

Review Article

우리나라 수술중신경계감시의 역사

서대원*

성균관대학교 의과대학, 삼성서울병원 신경과

History of intraoperative neurophysiological monitoring in Korea

Dae-Won Seo*

Department of Neurology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

ABSTRACT

Intraoperative neurophysiological monitoring (INM) is one of widely expanding fields as well as one of the effective tools for preventing intraoperative neurologic injuries. In Korea, the current concept of INM was introduced in 1994. Thereafter, domestic INM has rapidly developed and caught up with international level. The Korean Society of Intraoperative Neurophysiological monitoring held symposium of International Society of Intraoperative Neurophysiology in 2016. Nation-widely 74 centers are running INM, and 15 centers perform more than 100 cases annually. And the unique Korean environment influences hospital-based INM, which is very efficiently service system. Usually the big centers have the potentials to introduce and provide INM to the surgeons who need and want the INM even though they are unfamiliar to INM. The bureaucratic surveillance of health insurance corporation and the poor collaboration of surgeon might hinder the development of INM in Korea, but the future of Korean INM will be bright by the endeavors and ability of Korean neurophysiologists. I describe the history of Korean INM in past, present and future point of view.

Keywords: monitoring, intraoperative; neurophysiology

서론

수술중신경계감시는 수술중 신경생리검사를 이용하여 신경계를 추적감시하거나 기능을 평가하는 방법을 말한다. 이용되는 신경생리검사는 전기신경생리와 신경초음파로 나누어 볼 수 있다. 전기신경생리는 뇌파, 유발전위, 신경전도, 근전도, 전기자극술을 말하며, 신경초음파는 경두개초음파, 수술중 초음파를 말한다[1-5].

언제부터 국내에서 수술중감시가 이루어졌냐는 수술장에서 뇌파를 사용하기 시작한 것부터 인정하면 그 기간은 매우 길어지며, 그에 반해 단일 검사보다는 다종의 검사를 할 수 있으면서 상품화된 기계를 사용하는 시점을 기준으로 한다면 1994년 삼성서울병원에서 Viking IV(Nicolet) 장비를 이용하는 것을 시초로 볼 수 있다.

수가에 대한 비급여 인정이 이루어진 후 자연히 급여화로 편입되었다. 처음 급여수가 재정 당시 고려한 오남용 문제를

극복하기 위한 신경생리검사 전문가들의 감독하에 검사가 이루어져야 한다는 조건과 수술 시간 차이에 대한 형평성 문제를 극복할 수 있는 시간개념이 도입된 합리적 급여 체계는 수술중 신경계감시의 남용을 막으면서 효율적으로 발전시킬 수 있는 원동력이 되었다.

감시 인력면에서는 임상신경생리검사는 임상병리사 자격자가 시행해야 하는 국내 규정을 지켜야 하지만, 당시 임상신경생리검사를 시행할 수 있는 임상병리사들은 있었어도 수술중신경생리검사는 경험이 전무한 상황이었다. 이러한 상태에서 삼성서울병원 중심으로 감시자 교육이 이루어지면서 표준화된 검사법을 국내 각 병원 사정에 맞게 수행할 수 있는 터전을 만들 수 있게 되었다. 또한 비정규직의 정규직화로 병원 인력 구성이 변화되는 과정에서 수술중신경계감시 인력의 급격한 확대가 이루어지게 되면서 안정적으로 수술중신경계감시를 수행할 수 있는 인력이 구성되었다.

이러한 조건들이 갖추어지면서 국내에서 수술중신경계감시

Received January 7, 2019; Revised February 26, 2019; Accepted March 6, 2019

*Corresponding author: Dae-Won Seo, Department of Neurology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, 81, Irwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 06351, Korea

Tel: +82-2-3410-3595, Fax: +82-2-3410-0052, E-mail: inmseoo@gmail.com

© 2019 Korean Society of Intraoperative Neurophysiological Monitoring (KSION)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

가 발전할 수 있는 토양이 만들어졌고, 이러한 체계는 병원마다 단일과만이 아니라, 다양한 과의 요구에 부합하면서 효율적으로 운영할 수 있는 병원 단위의 수술중신경계감시(hospital based intraoperative neurophysiological monitoring)를 발전시킬 수 있게 되었다.

이렇게 발전된 역량을 통해서 2017년에는 제6회 국제수술중신경생리학회를 유치하였고, 2018년에는 아시아오세아니아 수술중신경생리학회를 창립하였다. 이렇게 세계적으로 역량을 발휘하며 발전시킬 수 있는 중심에는 대한수술중신경계감시학회가 있다.

이러한 수술중신경계감시의 국내 역사에 대해서 살펴보겠다. 특히 우리의 관점에서 초창기, 발전기, 성숙기로 나누어 일어난 일들을 살펴보고, 향후 발전방안에 대해서 설명해 보겠다.

본론

1. 초창기

국내에서 신경생리 검사는 뇌파가 가장 먼저 도입되면서 외래 입원환자 중심의 뇌전증환자에서 주로 이용되었다. 초창기 국내에서 이용된 뇌파는 디지털뇌파가 도입되기 전에는 종이 뇌파부터 시작되었다. 그 후 말초 신경 근육 질환 환자의 진단을 위한 신경전도와 근전도검사가 도입되어 운영되었다. 이러한 토양 위에 1980년부터 다발성경화증 환자의 진단 등에 기여를 하게 되는 유발전위검사도 자연히 국내에 도입되게 되었다. 물론 경두개초음파 뇌혈류검사도 1990년대부터 도입되게 되었다. 각각의 신경생리검사는 개별적으로 발전을 이루게 되었지만, 컴퓨터의 소형화 이동화를 통해서 다양한 검사기들이 하나의 기계로 통합되는 다면적 검사기(multi-modality equipment)가 등장하게 되었다. 또한 뇌MRI 등 뇌영상 검사의 급격한 발전은 오히려 유발전위검사의 매력을 급격히 떨어뜨렸다. 이러한 변화는 유발전위검사의 새로운 이용처로 수술중 신경계감시에 보다 적극적으로 이용할 수밖에 없는 상황이 전개되었다. 따라서 초기의 수술중신경계감시는 유발전위검사를 중심으로 발전하였고, 그 후 여러 검사들이 같이 들어올 수 있었다.

국내에서 수술중신경계감시가 시작된 것은 기존의 대형 대학병원에서 새로 시작하기보다는 마침 개원을 하면서 새롭게 설비를 갖추게 되는 신설 대형병원에서 시작되는 경우가 훨씬 손쉬웠다. 마침 1994년도에 삼성서울병원이 개원을 하면서 다양한 최신 설비를 갖추게 되었고, 당시 신경과 분야에 비디오-뇌파검사실, 수면검사실 그리고 다양한 신경생리검사실을 갖추게 되는데, 그 중에 하나로 수술중신경계감시를 시작하게 되었다. 당시 삼성서울병원에서는 외국에서 수술중신경계감시를 사용해본 경험이 있던 외과의사들이 참여하게 되었다. 또한 수술중신경계감시를 배워 오기 위해서 신경과 서대원 교수가 미

국 존스홉킨스에 연수를 갔었고, 또한 마취과 이정진 교수 역시 마취에 대한 역량을 키우기 위해 같은 병원에 연수를 갔다 왔다. 물론 삼성서울병원에 이영훈 기사를 선발해 교육하여 유발전위와 함께 수술중신경계감시를 진행할 수 있게 하였다. 이러한 감시의사, 마취과의사, 외과의사, 감시기사의 인력적인 조건이 이루어지면서 성공적으로 국내에서도 수술중신경계감시를 시작할 수 있었다.

초기 수술중신경계감시가 효과적으로 이용되던 분야는 추적감시 면에서는 척추수술 특히 척추측만증 수술에서의 유발전위 감시와 소뇌뇌교각 종양에서 안면신경 추적감시로 볼 수 있다. 뇌기능평가 면에서는 뇌전증수술에서 정중신경유발전위 검사를 이용한 중심구(central sulcus)를 확인하는 방법과 뇌종양수술에서 직접대뇌피질자극 검사를 이용한 일차운동영역의 확인 방법이었다. 또한 뇌전증수술에서 수술장에 신경과 의사들이 들어가면서 피질뇌파를 기록해 다양한 신경계 수술에서 수술중신경계감시를 시행할 수 있게 되었다.

2. 발전기

수술중신경계 감시가 시작되어 확대되는 1990년대 중후반부터 2010년대 중후반까지를 발전기로 볼 수 있다. 초기 시행 때 관심을 보이지 않던 신경외과에서 수술중신경계감시의 측면전파반응에 대한 현상을 소개한 이후부터 미세갑상샘에서는 폭발적으로 증가하게 되고, 특히 삼성서울병원의 엄동옥 기사는 이에 대해서 지속적으로 발전시켰으며, 신경외과에서 미세갑상샘을 보다 안전하게 시행할 수 있었다[6,7]. 또한 운동유발전위 추적 감시가 흡입마취에서 정맥마취로 바꾸면 안정적으로 파형을 얻을 수 있다는 것이 삼성서울병원의 박진우 기사에 의해 확인되면서 또 한 번 뇌동맥류결찰 수술에서 유용하게 사용되기 시작했다.

심뇌혈관수술에서 과거 경동맥내막절제술 동안 사용되던 INM은 뇌동맥류 수술은 물론 흉부외과 대동맥류 수술에서도 흉복부 동맥류 수술의 문제인 척수경색을 예방하기 위해서 운동유발전위와 체성감각유발전위가 사용되었다[8-10]. 정형외과의 척추수술은 그 규모가 커서 각 병원마다 많은 환자를 보는 척추센터에서는 체성감각유발전위와 경두개전기유발전위 검사를 이용하기 시작하면서 전국적으로 확산되게 되었다.

다양한 신경외과, 정형외과, 흉부외과 등의 신경계 수술과 관련된 다양한 수술에서 수술중신경계감시의 이용은 폭넓게 발전하게 되었다. 보험에서도 2005년 비급여에서 보장성 강화 측면의 제도변화 때 급여화가 이루어지면서 그 수요가 폭발적으로 증가하였다. 그러나 심평원에서는 점차 보험심사를 엄격히 하면서 단순척추수술에서는 인정하지 않는 제한도 시작되었다. 2015년도 수신화와 대한신경과학회 공동으로 지역별 수술중신경계감시 센터에 대해 조사한 결과를 보면 총 74개



Fig. 1. The distribution of hospitals, which run INM, according to the province.

센터였고, 그 중 연 100건 이상을 시행하는 병원은 서울과 경기 수도권에 몰려 있으며, 단 부산에는 1개의 센터가 있었다 (Fig. 1).

3. 병원단위의 감시체계

감시방법도 감시의사의 역할도 자연히 증가하게 되면서 수술장에서 직접 감시기사의 보조를 받아 감시를 시행하던 방법에서 온라인으로 확인하는 감시방법이 병원네트워크를 포함한

전산시스템의 발전으로 시간과 공간의 제한을 넘어서게 되면서 병원단위의 감시체계(hospital based monitoring system)가 활성화될 수 있었다.

이러한 방식은 이미 안정된 수술중신경계감시를 특정수술에서 선택적으로 시행하여 발전시킨 선진국에서는 이루기 어려운 방식이다. 이러한 병원단위감시체계는 새로운 감시방법을 수술중신경계감시 전문가가 습득하여 병원에서 사용 가능한 분야에 접목할 수 있고, 수술중감시를 시행하지 않고 쉬고 있는 시간에 다른 신경생리검사실을 운영하면서 인력 운영을 효율적으로 시행할 수 있고, 검사실 기사들의 신경생리 기술에 대한 능력을 증가시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 수술중신경계감시 인력 풀을 유지하면서 수술 건수가 증가하거나, 응급수술을 시행해야 하는 경우 추가 인력지원이 가능한 유동성을 확보할 수 있게 한다.

4. 학술 활동의 활성화

신경생리를 시행하던 감시기사들은 그 배경이 임상병리사 자격증을 가져야 되는데, 이러한 자격을 유지한 기사들의 모임은 자연히 임상병리사협회의 임상생리검사학회 안에 소그룹모임을 만들면서 학술교류도 시작하게 되었다. 또한 신경생리를 전문으로 하는 신경과 재활의학과 전문의들은 국내에서는 대한임상신경생리학회에서 근전도, 신경전도검사와 함께 유발전



Fig. 2. The photo of the first symposium of KSIN in Seoul. The author (first from the left), Dr. Juhan Kim (the first president of KSIN in the middle), and Dr. Deletis (the president of ISIN, fourth from the right) in the bottom row.

위에 대한 세부인증의 자격을 대한근전도전기진단학회에서 질 관리 자격을 주면서 이들을 중심으로 수술중신경계감시에 대한 관심이 이루어졌다.

2013년과 2014년에 걸쳐 국내에서는 3개의 연구회가 설립된다. 삼성서울병원 신경과 서대원 교수와 아산병원 신경과 강중구 교수는 당시 대한신경과학회 김주한 이사장을 찾아가 도움을 구하여 2014년 11월 1일 대한 신경과학회 추계학술대회에 대한수술중신경계감시연구회를 발족할 수 있었다. 창립심포지움에서는 미국의 Deletis 교수를 초청하였고, 재활의학과 전문가들과 함께 실제적인 학술교류를 시작하는 장을 마련할 수 있었다(Fig. 2).

신경생리전문의의 활동과 함께 신경외과의사들은 대한정위기능신경외과학회 밑에 대한수술중신경감시 연구회를 두면서 2013년 1월 6일 신경외과의사들의 첫 학술교류를 시작했고, 갑상선수술을 시행하던 일반내분비외과 의사들은 한국신경모니터링연구회를 2014년 10월 16일 첫 모임을 시작했다. 이중 내분비외과 의사들은 2017년 11월 11일 대한신경모니터링학회(<http://kinmos.or.kr/>)를 창립하였다. 대한수술중신경계감시연구회는 처음 운영이 어려운 상황에서 대한신경과학회 이사장 김주한 교수를 회장으로 하였고, 대한신경과학회 학술이사 서대원 교수를 총무로 하고, 총무간사는 보라매서울

대병원의 구대림 교수로 하였다. 당시 대한신경과학회의 도움으로 학술프로그램을 신경과학회와 함께 공동개최하면서 체계적으로 진행할 수 있었다. 2015년도부터 집담회를 개최하였고, 수술중신경계감시 임상진료지침을 대한신경과학회, 대한임상신경생리학회와 함께 수술중신경계감시연구회 공동으로 제작하였다. 2016년부터는 춘계 추계 심포지움을 년 2회 개최하면서 안정적인 학술활동을 이어갈 수 있었다. 이러한 역량을 바탕으로 2017년 10월 30일부터 11월 4일까지 국제수술중신경생리학회인 ISIN의 제6회 학술대회와 교육과정을 서울 올림픽호텔에서 성황리에 개최하면서 국내 수술중신경계감시의 역량을 세계적으로 발휘할 수 있었다. 당시 조직위원장에는 충남대병원 신경과 김재문 교수가 맡았고, 총무로는 삼성서울병원 서대원 교수가 맡았다(Fig. 3). 그리고 2018년에는 대한수술중신경계감시연구회에서 학회로 발전시켜 초대회장으로 인하대학교 재활의학과 김창환 교수, 부회장으로 삼성서울병원 신경과 서대원 교수, 기획법제이사 서울대병원 신경과 김성민 교수, 학술이사 강남세브란스병원 재활의학과 박윤길 교수, 교육이사 충남대학교병원 신경과 김대영 교수, 재무이사 서울대병원 재활의학과 서한길 교수 등이 주축이 되어 창립총회를 개최하였다(Table 1). 회칙은 물론 로고 제작, 홈페이지 운영(<http://www.ksion.org/>), 구술과 포스터 구연발표도 이루게 되었고,



Fig. 3. The poster and organizing committee of the ISIN 2017 in Seoul.

Table 1. The first generation of executive committee of the Korean Society of Intraoperative Neurophysiological monitoring (KSION)

직책	이름	소속
회장	김창환	인하의대 인하대병원
부회장	서대원	성균관의대 삼성서울병원
고문	김주한	한양의대 한양대학교병원
특임이사	김재문	충남의대 충남대학교병원
총무이사	김창환	인하의대 인하대병원
기획법제이사	김성민	서울의대 서울대병원
보험정책이사	김상범	경희의대 강동경희대병원
학술이사	박윤길	연세의대 강남세브란스병원
교육이사	김대영	충남의대 충남대학교병원
대외협력이사	박경석	서울의대 분당서울대병원
편집이사	김대열	울산의대 서울아산병원
진료지침이사	박수철	연세의대 신촌세브란스병원
정보이사	구대림	서울의대 보라매병원
홍보이사	전진만	경희의대 경희대병원
재무이사	서한길	서울의대 서울대병원
이사	윤병남	인제의대 서울백병원
	주병억	성균관의대 삼성서울병원
	구용서	울산의대 서울아산병원
	류한욱	전북의대 전북대병원
	백설희	고려의대 고려대안암병원
	김기원	서울의대 서울대병원
	이숙정	가톨릭의대 대전성모병원
	주민철	원광의대 원광대학교병원
	원유희	전북의대 전북대학교병원
	송민근	전남의대 전남대병원
감사	이상억	에스포항병원
	김우경	한림의대 강동성심병원

학술교류의 꽃인 학술지도 2019년 3월 출간예정(편집이사: 아산병원 재활의학과 김대열 교수)이다. 아울러 아시아-오세아니아 지역의 학회를 위한 첫 아시아-오세아니아 수술중신경생리(Asian-Oceanian Society of Intraoperative Neurophysiology, AOSIN) 심포지엄을 개최하게 되어 ISIN 아시아-오세아니아 지역의 명실상부한 대표자 역할을 하면서 학술활동의 장을 열게 되었다. 2018년 12월 1일 첫 개최된 AOSIN 심포지엄에서 대한수술중신경계감시학회의 대외이사인 분당서울대학교병원 박경석 교수가 회장, 총무로는 일본 Kodama 교수가 선출되었다.

5. 성숙기

수술중신경계감시가 증가하면서 다양한 외부적 문제가 대두되었고, 이를 해결하면서 안정화되는 2010년대 중후반 이후를 성숙기로 볼 수 있다. 수술중신경계감시는 전문성이 요구되는 만큼 행위정의와 그 시행 주체에 대한 여러 견해를 받아왔다. 다행스러운 것은 국내에서는 신경생리전문가의 시행을 유지하면서 남용의 문제를 제한할 수 있었다. 감시 방법에서 청구시간에 투명성을 확보하기 위해 수술중신경계감시 판독에 대한 강의와 판독에서 환자정보, 외과의사, 마취과의사, 감시 의사와 감시기사는 물론, 감시시간과 검사시간을 명확히 하도록 하였다. 이를 기준으로 보험심사가 엄격하게 이루어지면서 많은 삭감이 이루어졌다. 특히 복지부와 심평원에서는 급격히 증가하는 INM에 대해 과거에 수가 체계를 만들 때 이루어진 과거 기준을 적용해 무차별 삭감을 진행하여 이에 대한 대비가 미흡한 의사들의 입장에서는 속수무책으로 당하게 되었다. 또한 2010년도 말부터는 발전이나 중요성과는 무관하게 무조건 증가하는 보험 청구에 대한 심사를 강화하는 등의 제한으로 수술중신경생리추적감시 청구에 대한 삭감을 진행하여 급격히 증가하던 수술중신경생리추적감시의 시행 건수는 2018년도 다소 감소하면서 성숙기에 접어들었다.

또한 손쉬운 방법 감시법을 앞세우면서 내분비외과 특히 갑상선 수술을 담당하는 의사들 중심으로 갑상선/부갑상선수술중 후두신경감시는 2014년 12월 30일 발표된 보건복지부 고시 제2014-240호에 따라 신의료기술로 등재되어 상대가치점수를 부여 받고 2015년 1월 1일부터 새로운 건강보험 요양급여를 받을 수 있게 되었다. 용어에서도 되돌이후두신경으로 명확히 하지 않고 그냥 후두신경으로 써서 occipital nerve와 혼동할 수 있게 사용했다. 행위 정의는 임상신경생리전문가의 지휘감독 없이 기도에 삽관된 관에 전극을 설치하여 성대의 움직임에 따라 표피근전도(surface EMG)를 자유근전도(free running EMG) 방식으로 기록하는 방법이었다. 따라서 새로운 신의료 기술도 아니면서 유발근전도(triggered EMG)를 할 수도 없는 상황이지만, 심평원에서는 외과의사의 손을 들어주려고 계획을 정하고 진행하였다. 그러나 한편으로는 낮은 상대가치점수를 적용 확대하면서 어정쩡한 상태로 급여로 들어오게 하였다. 당시 신경생리 전문가들은 같이 양립하면 임상신경생리를 경험하지 못한 외과에서 병원내에서 전문가의 자문을 받는 쪽으로 갈 것으로 생각하기도 하고, 전문가가 없는 병원에서 주로 이용될 것으로 생각하기도 했다. 그러나 실제 진행된 방향은 자문을 통해 수술중신경계감시를 신경생리전문가와 갑상선외과의사의 협력관계를 통해 시행하는 병원도 없고, 검사를 진행해 본 외과의사는 자유근전도만 하지 않고 유발근전도를 직접 시행하면서 발표하기도 하고, 갑상선수술 외과의사들의 모임인 대한신경모니터링학회에서도 제한된 적응증에서 급여를 확대시키려는 주장을 계속 펼치고 있다. 또한 급격히

증가하는 INM 급여를 제한하고 싶어 하는 복지부나 심평원 입장에서는 만일 같은 수술에서 신경생리전문의의 도움을 받는 INM을 시행했다면 삭감을 진행하고, 불법적으로 급여를 청구했다고 발표하는 작전을 진행할 소지가 많게 되었다.

이와 함께 INM은 직접 시행하고자 하는 신경외과에서는 이 사장 공약 사항으로 INM을 직접 시행하겠다고 할 정도로 매우 적극적으로 INM의 신경생리전문가 규정을 없애거나, 낮은 수준의 검사를 하나 더 만드는 이원화 작업을 진행하려 하였다. 실제 심평원에서는 3차 회의까지 서초구 심평원 서울사무소에서 진행하였고, 2차 회의에서는 이원화와 세부인증의 제도 그리고 이에 대한 교육 주체로 신경생리전문가 학회까지 관여하는 모든 계획은 짜고 회의를 진행하였다. 다행히 신경생리전문가가 힘을 합쳐서 대외적으로 주장하고 노력하여 더 이상 진행되지는 않았다. 이와 같이 INM이 몰락의 길로 접어들 수 있는 것을 막을 수 있었다.

이러한 견제 중에도 삼성서울병원에서는 반측안면경련의 미세감압술에서 청각보전을 위한 감시방법을 개발하고, 새로운 기준을 제시하기도 하였다[11,12]. 또한 서울대학교병원에서는 소아뇌종양에서의 수술중신경생리감시를 검토하는 연구를 발표하기도 했다[13]. 척추수술에 대해서 활성화된 분당서울대병원에서는 경추수술에서의 INM에서의 위험인자 분석에 대해서 보고하였다[14].

이와 같은 상황들이 어느 정도 정리되면서 수술중신경계감시학회에서 2018년 조사한 INM 현황을 보면 신경생리 전문가 주축으로 시행하는 주요 병원들은 4-5대의 장비와 인력을 운영하면서 년 1,000건 천명 이상의 환자에서 감시를 시행하고 있다. 년 100명 이상에서 감시를 시행하는 병원은 서울경기 지역 이외에도 인천과 부산에도 있으면서 15개 정도 되며, 강원, 충청, 제주를 물론 전국적으로 74개 센터에서 INM을 시행하고 있다.

6. 향후 발전

1) 전자통신과 감시의 효율적 발전

INM은 신경생리전문가 중심으로 다양한 방법의 발전을 이루고 있다. 특히 네트워크의 발전과 전산장비의 소형화 그리고 헬스케어의 발전 등으로 그 발전 방향은 무한하다고 볼 수 있다. 무거운 장비를 끌고 수술장에 들어가 수술장에 쫓그리고 앉아서 중요 시간(critical period)을 기다리면서 검사하는 것에서 벗어날 수 있게 되었다. 특히 네트워크의 발전으로 수술장 외에서도 감시가 이루어질 수 있었다. 특히 허브를 깔아서 직접수술장과 연결된 공간에 방마다 CCTV처럼 감시를 확인하는 방식도 뛰어 넘을 수 있게 되었다. 실제 모니터 설치, 공간 등의 제한이 없어지면서 어디에서나 동시간(real-time)으로 감시가 이루어질 수 있게 되었다. 무선이든 유선이든 ip 접속이 가능한 병원내 어느 곳에서도 pc를 통해서 모두 볼 수

있게 되었다. 단, 보안 등의 문제로 병원망은 외부와 차단되므로, 병원 밖에서는 인정되지 않는 추세다. 이러한 감시의 발전은 결국 모바일 폰의 형태로 들어오면서 다양한 정보와 결합되면서 더욱 발전할 것으로 보인다.

2) 장비의 발전

과거 낮은 사양의 윈도우, 프린터와 A4 용지, 브라운관 모니터를 일체형으로 끌고 다니던 모습에서 노트북수준의 pc에 고급사양(최근에는 윈도우10 기반)을 설치하고, 가벼운 LCD 모니터 2대를 설치하고, 프린터는 없애고 보다 가벼운 형태로 개선되었다. 특히 감시법에서 자극방식에서 대한 다양한 방식이 시도되고 있다. 뇌종양 수술에서 흡입기에 기록전극을 설치하여 제거와 동시에 유발근전도를 시행하는 방법이나, 척추수술에서 드릴에 기록전극을 설치하여 척추 드릴링에 유발근전도 감시(triggered EMG monitoring)가 가능하게 하는 방법이다.

전극기록 방식도 짧은 바늘모양의 피하전극(subdermal needle)에서 근전도를 위해서는 후크와이어전극(hook wire electrode)을 사용하거나[15], 뇌신경과 같은 신경근위부에서 직접 복합신경활동전위(compound nerve action potentials, CNAP)를 기록하는 쿠에바전극(Cueva electrode)[16], 척추 위에서 바로 D-파형을 기록하는 경막외전극(epidural electrode)과 같이 보다 안전하고, 보다 정확한 전극들이 개발되고 있다[17]. 또한 내장운동(visceral motor) 기능에 대한 표면근전도 감시(surface EMG monitoring) 방법으로 기도관(endotracheal tube), 소변줄(Foley tube), 항문스폰지(anal sponge)에 기록전극을 부쳐서 기록할 수 있게 되었다[18,19].

3) 기능평가

대상 기능에 대해서 언어기능평가에서 각성수술(awake surgery)을 대체할 수 있는 cricothyroid muscle EMG 감시를 통해 즉 하전두엽의 전운동영역(premotor area)에 존재하는 브로카영역(Broca's area)의 기능을 60 msec 부근에서 형성되는 long late response를 기록하면서 추적감시할 수 있다[20]. 또한 신경자극술의 발달로 다양한 질환의 치료 목적으로 심부뇌자극술(deep brain stimulation)을 진행하면서 이에 대한 많은 발전이 이루어질 것으로 보인다.

기타 다양한 신경기능에 대한 감시법이 개발될 것이다. 그러나 아직 국내에서는 국외에서 개발된 여러 신기술들을 INM 수가는 모든 전극을 포함한 소모품을 반영하여 책정되었다는 탁상공론적 발상 때문에 도입하기 어려운 구조다. 초기 INM 수가 구성은 사반세기전인 1990년대 만들어진 것으로 눈부시게 발전해 오는 2020년대의 상황과는 맞지 않는데도 아직 심평원 규정은 변화에 적응하고 있지 못하고 있다. 아무튼 추가

비용을 발생해야 하는 비용부담 문제가 발생하여 도입하여 환자에게 도움을 주기 어려운 구조로 굳어졌다. 이러한 방식은 당장은 견보 재정을 안정적으로 유지하는데 도움이 되는 것처럼 보이지만, 미래의 발전과 세계적인 경쟁력을 이루는 데는 막강한 억제력을 발휘하며, 결국은 의료 낙후로 환자혜택이 제한되는 현상으로 귀착될 것으로 보인다. 이에 대한 구조적인 해결은 향후 신경생리전문가들이 풀어야 할 숙제로 보인다.

4) 국외환경

수술중신경계 감시는 미국과 유럽 중심으로 각자 발전되어 오다 국제학회 규모로 통합되며 발전된 지 10년이 안되었다. 국내에서도 검사실에서 시행하던 신경생리기법을 수술장에 적용한지 25년이 안 되는 역사지만 국제학회를 개최하면서 국제적 수준임을 보여주면서 주류에 들어가게 되었다. 아직 동아시아에서 선진국인 일본과 급격히 성장하는 중국이 있지만, 우리나라에서는 신경생리 전문가들의 집중과 단합으로 동아시아에서 주도적인 위치를 선점하면서 좀 더 발전할 수 있는 기회를 얻게 되었다.

결론

국내의 수술중신경계감시는 구미선진국에 비해 늦게 시작된 측면도 있지만, 오히려 전자 통신 등의 혁신적인 발전을 잘 흡수하면서 보다 유연하게 최신 기술 습득과 국내의료 환경에 맞는 효율적인 병원 단위의 수술중신경계감시(hospital based INM)법을 발전시키면서 빠른 시일에 성숙기에 이를 수 있었다. 그러나 앞으로 더욱 전문화되고 심도 있는 장비와 장치를 이용한 감시법의 발전을 계속적으로 도입하며, 국제적 수준을 넘어 창조적인 우리의 INM 체계와 기법을 확대하기 위해서는 국내 의료환경의 급여제한, 외과 의사들의 적극협조 등 넘어야 할 숙제를 안고 있다. 이러한 과정 역시 무난히 돌파한다면 IT 강국인 국내의 여건과 상승작용을 일으키며 세계 최고의 INM 수준을 유지하면서 세계적으로 선도적 입장을 견지할 수 있을 것으로 보인다.

ORCID

Dae-Won Seo, <https://orcid.org/0000-0002-9566-9355>

References

1. Yanni DS, Ulkatan S, Deletis V, Barrenechea IJ, Sen C, Perin NI. Utility of neurophysiological monitoring using dorsal column mapping in intramedullary spinal cord surgery. *J Neurosurg Spine* 2010;12(6):623-8.
2. Szelényi A, Deletis V. Motor evoked potentials. *J Neurosurg* 2004;101:563-4.
3. Seo DW. Intraoperative neuromonitoring. *Korean J Clin Neurophysiol* 2008;10(1):1-12.
4. Deletis V, Fernandez-Conejero I, Ulkatan S, Costantino P. Methodology for intraoperatively eliciting motor evoked potentials in the vocal muscles by electrical stimulation of the corticobulbar tract. *Clin Neurophysiol* 2009;120 (2):336-41.
5. Kim SM, Kim SH, Seo DW, Lee KW. Intraoperative neurophysiologic monitoring: basic principles and recent update. *J Korean Med Sci* 2013;28(9):1261-9.
6. Kong DS, Park K, Shin BG, Lee JA, Eum DO. Prognostic value of the lateral spread response for intraoperative electromyography monitoring of the facial musculature during microvascular decompression for hemifacial spasm. *J Neurosurg* 2007;106(3):384-7.
7. Chung YH, Kim WH, Lee JJ, Yang SI, Lim SH, Seo DW, et al. Lateral spread response monitoring during microvascular decompression for hemifacial spasm: comparison of two targets of partial neuromuscular blockade. *Anaesthesist* 2014;63(2):122-8.
8. Szelényi A, Langer D, Kothbauer K, De Camargo AB, Flamm ES, Deletis V. Monitoring of muscle motor evoked potentials during cerebral aneurysm surgery: intraoperative changes and postoperative outcome. *J Neurosurg* 2006;105(5):675-81.
9. Yeon JY, Seo DW, Hong SC, Kim JS. Transcranial motor evoked potential monitoring during the surgical clipping of unruptured intracranial aneurysms. *J Neurol Sci* 2010;293(1-2):29-34.
10. Min HK, Sung K, Yang JH, Kim WS, Jun TG, Lee YT, et al. Can intraoperative motor-evoked potentials predict all the spinal cord ischemia during moderate hypothermic beating heart descending thoracic or thoraco-abdominal aortic surgery? *J Card Surg* 2010; 25(5):542-7.
11. Park SK, Joo BE, Lee S, Lee JA, Hwang JH, Kong DS, et al. The critical warning sign of real-time brainstem auditory evoked potentials during microvascular decompression for hemifacial spasm. *Clin Neurophysiol* 2018;129(5):1097-102.

12. Lee S, Park SK, Lee JA, Joo BK, Kong DS, Seo DW, et al. A new method for monitoring abnormal muscle response in hemifacial spasm: a prospective study. *Clin Neurophysiol* 2018;129(7):1490-5.
13. Kim K, Cho C, Bang MS, Shin HI, Phi JH, Kim SK. Intraoperative neurophysiological monitoring: a review of techniques used for brain tumor surgery in children. *J Korean Neurosurg Soc* 2018;61(3): 363-75.
14. Han S, Kwon YC, Kim SM, Hyun SJ, Jahng TA, Kim KJ, et al. Risk factor analysis of change in intraoperative neurophysiologic monitoring during cervical open door laminoplasty. *World Neurosurg* 2018; 119:e235-43.
15. Cheng J, Kazahaya K. Endolaryngeal hookwire electrodes for intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring during pediatric thyroid surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2013;148(4):572-5.
16. Sun DQ, Sullivan CB, Kung RW, Asklof M, Hansen MR, Gantz BJ. How well does intraoperative audiologic monitoring predict hearing outcome during middle fossa vestibular schwannoma resection? *Otol Neurotol* 2018; 39(7):908-15.
17. Ulkatan S, Neuwirth M, Bitan F, Minardi C, Kokoszka A, Deletis V. Monitoring of scoliosis surgery with epidurally recorded motor evoked potentials (D wave) revealed false results. *Clin Neurophysiol* 2006;117(9): 2093-101.
18. Liddy W, Lawson BR, Barber SR, Kamani D, Shama M, Soylu S, et al. Anterior laryngeal electrodes for recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: new expanded options for neural monitoring. *Laryngoscope* 2018;128(12): 2910-5.
19. Hodnett BL, Schmitt NC, Clayburgh DR, Burkowsky A, Balzer J, Thirumala PD, et al. Superior laryngeal nerve monitoring using laryngeal surface electrodes and intraoperative neurophysiological monitoring during thyroidectomy. *Clin Anat* 2015;28(4): 460-6.
20. Deletis V, Rogic M, Fernandez-Conejero I, Gabarros A, Jeroncic A. Neurophysiologic markers in laryngeal muscles indicate functional anatomy of laryngeal primary motor cortex and premotor cortex in the caudal opercular part of inferior frontal gyrus. *Clin Neurophysiol* 2014;125(9):1912-22.