직접 감독 조항이 삭제되고⁸, 수술장과 실시간 데이터가 연동되면 장소의 제약 없이 다중 원격 감시가 허용되면서, 신경과에서 시행하는 유망한 원격의료 적용 분야가 되었다. 이로서 고전적인 현장, 근접감시를 보완하여, 신경생리전문의가 없는 원격지의 환자에게도 수술중신경생리감시 서비스를 제공할 수 있게 되었다. 지난 10년간 미국 메디케어에 청구된 수술중신경계감시 건수는 직접 감독 조항이 삭제된 후를 기점으로 폭발적인 양적 성장을 이루었다. 그러나 다중 감시의 남용으로, 2012년 미국신경과학회 정책위원회에서는 동시 감시할 수 있는 적정 환자수를 3-6명 이하로 감시할 것을 권고하였다⁹. 미국의 수술중신경생리

Table 1. 상대가치비율, 원격감시 및 다중 동시 청구 여부를 포함한 수술중신경계감시의 미국의 의료보험제도 코딩과 청구 변화.¹⁰

항목	의료행위분류체계 (CPT) 코드				
	2012 CPT5	2013 미국의사협회상대가치개정위원회		2013 의료보험 최종 규정	
	95920	95940	95941	95940	95941
	수술중신경계감시	현장 수술중신경계감시	원격 수술중신경계감시/ > 1 환자 또는 시간당	현장 수술중신경계감시	원격 수술중신경계감시/ > 1 환자 또는 시간당
단위	1시간	15분	1시간	15분	1시간
상대가치값	2.11	0.5	2.0	0.6	a
원격 감시	허용	불가	허용	불가	허용
동시 청구	허용	불가	허용	불가	b

^a 상대가치 청구는 추가지불보상제도 코드 G0453과 동시 청구되어야 승인된다. 상대가치값은 15분당 0.5로 산정

^b 의료행위분류체계 (CPT) 95941는 1명 이상 허용되나, 추가지불보상제도 코드 G0453은 반드시 직접 지시를 받은 단독감시에 한한다."

감시 요양급여는 현장 감시 방법과 원격 감시 방법에 따른 구별이 없는 단일 코드를 사용하였으나 2013년 의료행위 상대가치개정 위원회가 감시 모델에 따른 이원화된 분류코드를 제안하였고, 2013년 최종 진료비 지불수가코드는 현장 1:1 감시 모델의 요양급여 코드의 신설, 원격 감시의 경우 다중 동시 원격 감시가 원칙적으로 제한되고, 단독 환자의 원격 감시인 경우로 제한하여 요양급여를 인정하도록 강화되었다 (Table 1)¹⁰.

2) 원격 감시 모델의 장단점

원격 감시 방법의 득과 실은 수년 이상 논란이 되고 있지만, 특히 복잡한 수술 및 고난이도 감시기술이 필요한 신경생리감시 상황에서 직접 대면이라는 옵션이 불가능한 경우, 현지 집도의와 환자, 원격지 신경생리감시 전문의간의 소통 능력은 제한될 수밖에 없다. 원격 감시로는 수술장에서 일어나는 기술적, 임상적 세부사항을 점검하기 어렵기 때문에 이의 근본적인 해결은 쉽지 않다. 원격지 신경생리전문의가 수술방에 물리적으로 존재하지 않기 때문에 감시장비의 기계적 오작동이 발생하는 등의 기술적 문제 해결이 필요시 현지 신경생리기사 직접 지원이 어렵고, 텍스트가 아닌 영상통화 등의 매체를 통하여 이러한 단점을 일부 보완할 수는 있겠으나 INM-team과의 의사소통 효율성이 현장에서 직접 지휘하는 로컬 모델보다는 떨어진다. 또한 원격지 신경생리전문의의 환자 의무기록이나 영상 자료 접근이 제한되거나 통제된다면, 원격 감시 방법에 적합한 환자군은 제한적이다. 인터넷 연결이 불안정하여 수술 중 전송 오류로 감시가 되지 않을 수도 있다. 의료데이터는 가장 민감한 개인정보로 의료정보 교류는 병원간 환자기록 공유를 위한 협약 체결이 필요하며, 병원간 정보이동에 따른 보안 및 책임문제가 뒤따른다. 생체

정보의 실시간 모니터링은 인터넷 통신기술의 안정성, 정보 자체의 보안과 함께 개인의 권익을 보호할 수 있는 법적 제도나 기술적 측면이 강조되고 있어 이의 동반성장, 인프라 없이 단순 정보통신기술 요건의 뒷받침만으로 시행이 불가능하다. 원격 감시의 장점은 신경생리검사가 필요한 수술 건수가 많지 않아 전담 신경생리검사 전문의 인력이 없는 중소규모 병원에서도 적극적으로 신경생리감시를 시행할 수 있으며 병원 간 의료 서비스 격차를 줄이는데 일조할 수 있다. 원격 감시 모델의 근본적 한계가 있더라도, 일부 선택적인 고난이도 수술에서는 원격 수술중신경생리감시라도 시행하는 것이 아예 시행하지 않는 것보다 수술후 신경손상 예방할 수 있기 때문이다.

3) 우리나라에서 원격 수술중신경감시를 위한 제반 고려사항 (Table 2.)

의료법 상 원격의료는 의료인은 컴퓨터, 화상통신 등 정보통신 기술을 활용하여 먼 곳에 있는 의료인에게 의료지식이나 기술을 지원하는 원격의료를 할 수 있다. 원격의료를 행하거나 받으려는 자는 보건복지부령으로 정하는 시설과 장비를 갖추어야 한다라고 명시되어 있다. 현재 우리나라에서 의사-의사간 원격의료는 판독분야에서 일부 허용되는데 영상부분에 해당하는 원격영상판독(Teleradiography), 원격병리판독(Telepathology) 이 있다. 이는 각 병원 내에서 이루어지는 PACS 판독이나 병리 판독을 외부에 의뢰하는 것으로, 검사는 병원에서 하되 판독은 외주를 주는 형식으로 의사-의사간의 원격의료 유형이다. 현행 의료법에서는 의사-의사간 원격 의료 유형의 경우만 환자에 대한 책임소재를 명확하게 명시하고 있으며, 의사-의사가 아닌 의료인간 원격의료유형에 대한 환자 책임은 명확하게 규정하고

Table 2. 원격의료 유형분류

유형		원격지의사	현지의료인	원격 자문 및 감시	비고
1차분류	2차분류				
의사-의료인간 원격의료	의사-의사간 원격진료	(치과,한)의사	(치과,한)의사	원격영상의학판독 원격임상병리판독 원격 전문의 자문	현행 의료법에 의거 시행가능
	의사-의사가 아닌 의료인간 원격진료	(치과,한)의사	간호사,조산사 (신경생리기사??)	보건소 원격가정간호 (수술중신경감시??)	현행 의료법에 의거 현지 의료인의 자격과 관련한 논란이 있음. 관련법에 의거 일부 시행 가능
의사-환자간 원격의료		(치과,한)의사	현지의료인 없음(환자 본인 또는 보호자)		현행 의료법에서 정의되지 않았으며 시행 불가

있지 않다. 또한 의사의 의료지식 또는 기술지원을 받아 현장에서 의료행위를 수행하는 현지 의료인의 자격범위를 의료인 (의사, 치과의사, 한의사, 간호사, 조산사)로 정의되어 있어 원격지의 수술중 신경생리전문의-현지 신경생리기사의 수직적 감독, 지시 관계는 의료법에서 인정되지 않는다. 그러므로 원격 신경생리감사는 원격의료의 개념이 의료기관 간으로 확장되어야 시행 가능하며, 감시장비 및 신경생리기사인력을 제공하는 현지 병원과 원격 감시 서비스를 제공하는 병원이 다르므로 건강보험공단 요양급여 청구시 분리된 의료자원에 대한 의료수가 항목 신설이 필요하다. 또한 원격 감시 과정 중 원격의료기기 및 정보통신망의 안전성 및 정보의 신뢰성을 확보하기 위한 기술적 관리가 필요하며 전자의무기록을 안전하게 관리, 보존할 수 있는 시설과 장비를 갖추어야 하며 구체적 기준 및 규정의 마련, 보안 책임에 대해서도 명확히 하여야 한다.

현재 원의 원격 모니터링은 우리나라에서는 의료법 및 제반 시스템이 마련되어 있지 않거나 제한 법적 제도 보완 후, 수술중신경생리 감시 인력이 열악한 중소규모 병원과 양질의 모니터링 서비스가 구축되어 자문을 제공할 수 있는 병원 간 협력체계가 통용된다면, 병원 간, 더 나아가 해외로의 서비스의 제공까지도 확장될 수 있겠다.

결론

원격 수술중신경생리감시는 단순히 시간과 공간의 한계를 극복하는 기술로 볼수만은 없으며, 새로운 의료서비스가 정보통신기술을 활용하여 중소병원에도 제공됨으로서 의료의 질을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 그러나 수술중 신경감시의 원격감시는 근거리 감시를 완전히 대체하지는 못하며, 수술의 난이도에 따라 신경생리전문의의 직접 간접 참여를 조절해야 한다. Skinner 는 직접 대면 및 물리적으로 같은 공간에서의 소속감을 통해 환자-INM team 신뢰관계가 부지불식간 형성되며 수술 중 마취관련 또는 수술적 개입이 필요한 신경생리변화가 발생하면 더 효과적이고 즉각적인 의사소통능력을 발휘하게 되어, 결과적으로 최선

의 신경생리감시 역할을 하게 된다는 환자 중심의 수술중 신경생리감시 (patient-oriented INM)를 주장하며 현장 감시의 의미를 부여하였다¹¹.

2013년 Nuwer 는 수술중신경생리감사를 운용하고 있는 미국신경과학회 회원 대상 조사결과 로컬 모델 및 원격 감시 모델 이용 행태 간 주요 차이점이 있음을 발표하였다¹². 로컬 모델 감시 행태가 86%로 대다수를 차지하며, 동시간에 평균 1명의 감시환자, 즉 일대일 집중감시를 하고 있었으며, 연간 검사 건수의 절반정도만 차지한 것에 비해, 원격감시는 운용 행태는 23%의 소수임에도, 평균 2.2명의 다중감시를 하며, 척추수술은 원격감시 비율이, 역으로 뇌수술은 근거리 감시 비율이 월등히 높았다. 요약하면 검사 건수와 수술 종류를 복합적으로 고려할 때, 원격 감시를 주로 하는 신경생리전문의는 전반적으로 동시에 다수 환자를 감시하며, 전체 누적 감시 건수 또한 많고, 이러한 감시 방법은 척추 수술에 많이 이용되며, 반면 로컬 감시 방법은 일대일 감시로 인해 전체 감시 건수는 적을 수 밖에 없고, 환자에 따라 다양한 검사방법을 사용하는 고난이도의 뇌수술인 경우가 많음을 뒷받침한다.

현재 우리나라에서 수술중신경생리감사를 시행하는 수련 병원 및 전체 수행 건수는 점차 증가하고 있고, 전공의 수련 평가시 수술중신경생리감시 검사 영역 추가하여 교육, 수련 여건을 마련함으로써 미래 신경과 세부 항목으로서 발전을 꾀하고 있다. 다만 병원마다 수술중신경계감시를 필요로 하는 수술의 절대적 건수 및 난이도, 집도의와 신경생리전문의 간의 협력체계, 인력 자원의 확보 및 배분이 다르므로 수술중 신경감시의 수준이 병원 별로 다를 수 있다. 고도로 체계화되고 대형화된 병원의 경우 전담 신경생리전담의를 배치하여 다양한 고난이도 신경계 수술의 근접 감시 경험 축적을 바탕으로 대형병원으로의 원격 감시 쏠림현상이 가속화할 수 있다. 수술중신경생리감시 영역이 확장되면서, 감시 수준에 따라 장단점이 있으므로, 선택적으로 그리고 효율적으로 감시시스템을 구성해야 하겠고, 원격의료도 제도적 보완을 통해 의료현장에서 안전하고 효율적인 활용을 기대해 볼 수 있겠다.

References

1. Nuwer MR, Emerson RG, Galloway G, Legatt AD, Lopez J, Minahan R, et al. Evidence-based guideline update: intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology and the American Clinical Neurophysiology Society. *Neurology*. 2012;78(8):585-9.
2. Nuwer MR. Introduction, history, and staffing for intraoperative monitoring. In: Galloway G, Nuwer MR, Lopez J, Zamel K, eds. *Introduction and Current Trends in Intraoperative Neurophysiological Monitoring*. Cambridge: Cambridge University Press; 2010:1-9.
3. Tanaka S, Hirao J, Oka H, Akimoto J, Takanashi J, Yamada J. Intraoperative monitoring during decompression of the spinal cord and spinal nerves using transcranial motor-evoked potentials: The law of twenty percent. *J Clin Neurosci*. 2015;22(9):1403-7.
4. Langeloo DD, Lelivelt A, Louis Journee H, Slappendel R, de Kleuver M. Transcranial electrical motor-evoked potential monitoring during surgery for spinal deformity: a study of 145 patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28(10):1043-50.
5. Calancie B, Harris W, Brindle GF, Green BA, Landy HJ. Threshold-level repetitive transcranial electrical stimulation for intraoperative monitoring of central motor conduction. *J Neurosurg*. 2001;95(2 Suppl):161-8.
6. Calancie B, Molano MR. Alarm criteria for motor-evoked potentials: what's wrong with the "presence-or-absence" approach? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(4):406-14.
7. Moritz S, Kasprzak P, Arlt M, Taeger K, Metz C. Accuracy of cerebral monitoring in detecting cerebral ischemia during carotid endarterectomy: a comparison of transcranial Doppler sonography, near-infrared spectroscopy, stump pressure, and somatosensory evoked potentials. *Anesthesiology*. 2007;107(4):563-9.
8. Department of Health and Human Services (DHHS) HCFAH. Program Memorandum: carriers, transmittal B-01-28, April 19, 2001. Available at: <http://www.cms.gov/Regulations-and-Guidance/Guidance/Transmittals/downloads/B0128.pdf>. Last accessed Feb 21, 2018.
9. Principles of coding for intraoperative neurophysiologic monitoring (IOM) and testing. American Academy of Neurology, model medical policy Available at www.aan.com. Last accessed Feb 22, 2018.
10. Ney JP. Changes to CMS reimbursement rules for intraoperative neurophysiological monitoring: implications for telemedicine. *Telemed J E Health*. 2013;19(10):791-3.
11. Skinner S. Patient-centered care model in IONM: a review and commentary. *J Clin Neurophysiol*. 2013;30(2):204-9.
12. Nuwer MR, Cohen BH, Shepard KM. Practice patterns for intraoperative neurophysiologic monitoring. *Neurology*. 2013;81(19):1725.