



갑상선 수술의 수술 중 신경모니터링의 적용에 관한 최신지견

고려대학교 의과대학 외과 갑상선센터

유지영, 김훈엽

Intraoperative Neuromonitoring during Thyroid Surgery

Ji Young You and Hoon Yub Kim

Department of Surgery, KUMC Thyroid Center, Korea University Hospital, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

Intraoperative neuromonitoring is a well-established method used to prevent intraoperative nerve damage, and many studies have been performed in thyroid surgery. We introduced the basic concept and practical application of intraoperative neuromonitoring, as well as its standardized techniques and detailed contents. In addition, the contents of this still yet relatively unknown field, such as its application in transoral robotic thyroidectomy and its application to the external branches of the superior laryngeal nerve, were summarized by referring to many previous studies.

Key Words: Intraoperative neuromonitoring, Thyroid surgery, Recurrent laryngeal nerve, Transoral robotic thyroidectomy

서 론

수술 중 신경모니터링(intraoperative neuromonitoring, IONM)은 수술 중 신경 손상을 예방하기 위해 사용되는 일반적이고 잘 확립된 방법으로, 이제는 실제로 많은 기관에서 사용되고 있다. 갑상선 수술에서도 반회후두신경(recurrent laryngeal nerve: RLN)을 육안으로 확인하는 기본적인 술식으로는 10-15%밖에 신경을 확인할 수 없다고 알려져 있어, 수술 중 신경모니터링을 함께 사용하여 기능적으로 신경 손상을 최대한 방지하는 방법이 널리 알려져 있다.¹⁻³⁾ 많은 갑상선 수술 의사들이 지난 수년간 신경모니터링 사용으로 발견되는 문제와 한계를 극복하기 위해 지속적인 연구를 해 왔으며, 주로 다음과 같은 목적으로 신경모니터링을 시행하고 있다.

(1) 신경을 조기에 확인하여 반회후두신경 및 그 분지

또는 비반회후두신경(non-recurrent laryngeal nerve) 등의 해부학적인 변이를 확인함으로써 수술 중 과도한 조작 및 손상을 방지한다.

(2) 시각적으로 식별한 반회후두신경이 정상적으로 기능하는지 확인함으로써 육안적으로 다른 구조물을 반회후두신경으로 오인하는 것을 사전에 방지할 수 있다.

(3) 갑상선 엽을 박리하는 전과정에서 술전, 술중, 술 후에 신경생리학적으로 반회후두신경의 기능을 평가할 수 있음으로써 먼저 수술한 쪽의 신경 기능이 정상적인지를 판단한 뒤 반대편 수술을 안전하게 진행할 수 있다.

기존의 여러 연구에서 표준화된 방법으로 신경모니터링을 추가해서 이용하는 것이 육안으로만 신경을 확인하고 수술하는 것보다 반회후두신경 손상이 적다고 보고하고 있으며, Barczynski의 전향적 무작위 배정시험에서 신경모니터링을 사용했을 때 일시적인 후두신경 손상이 통계학적으로 의미 있게 적었다고 보고된 바 있다.⁴⁾

Received November 3, 2020 / Revised December 29, 2020 / Accepted January 25, 2021

Correspondence: Hoon Yub Kim, MD, PhD, FACS, Department of Surgery, Korea University College of Medicine, 126-1 Anam-dong, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Korea

Tel: 82-2-920-6849, Fax: 82-2-928-1631, E-mail: hoonyubkim@korea.ac.kr

Copyright © 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.

미숙한 외과 의사 수술할 경우, 그레이브스병(Graves' disease)이나 재수술과 같이 수술이 어려운 갑상선 질환의 경우에 신경모니터링을 사용하는 것이 도움이 된다는 것은 이미 많이 알려진 사실이다.^{5,7)} 재수술의 경우에도 신경모니터링을 사용하는 것이 육안으로만 신경을 확인하고 수술하는 것보다 후두신경의 일시적 손상이 통계적으로 의미 있게 적었으며, 실제로 재수술 시에 해부학적인 표지가 없는 상황에서 후두신경의 위치를 확인하는데 신경모니터링은 큰 도움을 준다.^{8,9)} 또한 비반회후두신경이나 후두신경의 분지(branch of recurrent laryngeal nerve)가 있는 경우, Ligament of Berry나 Zuckerkandl tubercle과의 위치 관계가 정상과 다른 경우와 같이 후두신경의 주행 경로가 정형적이지 않을 때 신경모니터링을 사용하게 되면 신경의 주행을 잘 파악할 수 있어 신경 손상을 방지할 수 있다.^{5,10)}

최근에는 이에 더하여 상후두신경의 외측가지(external branch of superior laryngeal nerve, EBSLN)의 기능도 함께 평가함으로써 수술 후 고음 등의 목소리 변화를 예방할 수 있는 등 신경모니터링의 적응증을 넓혀 가고 있다.^{11,12)}

신경모니터링의 기본 개념

이미 널리 알려진 바와 같이, 갑상선 수술 시에 신경모니터링은 반회후두신경 및 미주신경(vagus nerve)에 가하는 전기자극을 통해 관련 근육에 일어나는 반응을 확인하는 것으로 시술자는 기계에서 나는 알람 소리 및 파형을 봄으로써 확인할 수 있게 된다.¹³⁾ 보통 0.5-2.0 mA의 전류를 사용하여 이들 운동신경을 자극하게 되고, 100 uV 이상으로 유발된 근전도 반응을 확인하게 된다.¹⁴⁾ 초창기에는 수술 중 cricothyroid muscle에 needle electrode를 직접 꽂는 침습적인 기술로 개발되었으나 현재는 EMG (electromyography)를 확인할 수 있게 표면 전극(surface electrode)이 부착된 튜브를 기관 삽관하여 위치를 조정함으로써 위와 같은 신호를 잡을 수 있게 발전되었다.¹⁵⁻¹⁷⁾ 최근에는 목 주위 피부에 전극을 부착하여 신호를 감지할 수 있는 기술도 개발되는 등 점점 비침습적이고 간편한 방향으로 발전되고 있다.^{18,19)}

신경모니터링의 실제적용

앞에서 언급한 바와 같이 수술 후 신경 기능을 예측할 수 있을 뿐만 아니라 재수술 시, 흉골연까지 확장되어 있는 거대한 goiter를 수술할 경우, 드물지만 비반회후두신경 등의 해부학적 변이가 있을 경우 등에서 100%에

가까운 신경 식별률을 보이며, extrathyroidal extension이 있는 진행된 갑상선암을 수술할 시에도 신경이 가까울 경우에 많은 도움을 받을 수 있다. 수술 후 신경 기능을 예측하고 손상이 있을 시에 손상 위치를 확인하는 데 유용하다. 갑상선엽 절제술 후 IONM을 사용하여 신경기능을 확인하였을 때 술후 반회후두신경 마비를 예측함에 있어 민감도 33%, 특이도 99.9%에 달하며 특히 음성 예측률이 높아 99.6%까지 가려낼 수 있다고 보고한 바 있고, 신호손실(loss of signal, LOS)이 없었을 때는 일시적 성대마비가 0.4% 가량이었으나 신호손실이 있었을 경우에는 일시적 성대마비가 75%까지 확인되었다고 보고하였다.⁶⁾ 최근 Calo 등²⁰⁾이 시행한 연구에서도 민감도 93.6%, 특이도 99.4%에 달하며 음성예측률 99.8%에 달했다고 보고하였다. 그래서 Dralle 등²¹⁾은 표준화된 신경모니터링 방법 및 절차를 통해서 처음 절제된 쪽에서 신호가 상실된 후에 더 이상의 수술을 진행하지 않음으로써 양쪽 후두신경 마비를 방지할 수 있어 의료과실 소송을 막는데 주요할 수 있다고 주목하였다. 독일 외과의를 대상으로 한 설문에서 93.5%는 한쪽에 LOS가 있을 때 양쪽 후두신경 마비를 막기 위해 수술 전략을 변경하겠다고 했으며, 이 중 84.7%는 양쪽 수술을 중단하고 8.8%는 예정된 수술 범위를 줄이겠다고 답했다. 환자들도 후두신경기능 보존을 위해 단계적인 갑상선 절제술이 유익함을 이해하고 있기 때문에,²²⁾ 양쪽 후두신경이 마비된 환자에서 만약 첫 번째 수술에서 갑상선 절제 후 후두신경에 신경모니터링이 국제적 기준에 따라 실시되지 않았다면 향후 의료과실을 변호하기 어렵게 될 수 있다고 한 보고들도 있다.²³⁻²⁵⁾

이러한 여러 연구를 바탕으로 현재 우리나라에서는 건강보험심사평가원에서 후두신경모니터링을 급여수거로 사용할 수 있게 허가하였으며, 중심구역의 재발성 갑상선암, 수술 전 편측 성대마비가 있는 환자, 중심구역 림프절 전이가 명확한 갑상선암, 피막 외 침범이 확인되거나 의심되는 갑상선암, 그레이브스병 혹은 현저한 갑상선 종대와 같은 고위험군 갑상선 수술 및 부갑상선 수술 환자에서 적용할 수 있도록 기준을 고시하고 있다(건강보험심사평가원 분류번호 너-681-1).

수술 중 자세한 신경모니터링 적용방법

적절한 자극 전류

미주신경에 대해서는 신경을 찾아 박리가 되어 육안

으로 확인이 가능하도록 노출되었을 때는 2-3 mA의 전류를, 노출이 되지 않았을 때에는 3 mA의 전류를 적용한다. 반회후두신경에 대해서는 역시 신경을 잘 찾아서 육안확인이 가능하도록 노출이 되었을 때는 1-2 mA, 노출이 되지 않았을 때에는 2-3 mA의 다소 높은 전류를 가하여 신경자극을 실시하고 있다. EBSLN에 대해서는 약 1-2 mA의 전류를 적용하고 있다.

표준화된 술기

수술 전과 수술 후에 각각 후두경으로 관찰하여 육안적으로 성대가 정상적으로 기능하고 있음을 확인하고, 수술 중에는 보통 순서대로 V1 → R1 → R2 → V2의 차례대로 신경자극을 실시한다. 첫 번째로 미주신경 자극을 통해서 신호를 얻어 미주신경과 반회후두신경의 주행이 정상적인지를 보고(V1), 수술 중 반회후두신경을 찾았을 때 바로 반회후두신경 자극을 하여 신호를 얻어 반회후두신경이 정상적인 기능을 하고 있음을 확인하게 된다(R1). 이후 갑상선절제술을 시행하고 나서 다시 한번 반회후두신경의 신호(R2)와 미주신경의 신호(V2)를 얻어 R1, V1과 비교하여 amplitude와 visual waveform의 큰 변화가 없음을 보아 반회후두신경의 기능이 잘 보존되었음을 확인할 수 있다.²⁶⁾

신호손실, Loss of Signal (LOS)

LOS는 신경모니터링 중 신호손실이 오는 경우이며, 실제로는 R2, V2가 R1, V1에 비해 현저히 낮아질 때로 보게 되는데, LOS가 있을 때 반회후두신경이 수술 중 손상되었다고 추측할 수 있는 지표가 된다. 수치적으로는 1-2 mA로 반회후두신경을 자극할 때 amplitude가 100uV 이하로 낮게 측정되거나 측정이 전혀 되지 않을 때 LOS로 판단할 수 있으며, 손으로 만져봤을 때 laryngeal twitch가 관찰되지 않을 때 확인 가능하다.¹³⁾

LOS가 발생했을 때, laryngeal twitch를 관찰하여 확인이 가능할 때는, recording side의 문제라고 생각할 수 있고, 많은 경우 EMG tube의 malposition이므로 tube 위치를 바로잡아 보고, 이외에 부품연결 등의 기계적인 이상을 확인하여야 한다. 그러나 laryngeal twitch가 관찰되지 않을 때는 일단 기술적으로 자극하는 전류량이 충분한지, 수술 부위가 물이나 피로 젖어 있지는 않은지 등 개선 가능한 사소한 문제들을 함께 확인하는 것이 좋으며, 간혹 마취 시 neuromuscular blockade가 과량 투여된 경우에도 신호가 나오지 않을 수 있으므로 이러한 수술 외적인 상황을 먼저 확인하여야 한다.¹³⁾ 마지막으로 반대편 미주신경을 자극하여 신호를 확인하고 비교함으로써

써 LOS가 확실함을 확인하게 된다.

반회후두신경 손상의 유형

LOS가 확인이 되었다면 반대편 수술을 진행할지 여부 및 그 시기를 결정해야 하게 되는데 이때 LOS 양상을 확인하는 것이 도움이 될 수 있다. Global하게 LOS가 있을 경우 과도한 traction 등의 mechanical한 문제가 주로 원인이 되는 경우가 많고, segmental하게 LOS가 있을 시 transection이나 thermal injury 등을 원인으로 생각해 볼 수 있다. Traction injury로 인한 global LOS의 경우에는 일시적인 neuropraxia 등으로 시간이 지나며 호전 가능한 경우가 많으므로 수술을 마무리하고 나와 몇 달 뒤 반대편 갑상선절제를 시행할 기회를 기대할 수 있다.

경구로봇갑상선절제술에서 신경모니터링 적용

경구로봇갑상선절제술에서 로봇 시스템을 사용하는 것은 미용적으로 우수한 결과를 제공할 뿐 아니라 내시경 수술에서의 제한적인 시야 및 정확하지 못한 기구 조작 등의 한계를 극복할 수 있게 해준다. 이러한 기능으로 인해 신경 식별 등에 더 유리하며 또한 IONM을 적용하는데 있어서도 손 떨림 보정 등 미세동작 등이 더 우월해짐으로 인해 정확하고 섬세하게 작동할 수 있게 된다. 경구접근 방법은 기존의 양측 액와유방접근법(bilateral axillo-breast approach, BABA)에 비해 전통적인 절개갑상선수술법과 비슷한 정도의 짧은 접근 거리를 가능하게 한다는 장점이 있어 신경자극부의 조작을 쉽게 할 수 있다는 장점도 있다. 두 수술법 모두 로봇수술만의 정밀함과 만나 신경 손상의 위험을 최소화해 줄 수 있다. 최근 발표된 국내 연구팀들의 수술 결과 비교에서 경구접근 시 IONM을 적용하였을 경우 신경 손상이 거의 없었음을 발표하였다.^{27,28)}

상후두신경 외측가지에의 신경모니터링 적용

상후두신경(superior laryngeal nerve)의 외측가지(external branch)는 하인두수축근(inferior pharyngeal constrictor muscle)의 근막 아래로 흔히 주행하기 때문에 갑상선절제술 중 시각화가 매우 어려우나, 위갑상동맥(superior thyroid artery)과 교차되는 위치 때문에 시각적 인식이 명확히 이루어지지 않을 경우 수술 중 위갑상동맥 절찰 시 절단될 위험성이 높은 신경이다. 브라질의 Cernea 박

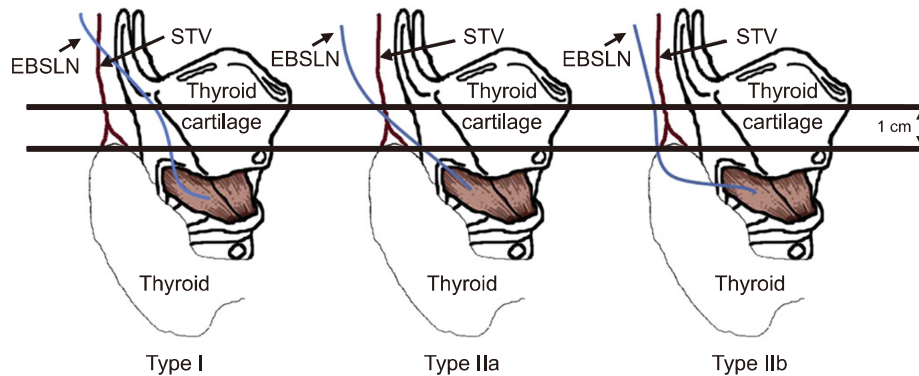


Fig. 1. Cernea classification of the EBSLN. In type I, the EBSLN crosses the superior thyroidal vessels at least 1 cm above the plane horizontal to the upper edge of the superior thyroid pole; in type IIa, the distance is shorter than 1 cm and is not below the plane; in type IIb, the EBSLN is below the plane. EBSLN: external branch of the superior laryngeal nerve.³⁰⁾

사가 발표한 EBSLN의 해부학적 분류(Fig. 1)에 따르면, type 1에서 EBSLN은 갑상선 상극의 상부 경계면에서 1 cm 이상 위로 위갑상동맥을 통과하지만, type 2a에서는 상부 극 위 1 cm 이내, type 2b에서는 아래를 통과하기 때문에, type 2에서는 갑상선 절제술 중 손상 위험이 더 높다.²⁹⁾

본 연구팀에서 발표한 수술 중 신경모니터링을 이용하여 한국인에서 EBSLN의 해부학적 분류 결과 총 50명 환자에서 90례를 확인하였고, type I이 15명으로 16.3%였던 반면 type IIa 52명(56.5%), type IIb 25명(27.2%)로 type II가 대부분의 환자를 차지함으로써 한국에서 갑상선 수술을 시행할 때 EBSLN의 손상 가능성이 높을 가능성을 확인하였다.³⁰⁾

그러나 경구로봇갑상선절제술(transoral robotic thyroidectomy, TORT) 시에는 전통적인 갑상선절제술에 비해 상대적으로 EBSLN 손상 가능성이 낮아지는데 그 이유로 갑상선 상부 극을 들어 올린 채 수술을 시행하게 되고, 로봇 수술시스템에서 사용하는 입체적이고 확대된 시야가 도움이 되기 때문이다.³¹⁾ 육안적인 확인과 함께 RLN에 사용하는 IONM을 EBSLN에도 적용하여 signal을 확인함으로써 신경 손상을 줄일 수 있다.³⁰⁾

결론

수술 중 후두신경모니터링법의 사용은 환자의 성대 기능을 예측하고, 수술 중 이에 따른 최적화된 전략을 세우고 대처함으로써 환자와 의사 모두 만족하는 최상의 갑상선 수술 결과를 얻을 수 있게 해주는 유용한 술기이다. 경구로봇갑상선수술에서도 이를 이용하여 로봇

수술의 장점인 입체적이고 확대된 시야로 인한 육안적 확인 외에도 반회후두신경 및 상후두신경 외측가지를 기능적으로 확인할 수 있게 함으로써 신경 손상을 방지하고, 손상 후 성대의 기능변화도 예측할 수 있는 중요한 역할을 할 수 있다.

중심 단어: 수술중 신경모니터링, 갑상선 수술, 반회후두신경, 경구갑상선로봇수술.

Conflicts of Interest

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

Orcid

Ji Young You: <https://orcid.org/0000-0002-2036-1810>

Hoon Yub Kim: <https://orcid.org/0000-0002-6731-3912>

References

- 1) Lo CY, Kwok KF, Yuen PW. A prospective evaluation of recurrent laryngeal nerve paralysis during thyroidectomy. *Arch Surg* 2000;135(2):204-7.
- 2) Bergenfelz A, Jansson S, Martensson H, Reihner E, Wallin G, Kristoffersson A, et al. Scandinavian quality register for thyroid and parathyroid surgery: audit of surgery for primary hyperparathyroidism. *Langenbecks Arch Surg* 2007;392(4):445-51.
- 3) Barczynski M, Randolph GW, Cernea CR, Dralle H, Dionigi G, Alesina PF, et al. External branch of the superior laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery:

- International Neural Monitoring Study Group standards guideline statement. Laryngoscope* 2013;123 Suppl 4:S1-14.
- 4) Barczynski M, Konturek A, Cichon S. Randomized clinical trial of visualization versus neuromonitoring of recurrent laryngeal nerves during thyroidectomy. *Br J Surg* 2009;96(3):240-6.
 - 5) Dionigi G, Barczynski M, Chiang FY, Dralle H, Duran-Poveda M, Iacobone M, et al. Why monitor the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery? *J Endocrinol Invest* 2010;33(11):819-22.
 - 6) 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.
 - 7) Timmermann W, Hamelmann WH, Thomusch O, Sekulla C, Grond S, Neumann HJ, et al. Effectiveness and results of intraoperative neuromonitoring in thyroid surgery. Statement of the interdisciplinary study group on intraoperative neuromonitoring of thyroid surgery. *Chirurg* 2004;75(9):916-22.
 - 8) Wojtczak B, Sutkowski K, Kaliszewski K, Barczynski M, Bolanowski M. Thyroid reoperation using intraoperative neuromonitoring. *Endocrine* 2017;58(3):458-66.
 - 9) Sun W, Liu J, Zhang H, Zhang P, Wang Z, Dong W, et al. A meta-analysis of intraoperative neuromonitoring of recurrent laryngeal nerve palsy during thyroid reoperations. *Clin Endocrinol (Oxf)* 2017;87(5):572-80.
 - 10) Sancho JJ, Pascual-Damiata M, Pereira JA, Carrera MJ, Fontane J, Sitges-Serra A. Risk factors for transient vocal cord palsy after thyroidectomy. *Br J Surg* 2008;95(8):961-7.
 - 11) Lorenz K. Advantage of intraoperative neuromonitoring of the external branch of the superior laryngeal nerve. *Chirurg* 2012; 83(10):914.
 - 12) Aygun N, Uludag M, Isgor A. Contribution of intraoperative neuromonitoring to the identification of the external branch of superior laryngeal nerve. *Türk J Surg* 2017;33(3):169-74.
 - 13) 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.
 - 14) Wu CW, Huang TY, Chen HC, Chen HY, Tsai TY, Chang PY, et al. Intra-operative neural monitoring of thyroid surgery in a porcine model. *J Vis Exp* 2019(144).
 - 15) Lamade W, Fogel W, Rieke K, Senninger N, Herfarth C. Intraoperative monitoring of the recurrent laryngeal nerve. A new method. *Chirurg* 1996;67(4):451-4.
 - 16) Lamade W, Meyding-Lamade U, Hund E, Senninger N, Herfarth C. Transtracheal monitoring of the recurrent laryngeal nerve. Prototype of a new tube. *Chirurg* 1997;68(2):193-5.
 - 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.
 - 18) 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.
 - 19) 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.
 - 20) Calo PG, Medas F, Conzo G, Podda F, Canu GL, Gambardella C, et al. Intraoperative neuromonitoring in thyroid surgery: is the two-staged thyroidectomy justified? *Int J Surg* 2017;41 Suppl 1:S13-S20.
 - 21) Dralle H, Sekulla C, Lorenz K, Nguyen Thanh P, Schneider R, Machens A. Loss of the nerve monitoring signal during bilateral thyroid surgery. *Br J Surg* 2012;99(8):1089-95.
 - 22) Sadowski SM, Soardo P, Leuchter I, Robert JH, Triponez F. Systematic use of recurrent laryngeal nerve neuromonitoring changes the operative strategy in planned bilateral thyroidectomy. *Thyroid* 2013;23(3):329-33.
 - 23) Dionigi G, Frattini F. Staged thyroidectomy: time to consider intraoperative neuromonitoring as standard of care. *Thyroid* 2013;23(7):906-8.
 - 24) Angelos P. Ethical and medicolegal issues in neuromonitoring during thyroid and parathyroid surgery: a review of the recent literature. *Curr Opin Oncol* 2012;24(1):16-21.
 - 25) Dralle H, Lorenz K, Machens A. Verdicts on malpractice claims after thyroid surgery: emerging trends and future directions. *Head Neck* 2012;34(11):1591-6.
 - 26) 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.
 - 27) Chai YJ, Kim HY, Kim HK, Jun SH, Dionigi G, Anuwong A, et al. Comparative analysis of 2 robotic thyroidectomy procedures: transoral versus bilateral axillo-breast approach. *Head Neck* 2018;40(5):886-92.
 - 28) Chae S, Min SY, Park WS. Comparison study of robotic thyroidectomies through a bilateral axillo-breast approach and a transoral approach. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2020; 30(2):175-82.
 - 29) Cernea CR, Ferraz AR, Nishio S, Dutra A Jr, Hojaii FC, dos Santos LR. Surgical anatomy of the external branch of the superior laryngeal nerve. *Head Neck* 1992;14(5):380-3.
 - 30) Hwang SB, Lee HY, Kim WY, Woo SU, Lee JB, Bae JW, et al. The anatomy of the external branch of the superior laryngeal nerve in Koreans. *Asian J Surg* 2013;36(1):13-9.
 - 31) Lee HY, Lee JY, Dionigi G, Bae JW, Kim HY. The efficacy of intraoperative neuromonitoring during robotic thyroidectomy: a prospective, randomized case-control evaluation. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2015;25(11):908-14.