

Review Article

갑상샘 절제술 중 반회후두신경과 상후두신경 외분지 수술 중 신경계 감시

김다솔^{1,2*}

¹전북대학교 의과대학 재활의학교실

²전북대학교병원 의생명연구원

Intraoperative neurophysiological monitoring of the recurrent laryngeal nerve and the external branch of the superior laryngeal nerve during thyroid surgery

Da-Sol Kim^{1,2*}

¹Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Jeonbuk National University Medical School, Jeonju, Korea

²Research Institute of Clinical Medicine - Biomedical Research Institute, Jeonbuk National University Hospital, Jeonju, Korea

ABSTRACT

Thyroidectomy is a pivotal surgical intervention for managing malignant thyroid conditions and selected benign diseases that cause significant symptoms. However, the procedure is associated with complications, including injuries to the recurrent laryngeal nerve (RLN) and the external branch of the superior laryngeal nerve (EBSLN), which can result in vocal cord paralysis and severely impact patient outcomes and quality of life. Intraoperative neuromonitoring (IONM) has emerged as a valuable technique to mitigate these risks by enabling precise nerve mapping, identification of anatomical variations, and functional assessment of critical nerves. This study comprehensively reviews the principles and methodologies of IONM in thyroidectomy, highlighting its utility in RLN and EBSLN preservation through standardized protocols. Furthermore, it examines recent advancements in monitoring technologies, including the application of needle and transcutaneous electrodes and the integration of the laryngeal adductor reflex. Despite the increasing adoption of IONM, challenges such as variability in implementation, cost, and limited accessibility persist. Continued research and technological refinement are essential to enhance the efficacy and accessibility of IONM and further improve surgical outcomes in thyroidectomy.

Keywords: intraoperative neurophysiological monitoring; laryngeal nerves; recurrent laryngeal nerve; thyroidectomy; vocal cord paralysis

서론

갑상샘절제술은 선 악성 질환에서 가장 중요한 치료법이며, 크기가 크거나 증상을 유발하는 경우 양성 질환에서도 시행된다[1]. 갑상샘절제술 후 흔한 합병증은 저칼륨혈증, 반회후두신경손상(recurrent laryngeal nerve, RLN), 술후 출혈이며, 이외에 드물게 상후두신경 외분지 손상(external branch of superior laryngeal nerve, EBSLN), 연하곤란, 점액종, 호너 증후군 등이 있다[2]. 그 중 RLN 손상은 성대마비를 일으켜 음성 변화뿐만 아니라 흡인, 연하곤란, 호흡부전 등의 문제와 연관되어 환자 삶의 질 심각한 저하와 법적인 문제를 일으킬 수 있다[3]. 기존 보고에 따르면, 숙련된 외과의사에서도 수술 이후 일시적 성대 마비는 0.9%~2.9% 및 영구적 성대 마비는

0.5%~5%를 경험하고 있다고 보고된다[4]. 양측 성대마비의 경우 0.2%~1.2%로 매우 드물게 보고되고 있지만 일단 발생하면 매우 치명적이며 기관지절개가 필요할 수도 있기 때문에 이를 줄이기 위해 수술 중 신경계 감시(intraoperative neuro-monitoring, IONM) 등과 같은 여러 방법이 고안되고 있다 [5,6].

갑상샘절제술의 IONM 개념의 시작은 1938년 Lahey 등이 RLN의 신경 손상을 막고자 육안적으로 RLN을 식별하고 박리를 하면서 시작되었다[7]. 이를 통해 신경 손상률이 10%에서 0.3%로 감소하면서 신경계 감시의 중요성이 대두되었다. 이후 수술 중 육안적으로 신경을 식별하고 확인하는 것이 아니라, 전기생리학적 신경계 감시로 넘어가는 것은 1966년 Shedd와 Burget이 canine 모델에서 RLN과 EBSLN의 전기 자극 후

Received Dec 6, 2024; Revised Jan 22, 2025; Accepted Feb 21, 2025

*Corresponding author: Da-Sol Kim, Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Jeonbuk National University Medical School, Jeonju 54907, Korea
Tel: +82-063-250-1785, E-mail: murunoon@gmail.com

© 2025 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.

기도삽관 튜브의 압력 기록계를 활용하여 감시한 것이 바탕이 되었다[8].

갑상샘절제술시 IONM의 활용의 이점은 다양하게 보고되고 있다[9]. 첫 번째로 신경을 육안으로 확인하기 전에 신경위치를 지도화(mapping) 하고 이로써 신경 손상을 예방, 두 번째로 신경의 해부학적 변이에 대한 정보를 사전에 확인, 세 번째로 양측 신경손상으로 발생한 양측 성대마비와 기관지 절개율을 감소, 네 번째는 술 중 신경손상을 확인한 경우 수술적 방법의 선택(예, 단계적 절제술) 변화, 다섯 번째는 경험이 적은 외과의도 모니터링을 통해 합병증을 감소시킬 수 있다는 점이다.

갑상샘절제술시 전기생리학적 검사를 이용한 IONM의 유용성은 몇몇 논문 및 메타분석을 통해 연구되었다. 결과가 상이한 경우도 있으나 대다수 연구에서 IONM 시행 시 일시적인 RLN 손상은 유의하게 감소시킬 수 있다고 보고되었다[10-12]. 그러나, 영구적인 RLN 손상 감소 면에서 IONM 시행 시 유의성은 논란이 있으며, 이는 영구적인 RLN 손상 발생이 적고 손상 보고가 누락률이 높은 점 등을 고려해서 해석해야 한다. 이러한 차이를 감소시키고 좀 더 효과적인 IONM을 위해 가이드라인을 만들고 과정을 표준화하려는 노력이 이루어지고 있다[9,13,14].

우리나라에서는 2017-2020년까지 갑상샘 및 부갑상샘 수술 시 신경계 감시 건수는 2017년 2,872건에서 2020년 5,427건으로 증가되고 있다[15]. 2020년부터 제한적으로 건강보험 급여항목으로 갑상샘절제술시 신경계 감시를 인정하고 있다. 급여 기준으로는 중심구역의 재발성 갑상샘암, 수술 전 편측 성대마비가 있는 환자, 중심구역 림프절 전이가 명확한 갑상샘암, 피막외 침범(T3b)이 확인되거나 의심되는 갑상샘암, 그레이브스병 혹은 현저한 갑상샘 종대와 같은 고위험군 갑상샘수술 및 부갑상샘수술 환자 등으로 제한되어 있다. 위와 같이 우리나라에서 수술중신경계감시 요구도는 점차 증가되고 있으나 제한된 급여기준으로 우리나라에서 갑상샘절제술을 시행하는 모든 환자에게 적용하기에는 어려운 상태이다. 향후 표준화된 IONM 적용과 해석, 새로운 접근법(피부전극형, 내전근반사 등)의 활용과 내시경 및 로봇 갑상샘절제술 등에서 유용성에 관한 연구 등을 통해 지속적인 근거 축적이 필요하다. 본 논문에서는 갑상샘절제술시 RLN 및 EBSLN을 보존하기 위한 IONM에 대해 기술하고자 한다.

본론

갑상샘절제술시 주로 손상되는 신경은 RLN과 EBSLN이며, 모니터링 방법은 크게 간헐적 및 지속적 신경계 감시가 있다. 잘 알려진 방법은 신경 자극 탐촉자(stimulation neural

probe)로 술 중 노출된 미주신경(vagus nerve, VN), RLN, EBSLN과 주변 구조물들을 간헐적으로 자극하고, 기도삽관 튜브의 표면 전극으로 기록하는 간헐적 신경계 감시방법이 대표적이다.

1. 수술 전 신경계 감시 장비 준비 및 마취

신경계 감시 장비들은 기록부와 자극부로 나뉘며, 기록부는 기관삽관 튜브 전극, 접지 전극(ground electrode), 연결부(interface-connector)로 되어 있다(Fig. 1)[16]. 자극부는 신경 자극 탐촉자, 접지 전극으로 되어 있고 이외에 자극 전류생성기 및 모니터로 구성되어 있다.

기록부의 기관지 튜브 위치 및 상태는 신경계 감시의 위양성을 낮출 수 있는 가장 중요한 부분이다. 튜브의 크기는 전극과 성대가 충분히 접촉할 수 있게 가능한 큰 튜브를 사용하는 것이 유리하다. 튜브의 위치는 너무 깊거나 얇지 않고 좌우 회전 되지 않고 적절히 접촉되게 하여야 한다[17,18]. 이를 위해 비디오 후두경이나 연성 후두내시경을 활용하여 직접 육안으로 확인하면서 적절한 위치를 찾는 것이 바람직하다[19,20]. 더불어, 튜브 고정 후 임피던스를 측정하여 기록 전극의 상태를 확인해야 하며(임피던스 < 5 kΩ, 두 전극의 임피던스 불균형 < 1 kΩ), 튜브를 위치할 때는 수술 자세(경부 신전)를 사전에 취해 놓아야 기도 삽관 및 튜브를 거치해야 위치 변화를 최소화할 수 있다.

자극부의 신경 자극 탐촉자는 양극성 및 단극성 모두 사용 가능하며, 단극성이 더 보편적으로 활용된다. 신경 자극 탐촉자는 수술용 겸자 혹은 가위 등 기구를 사용하는 것도 제시된 바가 있으며, 로봇 혹은 내시경 수술의 보편화로 상기 장비와 연결하여 탐촉자의 사용도 고려되고 있다[21-23]. 보통 자극 강도는 1-2 mA로 하며 지도화(mapping) 과정이나 미주신경을 확인할 때와 같이 신경이 노출되지 않은 경우 2-3 mA까지 올리기도 한다. 반복 신경자극의 안정성에 대해서 성인 및 소아에서도 신경 손상이 보고되지 않았으며, 미주신경에 대해 장시간 자극에도 서맥, 부정맥, 기관지 연속 등과 같은 부작용이 초래하지 않는다고 보고되었다.

마취는 일반 신경계 감시와 유사하게 근이완제 사용에 주의해야 하며, 산화질소, 흡입마취, 정맥마취는 근전도 신호에 큰 영향을 미치지 않아 자발전위가 나오지 않을 만큼 충분한 깊이의 마취를 유지한다[24,25]. 이외에 후두근육 경우 전신 골격근에 비해 근이완제 더 빨리 반응하고 회복하는 특성을 보인다.

2. 표준화된 수술 중 신경계 감시술(standardized intraoperative neuromonitoring)

갑상샘절제술시 IONM의 효용성을 높이기 위해 표준화된

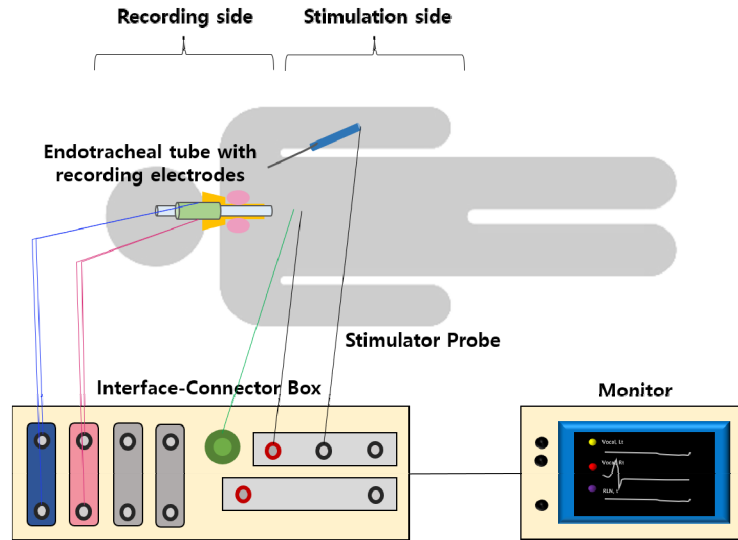


Fig. 1. Basic IONM equipment used in thyroid surgery. IONM: intraoperative neuromonitoring.

프로토콜을 만들어서 이를 극복하려고 하고 있다(Table 1) [14]. 수술 전 후로 성대의 기능을 확인하기 위해 후두경 검사 (L1, L2)를 권고하고 있다. 수술 시에는 갑상샘절제술 전 미주 신경 자극(V1)으로 시작된다. 이때, 자극하는 미주신경은 갑상샘 측방을 노출해 경동맥과 경정맥 사이의 신경을 육안으로 확인하여 하거나 신경을 박리하지 않아도 자극 전류를 높여서 자극할 수 있다. V1을 확인함으로써 IONM 장비전체가 온전히 기능한다는 것을 확인할 수 있으며, 이후 과정에서 발생할 수 있는 신호 소실(loss of signal, LOS) 등의 해석 및 다음 단계 신경반응과 정량적 비교를 가능하게 하는 기본값이 된다. EBSLN의 경우 육안으로 확인하여 보존하는 방법도 사용하지 않지만 시간과 노력이 많이 들며 변이가 많아 수술중신경계 감시를 통해 신경의 위치와 기능을 확인하는 것이 도움이 된다. 갑상샘 상극 박리 전 S1을 확인하여 신경의 위치를 확인하고 박리 후 S2를 재확인하여 신경의 기능을 파악한다.

갑상샘을 노출한 후 RLN을 육안으로 확인하기 전 신경 주행이 예상되는 부위에 신경자극 탐촉자를 사용하여 전기 자극을 한다. 이후 자극 전류를 낮춰가면서 더 정확하게 신경의 위치를 확인하게 된다. 신경을 육안적으로 확인하게 되면 다시 전기자극을 통해 전기신호를 얻는다. 이때 얻어지는 RLN 전기신호를 R1으로 정의한다. 검체 채취 및 지혈을 마친 뒤 다시 RLN을 자극하여 전기신호를 측정하는 것이 R2이다. 신경손상이 없다면 R1에서 얻어진 전기신호와 비교하여 R2의 진폭 변화가 없거나 오히려 증가하게 된다. 일반적으로 50% 초과하여 진폭이 감소하거나 100 μ V 미만으로 감소 및 신호지연이 10% 초과한 경우 이상소견을 의미한다. 좀 더 정확한 신호 해석을 위해 R2 단계에서는 노출된 신경의 가장 근위부 신호는 R2p, 가장 말단부 신호는 R2d 측정하여 기록을 추천한다. 일반적으로 R2p 진폭이 R2d 진폭보다 60% 이상 감소 시 노출된 신경 손상 발생 및 수술 후 성대마비 예측된다. 이 경우 신

Table 1. The standard procedures of IONM

Stage	Course
L1	Preoperative laryngoscopic examination
V1	Obtaining vagus nerve signal before thyroid dissection
S1	Obtaining EBSLN signal before superior pole dissection
S2	Obtaining EBSLN signal after superior pole dissection
R1	Obtaining RLN signal at initial identification
R2	Obtaining RLN signal after thyroid dissection and complete hemostasis
V2	Obtaining vagus nerve signal after complete thyroidectomy and hemostasis
L2	Postoperative laryngoscopic examination

IONM: intraoperative neuromonitoring; EBSLN: external branch of superior laryngeal nerve; RLN: recurrent laryngeal nerve.

경의 말단부에서부터 근위부 쪽으로 신경을 연속적으로 자극해 보면 진폭 감소지점을 확인 및 신경손상 부위 추정해볼 수 있다. 이를 통해 술자는 해당 부위에 견인 또는 열 손상 등에 의해 신경손상 발생도 파악해볼 수 있다. 마지막으로 모든 박리, 지혈 및 관주를 마친 후 봉합에 들어가기 전 미주신경을 자극하여 전기신호를 얻는 것을 V2로 정의한다.

3. 신호소실과 해석

2018년 국제 신경모니터링 연구그룹 가이드라인에서 갑상샘절제술 후 신호 해석에 대한 가이드라인을 제시하였다. 초기 신호(initial electromyography[EMG])는 가장 초기에 얻는 V1 전기신호(500 μ V 진폭초과) 및 후두 연축을 보이는 경우를 의미한다. 정상 기준 신호(normative EMG)는 초기 기준 신호와 비교하였을 때 안정적인 정상 전기신호를 의미한다. 초기 신호에 비해 진폭이 50% 초과 감소가 없으며, 신호지연이 10% 초과 지연이 없는 경우이다. 더불어, 진폭과 지연이 있을 경우 같이 변화하는데 단독적으로 변화하는 경우는 정상일 가능성이 높다. 위와 같은 정상 기준 신호는 성대마비가 없을 것이라고 판단되어 수술을 지속할 수 있다.






반면 신호소실임박(impending adverse EMG)은 진폭감소가 50% 초과하나 절대값은 100 μ V 초과하며, 신호 지연이 10% 초과하여 보이는 경우를 의미한다. 이는 성대 마비 위험

이 높으며 해당 술기를 멈출 것을 권고하고 있다. 신호 소실(adverse EMG)은 진폭이 100 μ V 미만으로 감소하며, 신호 지연이 10% 초과하여 보이는 경우이다. 신호소실임박의 경우 수술중신경계감시 중 70%~80%의 비율로 초기 신호로 되돌아오지만, 신호 소실의 경우 17%~25%의 비율로 되돌아오는 것으로 되어 있어, 신경손상의 가능성이 더 높다. 최종 회복 신호(final EMG)의 경우 수술 끝나기 직전 마지막 측정된 신호로 초기 정상 기준 신호 진폭 50% 초과로 회복되거나 진폭이 250 μ V 초과일 경우 정의한다. 수술 중 이상 신호에서 회복되는 경우 대부분 20분 이내 회복되며 이럴 경우 정상 성대 기능할 가능성이 높아진다(Table 2).

4. 위양성과 위음성

앞서 신호소실 해석 시 일단 수술을 멈추는 것을 권고하고 있고, 이후 위양성을 감별하여 신경손상에 대한 계획을 세워야 한다(Fig. 2). 우선 신호소실이 발생한 경우 수술을 멈추고, 수술 측 RLN을 재자극하고 후두연축을 확인(갑상연골 후방에 손가락을 집어넣어 연축을 확인)하여야 한다. 이와 더불어, 반대쪽의 VN을 자극하여 신호반응이 나오는 확인을 해야 한다. 후두연축 있거나 반대쪽 미주신경 자극 시 반응이 없는 경우는 신경손상 가능성은 낮은 것으로 보고 모니터링 기기의 기록부 문제들을 확인해야 한다. 주로 기도삽관 튜

Table 2. The international Neuromonitoring Study Group EMG key nomenclature

EMG key nomenclature	Definition
 Initial EMG I EMG WHITE	Post patient position initial baseline V1 > 500 μ V with appropriate latency with good laryngeal twitch baseline assessment
 Normative EMG G-EMG GREEN	Stable intraoperative normative EMG relative to initial baseline with absolute amplitude no less than 50% and latency increase of no more than 10% of initial baseline values. Isolated non-concordant amplitude or latency changes (ex. amplitude changes without latency or latency changes without amplitude) suggest recording side anomaly requiring troubleshooting algorithm and likely tube repositioning. No risk of vocal cord paralysis.
 Impending adverse EMG IA EMG YELLOW	Amplitude decrease of > 50% of initial baseline (with absolute amplitude > 100 μ V) and latency increase of > 10% of initial baseline. It should be understood that risk of vocal cord paralysis increases as amplitude decreases and latency increases as a bio-continuum. Significant risk escalation occurs at > 70% amplitude decrease and > 10% latency increase (if persistent for approximately 40 to 60 seconds or more with PPV 33%, NPV 97%) though with rates of intraoperative recovery of ~70%~80% with inciting surgical maneuver modification A warning cut off prior to this initial adverse EMG event signaling the nerve is approaching EMG data consistent with impending neuropraxia.
 Adverse EMG A EMG RED	Amplitude decrease to < 100 μ V, typically associated with latency increase of > 10% of initial baseline suggesting high risk of neuropraxia (PPV 83%, NPV 98%) with reduced potential for intraoperative recovery of ~17%~25%.
 Final EMG F EMG BLACK	Subsequent to IA EMG or A EMG -20 minute intraoperative EMG recovery period should be given. Amplitude recovery of > 50% of initial baseline and with absolute amplitude > 250 μ V suggests extremely low risk of vocal cord paralysis. Recovery of less than this degree of amplitude is consistent with high risk of vocal cord paralysis and staged surgery recommend (~PPV 75%, NPV 99%). Laryngeal twitch is an adjunctive assessment of maintenance of significant neural function.

EMG: electromyography; NPV: negative predictive value; PPV: positive predictive value.

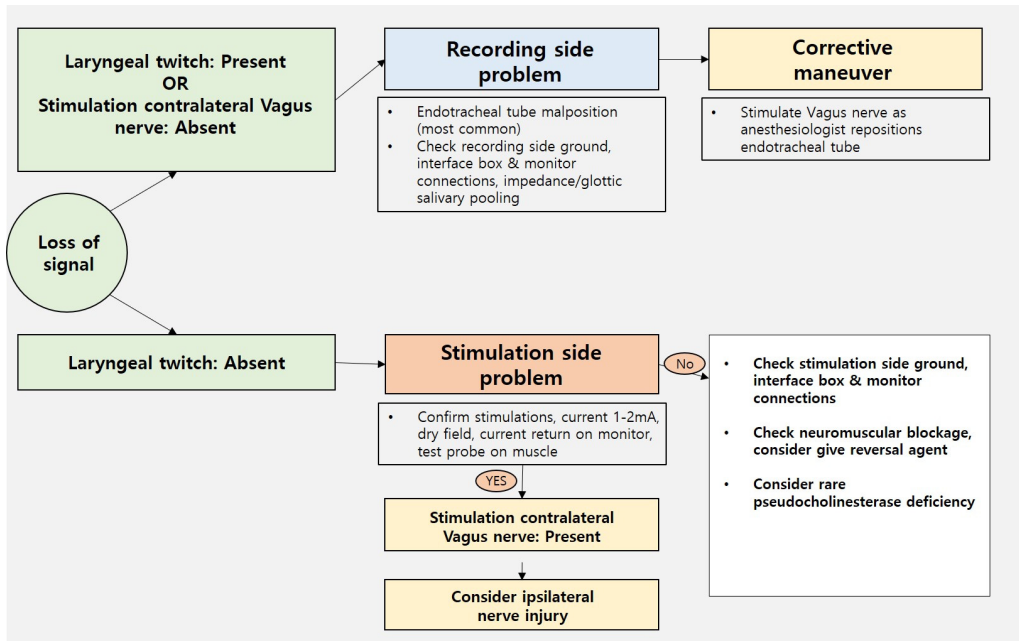


Fig. 2. Troubleshooting algorithm.

브의 위치 이상이 가장 흔하다. 튜브가 밀려나와 있거나 밀려들어가고, 회전해서 접촉 불량한 경우 등을 의미하며, 이 경우 잠복기 연장이 동반되지 않는 특징을 지닌다. 이런 경우 마취과와 상의하여 기도삽관 튜브 위치 재조정하여 반대쪽 VN을 재자극하여 신호를 확인한다. 이외에 기록부의 접지전극, 연결부 및 모니터 등이 빠진 않았는지 확인이 필요하다.

후두 연축이 없는 경우는 자극 부위에 문제가 없는지 확인하여야 한다. 우선적으로 신경자극 전류 크기가 1-2 mA로 적절히 설정되어 있는지 확인하고, 신경 주변 혈액이나 기타 수분을 확인하고 닦아낸다. 더불어, 근육부위에도 자극하여 자극부 이상을 확인한다. 반대쪽 VN 자극시 신호를 확인하고 확인이 되지 않으면 다른 자극부 문제들(예. 접지전극, 연결부, 모니터 등 확인), 수술 시작후 근이완제 투여 확인 등을 확인한다. 만약, 반대쪽 VN 자극시 신호가 잘 나온다면 동측 신경 손상을 의심할 수 있다.

위음성의 경우 대부분은 수술 중 신경손상이 사전에 인지되어 향후 계획을 세울 수 있으나, 드물게 사전에 인지되지 못하고 수술 후 성대마비가 발견된 경우 문제가 된다. 위음성의 발생은 신경계감시 시 자극 세기인 1-2 mA는 생리적 자극이 아니라는 것을 염두에 두어야 하며, 정상적인 전기 신호는 단지 신경에서 성대근육에 이르는 신경전달이 존재함을 의미한다는 것도 고려해야 한다. 이를 예방하기 위해 R2 신경 감시 시 원위부와 근위부를 나누어서 측정하는 것이 필요하며, V2를 꼭 측정하는 것이 필요하다. 이외에도 RLN의 후두외분지가 운동분지를 포함하거나 수술 마치고 직전 신경 손상이 발생한 경

우, 수술 후 조직 부종으로 생긴 지연성 손상 등을 고려해야 한다.

5. 지속적 수술 중 신경계감시술(continuous intraoperative neuromonitoring)

간헐적 수술 중 신경계감시술은 실시간 모니터링이 아니기 때문에 짧은 시간 발생하는 신경 손상을 예방하지 못한다는 한계가 지적되어 소개된 방법이다. 지속적으로 VN을 자극하면서 RLN 기능을 감시할 수 있다. 신경 자극 전극의 형태는 S 형태, 닷(anchor) 형태, 클립 형태 등 다양하며 신경을 박리하여 거치하게 된다. 이를 위해서 VN 박리 시 신경 손상 혹은 주변 혈관들 손상 위험성이 있을 수 있으며, 반복적인 VN 자극으로 인해 부정맥이나 혈액학적 불안정성 등의 논란이 있다. 최소한의 자극은 별다른 부작용 초래하지 않는다는 보고가 있으며, 몇몇 연구에서 지속적 모니터링의 효과적으로 RLN 손상을 예측할 수 있다는 보고를 하였다[26-28].

6. 감상샘절제술시 신경 손상에 대한 치료 및 단계적 감상샘 수술

감상샘절제술시 IONM에서 신호소실 및 신경손상이 발생하는 경우 다음 단계로 신경 손상과 성대 마비 정도에 따라 경과관찰, 음성치료, injection laryngoplasty가 일반적으로 고려되며, 신경 절단이 관찰된 경우 신경 절단면을 이어주는 re-innervation 기법이나 심한 성대 마비에 대해 open medialization procedure 등 수술적 치료가 고려된다.

양측 갑상샘절제술에 의한 양측 신경손상 및 성대마비의 경우 호흡마비 및 기관절개술을 시행해야 하는 위급한 상황이 발생할 수 있다. 따라서, 양측 갑상샘절제술시 일측 절제하면서 IONM을 통해 신경 손상이 최종적으로 의심되는 경우는 반대측 절제 시 일단 보류하고 단계적인 갑상샘 수술을 고려할 수 있다. 이는 일측 수술시 신경을 찾기 어려우면 반대쪽도 유사할 가능성이 높으며, 외과가가 일측 신경손상이 의심되는 경우 양측 신경손상 가능성 및 기관절개술 위험성이 높아져 수술 집중도 저하 가능성이 높아지는 등의 다양한 요인들이 있다. 2018년 국제 신경모니터링 연구그룹 가이드라인을 통해 일측 신경 손상이 발생한 경우 수술을 중단하고 수술 후 2주-2개월 상이의 성대기능 회복 여부에 따라 반대측 수술 여부를 결정하며 수술 필요성에 대한 재검토 및 비수술적 치료에 대한 고려할 것으로 권고하였다[13].

7. 최근 연구 중인 갑상샘절제술시 수술 중 신경계감시 방법들

갑상샘절제술 IONM 시 주로 기관삽관 튜브를 이용해 성대 점막에 표면 전극을 거치하는 방법이 일반적이거나 위양성율이 높고 가격이 비싸다는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 갑상 연골 부위의 바늘 전극이나 피부 전극을 거치하는 방법들이 소개되었다.

바늘 전극의 경우 위양성율이 낮아 정확도가 높고, 신호 진폭이 기도삽관 튜브보다 높게 기록되었다[29]. 다만, 갑상 연골의 골화 및 상태에 따라 바늘 전극을 삽입하기 어렵고 침습적인 방법이라 출혈이나 혈종 등의 위험이 있었다. 이 외에도 비침습적인 갑상 연골부위에 피부 전극을 부착하는 방법이 소개되었다[30,31]. 기관지 튜브와 피부 전극과 동시에 시행한 연구 결과에 의하면 신호가 적절히 감지되었으나 진폭이 상대적으로 작았고, 기관지 튜브에서 신호소실을 보고한 케이스에서 신호소실 정도의 이상소견을 보이지 않았다[31]. 이는 피부 전극의 경우 피부를 거상시키는 과정에서 갑상 연골과 피판 분리되면서 신호 감소 혹은 단절의 영향을 받으며, 피부와 피부하 조직 특성(예, 비만, 짧은 목, 종양 크기 등) 등을 고려해야 한다.

Sinclair와 Tellez는 내전근 반사(laryngeal adductor reflex, LAR)를 이용한 신경계 감시방법을 소개하였다[32]. LAR은 하부 호흡기계에 이물질 흡인된 경우 기도를 보호하기 위한 반사로, 좌우 개별적으로 구성되며 뇌간을 포함한 원심성, 중심성, 및 구심성 신경경로가 포함이 되어 있다. 성문 점막 수용체에 이물질이 들어왔을 때 구심성 경로인 동측 상후두 신경 내측분지(internal branch of superior laryngeal nerve)와 VN을 따라서 뇌간으로 전달된다. 뇌간에서 원심성 경로로 양측 VN과 RLN으로 전달되고 이로서 후두내전근들(lateral cricoarytenoid와 thyroarytenoid muscles)의 수

축을 일으켜 양측 성대 내전을 일으켜 기도를 보호한다. 일측에서 신호를 수용하여 양측으로 전달되어 성대 내전을 일으켜 내전근에서 전기 신호를 기록하면 조기 전기 신호인 R1과 지연 신호인 R2의 두 개의 파를 확인할 수 있다(Fig. 3). 이를 이용해 기도삽관 튜브 내에 기록부뿐만 아니라 자극부도 동시에 존재하여 표면 전극으로 성대 점막을 자극하면서 성대 내전을 기록하는 방법이다. 수술 부위에서 신경의 직접 자극하지 않아도 신경 기능을 감시할 방법으로 생각된다.

결론

갑상샘절제술 시 RLN 및 EBSLN의 IONM을 통해 수술 후 성대마비를 예방하고 신경 기능을 예측할 수 있다. 이를 위해, 수술 전후 후두경 검사가 권고되며, 표준화된 방법의 수술 중 신경계 감시가 필요하다. 신경 손상이 의심된다면 즉시 수술을 멈추고 여러 요인을 배제한 후 환자 상태에 맞게 단계적 갑상샘절제술을 비롯한 적절한 조치가 이루어져야 한다. 지속적인 수술 중 신경계 감시술을 비롯해 최근 바늘과 피부전극, LAR을 이용한 모니터링 기법과 같은 새로운 방법들이 소개되고 있다. 아직 우리나라 보험기준에 따르면 갑상샘절제술시 IONM 대상자 기준이 제한적이거나 향후 다양한 연구와 근거들의 축적을 통해 적용이 더욱 확대될 것으로 생각된다.

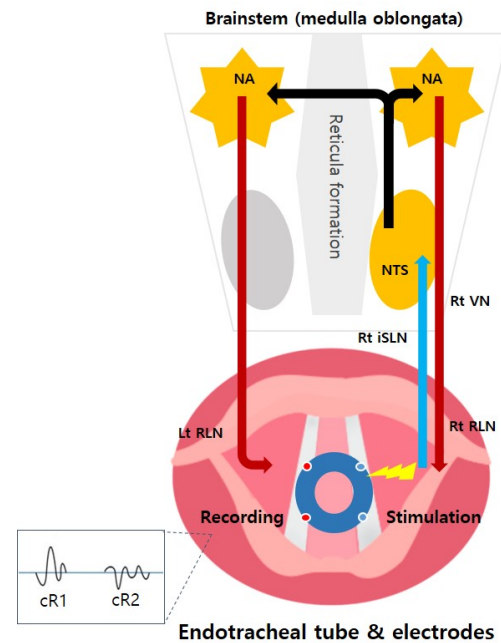


Fig. 3. Laryngeal adductor reflex in IONM. NA: nucleus ambiguus; NTS: nucleus tractus solitarius; VN: vagus nerve; iSLN: internal branch of superior laryngeal nerve; RLN: recurrent laryngeal nerve.

Acknowledgements

This research was supported by the Biomedical Research Institute of Jeonbuk National University Hospital, Jeonju, Republic of Korea.

Ethical approval

Not applicable.

Conflicts of interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Da-Sol Kim, <https://orcid.org/0000-0002-7745-978X>

References

- Haugen BR, Alexander EK, Bible KC, Doherty GM, Mandel SJ, Nikiforov YE, et al. 2015 American thyroid association management guidelines for adult patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer: the American thyroid association guidelines task force on thyroid nodules and differentiated thyroid cancer. *Thyroid*. 2016;26(1):1-133.
- Christou N, Mathonnet M. Complications after total thyroidectomy. *J Visc Surg*. 2013;150(4):249-56.
- Vasileiadis I, Karatzas T, Charitoudis G, Karakostas E, Tseleni-Balafouta S, Kouraklis G. Association of intraoperative neuromonitoring with reduced recurrent laryngeal nerve injury in patients undergoing total thyroidectomy. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 2016;142(10):994-1001.
- Barczyński M, Konturek A, Cichoń S. Randomized clinical trial of visualization versus neuromonitoring of recurrent laryngeal nerves during thyroidectomy. *Br J Surg*. 2009;96(3):240-6.
- Dralle H, Sekulla C, Haerting J, Timmermann W, Neumann HJ, Kruse E, et al. Risk factors of paralysis and functional outcome after recurrent laryngeal nerve monitoring in thyroid surgery. *Surgery*. 2004;136(6):1310-22.
- Bartsch DK, Dotzenrath C, Vorländer C, Zielke A, Weber T, Buhr HJ, et al. Current practice of surgery for benign goitre: an analysis of the prospective DGAV StuDoQ|Thyroid Registry. *J Clin Med*. 2019;8(4):477.
- Lahey FH, Hoover WB. Injuries to the recurrent laryngeal nerve in thyroid operations: their management and avoidance. *Ann Surg*. 1938;108(4):545-62.
- Shedd DP, Burget GC. Identification of the recurrent laryngeal nerve: electrical method for evaluation in the human. *Arch Surg*. 1966;92(6):861-4.
- Wu CW, Dionigi G, Barczynski M, Chiang FY, Dralle H, Schneider R, et al. International neuromonitoring study group guidelines 2018: part II: optimal recurrent laryngeal nerve management for invasive thyroid cancer incorporation of surgical, laryngeal, and neural electrophysiologic data. *Laryngoscope*. 2018;128(S3):S18-27.
- Cozzi AT, Ottavi A, Lozza P, Maccari A, Borloni R, Nitro L, et al. Intraoperative neuromonitoring does not reduce the risk of temporary and definitive recurrent laryngeal nerve damage during thyroid surgery: a systematic review and meta-analysis of endoscopic findings from 73,325 nerves at risk. *J Pers Med*. 2023;13(10):1429.
- Yang S, Zhou L, Lu Z, Ma B, Ji Q, Wang Y. Systematic review with meta-analysis of intraoperative neuromonitoring during thyroidectomy. *Int J Surg*. 2017;39:104-13.
- Wong KP, Mak KL, Wong CKH, Lang BHH. Systematic review and meta-analysis on intra-operative neuro-monitoring in high-risk thyroidectomy. *Int J Surg*. 2017;38:21-30.
- Schneider R, Randolph GW, Dionigi G, Wu CW, Barczynski M, Chiang FY, et al. International neural monitoring study group guideline 2018 part I: staging bilateral thyroid surgery with monitoring loss of signal. *Laryngoscope*. 2018;128(S3):S1-17.
- Sun H, Tian W, Jiang K, Chiang F, Wang P, Huang T, et al. Clinical guidelines on intraoperative neuromonitoring during thyroid and parathyroid surgery.

- Ann Transl Med. 2015;3(15):213.
15. Park DS, Park KH, Jo SM, Choi HG. Annual prevalence of intraoperative neuromonitoring for thyroidectomy, parathyroidectomy, and parotidectomy in the Korean population from 2010 through 2020. *J Neuromonit Neurophysiol.* 2022;2(1):43-7.
 16. Ji YB. Tips and pitfalls of intraoperative neuromonitoring to avoid nerve injury during thyroid surgery. *J Neuromonit Neurophysiol.* 2021;1:1-7.
 17. Kim HY, Tufano RP, Randolph G, Barczyński 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(S1):E1004-8.
 18. Yap SJ, Morris RW, Pybus DA. Alterations in endotracheal tube position during general anaesthesia. *Anaesth Intensive Care.* 1994;22(5):586-8.
 19. Cheng CH, Wong CS, Hsu CH, Ho ST. Airway length in adults: estimation of the optimal endotracheal tube length for orotracheal intubation. *J Clin Anesth.* 2002;14(4):271-4.
 20. 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.
 21. 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.
 22. 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.
 23. Wu CW, Liu X, Barczyński M, Kim HY, Dionigi G, Sun H, et al. Optimal stimulation during monitored thyroid surgery: EMG response characteristics in a porcine model. *Laryngoscope.* 2017;127(4):998-1005.
 24. Lee J, Lee JM, Chai YJ. Optimal anesthesia protocols for successful intraoperative neuromonitoring during thyroid surgery. *J Neuromonit Neurophysiol.* 2022;2(2):31-7.
 25. Lim L. Use of NMBA and reversal agent during thyroid surgery with intraoperative neuromonitoring. *J Neuromonit Neurophysiol.* 2023;3(1):19-24.
 26. Schneider R, Przybyl J, Pliquet U, Hermann M, Wehner M, Pietsch UC, et al. A new vagal anchor electrode for real-time monitoring of the recurrent laryngeal nerve. *Am J Surg.* 2010;199(4):507-14.
 27. Groves DA, Brown VJ. Vagal nerve stimulation: a review of its applications and potential mechanisms that mediate its clinical effects. *Neurosci Biobehav Rev.* 2005;29(3):493-500.
 28. Wu CW, Lu IC, Randolph GW, Kuo WR, Lee KW, Chen CL, et al. Investigation of optimal intensity and safety of electrical nerve stimulation during intraoperative neuromonitoring of the recurrent laryngeal nerve: a prospective porcine model. *Head Neck.* 2010;32(10):1295-301.
 29. Lee HS, Seo SG, Kim DY, Kim SW, Choi Y, Lee KD. Intraoperative neuromonitoring using a single transcartilage needle electrode during thyroidectomy. *Laryngoscope.* 2021;131(2):448-52.
 30. Wu CW, Chiang FY, Randolph GW, Dionigi G, Kim HY, Lin YC, et al. Transcutaneous recording during intraoperative neuromonitoring in thyroid surgery. *Thyroid.* 2018;28(11):1500-7.
 31. Lee HS, Oh J, Kim SW, Jeong YW, Wu CW, Chiang FY, et al. Intraoperative neuromonitoring of recurrent laryngeal nerve during thyroidectomy with adhesive skin electrodes. *World J Surg.* 2020;44(1):148-54.
 32. Sinclair CF, Tellez MJ. Continuous intraoperative neuromonitoring of the recurrent laryngeal nerve by eliciting the laryngeal adductor reflex (LAR-CIONM). *Innov Surg Sci.* 2022;7(3-4):79-85.