

# 갑상선 수술을 위한 새로운 수술 중 신경감시시스템의 개발

부산대학교 의과대학 양산부산대학교병원 이비인후과학교실<sup>1</sup>, 부산대학교 의과대학 부산대학교병원 이비인후과학교실<sup>2</sup>  
성익숙<sup>1</sup>, 이병주<sup>2</sup>

## Development of the Novel Intraoperative Neuromonitoring for Thyroid Surgery

Eui Suk Sung<sup>1</sup> and Byung Joo Lee<sup>2</sup>

Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Pusan National University Yangsan Hospital, Pusan National University School of Medicine<sup>1</sup>, Yangsan, Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Pusan National University Hospital, Pusan National University School of Medicine<sup>2</sup>, Busan, Korea

It is very important to identify recurrent laryngeal nerve (RLN) and prevent RLN injury during thyroid surgery. The intraoperative neuromonitoring (IONM) for the prevention of RLN injury is a useful method because it can identify the location and status of RLN and predict postoperative vocal cord function easily. The IONM consists of a stimulating side that applies electrical stimulation to the nerve and a recording side that measures the surface electromyography (EMG) of the vocal cord muscle through electrode endotracheal tube. The nerve stimulator and surgical dissector are separate instruments. So, during IONM for the prevention of the RLN injury in conventional, endoscopic, or robotic thyroid surgery, repeated exchanging between surgical instruments and the nerve stimulator is inconvenient and time consuming. On the recording side, the accuracy of the electrode endotracheal tube which measures the EMG of the vocalis muscle can be affected by contact with between electrode and vocal fold and position change of patient. We would like to introduce recent several researches to overcome the current limitations of IONM.

**Key Words:** Thyroid surgery, Intraoperative neuromonitoring, Recurrent laryngeal nerve, Attachable nerve stimulator, Surface bio-pressure sensor

### 서 론

수술 중 신경을 확인하는 것은 신경손상에 의한 합병증을 예방하기 위해 매우 중요하다. 그래서 척추 수술, 갑상선 수술, 이하선 수술, 중이염 수술 등 여러 수술에서 수술 중 신경을 확인하기 위한 술 중 신경감시 시스템(intraoperative neuromonitoring system, IONM)

을 사용한다. 갑상선 수술은 술 중 성대 운동을 담당하는 반회후두신경을 확인하는 것이 매우 중요하다. 일측성 반회후두신경 마비는 음성변화와 함께 연하장애, 흡인 등의 증상이 동반될 수 있고, 양측성 반회후두신경 마비는 호흡곤란으로 인해 기관절개술이 필요할 수 있기 때문이다.<sup>1)</sup> 갑상선 수술 후에 일시적인 신경마비는 약 5%, 영구적인 마비는 약 1% 정도에서 발생한다고 알려져 있다.<sup>2)</sup> 이에 갑상선 수술 중 신경 손상을 예

Received March 25, 2018 / Revised 1st May 24, 2018, 2nd July 4, 2018 / Accepted July 27, 2018

Correspondence: Byung Joo Lee, MD, PhD, Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Pusan National University Hospital, Pusan National University School of Medicine, 179 Gudeok-ro, Seo-gu, Busan 49241, Korea  
Tel: 82-51-240-7675, Fax: 82-51-246-8668, E-mail: voiceleebj@gmail.com

Copyright © 2018, the Korean Thyroid Association. All rights reserved.

© 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.

방하기 위해 신경감시시스템이 일상적으로 사용되고 있는 추세이다.<sup>3,5)</sup>

수술 중 신경감시시스템은 반회후두신경의 경로뿐 아니라 반회후두신경의 상태를 알 수 있고, 수술 후 성대운동 기능을 예측할 수 있으므로 매우 유용하다.<sup>6)</sup> 또한 갑상선 수술뿐만 아니라 고식적인 수술에서는 확인하기 어려운 상후두신경의 외측 분지를 확인하여 갑상선 수술 후 발생할 수 있는 고음 장애의 비율을 감소시킬 수 있다. 이러한 여러 장점으로 외과 의사에게 일차 수술뿐만 아니라 재수술에서 특히 많은 도움이 된다. 그러나 기존의 수술 중 신경감시시스템은 몇 가지 문제점들을 가지고 있다. 그러므로 기존 수술 중 신경감시시스템의 문제점을 알아보고 최근 이러한 문제점들을 극복하기 위한 새로운 방식의 수술 중 신경감시시스템에 관한 최근 연구를 소개하고자 한다.

## 기존의 수술 중 신경감시시스템의 원리의 문제점

기존의 갑상선 수술에 적용되는 수술 중 신경감시시스템의 작동 원리는 신경으로 의심되는 구조물에 전기적 자극을 주어 성대근의 움직임을 근전도(electromyography, EMG)를 이용하여 평가하는 방법이다. 즉 수술 기구와 별개의 전기적 자극을 줄 수 있는 신경 탐침(nerve stimulator, nerve probe)을 이용하여 신경을 자극한 후에 신경 자극에 의해 발생하는 성대근의 움직임을 기관삽관 튜브의 표면에 부착된 근전도 전극을 이용하여 감지하는 방법이다. 이러한 방법은 수술 중 반회후두신경을 확인할 수 있는 유용한 방법이지만, 갑상선 수술에서 기존의 수술 중 신경감시시스템을 적용

하기에는 약간의 문제점이 아직 있다. 이러한 문제점은 두 가지 부위에서 발생할 수 있다. 신경을 확인하기 위해 의심되는 구조물에 전기적 자극을 가하는 신경 탐침 부분(stimulation side)과 전기적 자극에 의한 성대근의 근육 움직임을 감지하는 근전도의 정확성에 대한 부분(recording side)에서 아직 제한점이 있다(Table 1).

### 신경 탐침의 문제점

수술 중 신경감시시스템은 신경 탐침을 이용하여 신경으로 의심되는 구조물을 자극함으로써 신경을 확인하는 방법이다. 즉 수술 기구와 신경을 자극하는 신경 탐침이 다른 기구로 분리되어 있어 수술 중 신경을 확인하기 위해서는 수술을 일단 중지하고, 수술 기구 대신에 신경을 확인하기 위한 신경 탐침을 잡고 의심되는 구조물을 자극해야 한다. 즉 수술 중 신경을 확인하기 위해서는 수술을 중단하고 수술 기구에서 신경 탐침으로 기구를 변경해야 하는 번거로움이 있다. 이러한 수술 기구에서 신경 탐침으로의 기구 변경을 수술 중에 반복적으로 수행하여야 한다는 점이다. 반복적인 수술 기구 변경은 수술 시간을 길게 하고 외과 의사에게도 번거로운 점이 있다는 것이다.

수술 중 신경감시시스템을 이용하여 수술을 하여도 반회후두신경 손상이 발생할 수 있다. 수술 중 신경 손상이 되는 원인은 비정상적인 위치에 있는 신경을 신경이라고 인지하지 못하고 절단하거나 심한 견인, 열 손상 등이 있다.<sup>3,7)</sup> 기존의 수술 중 신경감시시스템은 신경으로 의심되는 구조물이 있을 경우 신경 탐침으로 전기적 자극을 주어 근전도 결과를 보고 신경 여부를 확인할 수 있다. 그러나 실제 임상에서 발생하는 신경 손상의 원인은 절단하려고 하는 구조물이 출혈이나 위

Table 1. Problems of intraoperative neuromonitoring system during thyroid surgery

구조물 부위	문제점
신경 탐침	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 신경 탐침으로 자극하지 않으면 신경 손상 알 수 없음</li> <li>2. 수술 기구와 탐침의 반복적인 교환으로 수술 중 번거로움과 수술 시간 증가</li> <li>3. 내시경 또는 로봇 수술용 신경 탐침이 없음</li> <li>4. 에너지 기반 수술 기구로 인한 신경 손상 방지를 위한 신경 탐침 필요함</li> <li>5. 신경 탐침 자극 부위의 조건에 따라 자극정도가 다름</li> </ol>
성대 근전도 측정	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 기관삽관튜브의 근전도 전극과 성대의 접촉이 수술 중 자세나 위치 변화에 영향을 받음</li> <li>2. 상후두신경의 외측 분지의 상태평가에는 제한 있음</li> <li>3. 정상 성대근 근전도 진폭의 기준이 명확하지 않음</li> <li>4. 수술 전 근전도 전극의 정확한 위치 확인을 위한 후두내시경의 필요와 이로 인한 번거로움</li> <li>5. 기관절개술 환자나 전신 마취를 하지 않은 경우에는 사용할 수 없음</li> <li>6. 수술 전에 근전도 기관삽관튜브를 사용하지 않으면 수술 중에 신경감시시스템 사용 불가</li> <li>7. 침이나 분비물이 전극 주위에 있거나 전기소작술을 사용하는 경우 근전도 측정에 오류 발생</li> <li>8. 일회용 물품으로 고비용이 발생</li> </ol>

치 변위에 의해 신경인지를 예측하지 못하는 상황에서 신경이 절단되는 경우이다. 이러한 예측하지 못한 반회후두신경에 대해서는 기존의 신경 탐침으로는 신경 손상을 예방하기가 어렵다. 또한 수술 중 견인을 하는 동안 신경의 상태를 확인할 수 없기 때문에 이로 인해 신경이 손상되는 경우가 많다.<sup>3,7)</sup> 즉 수술 중 신경 손상이 발생하여도 신경 탐침으로 자극하지 않으면 신경 상태를 확인하기 어렵다.

최근에는 내시경 또는 로봇을 이용한 갑상선 수술이 시행되고 있다. 이러한 내시경 또는 로봇 갑상선 수술은 반회후두신경 손상의 가능성이 높지만,<sup>8,9)</sup> 기존의 신경 탐침은 내시경 또는 로봇 갑상선 수술에 적용하기에는 다소 무리가 있다. 또한 최근에는 갑상선 수술에서 출혈 감소와 빠른 수술을 시행하기 위해 에너지 기반 수술 기구(Harmonic focus<sup>®</sup>, Ligasure<sup>®</sup>, Thunderbeat<sup>®</sup>)가 많이 개발되었다.<sup>10,11)</sup> 이러한 에너지 기반의 새로운 수술 기구는 반드시 열이 발생하게 되고 이러한 열에 의한 수술 중 신경 손상이 발생할 수 있다.<sup>12)</sup> 수술 기구에서 발생하는 열에 의한 신경 손상을 예방하는 것은 신경과 충분한 거리를 두는 방법과 신경 부근에서 기구를 사용하는 경우에는 기구의 온도를 충분히 감소시킨 이후에 사용하는 것이 좋다.<sup>12-15)</sup> 그러므로 에너지 기반 수술 기구의 열로 인한 신경 손상 가능성을 감소시키기 위한 새로운 형태의 수술 중 신경감시시스템이 필요하다.

신경 탐침과 연관된 기존의 수술 중 신경감시시스템의 단점을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 신경 탐침이 고식적인 수술 기구와 분리되어 신경을 확인하기 위해서는 반복적인 기구 교환이 있어야 한다는 점이다. 이러한 수술 중 기구 변경은 시간 소모가 많고 번거롭다. 둘째, 내시경 또는 로봇 갑상선 수술에 쉽게 적용할 수 있는 신경 탐침의 개발이 필요하다. 마지막으로 최근에 많이 사용되는 에너지 기반의 수술 기구에 적용할 수 있는 신경 탐침이 필요하다.

### 성대근 근전도 측정의 문제점

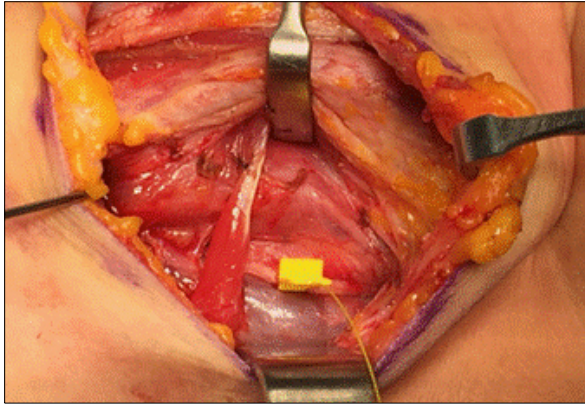
Dralle 등<sup>16)</sup>은 기존의 수술 중 신경감시시스템의 음성 예측도(negative predictive value)는 92-100%로 매우 높으나 양성 예측도(positive predictive value)는 10-90%로 매우 다양하게 보고되었다고 하였다. Dralle 등<sup>16)</sup>이 보고한 바와 같이 다양한 양성 예측도로 인해 수술 중 신경감시시스템의 유용성과 정확성에 논란이 되고 있다. 갑상선 수술에서는 성대근은 전극(electrode)을 삽입할 수 없어 기관삽관튜브의 표면에 고정되어 있거나

혹은 부착할 수 있는 근전도용 전극을 이용하여 성대근의 활동 전위를 측정하는 표면도출법을 사용하게 된다. 즉 갑상선 수술에 많이 사용하는 기관삽관튜브 표면에 고정형 혹은 부착형 전극에 의한 근전도 측정은 침 또는 가래 유무 그리고 전극의 접촉 여부에 따라 매우 예민하게 반응하여 실제 사용하는 데 어려움이 있다.<sup>17)</sup> 또한 근전도는 최소 2개의 전극 사이의 전위차를 측정하여 근육의 움직임을 평가하는 것으로 위치 변화에 의해 두 개의 전극 중 하나라도 근육과의 접촉이 떨어지게 되면 근전도를 측정할 수 없거나 부정확하게 된다.<sup>4)</sup> 기관삽관용 튜브에 부착형 근전도에서 2개의 전극이 모두 성대에 접촉해야 하는데, 이 중 하나의 전극이 위치 이동에 의해 성대 접촉이 불완전하면 신경감시시스템이 작동 중에 오류가 발생한다.<sup>17)</sup> 이에 마취 후 수술을 시작하기 전 경부 신전 후에 후두내시경으로 전극이 성대와 정확한 위치에 부착되어 있는지 확인하는 경우가 많아 매우 번거롭다.<sup>18,19)</sup> 환자의 자세 변화나 기관삽관튜브의 삽입 방향에 따라 성대와 접촉이 정확하지 않으면 신경을 자극해도 성대근의 근전도를 측정할 수 없기 때문이다. 그래서 수술 중 신경 탐침으로 신경을 자극하였을 때 성대 근전도에 반응이 없는 신호 소실(loss of signal, LOS)에서도 수술 후 실제 성대가 마비가 없는 경우가 있다.<sup>4,20)</sup> 위치 변화나 전극의 접촉에 영향을 적게 받는 새로운 형태의 신경 반응에 의한 근육 움직임을 측정할 수 있는 방법이 필요하다.

## 기존의 문제점을 해결하기 위해 새로운 시도

### 연속형 수술 중 신경감시시스템(continuous intraoperative neuromonitoring system)의 개발

갑상선 수술 중 신경 손상의 기전으로는 신경 절단, 무리한 견인, 열 손상, 수술 기구나 절찰에 의한 물림 등이 있으며 이 중에서 가장 발생 빈도 높은 것이 견인에 의한 신경 손상이다. 이러한 부분을 해결하기 위해 지속적으로 미주신경에 APS (automatic periodic stimulation)로 반복적인 전기적 자극을 주어 후두의 근전도를 측정하는 연속형 수술 중 신경감시시스템(continuous intraoperative neuromonitoring system)이 제안되었다(Fig. 1).<sup>21)</sup> 수술 중 근전도의 진폭(amplitude)이 50% 이상 감소하거나 지연시간(latency time)이 10% 이상 증가하면 신경 손상이 있다는 것을 의미하게 된

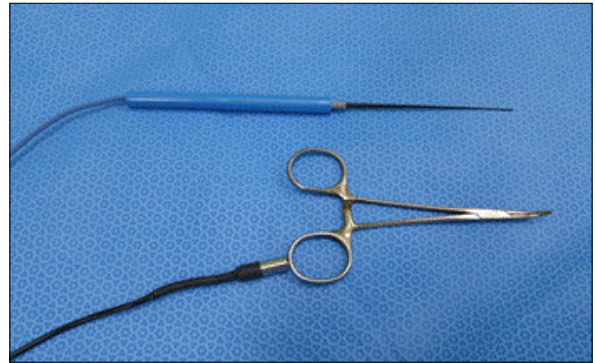


**Fig. 1.** This is a photograph that automatic periodic stimulation (APS) wraps the left vagus nerve. It can periodically stimulate the vagus nerve to check the laryngeal nerve status in real-time.

다. 이러한 연속형 수술 중 신경감시시스템은 갑상선 수술에서 신경 탐침을 자극하지 않아도 견인에 의한 신경 손상이 발생하기 시작하면 외과 의사가 신경 손상을 인지할 수 있어 수술 중 반회후두신경의 손상 비율을 감소시킬 수 있다.<sup>22)</sup> 기존 신경 탐침의 자극 없이도 견인에 의한 신경 손상을 예방할 수 있어 기존 신경 탐침 방법에 대한 보완이 가능하나 이 방법 또한 단점이 있다. 미주신경 박리 후 전극 삽입이 필요하고,<sup>23)</sup> 또한 거대한 goiter의 경우 미주 신경에 전극 삽입이 쉽지 않다.<sup>23)</sup> 견인(traction) 손상은 연속형 수술 중 신경감시시스템하에서 근전도 신호 변화로 알 수 있으나 절단(transection), 열 손상(electrocauterization), 물림(clamping) 등은 이러한 방법으로 예방 가능성이 낮다.<sup>24)</sup> 연속형 수술 중 신경감시시스템을 사용하는 경우에도 반회후두신경의 위치 확인을 위해 기존의 신경 탐침이 필요하다. 또한 연속형 수술 중 신경감시시스템에서 갑상선 수술 중 심장 정지 등의 문제가 발생한 경우도 보고된 바 있다.<sup>25)</sup>

### 수술 기구와 융합된 신경 탐침의 개발

외과 의사의 입장에서 갑상선 수술 중 반회후두신경을 확인하기 위해 수술 중에 수술 기구와 신경 탐침을 반복적으로 바꾸는 것은 번거로우며, 이러한 반복적인 행위는 전체 수술 시간을 길어지게 한다. 이에 Chiang 등<sup>26)</sup>은 이러한 문제점을 해결하기 위해 간헐적인(intermittent) 수술 중 신경감시시스템에서 수술 기구와 신경 탐침이 융합된 stimulating dissecting instrument (SDI)를 개발하였다. 이 기구는 지속적인 수술 중 신경 감시시스템처럼 신경 견인 손상도 조기에 발견이 가능



**Fig. 2.** A nerve probe composed of magnets. The developed nerve probe (below), which is a magnetically deformed conventional nerve probe (top), can be easily attached to and detached from a metallic surgical instrument.

하다.<sup>26)</sup> 그러나 수술 중에는 다양한 크기와 모양의 수술 기구가 사용되는데, Chiang 등<sup>26)</sup>이 고안한 기구는 신경 탐침이 하나의 수술 기구에 고정되어 있어 수술 중 다양한 수술 기구를 사용하는 데 어려움이 있다. 왜냐하면 수술 중 하나의 수술 기구만을 사용하는 것이 아니라 다양한 수술 기구를 사용하고 또한 외과 의사마다 선호하는 수술 기구가 다양하기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Sung 등<sup>27)</sup>은 수술 중 신경을 쉽게 확인하여 신경 손상에 의한 수술 합병증을 감소시키기 위한 모든 금속형 수술 기구에 탈부착이 가능한 자석으로 구성된 신경 탐침을 개발하였다(Fig. 2). 이러한 자석으로 구성된 새로운 신경 탐침은 기존의 신경 탐침과 비교하였을 때 신경을 자극하기 위한 전기적 흐름에 변화가 없었다. 돼지를 이용한 동물 연구와 인체를 대상으로 한 연구에서도 자석형 신경 탐침이 연결된 수술 기구에 의한 성대근 근전도의 진폭(amplitude)은 기존의 신경 탐침에 의한 진폭과는 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).<sup>27)</sup> 또한 자석으로 구성된 신경 탐침은 수술 중 외과 의사가 선호하는 모든 수술 기구에 탈부착이 가능하여 수술 중 수술 기구를 언제든지 변경할 수 있어 외과 의사에게 많은 편리성을 제공할 것으로 생각된다.

기존의 내시경 또는 로봇 갑상선 수술 시 기존의 신경 탐침의 길이가 짧아 적용하기 힘들었다. 그래서 이러한 수술 시 반회후두신경을 확인하기 위해서는 변형된 신경 탐침을 사용하기도 하는데, 이런 경우 외과 의사가 매우 번거롭고 수술 시간이 길어지는 단점이 있었다. 이에 Sung 등<sup>28)</sup>은 내시경 수술 기구나 로봇 수술 기구의 전기소작기를 연결하기 위한 연결 구조물에 신



경 탐침을 연결하는 새로운 내시경 또는 로봇 수술용 신경 탐침을 개발하였다(Fig. 3). 전기소작기를 연결하는 구조물에 신경 탐침을 연결하면 내시경 또는 로봇 수술 기구 자체가 신경 탐침 기능을 수행할 수 있어 외과 의사에게 많은 편리성을 제공할 것으로 생각된다. 이렇게 내시경 또는 로봇 수술 기구에 새로운 신경 탐침을 연결하여도 신경을 자극하기 위한 전기적 흐름에는 영향이 없었다.<sup>28)</sup> 돼지를 이용한 동물 실험 연구에서 Sung 등<sup>28)</sup>이 개발한 내시경용 신경 탐침이 연결된 내시경 또는 로봇 수술 기구에 의한 성대근 근전도의 진폭은 기존의 신경 탐침에 의한 진폭과는 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).

최근에 개발된 지혈과 절단 기능을 합친 에너지 기반 수술 기구(Harmonic focus<sup>®</sup>, Ligasure<sup>®</sup>, Thunderbeat<sup>®</sup>)는 수술 시간 단축과 빠른 수술을 위해 많이 사용되고 있는데, 열에 의한 신경 손상이 문제가 되고 있다. 이러

한 에너지 기반 수술 기구에도 신경 탐침을 연결하여 계속적으로 신경의 상태를 확인하면서 수술을 시행하는 것이 필요하다. 이에 Shin 등<sup>29)</sup>은 탈부착 가능한 신경 탐침이 부착된 에너지기반 수술 기구를 개발하였다(Fig. 4). 돼지를 이용한 동물 실험 연구에서 신경 탐침이 부착된 에너지기반 수술 기구는 기존의 신경 탐침과 비교하여 신경을 인지하는 거리 차이는 없었다( $p > 0.05$ ).<sup>29)</sup>

### 근전도의 문제점 해결 방안

기존의 근전도가 부착된 기관삽관튜브의 가장 문제점은 양성 예측도가 매우 다양하여 신뢰성과 정확성에 논란이 있다는 것이다. 그러한 원인은 성대근과 기관삽관튜브에 부착된 근전도와의 접촉이 위치나 자세 변화에 의해 쉽게 바뀌기 때문이다. 이러한 접촉 문제를 해결하기 위해 Medtronic사에서는 TriVantage 근전도

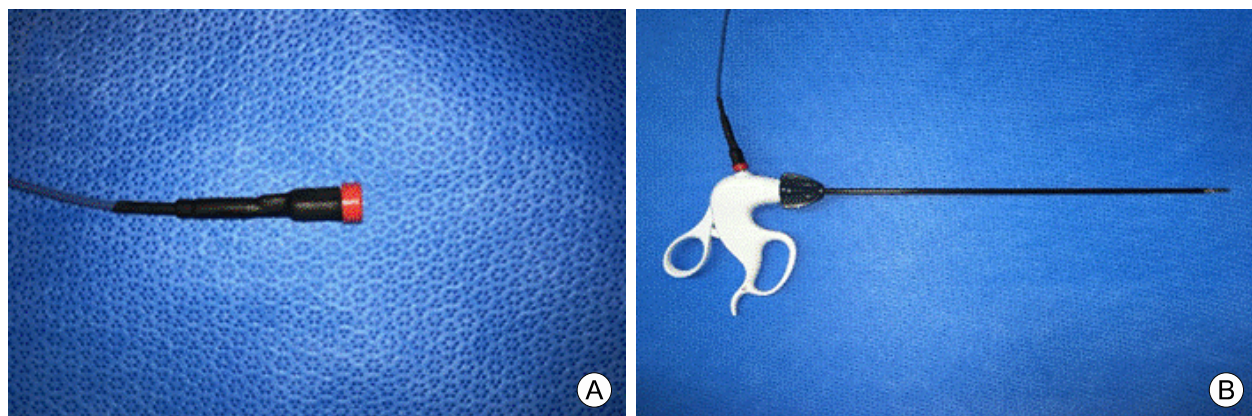


Fig. 3. Endoscopic or robotic nerve probe. A conventional nerve probe was deformed (A) and connected to an endoscopic or robotic surgical instrument (B) to the site where the electrocautery was connected.

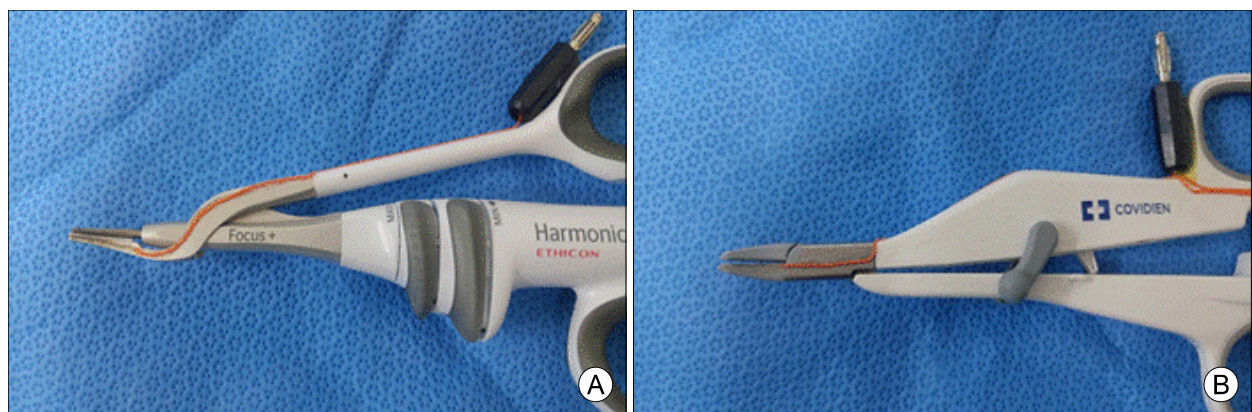


Fig. 4. A nerve probe attached to an energy based devices. Authors attached a nerve probe to the inactive blade of the harmonic focus (A) and the lower blade of the LigaSure (B).

기관삽관튜브를 개발하였으나 아직 한국에서는 임상 적용이 안되고 있다. Kim 등<sup>30)</sup>은 TriVantage 근전도 튜브가 수술 중 튜브위치 변화로 인한 amplitude 변화를 측정하였다. 성대근의 근전도를 측정하기 위해 Medtronic사는 근전도가 삽입된 기관삽관튜브를 개발하였지만, INOMED사는 일반적인 기관삽관튜브에 패치 형태로 근전도 전극을 테이프처럼 부착하는 후두 접착형 전극 (laryngeal adhesive electrode)을 개발하였다(Fig. 5). 자세 변화와 튜브의 위치 변화 등과 같은 후두의 변화에 대해 이러한 패치형 후두 근전도보다 Medtronic사의 근전도 기관삽관튜브형이 후두 관련 부작용이 더 적다는 보고도 있다.<sup>31)</sup>

수술 중 신경감시시스템의 다른 문제점 중의 하나는 비용이다. 근전도 기관삽관튜브는 일반적인 기관삽관 튜브에 비해 비용적으로 고비용이다. 이러한 부분을 개선하고 싼 가격으로 수술 중 후두 성대근의 근전도를 측정하는 방법을 Chiang 등<sup>17)</sup>이 고안하였다. Chiang 등<sup>17)</sup>은 성대근이 갑상연골의 내측에서 앞쪽에 부착되어 있다는 해부학적인 내용을 바탕으로 갑상연골 바깥에서 수술 중 근전도 전극을 삽입하여 성대근과 반회 후두신경의 기능을 평가하는 새로운 형태의 수술 중 신경감시시스템을 제안하였다. 또한 이론적으로도 기관삽관튜브와 성대근의 접촉보다 갑상연골과 성대근 사이의 접촉 관계가 수술 중 조작에 의한 영향을 받지 않아 더 안정적이라고 언급하였다.<sup>17)</sup> 하지만 수술 중에 갑상연골에 삽입하여 부착시킨 근전도 전극이 수술 중 수술 술기로 인해 분리되거나 위치 변화 등이 일어날 수 있는 단점이 있다.

수술 중 신경감시시스템에서 갑상선 수술 중에 성대근의 근전도 신호 소실(loss of signal)이 있을 경우에 신경 손상에 의한 것인지 아니면 수술 중 신경감시시

스템의 문제인지를 구분하는 것이 중요하다. 이 경우 가장 일반적으로 사용되는 기준이 후두 떨림(laryngeal twitch)이다. 반회후두신경을 신경 탐침으로 자극 시 신호 소실이 발생하여 동측에 후두 떨림이 있으면 반회 후두신경은 정상이고 수술 중 신경감시시스템의 이상, 즉 성대근과 근전도 전극의 접촉 장애, 또는 침이나 가래에 의한 전기적인 자극 전달 장애 등에 의한 가능성이 있다.<sup>4)</sup> 이와 같이 기존의 수술 중 신경감시시스템에서 신호 소실이 발행할 때 기준이 되는 후두 떨림을 이용하는 새로운 수술 중 신경감시시스템을 개발하고자 하는 연구가 있다.<sup>20)</sup> 즉 신경 자극에 대한 성대근의 반응을 근전도로 측정하는 것이 아니라 성대근의 떨림을 측정하고자 하는 것이다. 후두 떨림을 측정하기 위한 새로운 표면압력센서에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>20)</sup> 새로운 패치 형태의 표면압력센서는 근전도 측정을 위한 전극과 성대와의 접촉에 의한 수술 중 신경감시시스템의 정확도에 대한 논란 부분을 감소시킬 것으로 생각된다.

## 요 약

갑상선 수술 후 발생한 성대마비는 삶의 질을 중요시하는 요즘 시대에 제일 치명적 합병증 중 하나이다. 그 결과 수술 중 신경감시시스템의 사용은 보편화되고 있으나 아직 기존의 시스템은 외과 의사가 사용하기에 불편하거나 문제점들이 있다. 그래서 새로운 방식의 신경 탐침과 신경 감시 장치의 개발이 필요한 시점이다. 이에 최근 모든 수술 기구(금속형 기구, 내시경 및 로봇 기구, 에너지 기반 디바이스)에 탈부착이 가능한 신경을 자극하는 신경 탐침 및 후두 떨림을 측정하기 위한 표면압력센서를 이용한 새로운 형태의 수술 중

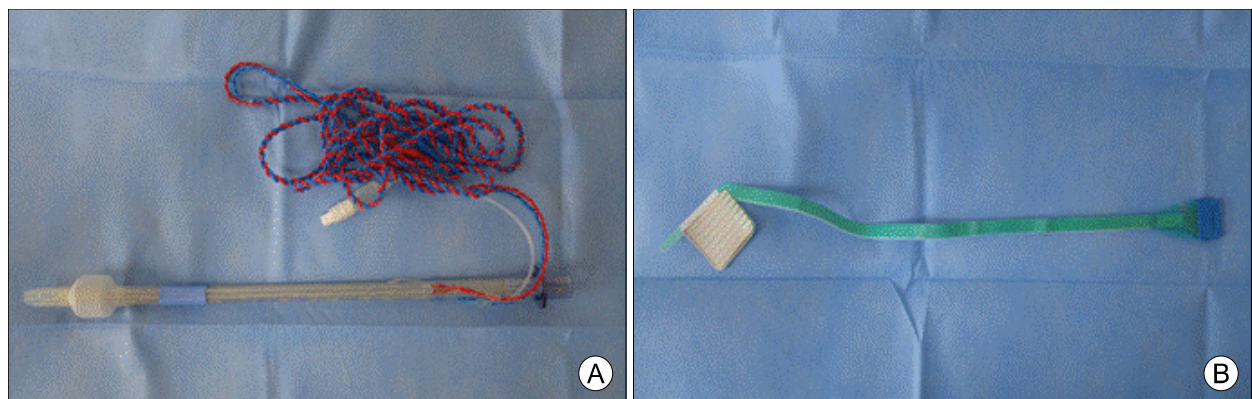


Fig. 5. A laryngeal electromyography electrodes. (A) Medtronic electrode endotracheal tube. (B) Inomed laryngeal adhesive electrode.

신경감시시스템의 개발에 대한 연구가 기대된다.

**중심 단어:** 갑상선절제술, 술 중 신경감시, 반회후두 신경, 탈부착형 신경 탐침, 표면형 생체 압력센서.

## References

- Munch S, deKryger L. *A piece of my mind. Moral wounds: complicated complications.* JAMA 2001;285(9):1131-2.
- Chiang FY, Wang LF, Huang YF, Lee KW, Kuo WR. *Recurrent laryngeal nerve palsy after thyroidectomy with routine identification of the recurrent laryngeal nerve.* Surgery 2005;137(3):342-7.
- Chiang FY, Lu IC, Kuo WR, Lee KW, Chang NC, Wu CW. *The mechanism of recurrent laryngeal nerve injury during thyroid surgery--the application of intraoperative neuromonitoring.* Surgery 2008;143(6):743-9.
- Randolph GW, Dralle H, International Intraoperative Monitoring Study Group, Abdullah H, Barczynski M, Bellantone R, et al. *Electrophysiologic recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: international standards guideline statement.* Laryngoscope 2011;121 Suppl 1:S1-16.
- Chiang FY, Lu IC, Chen HC, Chen HY, Tsai CJ, Lee KW, et al. *Intraoperative neuromonitoring for early localization and identification of recurrent laryngeal nerve during thyroid surgery.* Kaohsiung J Med Sci 2010;26(12):633-9.
- Dionigi G, Wu CW, Kim HY, Rausei S, Boni L, Chiang FY. *Severity of recurrent laryngeal nerve injuries in thyroid surgery.* World J Surg 2016;40(6):1373-81.
- Dionigi G, Alesina PF, Barczynski M, Boni L, Chiang FY, Kim HY, et al. *Recurrent laryngeal nerve injury in video-assisted thyroidectomy: lessons learned from neuromonitoring.* Surg Endosc 2012;26(9):2601-8.
- Kim WW, Kim JS, Hur SM, Kim SH, Lee SK, Choi JH, et al. *Is robotic surgery superior to endoscopic and open surgeries in thyroid cancer?* World J Surg 2011;35(4):779-84.
- Lee J, Nah KY, Kim RM, Ahn YH, Soh EY, Chung WY. *Differences in postoperative outcomes, function, and cosmesis: open versus robotic thyroidectomy.* Surg Endosc 2010;24(12):3186-94.
- Mourad M, Rulli F, Robert A, Scholtes JL, De Meyer M, De Pauw L. *Randomized clinical trial on Harmonic Focus shears versus clamp-and-tie technique for total thyroidectomy.* Am J Surg 2011;202(2):168-74.
- Ruggiero R, Gubitosi A, Conzo G, Gili S, Bosco A, Pirozzi R, et al. *Sutureless thyroidectomy.* Int J Surg 2014;12 Suppl 1:S189-93.
- Phillips CK, Hruba GW, Durak E, Lehman DS, Humphrey PA, Mansukhani MM, et al. *Tissue response to surgical energy devices.* Urology 2008;71(4):744-8.
- Wu CW, Chai YJ, Dionigi G, Chiang FY, Liu X, Sun H, et al. *Recurrent laryngeal nerve safety parameters of the harmonic focus during thyroid surgery: porcine model using continuous monitoring.* Laryngoscope 2015;125(12):2838-45.
- Dionigi G, Chiang FY, Kim HY, Randolph GW, Mangano A, Chang PY, et al. *Safety of LigaSure in recurrent laryngeal nerve dissection-porcine model using continuous monitoring.* Laryngoscope 2017;127(7):1724-9.
- Kwak HY, Dionigi G, Kim D, Lee HY, Son GS, Lee JB, et al. *Thermal injury of the recurrent laryngeal nerve by THUNDERBEAT during thyroid surgery: findings from continuous intraoperative neuromonitoring in a porcine model.* J Surg Res 2016;200(1):177-82.
- Dralle H, Sekulla C, Lorenz K, Brauckhoff M, Machens A, German IONM Study Group. *Intraoperative monitoring of the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery.* World J Surg 2008;32(7): 1358-66.
- Chiang FY, Lu IC, Chang PY, Dionigi G, Randolph GW, Sun H, et al. *Comparison of EMG signals recorded by surface electrodes on endotracheal tube and thyroid cartilage during monitored thyroidectomy.* Kaohsiung J Med Sci 2017;33(10): 503-9.
- Tsai CJ, Tseng KY, Wang FY, Lu IC, Wang HM, Wu CW, et al. *Electromyographic endotracheal tube placement during thyroid surgery in neuromonitoring of recurrent laryngeal nerve.* Kaohsiung J Med Sci 2011;27(3):96-101.
- Lu IC, Chu KS, Tsai CJ, Wu CW, Kuo WR, Chen HY, et al. *Optimal depth of NIM EMG endotracheal tube for intraoperative neuromonitoring of the recurrent laryngeal nerve during thyroidectomy.* World J Surg 2008;32(9):1935-9.
- Wu CW, Wang MH, Chen CC, Chen HC, Chen HY, Yu JY, et al. *Loss of signal in recurrent nerve neuromonitoring: causes and management.* Gland Surg 2015;4(1):19-26.
- Chiang FY, Lee KW, Chen HC, Chen HY, Lu IC, Kuo WR, et al. *Standardization of intraoperative neuromonitoring of recurrent laryngeal nerve in thyroid operation.* World J Surg 2010;34(2):223-9.
- Kandil E, Mohsin K, Murcy MA, Randolph GW. *Continuous vagal monitoring value in prevention of vocal cord paralysis following thyroid surgery.* Laryngoscope 2018;128(10):2429-32.
- Dionigi G, Donatini G, Boni L, Rausei S, Rovera F, Tanda ML, et al. *Continuous monitoring of the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery: a critical appraisal.* Int J Surg 2013;11 Suppl 1:S44-6.
- Wu CW, Dionigi G, Sun H, Liu X, Kim HY, Hsiao PJ, et al. *Intraoperative neuromonitoring for the early detection and prevention of RLN traction injury in thyroid surgery: a porcine model.* Surgery 2014;155(2):329-39.
- Almquist M, Thier M, Salem F. *Cardiac arrest with vagal stimulation during intraoperative nerve monitoring.* Head Neck 2016;38(S1):E2419-E20.
- Chiang FY, Lu IC, Chang PY, Sun H, Wang P, Lu XB, et al. *Stimulating dissecting instruments during neuromonitoring of RLN in thyroid surgery.* Laryngoscope 2015;125(12):2832-7.
- Sung ES, Lee JC, Shin SC, Choi SW, Jung DW, Lee BJ. *Development of a novel detachable magnetic nerve stimulator for intraoperative neuromonitoring.* World J Surg 2018;42(1): 137-42.
- Sung ES, Lee JC, Kim SH, Shin SC, Jung DW, Lee BJ. *Development of an attachable endoscopic nerve stimulator for*



- intraoperative neuromonitoring during endoscopic or robotic thyroidectomy. Otolaryngol Head Neck Surg* 2018;158(3):465-8.
- 29) Shin SC, Sung ES, Choi SW, Kim SD, Jung DW, Kim SH, *et al. Feasibility and safety of nerve stimulator attachment to energy-based devices: a porcine model study. Int J Surg* 2017;48:155-9.
- 30) Kim HY, Tufano RP, Randolph G, Barczynski M, Wu CW, Chiang FY, *et al. Impact of positional changes in neural monitoring endotracheal tube on amplitude and latency of electromyographic response in monitored thyroid surgery: results from the porcine experiment. Head Neck* 2016;38 Suppl 1: E1004-8.
- 31) Birkholz T, Saalfrank-Schardt C, Irouschek A, Klein P, Albrecht S, Schmidt J. *Comparison of two electromyographical endotracheal tube systems for intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring: reliability and side effects. Langenbecks Arch Surg* 2011;396(8):1173-9.