第42巻増刊号(通巻187号)2025年4月25日発行

ISSN 2434-6535

日本内分泌外科学会雑誌

Official Journal of the Japan Association of Endocrine Surgery

April 2025　Vol.42, Supplement 2

甲状腺及び副甲状腺手術時の術中神経モニタリングに対するプラクティカルガイド

内分泌外会誌

日本内分泌外科学会

甲状腺及び副甲状腺手術時の術中神経モニタリングに対するプラクティカルガイド

編集：日本内分泌外科学会　甲状腺腫瘍診療ガイドライン小委員会
IONMガイドライン作成WG

ガイドライン

甲状腺及び副甲状腺手術時の術中神経モニタリングに対するプラクティカルガイド

日本内分泌外科学会　甲状腺腫瘍診療ガイドライン小委員会　IONMガイドライン作成WG

はじめに

目的

本プラクティカルガイドは，術中神経モニタリング（intraoperative neural monitoring：IONM）を安全かつ適切に実施するため，IONMについてのエビデンスを収集，解釈し，その適切な臨床上の判断を行うための情報を提供することを目的とする。

対象

主には全身麻酔下に，IONMを行う場合の外科医，耳鼻咽喉科頭頸部外科医，麻酔科医を対象としたプラクティカルガイドである。ただしIONMは，看護師，臨床検査技師，臨床工学技士などのチームで実施する場合が多い為，そのチームでの共有知識としても使用可能である。

利用にあたっての注意点

本プラクティカルガイドはIONMを安全にかつ適切に実施するための情報を提供するものである。十分なエビデンスがないものも多く，多くは専門医の意見として述べられている。臨床現場における医療従事者の意思決定を支援するために推奨を提供するものであり，提示された推奨に必ず従うように強要するものではない。また，本プラクティカルガイドは医療訴訟において利用されることを想定していない。あくまで臨床現場での一般的な診療についての推奨を提示するものである。

作成グループ

甲状腺及び副甲状腺手術時の術中神経モニタリングに対するプラクティカルガイドは以下のメンバーが作成した。

公益社団法人　日本内分泌外科学会　甲状腺腫瘍診療ガイドライン術中神経モニタリング小委員会

構成　（五十音順）

顧問：杉谷　巌（日本医科大学　内分泌外科）

委員長：友田　智哲（伊藤病院　外科・耳鼻咽喉科），
　　舛岡　裕雄（隈病院　外科）

委員：

安藤　孝人（愛知医科大学　乳腺・内分泌外科）
能田　拓也（金沢医科大学　頭頸部外科）
平光　高久（日本赤十字社愛知医療センター名古屋第二病院　第一移植外科）
福原　隆宏（鳥取大学　耳鼻咽喉・頭頸部外科）
三川　勝也（隈病院　麻酔科）
森　　祐輔（やました甲状腺病院　外科・耳鼻咽喉科）

目　次

第１章　IONMの基礎知識

1.1　IONMの概要 …… 4
1.2　刺激電極と記録電極の種類 …… 8

第２章　IONM施行時の留意点

2.1　基本指針 …… 11
2.2　術前評価 …… 13
2.3　麻酔管理 …… 14
2.4　術後評価 …… 16

第３章　反回神経（及び非反回下喉頭神経）に対するIONM

3.1　機器及び刺激条件の設定 …… 17
3.2　ベースライン波形記録時の留意点 …… 19
3.3　術中波形変化時の対応 …… 20
（アルゴリズム１　LOS時のトラブルシューティング）
3.4　手術終了時のIONM評価の留意点 …… 23
（アルゴリズム２　閉創時における神経障害の評価方法）
3.5　記録方法 …… 26

第４章　上喉頭神経外枝に対するIONM …… 28

第５章　内視鏡下手術におけるIONM …… 30

第６章　副甲状腺手術におけるIONM …… 31

第７章　患者への説明と同意 …… 33

第８章　安全性及び有害事象 …… 34

第９章　コラム

9.1　Staged surgery（二期的手術）…… 36
9.2　術前声帯麻痺を認める症例に対する対応 …… 36
9.3　術中反回神経浸潤を認めた際のIONMを用いたマネージメント …… 36
9.4　両側迷走神経の電位が消失した場合の対応 …… 37
9.5　頸部外側区域リンパ節郭清時のIONM …… 37
9.6　持続的術中神経モニタリング …… 37

略　語

- EMG : electromyography 筋電図
- INMSG : international neural monitoring study group 国際神経モニタリング研究グループ
- IONM : intraoperative neural monitoring 術中神経モニタリング
- C-IONM : continuous intraoperative neural monitoring 持続的術中神経モニタリング
- I-IONM : intermittent intraoperative neural monitoring 間欠的術中神経モニタリング
- RLN : recurrent laryngeal nerve 反回神経
- NPV : negative predictive value 陰性的中率
- PPV : positive predictive value 陽性的中率

用　語

- Amplitude（振幅値）：神経刺激後に得られる筋電図波形において最初の波の垂直方向の正の最高点から，同じ波の逆位相の最下点までの高さ
- Latency（潜時）：刺激点から最初の波の垂直方向の正の頂点までの時間
- Laryngeal twitch法：術者の指を喉頭の背側に挿入して喉頭内筋群の動きを触知する方法
- LOS : loss of signal
  手術開始前の筋電図に異常がなく，血液やリンパ液が付着していないdryな術野で1-3mAの刺激に対して反応がない又はamplitude <100uV）
- Staged surgery：二期的手術
- ６steps法（L1-V1-R1-R2-V2-L2）：L1；手術前の声帯運動確認，V1；手術開始時の迷走神経刺激，R1；反回神経露出時の刺激，R2；反回神経周囲操作終了時の刺激，V2；閉創時の迷走神経刺激，L2；手術後の声帯運動確認
- 偽陽性：EMG反応が不良であるが神経（声帯）麻痺がない
- 偽陰性：良好なEMG反応を示すが神経（声帯）麻痺がある
- 神経損傷１型（局所的損傷：segmental type）：神経のある一点を境にEMG反応が中枢側では消失し，末梢側ではEMG信号が得られる
- 神経損傷２型（びまん性損傷：diffuse type）：神経のダメージの位置が不明で，術野で確認できる範囲の迷走神経から反回神経全長でEMG反応が得られない

図一覧

図１　反回神経の走行
図２　上喉頭神経外枝の走行
図３　laryngeal twitch法
図４　間欠刺激用プローブ（a：モノポーラ，b：バイポーラ）
図５　連続刺激用の留置型電極（a：筒状，b：クリップ形状）
図６　記録電極（a：気管内挿管チューブ一体型，b：気管内挿管チューブに巻き付けるタイプ）
図７　記録電極（a：２チャンネル，b：４チャンネル）
図８　誘発波形
図９　非反回下喉頭神経の評価方法
図10　臨床的神経損傷の種類（a：神経損傷１型（局所的損傷：segmental type），b：神経損傷２型（びまん性損傷：diffuse type））
図11　反回神経と副甲状腺との位置関係
図12　頸部外側区域リンパ節郭清時に注意すべき神経

第1章　IONMの基礎知識

1.1　IONMの概要

Summary Statement

- IONMの使用により，術中の反回神経や上喉頭神経外枝の同定が容易となり，術中の神経健全性の確認，および術後の反回神経麻痺（声帯麻痺）予測が可能となる。
- IONMを適切に使用するには，反回神経および上喉頭神経外枝など対象となる神経の解剖に精通している必要がある。
- 通常の甲状腺手術では反回神経損傷頻度が非常に低いため，IONMを使用することによる反回神経損傷リスクの有意な低下は証明されていない。
- 悪性腫瘍例や，大きな結節性甲状腺腫例，術前に声帯麻痺が認められる例，再手術例などでは，IONMの使用により声帯麻痺を減少させる可能性が高い。
- IONMの使用により，上喉頭神経外枝の術中同定率が上昇し，術後発声障害が軽減される可能性が高い。
- IONMの使用により，手術時間短縮や術者ストレスの軽減が図れる可能性が高い。
- 内分泌外科学会会員を対象としたアンケート結果から，本邦におけるIONMの使用方法や評価方法にはばらつきがあり，適正な使用に向けて啓発が必要である。

解　説

甲状腺，副甲状腺術後に患者のQOL（quality of life）を低下させる原因の一つに，術後下喉頭神経（反回神経，非反回下喉頭神経）や迷走神経麻痺による音声障害や嚥下障害，重篤なものでは両側声帯麻痺による気道閉塞などが挙げられる。また，近年注目されるようになってきた上喉頭神経外枝も発声機能に影響しており，同神経の麻痺は，高音発声障害や音域の狭小化などの原因となりうる。音声障害や嚥下障害，両側声帯麻痺による気道閉塞の頻度を下げるためには，当該神経の解剖を熟知し，術中に神経を同定して，愛護的な操作を行うことが必要となる。

解剖

反回神経（**図1**）は，通常，迷走神経から上縦隔で分岐して頸部を頭側へ走行し，berry靭帯付近で喉頭内へ入り，喉頭内筋群を支配して声帯運動を司る。左右で走行経路がやや異なり，右側は分岐後，右鎖骨下動脈で腹側から背側へと反転し，喉頭入口部へ向かってやや斜めに頭側へ走行

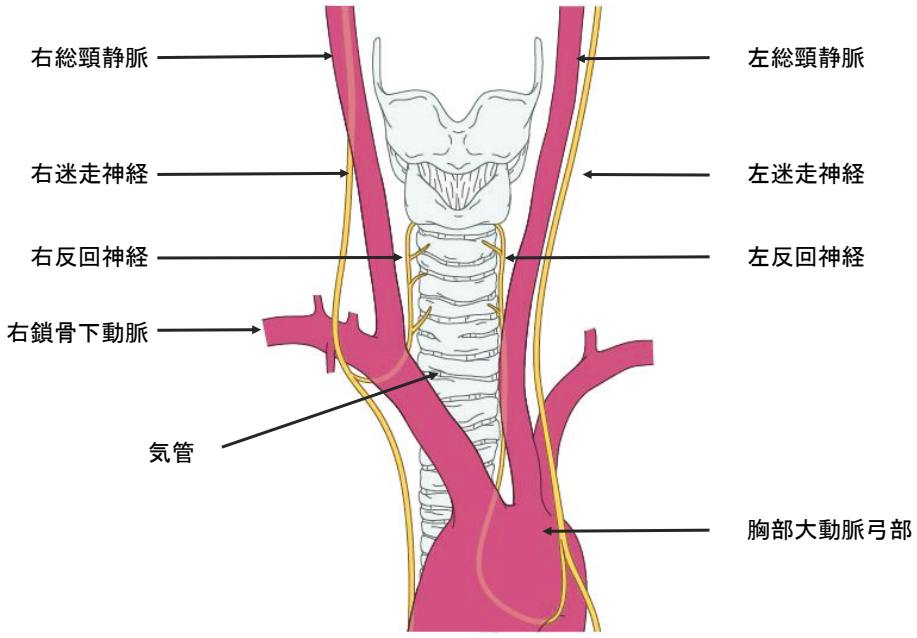


図1. 反回神経の走行
迷走神経から上縦隔で分岐して頸部を頭側へ走行し，Berry靭帯付近で喉頭内へ入り，喉頭内筋群を支配。左右で走行経路がやや異なり，右側は分岐後，右鎖骨下動脈で腹側から背側へと反転し，喉頭入口部へ向かってやや斜めに頭側へ走行。左側は分岐後，大動脈弓で腹側から背側へと反転し，気管食道溝を頭側へ走行し喉頭入口部へ至る。喉頭入口部までに食道枝が枝分かれする場合や喉頭外分岐（喉頭外で感覚枝や運動枝が分岐する）症例も存在する。

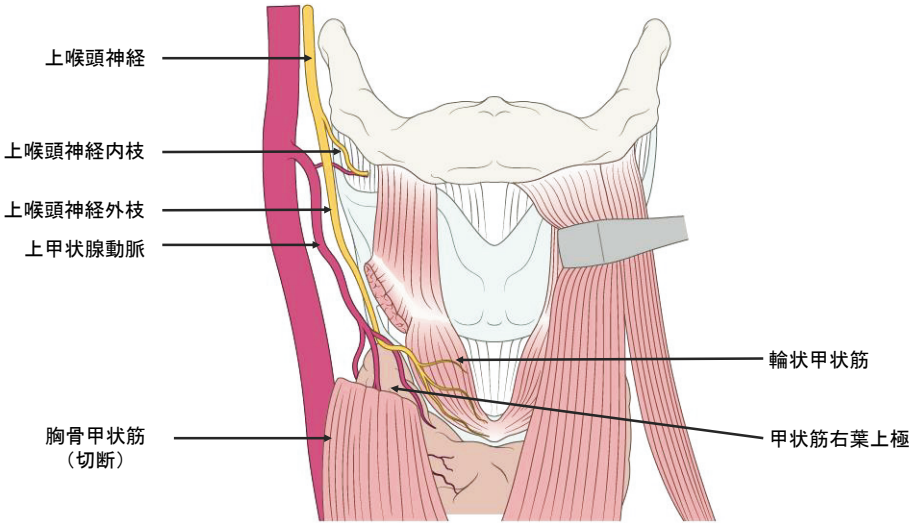


図2. 上喉頭神経外枝の走行
迷走神経から頸動脈分岐部より４cmほど頭側で分岐し，感覚枝である内枝を分岐した後，外枝は尾側へ走行。その後，上甲状腺動静脈と交差しつつ，やや内側へ向かって走行し，下咽頭収縮筋の筋膜下を通って，輪状甲状筋へ分布。走行には解剖学的variationが多い。

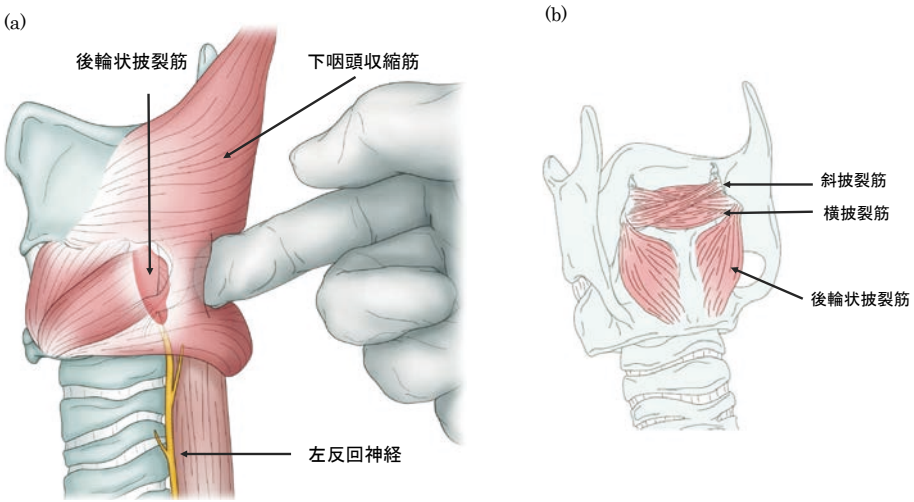


図3. Laryngeal twitch法
術者の指を喉頭の背側に挿入して喉頭内筋群（後輪状披裂筋や外側輪状披裂筋など）の動きを触知する方法
（a）左側のlaryngeal twitch法　（b）喉頭内筋群（後方より）

する。一方，左側は大動脈弓で腹側から背側へと反転し，気管食道溝を頭側へ走行し喉頭入口部へ至る。右鎖骨下動脈や大動脈弓で反回せずに喉頭入口部へ至る非反回（下喉頭）神経も，稀に存在する。

上喉頭神経**(図2)**は迷走神経から頸動脈分岐部より４cmほど頭側で分岐し，感覚枝である内枝を分岐した後，外枝は尾側へ走行する。その後，上甲状腺動静脈と交差しつつ，やや内側へ向かって走行し，下咽頭収縮筋の筋膜下を通って，輪状甲状筋へ分布する。

概要

IONMは，術中に電気的神経刺激に対する作用筋の活動電位を筋電図測定することにより，神経の同定および神経の健全性をリアルタイムに確認できるデバイスである。海外では反回神経と上喉頭神経外枝のIONMについてガイドラインが示されている[1, 2]。本邦でも日常臨床で使用され，内視鏡下手術を含めて，全ての甲状腺および副甲状腺切除術において手術点数への加算が保険収載されている。IONMを使用することで反回神経の同定率は99–100％，上喉頭神経外枝の同定率は84–89％と報告されている[3〜6]。また，術中反回神経麻痺の最も多い原因は牽引による麻痺であり，これを術中に視覚的に認識することは不可能であり，IONMによってのみ神経の健全性は確認可能である[7]。IONMでは通常，電極付き気管内挿管チューブを使用する

が，同チューブを用いなくても，反回神経の健全性は，術者の指を喉頭の背側に挿入して喉頭内筋群（後輪状披裂筋や外側輪状披裂筋など）の動きを触知する方法（laryngeal twitch法）**（図3）**で，上喉頭神経外枝の健全性は輪状甲状筋の収縮を視認する方法で，確認できる[1]。

通常の甲状腺手術における反回神経麻痺の頻度は低く，IONMを使用することによって反回神経損傷リスクが有意に低下するエビデンスは現時点では存在しない[8, 9]。しかし，IONMの使用により反回神経を同定する時間が短縮され[10]，使用経験の蓄積によって反回神経損傷の頻度が低下することが報告されており[11]，すべての甲状腺手術においてIONMの使用は推奨される。とくにリンパ節郭清を伴う悪性腫瘍手術例や，大きな結節性甲状腺腫例やバセドウ病，術前に声帯麻痺が認められる例の手術，再手術例[12, 13]ではIONMの使用を強く推奨する。IONMの臨床的な特異度や陰性反応的中率は99％以上とする報告が多く，適正な方法で術中に判定された信号の消失（LOS）は，非常に高い確率で術後の声帯麻痺や音声障害を反映する[14〜16]。両側反回神経を露出する甲状腺全摘手術[17]では両側声帯麻痺による窒息の回避などの医療安全面から積極的なIONMの使用を考慮するべきである。

上喉頭神経外枝の同定にはIONMが有効で，術後の音声障害もIONM使用群で有意に少ないことが報告されている[5, 6]。

IONMの本邦における現況

2022年に施行した内分泌外科学会会員へのアンケート結果では，IONMを「ほぼ全例に使用する」との回答が56％，「症例によって使用する」が34％であった。IONM使用の基本手技である，甲状腺切除前に迷走神経を刺激することを「いつも施行する」が38％，「ほぼ施行していない」が39％とほぼ同率であった。手術前の声帯運動評価を「ほぼ全例で施行する」が耳鼻咽喉科頭頸部外科医で94％であったのに対して，外科医は22％にとどまっていた。IONMは普及してきているものの，その使用方法や評価方法にはばらつきがあり，適正な使用方法の啓発が重要と考えられる結果であった[18]。

【文　献】

1. Randolph GW, Dralle H, Abdullah H, et al.: Electrophysiologic recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: international standards guideline statement. Laryngoscope 121 Suppl 1: S1-16, 2011
2. Barczyński M, Randolph GW, Cernea CR, et al.: External branch of the superior laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: International Neural Monitoring Study Group standards guideline statement. Laryngoscope 123 Suppl 4: S1-14, 2013
3. Chiang FY, Lu IC, Chen HC, et al.: Intraoperative neuromonitoring for early localization and identification of recurrent laryngeal nerve during thyroid surgery. Kaohsiung J Med Sci 26: 633-639, 2010
4. Hamelmann WH, Meyer T, Tim S, et al.: A Critical Estimation of Intraoperative Neuromonitoring (IONM) in Thyroid Surgery. Zentralbl Chir 127: 409-413, 2002
5. Barczyński M, Konturek A, Stopa M, et al.: Randomized Controlled Trial of Visualization versus Neuromonitoring of the External Branch of the Superior Laryngeal Nerve during Thyroidectomy. World J Surg 36: 1340-1347, 2012
6. Masuoka H, Miyauchi A, Higashiyama T, et al.: Prospective randomized study on injury of the external branch of the superior laryngeal nerve during thyroidectomy comparing intraoperative nerve monitoring and a conventional technique. Head Neck 37: 1456-1460, 2015
7. Chiang FY, Lu IC, Kuo WR, et al.: The mechanism of recurrent laryngeal nerve injury during thyroid surgery--the application of intraoperative neuromonitoring. Surgery 143: 743-749, 2008
8. Malik R, Linos D: Intraoperative Neuromonitoring in Thyroid Surgery: A Systematic Review. World J Surg 40: 2051-2058, 2016
9. Zheng S, Xu Z, Wei Y, et al.: Effect of intraoperative neuromonitoring on recurrent laryngeal nerve palsy rates after thyroid surgery--a meta-analysis. J Formos Med Assoc 112: 463-472, 2013
10. Sarı S, Erbil Y, Sümer A, et al.: Evaluation of recurrent laryngeal nerve monitoring in thyroid surgery. Int J Surg 8: 474-478, 2010
11. Sun H, Tian W, Jiang K, et al.: Clinical guidelines on intraoperative neuromonitoring during thyroid and parathyroid surgery. Ann Transl Med 3: 213, 2015
12. Wu CW, Dionigi G, Barczynski M, 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 128 Suppl 3: S18-S27, 2018
13. Barczyński M, Konturek A, Pragacz K, et al.: Intraoperative nerve monitoring can reduce prevalence of recurrent laryngeal nerve injury in thyroid reoperations: results of a retrospective cohort study. World J Surg 38: 599-606, 2014

14. Genther DJ, Kandil EH, Noureldine SI, et al.: Correlation of final evoked potential amplitudes on intraoperative electromyography of the recurrent laryngeal nerve with immediate postoperative vocal fold function after thyroid and parathyroid surgery. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg 140: 124-128, 2014
15. Melin M, Schwarz K, Pearson MD, et al.: Postoperative vocal cord dysfunction despite normal intraoperative neuromonitoring: an unexpected complication with the risk of bilateral palsy. World J Surg 38: 2597-2602, 2014
16. Tomoda C, Hirokawa Y, Uruno T, et al.: Sensitivity and Specificity of Intraoperative Recurrent Laryngeal Nerve Stimulation Test for Predicting Vocal Cord Palsy after Thyroid Surgery. World J Surg 30: 1230-1233, 2006
17. Schneider R, Randolph GW, Dionigi G, et al.: International neural monitoring study group guideline 2018 part I: Staging bilateral thyroid surgery with monitoring loss of signal. Laryngoscope 128 Suppl 3: S1-S17, 2018
18. 友田智哲，舛岡裕雄，杉谷　巌他：甲状腺，副甲状腺手術時の術中神経モニタリングの現況～全国アンケート報告～．内分泌外会誌　40：38-45，2023

1.2 刺激電極と記録電極の種類

Summary Statement

- IONMは，神経への電気刺激による喉頭内声帯筋群から誘発される活動電位を観察する
- 刺激電極には，間欠刺激用プローブと連続刺激用の留置型電極がある
- 記録電極には，気管内挿管チューブに電極を装着する方法が望ましい
- 誘発波形は，二相性または三相性で得られる

解　説

刺激電極の種類

刺激電極は，間欠刺激用の棒状のモノポーラプローブ(**図4a**)あるいはバイポーラプローブ(**図4b**)と迷走神経に留置する連続刺激用の二種類が存在する。連続刺激用の電極を使用する方法を持続的術中神経モニタリング(C-IONM)，連続刺激用の電極を使用しない方法を間欠的神経モニタリング（I-IONM）と呼ぶ。

モノポーラプローブは，先端の形状や太さ，長さ，弯曲の角度や程度など，様々な種類が存在する。連続刺激用の留置型電極は，迷走神経に装着し，神経を筒状に取り囲むタイプ(**図5a**)やクリップ形状(**図5b**)のものなどがある。神経を筒状に取り囲むタイプの留置型電極は神経から容易に外れやすく再装着の際に神経を愛護的に扱う必要があり，クリップ形状の留置型電極はねじれ等により神経を牽引や圧迫しないように注意して使用する必要がある。

記録電極の種類

声帯に電極を接触させ筋電図を得る方法と，術野で目的筋に直接針電極を刺入し筋電図を得る方法がある。電極付き気管内挿管チューブには，電極と一体型の気管内挿管チューブ(**図6a**)あるいは，従来の気管内挿管チューブに電極を巻き付けるタイプ(**図6b**)がある。電極付き気管内挿管チューブでは，声帯（甲状披裂筋あるいは声帯筋）から得られる筋電図や後方の電極からは外転筋である後輪状披裂筋を中心とした誘発筋電図を記録することができる。現在電極付き気管内挿管チューブは内径５mm-９mmまで揃っており，小児から成人まで幅広く対応が可能である。電極のチャンネル数は，製品によって異なり，左右それぞれで誘発波形を検出するタイプ(**図7a**)や４チャンネル(**図7b**)それぞれで誘発波形を検出し一番高い電位を得られた波形を選択するタイプがある。電極を巻き付けるタイプで

(a)　(b)

図4. 間欠刺激用プローブ（a：モノポーラ型，b：バイポーラ型）

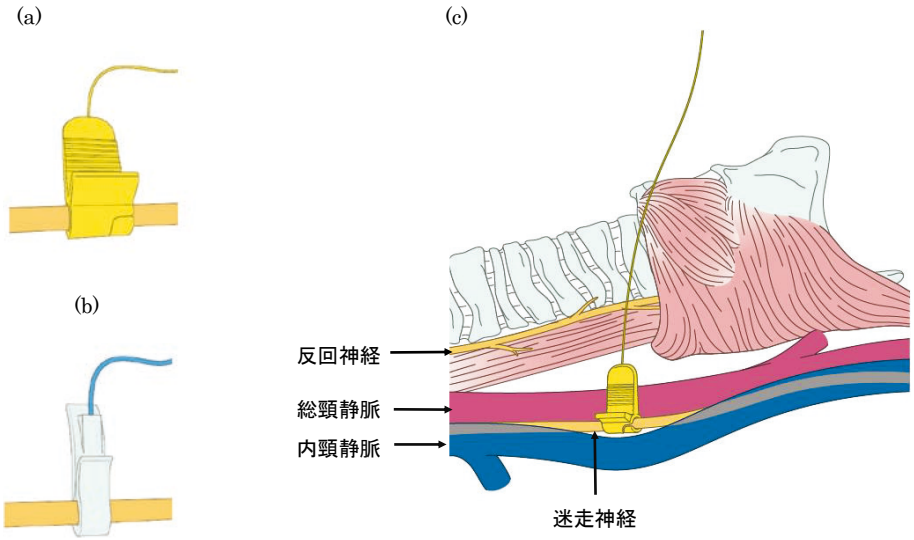


図5. 連続刺激用の留置型電極（a：筒状，b：クリップ形状，c：迷走神経に装着）

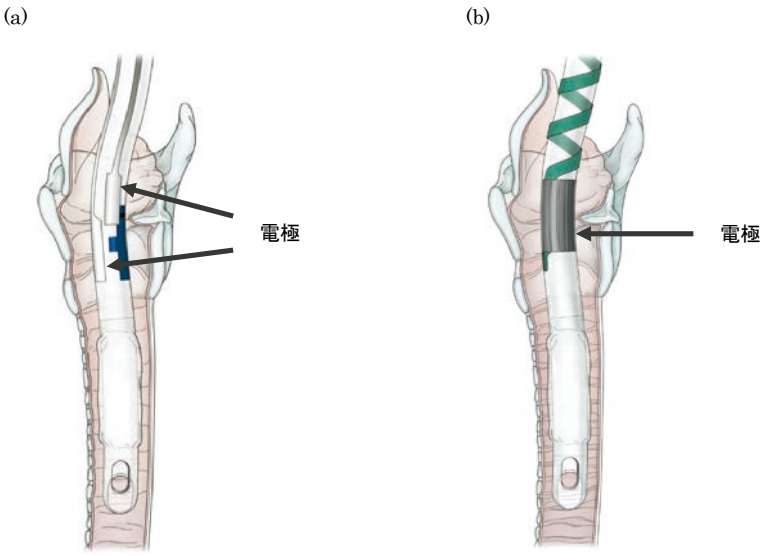


図6. 記録電極（a：気管内挿管チューブ一体型，b：気管内挿管チューブに巻き付けるタイプ）

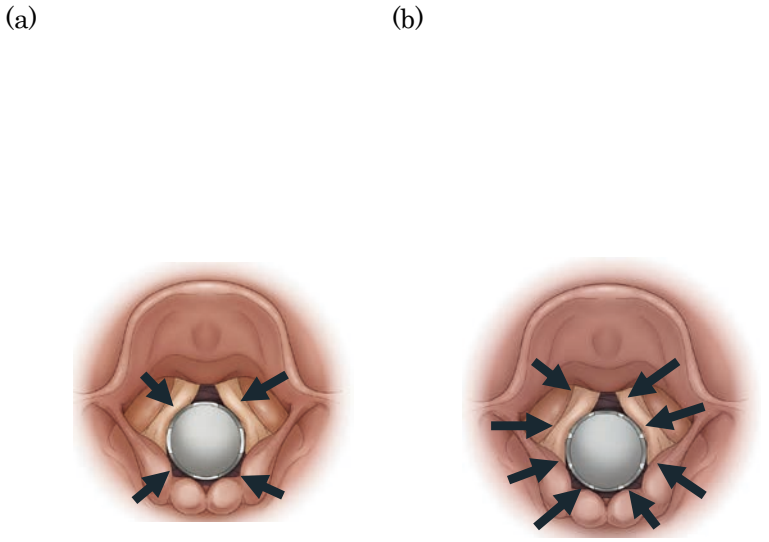


図7. 記録電極（a：２チャンネル（４つの電極），b：４チャンネル（８つの電極）→：電極

は全周性に電極が存在するため挿管チューブの回転等による電極のずれを考慮する必要がない。

針電極を挿入する方法は，気管径が狭く通常の挿管チューブが使用困難な場合に選択される。一方で，針電極で得られる誘発波形に関する臨床データが不足しており，針挿入に伴う喉頭内血種や感染，カフ損傷，針電極の一部欠損などの可能性や両側の神経モニタリング時には針を刺しなおす必要があることなどが問題点としてあげられる。

得られる波形の定義

反回神経及び迷走神経刺激による基本の誘発波形は，典型的には二相性または三相性である**(図8)**[1]。Amplitudeは，脱分極に関与する線維の数と相関する。通常の覚醒時の発話中の声帯脱分極振幅（amplitude）の範囲は100-800 μVである[2]。

Amplitudeの高さを，最初の波の垂直方向の正の最高点から，同じ波の次の逆位相の最下点の高さまでと定義する[3]。術中の神経モニタリング中のamplitudeは，同一の患者内或いは患者間でも大きく異なる。下記の要因でamplitudeが変動する。１）リンパ液や血液などの影響による変化，２）刺激中のプローブと神経が接触している程度や神経が膜で包まれている程度，３）周囲の温度変化，４）記録電極の位置変化などである。

閾値

閾値は，その神経において最小の筋電図活動を最初に誘

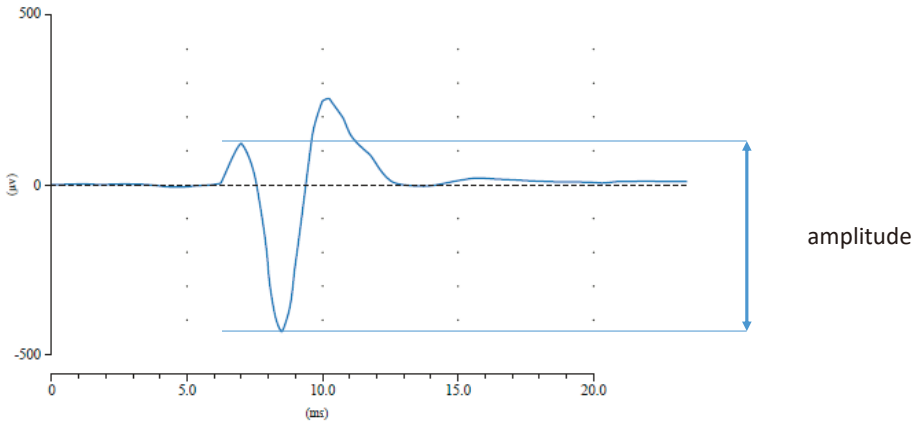


図8. 誘発波形
典型的には二相性または三相性。Amplitudeの高さは，最初の波の垂直方向の正の最高点から，同じ波の次の逆位相の最下点の高さまでと定義される。

発し始める電流として定義される。Dryな術野で神経が完全に露出されている状態では，約0.3～0.4mAが閾値となる。0.8mA程度で全ての神経線維を脱分極することができる為，この状態まではamplitudeは刺激電流に正比例して増加する。手術中では，原則１mAで使用する根拠となる。全ての神経線維が脱分極した後は，これを超えて刺激電流を増加させてもamplitudeがさらに増加することはない。２－３mAで刺激しても，高いamplitudeを得ることはないが，プローブ先端周囲のより広い組織を脱分極させるので神経を最初に探索/マッピングするときには有用である。一方，血液または血管は，非神経組織から神経組織へ電流のシャントを生じる。これは，神経と交差する小～中の動脈枝で特によく見られる。これらの場合では，偽陽性刺激が消失するレベルに刺激電流を下げることが最善の方法である。この低くした刺激電流が0.5～0.8mAを下回ることはほとんどない。

潜時（Latency）

Amplitudeは一般に脱分極に関与する線維の数を表すと考えられているが，latencyは一般に刺激誘発脱分極の速度に関連すると考えられている。刺激点から最初の波の垂直方向の正の最高点までの時間と定義され，同側声帯と刺激点との距離に依存する。左右の迷走神経の長さが異なることを考慮にいれると，迷走神経を刺激した場合の潜時は右側と比較して左側で有意に長くなる。反回神経の平均潜時は3.96ms，右迷走神経潜時（甲状軟骨レベルで刺激した場合）は5.47msであり，左迷走神経潜時は8.14msである[3]。

【文　献】

1. Stopa M, Barczyński M: Prognostic value of intraoperative neural monitoring of the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery. Langenbeck's Arch Surg 402: 957-964, 2017
2. Blitzer A, Crumley RL, Dailey SH, et al.: Recommendations of the Neurolaryngology Study Group on laryngeal electromyography. Otolaryngology--head and neck surgery: official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery 140: 782-793, 2009
3. Sritharan N, Chase M, KamAni D, et al.: The vagus nerve, recurrent laryngeal nerve, and external branch of the superior laryngeal nerve have unique latencies allowing for intraoperative documentation of intact neural function during thyroid surgery. Laryngoscope 125: E84-89, 2015

第2章　IONM施行時の留意点

2.1　基本指針

Summary Statement

- すべての甲状腺手術にIONMを使用することが望ましい。
- IONMに関する基本事項を理解したうえで使用する。
- 6 steps法（L1-V1-R1-R2-V2-L2）を遵守する。
- 甲状腺上極を操作する際には，上喉頭神経外枝の評価を行うことが望ましい。
- トラブルシューティングにおいては，関連する多職種で情報を共有したうえで，原因検索とともにモニタリング正常化に向けた対応にあたる。
- 患者にはIONMの目的や測定方法だけでなく，正診率が100%ではないことについても説明する。

解　説

IONMは本邦でも保険診療においてすべての甲状腺手術および副甲状腺手術点数への加算が収載されている。IONMの使用により，声帯麻痺が有意に減少するエビデンスを統計学的には証明できていない[1]。一方で，下記に示すような臨床的に重要な様々な利点がある[2〜5]。

① 神経の走行確認が可能となり，視認よりも早く正確に反回神経を同定できる。
② 反回神経の解剖学的バリエーションがあった場合に正確に走行が確認できる。反回神経の喉頭外分岐では，IONMにより運動神経と感覚神経を区別することが可能である。又，非反回下喉頭神経であった場合には，迷走神経から分岐する位置を同定することが容易となり走行を客観的に確認できる。
③ どのような手術操作で神経損傷が起こり得るかを確認あるいは推測することができる。
④ 上喉頭神経外枝の確認や温存率を高めることができる。
⑤ トレーニング中の外科医の教育に利用できる。又，IONMを施行することにより経験の高い医師と同等の神経温存率を得ることができる。
⑥ 再発手術時には，瘢痕組織の中で，神経と非神経組織を区別することができ損傷リスクを減らすことができる。
⑦ 術後の声帯麻痺を予測できる。IONMの臨床的な特異度や陰性反応的中率は99%以上とする報告が多く，適正な方法（6 steps法）で術中に判定された信号の消失（LOS）は，非常に高い確率で術後の声帯麻痺や音声障害を反映する。
⑧ 神経の健全性を評価することができるため，一側終了時に反回神経麻痺が判明した場合，より慎重に対側の手術を継続して施行する，または対側の手術を延期する（staged surgery）ことにより，両側声帯麻痺による気管切開を回避できる可能性が高まる。

IONMを正しく施行するには，本ガイドラインでも記載している基本事項を知っておく必要がある[6]。基本事項として，反回神経，上喉頭神経外枝，迷走神経の解剖を熟知することや，術前後の声帯運動の確認方法，麻酔科医と協力すべきこと（筋弛緩薬の選択，拮抗薬のタイミング，電極付き気管内挿管チューブの留置位置，基本的な周辺機器のセットアップ（刺激及び記録機器，インターフェースボックス，モニター接続機器），甲状腺上極の操作前後の上喉頭神経外枝刺激，甲状腺切除前後の迷走神経及び反回神経刺激，トラブルシューティング，神経の健全性評価方法などがあげられる。

反回神経の健全性を評価する6 steps法を遵守する。6 steps法とは，手術前後の迷走神経及び反回神経刺激（V1：手術開始時の迷走神経刺激，R1：反回神経露出時の刺激，R2：反回神経周囲操作終了時の刺激，V2：閉創時の迷走神経刺激）に加えてL1：手術前の声帯運動確認，L2：手術後の声帯運動確認をおこなう方法である**(表1)**。甲状腺全摘術の場合には，反対側からの手術操作により反回神経麻痺もおこりえる為，手術開始時にできるだけ早い段階で両側のV1を測定し，閉創時に両側のV2を評価すべきである。上喉頭神経外枝の評価も合わせて行う事が望ましい**(4参照)**。

表1.　6 steps法

Abbreviations		刺激位置	刺激電流
L1	術前の声帯運動の確認		
V1	手術開始後のできるだけ早い段階での迷走神経刺激	甲状軟骨下縁の高さ	1-3mA
R1	反回神経の位置検索あるいは最初に露出した時点での刺激		0.5-2mA
R2	術野の操作が終了した時点での反回神経刺激	露出している反回神経の最も中枢側	0.5-1mA
V2	閉創時点での迷走神経刺激	甲状軟骨下縁の高さ	1-3mA
L2	術後の声帯運動確認		

IONMでは偽陰性や偽陽性に注意が必要であり，トラブルシューティングには，様々なものが挙げられる。刺激条件の設定**(3.1参照)**，V1のamplitudeが充分得られない場合の対応**(3.2参照)**，術中波形変化時の対応**(3.3参照)**などに関して，手術に関連するスタッフで情報を共有し，迅速に原因を検索するとともにモニタリング正常化に向けた対応にあたる。また，IONMの目的や測定方法だけでなく，測定結果の正診率（100%ではない）についてもインフォームドコンセントを行う必要がある**(7参照)**。

【文　献】

1. Genther DJ, Kandil EH, Noureldine SI, et al.: Correlation of final evoked potential amplitudes on intraoperative electromyography of the recurrent laryngeal nerve with immediate postoperative vocal fold function after thyroid and parathyroid surgery. JAMA otolaryngology-- head & neck surgery 140 : 124-128, 2014
2. Melin M, Schwarz K, Pearson MD, et al.: Postoperative vocal cord dysfunction despite normAl intraoperative neuromonitoring : an unexpected complication with the risk of bilateral palsy. World J of Surg 38 : 2597-2602, 2014
3. Tomoda C, Hirokawa Y, Uruno T, et al.: Sensitivity and specificity of intraoperative recurrent laryngeal nerve stimulation test for predicting vocal cord palsy after thyroid surgery. World J Surg 30 : 1230-1233, 2006
4. Randolph GW, Dralle H, Abdullah H, et al.: Electrophysiologic recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery : international standards guideline statement. Laryngoscope 121 Suppl 1 : S1-16, 2011
5. Barczyński M, Randolph GW, Cernea CR, et al.: External branch of the superior laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery : International Neural Monitoring Study Group standards guideline statement. Laryngoscope 123 Suppl 4 : S1-14, 2013
6. Wu CW, Randolph GW, Barczyński M, et al.: Training Courses in Laryngeal Nerve Monitoring in Thyroid and Parathyroid Surgery- The INMSG Consensus Statement. Frontiers in endocrinology 12 : 705346, 2021

2.2 術前評価

Summary Statement

- 術前は喉頭ファイバースコピーなどで声帯運動の評価をすべての症例に行う。
- ファイバースコープは動画が録画できるものでなくても良いが，観察した所見（声帯麻痺の有無）をカルテに記載しておく。
- 経皮的超音波検査による声帯運動の評価は，喉頭ファイバースコピーなどの直接観察に替わるものではない。

解　説

反回神経麻痺は，甲状腺手術の主たる合併症の一つである。術式決定のためだけでなく，術中神経モニタリングの結果と術後の声帯運動との整合性を評価するためにも，術前の声帯運動評価は必須である。声帯麻痺があっても必ずしも嗄声が出るとは限らないため，嗄声がない症例でも声帯運動の評価を行う[1〜3]。声帯運動の評価は，喉頭ファイバースコピーなどで直接観察して行う。経皮的超音波検査による声帯運動評価も多く報告されているが，高齢者や男性では声帯運動が見えづらく，不全麻痺は正確に評価できないとの報告もあるため，喉頭ファイバースコピーに替わる検査とは言えない[4, 5]。

喉頭ファイバースコピーによる声帯運動評価において，左右対称な動きをしているかどうかで麻痺の判定をする場合は，喉頭斜位に注意する。喉頭斜位では，喉頭が斜めになっており，声帯麻痺がなくても声帯運動が左右対称でないように見られる。披裂部の動きに注目してみると，麻痺の有無がわかりやすい。麻痺声帯では発声時に，健側の披裂に押されて麻痺側の披裂が押し上げられる“受動運動”が見られることが多い[6]。

術前から片側の声帯麻痺が見られる場合は，癌の浸潤の可能性が高くなる。また手術によって健側の声帯麻痺が起こると窒息のリスクが高くなり，気管切開などの追加処置の必要性が高まるため，術前より患者に十分な説明を行う。術中神経モニタリングの手法（持続的刺激を行うかなど）や術式についても十分に検討する。

声帯麻痺の程度を評価するには，最長発生持続時間（maximum phonation time：MPT）を測っておくと簡便でよい。MPTの測定法は，楽な声で母音をできるだけ長く発声してもらい，何秒続くかを測定する。３回測定し，最も長い時間を採用する。MPTは10秒を切ると異常と言われるが，甲状腺疾患による反回神経麻痺がある場合のMPTは５秒前後になると報告されている[7, 8]。その他，気流阻止法によって，平均呼気流率や声門下圧などを測定しておくことも良い指標となる。

上喉頭神経外枝の麻痺では，輪状甲状筋の麻痺による音域（ピッチレンジ）の低下が起こりうる。術前に音域の測定を行っておくと，術後の上喉頭神経外枝の麻痺による音域の低下が評価できる。

【文　献】

1. Shaha AR：Routine laryngoscopy in thyroid surgery：a valuable adjunct. Surgery 142：865-866, 2007
2. Farrag TY, Samlan RA, Lin FR, et al.：The utility of evaluating true vocal fold motion before thyroid surgery. Laryngoscope 116：235-238, 2006
3. Randolph GW, Kamani D：The importance of preoperative laryngoscopy in patients undergoing thyroidectomy：voice, vocal cord function, and the preoperative detection of invasive thyroid malignancy. Surgery 139：357-362, 2006
4. Costa BOI, Rodrigues DSB, Santos AS, et al.：Transcutaneous laryngeal ultrasonography for the assessment of laryngeal function after thyroidectomy：A review. Ear Nose Throat J 100：439-446, 2021
5. Fukuhara T, Donishi R, Matsuda E, et al.：A novel lateral approach to the assessment of vocal cord movement by ultrasonography. World J Surg 42：130-136, 2017
6. Okamoto I, Tokashiki R, Hiramatsu H, et al.：Detection of passive movement of the arytenoid cartilage in unilateral vocal-fold paralysis by laryngoscopic observation：useful diagnostic findings. Eur Arch Otorhinolaryngol 269：565-570, 2012
7. 沢島政行：発声持続時間の測定．音声言語医学　7：23-28，1966
8. Tseng WC, Pei YC, Wong AMK, et al.：Distinct disease and functional characteristics of thyroid surgery-related vocal fold palsy. Thyroid 26：943-950, 2016

2.3 麻酔管理

2.3a 麻酔法

Summary Statement

- 全身麻酔を実施するための基本的な生体モニターは，日本麻酔科学会の指針を遵守する。
- 麻酔導入・維持においては基本的にどの麻酔薬，筋弛緩薬，鎮痛薬も投与可能である。
- 筋弛緩薬はIONMのEMG反応を減弱・消失させる最大の要因であり，適切に使用することが重要である。

解　説

全身麻酔を実施するための基本的な生体モニターは，日本麻酔科学会の指針を遵守する[1]。現場に麻酔を担当する医師がいて絶え間なく酸素化，換気，循環，体温，筋弛緩のチェックをして看視すること。脳波モニターは必要に応じて装着する。麻酔導入にはプロポフォール，レミマゾラム，ミダゾラム，チオペンタール，チアミラールなどの静脈麻酔薬や吸入麻酔薬のセボフルランが使用できる。麻酔維持には静脈麻酔（プロポフォール，レミマゾラム）も吸入麻酔薬（セボフルラン，デスフルラン，イソフルラン）も使用できる。吸入麻酔薬は神経筋接合部に影響を及ぼすが，臨床使用濃度ではIONMの評価を阻害するものではない。麻薬性鎮痛薬としてレミフェンタニルとフェンタニルのいずれも投与可能である。筋弛緩薬は非脱分極性（ロクロニウム），脱分極性（スキサメトニウム）のどちらも使用できる。甲状腺の手術操作において筋弛緩は基本的に必要ないため，麻酔導入時の筋弛緩薬は挿管用量にとどめておき，その後は筋弛緩薬の追加投与を行わないことが望ましい。手術中に予期せぬ患者体動などで筋弛緩状態が必要になった場合は，なるべく筋弛緩薬を追加投与せずに静脈麻酔薬のボーラス投与や高濃度吸入麻酔薬の投与，麻薬の投与で対処する。ただし血管処理や神経剥離操作時のバッキングは重大な合併症を引き起こす危険性があるため，状況に応じて筋弛緩薬の術中追加投与も考慮する。

2.3b 筋弛緩拮抗とモニタリング

Summary Statement

- 筋弛緩薬および拮抗薬を使用する際には，筋弛緩状態をモニタリングすることが望ましい。
- 非脱分極性筋弛緩薬（ロクロニウム）による残存筋弛緩は拮抗薬を用いて回復させる。拮抗薬にはスガマデクスとコリンエステラーゼ阻害薬の２種類がある。禁忌でなければスガマデクスを第一選択とする。
- スガマデクスによる筋弛緩拮抗のタイミングは施設ごとの基準で良いが，神経刺激の５分前には投与しておくことが望ましい。
- スガマデクスの必要量は残存筋弛緩の程度によって異なる。
- コリンエステラーゼ阻害薬による拮抗では完全な筋力回復を期待できない。
- コリンエステラーゼ阻害薬の投与タイミングは筋弛緩の程度で決定される。
- 脱分極性筋弛緩薬には拮抗薬が存在しない。

解　説

IONMを使用する前に筋弛緩からの回復を確認しておく。適正な筋力の評価には筋弛緩モニタリングが必要である。筋弛緩モニタリングにおける刺激パターンにはtrain-of-four（TOF），post-tetanic count（PTC），double burst stimulation（DBS）などがあり筋収縮反応を電位感知型または加速度感知型モニターを使用して定量的に評価するよう推奨されている[2]。TOFテストは麻酔導入前にコントロール記録をする必要がないため実施が容易である。通常母指内転筋でモニタリングを行なう。喉頭筋の筋弛緩薬に対する感受性は母指内転筋と比べ低い。そのため母指内転筋で充分な筋力回復が得られた場合，喉頭筋も充分に回復しているものと考えられる。非脱分極性筋弛緩薬による残存筋弛緩は拮抗薬（スガマデクス，ネオスチグミンなど）を用いて筋力を充分に回復させる。T4/T1 ratio（TOF比）0.6では再クラーレ化に伴いIONM反応が減弱する危険性があるため拮抗の目標はTOF比0.9以上に設定する[3〜6]。コリンエステラーゼ阻害薬による拮抗効果は天井効果があり確実に筋弛緩から回復させることは容易ではないので，スガマデクスを第一選択とする。アレルギーなどでスガマデクスを使用できない場合は，ネオスチグミンやエドロホニウムを使用する。スガマデクスの必要量は残存筋弛緩の程度によって異なる。例えば，①ロクロニウムによる浅い筋弛緩状態（筋弛緩モニターによるTOF刺激時に２回目の収縮反応が再確認された後）では２mg/kgをボーラス静注する。②ロクロニウムによる深い筋弛緩状態（TOF刺激には反応せずpost tetanic countで１〜２回の単収縮が確認された後）では４mg/kgをボーラス静注する。気管挿管用量投与直後（ロクロニウム投与３分後）では16mg/kgをボーラス静注する。このようにスガマデクスを使用すると深い筋弛緩状態からの回復も可能である。そのためスガマデクスによる筋弛緩拮抗のタイミングは施設ごとの基準で良い（体位変換後・執刀直前・執刀直後など）。ただし,ス

ガマデクスは，投与開始からTOF比0.75に回復するまでの時間（２～３分以内）を勘案し，神経刺激の５分程度前には投与しておくほうがよいかもしれない。なお腎機能障害患者ではスガマデクスの作用発現時間が遅くなるので，早めに拮抗する必要がある。ネオスチグミンの拮抗効果はスガマデクスと比較し充分とは言えず発現まで時間を要する。しかも深い筋弛緩からの回復は困難であるので筋弛緩状態が浅くなってから投与する：筋弛緩モニターによる回復（TOFカウント４以上を確認後）を確認した後に行なう。脱分極性筋弛緩薬（スキサメトニウム）を使用した場合は，拮抗薬がないため自然に筋弛緩から回復するのを待たなければならない。しかし，スキサメトニウムの効果持続時間は5–10分なので，通常手術開始時には筋弛緩から回復していると考えられる。

【文　献】

1. 安全な麻酔のためのモニター指針：日本麻酔科学会home page 指針・ガイドラインhttps : //anesth.or.jp/files/pdf/monitor3_20190509.pdf
2. 麻酔薬および麻酔関連薬使用ガイドライン第３版VI筋弛緩薬・拮抗薬：日本麻酔科学会home page 指針・ガイドライン https : //anesth.or.jp/files/pdf/muscle_relaxant_antagonist_20190905.pdf
3. Kelly D, Brull SJ : Monitoring of neuromuscular function in the clinical setting. Yale J Biol Med 66 : 473-489, 1993
4. Motamed C : Intraoperative monitoring of neuromuscular blockade. Life 13 : 1184, 2023
5. Hemmerling TM, Le N : Brief review : Neuromuscular monitoring : an update for the clinician. Can J Anaesth 54 : 58-72, 2007
6. Murphy GS : Neuromuscular Monitoring in the Perioperative Period. Anesth Analg 126 : 464-468, 2018

2.4 術後評価

Summary Statement

- 術後早い段階で喉頭ファイバースコピー検査を行い，声帯運動を評価する。
- 術後に喉頭ファイバースコピーによる声帯運動評価を行っていれば，その後の経過フォローを経皮的超音波検査で行ってもよい。

解　説

術後には，喉頭ファイバースコピーで声帯麻痺の確認を行う。両側のV2で充分なamplitudeを得られていても，術後早い段階で喉頭ファイバースコピー検査を行い，声帯運動を評価する。特に術後呼吸困難を訴える場合には，可及的速やかに直視下に喉頭観察をおこない，浮腫等による気道狭窄も含めて評価する必要がある。

術中両側のV2がLOSになった場合，術後，手術室外での緊急気管切開や窒息という重大な合併症を回避する為に，本プラクティカルガイドではあらかじめ気管切開を行うことを推奨する**(9.4参照)**。一方で，IONMの偽陽性の可能性を考慮し，気管切開をおかずに抜管する場合には，必ず抜管直後に声帯運動を確認する。両側声帯麻痺を認めた場合には，術後しばらくしてから窒息を起こす可能性が高いため，術直後に呼吸苦がなくても気管切開等を含めた何らかの気道確保が必要となる。

一過性の声帯麻痺は多くは半年以内に改善することが多い。術後の声帯麻痺症例は，少なくとも術後半年までは声帯運動評価を継続する。声帯麻痺症例に対して侵襲的な音声改善手術を計画する場合は，術後１年間は保存的に改善する可能性があることを考慮して，患者への説明や手術などを行う[1〜3]。術後に喉頭ファイバースコピーで声帯運動評価を行なっていれば，その後のフォローを経皮的超音波検査で行うことは可能である[4, 5]。

麻痺の程度を評価する方法として，最長発声持続時間（maximum phonation time：MPT）を採用すると簡便でよい。術後に反回神経麻痺をおこすと，MPTは10秒未満，多くは５秒前後まで短縮する。麻痺が改善するとMPTは延長する。反回神経を切除し，神経再建を行った症例においては，術後の麻痺は改善していなくてもMPTは徐々に延長する[6]。その他，気流阻止法によって，平均呼気流率や声門下圧など測定しておくことも良い指標となる。

上喉頭神経外枝の麻痺では，輪状甲状筋の麻痺による音域の低下が起こりうる。術中神経モニタリングにおける上喉頭神経外枝刺激の結果と，術前術後の音域の差を参考にして，術後の上喉頭神経外枝の麻痺を評価する。

【文　献】

1. Christou N, Mathonnet M：Complications after total thyroidectomy. J Visc Surg 150：249-256, 2013
2. Enomoto K, Uchino S, Watanabe S, et al.：Recurrent laryngeal nerve palsy during surgery for benign thyroid disease：risk factors and outcome analysis. Surgery 155：522-528, 2014
3. Costa BOI, Rodrigues DSB, Santos AS, et al.：Transcutaneous laryngeal ultrasonography for the assessment of laryngeal function after thyroidectomy：A review. Ear Nose Throat J 100：439-446, 2021
4. Kim DH, Lee J, Seo Y, et al.：Perioperative transcutaneous laryngeal ultrasonography to assess vocal cord function in thyroid surgery. Am J Surg 223：893-899, 2022
5. Alimoglu O, Akdag M, Kaya B, et al.：Recurrent laryngeal nerve palsy after thyroid surgery. Int Surg 93：257-260, 2008
6. Yoshioka K, Miyauchi A, Fukushima M, et al.：Surgical methods and experiences of surgeons did not significantly affect the recovery in phonation following reconstruction of the recurrent laryngeal nerve. World J Surg 40：2948-2955, 2016

第３章　反回神経（及び非反回下喉頭神経）に対するIONM

3.1　機器及び刺激条件の設定

Summary Statement

- 術者は刺激プローブを使用し喉頭内声帯筋群のEMG反応を視覚と音の両方で必ず確認し，神経の位置情報や健全性をリアルタイムでモニタリングする。
- 術野では原則として刺激電流は１mAを使用する。
- 筋膜，筋肉，脂肪組織で反回神経や迷走神経が術野に確認ができていない場合は，周囲組織を２mAまたは３mAで刺激して神経の位置探索やマッピングを行う。
- 神経が完全に露出した状態で神経分岐がある場合，刺激電流を0.3–0.5mAに下げて評価を行う。
- 非反回下喉頭神経の神経分岐部を確認するためには，刺激プローブを用いて迷走神経を中枢側/末梢側から刺激し，EMG反応消失/出現点で非反回下喉頭神経分岐部が確認できる。

解　説

神経刺激時の刺激電流設定

Amplitudeは，刺激電流が0.8mAまでは，電流増加に伴い正比例に増加する。しかし，それ以上に刺激電流を増加してもamplitudeが増加することはない[1]。そのため術野では，原則刺激電流の設定は１mAを用いる。また神経周囲に組織があり視認できない状況では，神経が予想される部位を２mAで刺激することで，プローブ先端から電流が拡散し周辺組織を脱分極させ目的の神経の位置を予測することができ，神経の初回の探索やマッピングに有用である。血液や浸出液で術野がwetな場合では反応が不良になるので，術野をdryに保つように心がける。

標的神経を刺激したのではないにも関わらず良好なEMG反応を示すことがある。神経分枝（特に反回神経食道枝・気管枝や非反回下喉頭神経分枝部）において本幹と近い部位で刺激を行った場合は神経分枝でも正常のEMG反応が確認されることがある。他にも神経に伴走する小動脈・静脈や神経を横切る中等度の動脈分枝でも滑走電流の影響でEMG反応が生じる。

また，Berry靭帯周囲や気管壁と並走する左反回神経の刺激では電流が直接気管壁を通じ声帯筋群を直接刺激し正常のEMG反応がみられることがある。この場合は，モニター上で通常みられる波形が観察できないので区別することが可能である。

いずれの場合も刺激電流の設定を0.3–0.5mAに下げることで正確な神経の確認を行うことができる。

非神経刺激時のEMG反応

非刺激下に予想外なEMG反応があれば，過度の神経牽引や喉頭脱転が生じている可能性があり術者や助手は牽引操作の手を緩め，神経刺激にて神経の健全性を確認することが必要である。また，この現象は過度の牽引以外にも低温水での洗浄時，周囲機器の影響（電気メス，レーザー熱，超音波手術機器使用時），または患者の覚醒や喉頭咽頭唾液貯留でも同様の現象が起きる。対応は原因によって異なり，温水の洗浄や高周波医療機器の中止，唾液吸引等で改善される[2]。

神経障害以外の原因で生じるamplitude低下，変動原因について

電気生理学的な条件や機器の影響による原因で刺激時EMG反応に影響を及ぼすことがある[2, 3]。

- 筋弛緩剤の効果，擬似コリンエステラーゼ欠損[4]
- 神経や筋膜上の血液や浸出液付着等による刺激プローブと神経の接触不良
- 電極付き気管内挿管チューブの位置やサイズによる声帯との接触不良
- モニターの閾値設定や刺激アーチファクト設定が適正ではない
- 機器のトラブル（電極付き気管内挿管チューブおよび刺激プローブ）
- 電極インピーダンスが高い場合
- 刺激電流が不十分である

非反回下喉頭神経でのIONM

術前に頸部CTおよび頸部超音波検査にて右鎖骨下動脈分岐部を確認することが重要であり，右鎖骨下動脈起始異常を見逃さないよう心掛ける必要がある。

右非反回下喉頭神経である頻度は0.51–0.7%とされ[5, 6]，右鎖骨下動脈の起始異常（左鎖骨下動脈分岐後の下行大動脈から分岐して，気管および食道の背側を通過して右側へ走行する）に伴っていることがほとんどであり，下喉頭神経は右鎖骨下動脈で反回せずに，頸部で右迷走神経から直接喉頭入口部へ向かう。右非反回下喉頭神経が迷走神経から分岐する位置および頸部における走行経路は症例により異なる[7, 8]。左非反回下喉頭神経は極めて稀な走行異常であり，①右側大動脈弓および左鎖骨下動脈起始異常が存在することに加えて，完全動脈幹症などの心血管系異常（左動脈管索の消退）を伴っていること，もしくは②内臓逆位

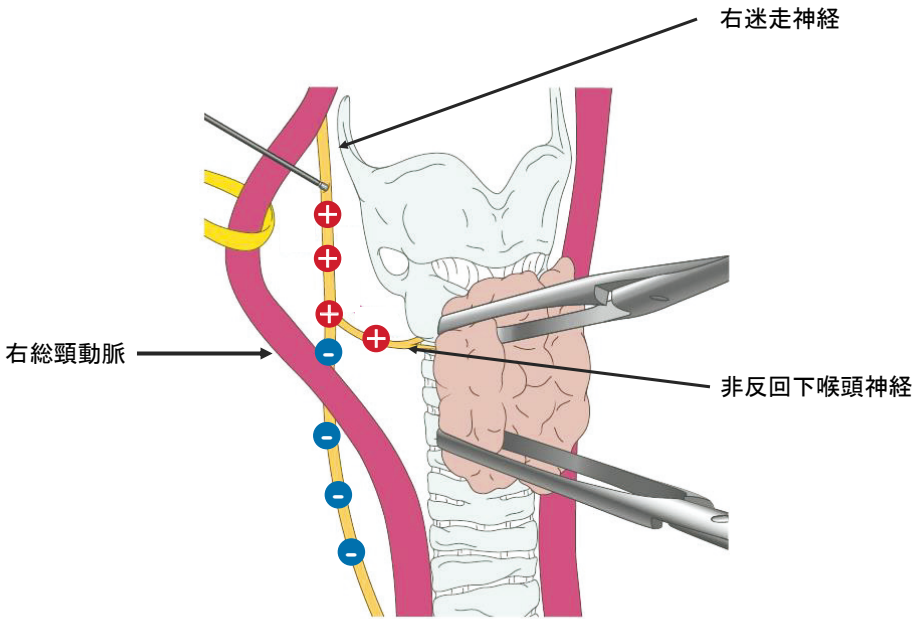


図9. 非反回下喉頭神経の評価方法　⊕：EMG反応あり　⊖：EMG反応なし
甲状腺操作前に，以下の手順で非反回下喉頭神経の位置を確認する
1．右迷走神経を直視下で確認し，頭側から刺激プローブを使用してV1反応を確認する。
2．迷走神経に沿って頭側から順に刺激を開始し，EMG反応消失点が非反回下喉頭神経の分枝部となる。
3．EMG反応消失点から内側方向に組織を剥離すると，非反回下喉頭神経を直接確認することができる。

に左鎖骨下動脈起始異常を伴っていることが必須条件である。左非反回下喉頭神経について，迷走神経からの分岐位置，走行経路についてまとまった報告はないが，走行経路についてはバリエーションがあると考えられる[9]。

上記のように，非反回下喉頭神経は反回神経と異なる走行経路をとるため，甲状腺手術中の神経損傷リスクが高いとされている。本ガイドラインでは，甲状腺剥離操作前に，迷走神経刺激による声帯筋EMG反応（V1）を測定することを推奨しているが，術前画像診断にて非反回下喉頭神経が疑われる場合には，特にこの測定が重要となる。非反回下喉頭神経(**図9**)がどの高さで分枝するかを確認するためには，刺激プローブを用いて迷走神経を中枢あるいは末梢から刺激し，中枢側からならばEMG反応消失点，末梢側からの刺激であればEMG反応出現点を見つけることで非反回下喉頭神経の分岐部を確認することができる。

【文　献】

1. Randolph GW : Surgical anatomy of the recurrent laryngeal nerve.Saunders 300-349, 2003
2. Wu CW, Dionigi G, Barczynski M, 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 128 Suppl 3 : S18-27, 2018
3. NIM Vital™　取扱説明書2020.08（第１版）
4. Snyder S, Hendricks J : Intraoperative neurophysiology testing of the RLN : plaudits and pitfalls. Surgery 138 : 1183-1192, 2005
5. Toniato A, Mazzarotto R, Piotto A, et al. : Identification of the nonrecurrent laryngeal nerve during thyroid surgery : 20-year experience. World J Surg 28 : 659-661, 2004
6. BM Henry, Sanna S, Graves MJ, et al. : The Non-Recurrent Laryngeal Nerve : a meta-analysis and clinical considerations. Peer J 5 : e3012, 2017
7. Toniato A, Mazzarotto R, Piotto A, et al. : Identification of the nonrecurrent laryngeal nerve during thyroid surgery : 20-year experience. World J Surg 28 : 659-661, 2004
8. Kamani D, Potenza AS, Cernea CR, et al. : The nonrecurrent laryngeal nerve : anatomic and electrophysiologic algorithm for reliable identification. Laryngoscope 125 : 503-508, 2015
9. Masuoka H, Miyauchi A, Higashiyama T, et al. : Right-sided aortic arch and aberrant left subclavian artery with or without a left nonrecurrent inferior laryngeal nerve. Head Neck 38 : E2508-2511, 2016

3.2 ベースライン波形記録時の留意点

Summary Statement

- IONM施行時は，甲状腺の剥離操作を開始する前の可能な限り早い段階で，迷走神経を電気的に刺激して，V1の測定を行う。
- V1を測定する際には，1－3 mAで電気的刺激を行い，二相性または三相性の誘発波形が得られることを確認する。
- V1は500 μV以上のamplitudeが得られることが望ましい。
- 十分なamplitudeが得られない場合には，電極付き気管内挿管チューブの位置調整などを行い，十分な値が得られてから手術操作を開始することが望ましい。

解　説

IONMを適切に運用するためには，甲状腺剥離操作前のV1測定が非常に重要である。充分なamplitudeのV1値を得ることで，IONMのシステムが適切に機能していることが確認できるとともに，術中，もしくは閉創前に反回神経の健全性が保たれているかどうかを検討する際の基準値として用いることができる[1]。

迷走神経の多くは，総頸動脈及び内頸静脈間に存在する為，通常のV1測定時には，頸動脈鞘外からの1－3 mAの電気刺激で誘発電位を得ることができる。一方で，総頸動脈や内頸静脈の後方に隠れるように存在することもあり[2]，頸動脈鞘外からの刺激による反応が認められない場合には，頸動脈鞘を剥離して愛護的に迷走神経を露出し刺激する。それでも充分な振幅値が得られない又は反応が認められない場合には，機器の接続不良などIONMシステム上の問題点について探索する**(3.1参照)**。最も多い原因は，電極付き気管内挿管チューブの位置異常やサイズの問題による電極と声帯との接触不良である[3]。原因を特定し，それぞれの原因について対処することで，より的確に神経モニタリングが可能となる。

INMSGガイドライン等では，V1は500 μV以上のamplitudeが推奨されている。多くの先行研究で手術開始時の迷走神経への電気刺激で得られる振幅は500 μV以上であることや“latency jumping”と呼ばれる筋電図の波形の乱れが350 μV未満のamplitudeの場合により多く認められることが理由として挙げられている[4]。きちんとした二相性または三相性の筋で図波形が得られているのであれば，amplitudeが500 μV未満であってもベースラインとして扱ってよいと考えられるが，充分なamplitudeが得られているほうが，神経障害の程度をより正しく判定することができる。

【文　献】

1. Randolph GW, Dralle H, Abdullah H, et al.: Electrophysiologic recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: international standards guideline statement. Laryngoscope 121 Suppl 1: S1-16, 2011
2. Dionigi G, Chiang FY, Rausei S, et al.: Surgical anatomy and neurophysiology of the vagus nerve (VN) for standardizes intraoperative neuromonitoring (IONM) of the inferior klaryngeal nerbe (ILN) during thyroidectomy. Langenbecks Arch Surg 395: 893-899, 2010
3. Dionigi G, Bacuzzi A, Boni L, et al.: What is the learning curve for intraoperative neouromonitoring in thyroid surgery? Int J Surg S7-12, 2008
4. Schneider R, Randolph GW, Sekulla C, et al.: Continuous intraoperative vagus nerve stimulation for identification of imminent recurrent laryngeal nerve injury. Head Neck 35: 1591-1598, 2013

3.3 術中波形変化時の対応

Summary Statement

- IONM施行中に波形（特にamplitude）が変化した場合には，原因を特定するためにトラブルシューティングの手順に沿って対応し（アルゴリズム１），手術操作以外の原因があれば改善をめざす。
- 神経損傷１型（局所的損傷：segmental type）の場合は原因が熱損傷や圧損傷などが主で術中の波形回復は困難なことが多い。神経損傷２型（びまん性損傷：diffuse type）の場合は原因が神経の過剰な牽引であることが多く，術中に波形が改善する場合もある。
- Amplitude が100μVを下回り，回復が認められない場合には信号消失：loss of signal（LOS）と判断され，非常に高い確率で術後の声帯麻痺や音声障害を反映する。
- LOSの場合や，V1の50％未満のamplitudeになった場合は，staged surgeryの実施を考慮してもよい。ただし，一律にstaged surgeryの実施を推奨するわけでは無く，患者背景や病状によっては対側の一期的手術も許容される。
- LOSとなった際の対応を術前にシミュレーションし，患者にも対応を説明しておくことが重要である。

解　説

Amplitude低下の原因は神経損傷によるものだけとは限らない。原因を正確に把握し対処するため，トラブルシューティング（アルゴリズム１）に沿って対応する。トラブルシューティングは扱いに不慣れな可能性のあるスタッフも現場ですぐに参照できるよう，神経モニタリング装置近傍に設置しておくことが望ましい。

まずは術野が血液や浸出液で過剰にwetな環境でないことを確認する。次にamplitude低下を認めた側のさらに末梢側の反回神経を刺激し，充分なamplitudeが得られた場合には，神経損傷１型（局所的損傷：segmental type）が示唆される**(図10a)**。末梢側の刺激でも，充分なamplitudeが得られない場合には，laryngeal twitch 法で声帯筋の収縮を確認する。ファイバースコープなどで直接声帯の動きを観察しても良い。声帯筋収縮を認めた場合は機器記録側に問題がある。声帯への唾液貯留の有無や電極付き気管内挿管チューブのずれを確認するとともに，機器の接続を再度確認する。声帯筋収縮を認めない場合には，反対側の迷走神経を刺激し声帯筋の収縮を確認する。反対側迷走神経刺激でも声帯収縮を認めない場合は筋弛緩薬の影響を確認するとともに，機器の接続を再度確認する。反対側の迷走神経刺激で声帯収縮を認める場合はamplitude低下を認めた側の神経損傷２型（びまん性損傷：diffuse type）**(図10b)**が示唆される。

神経損傷が原因でamplitudeがV1の50%未満となった場合は，神経損傷の程度は強いと考えられる。一旦手術操作を中止し神経損傷が改善するのを待つことを考慮する。より愛護的な手術操作を心がけるとともに，その後も神経モニタリングを繰り返し行い，神経機能の経時的変化を追跡する[1, 2]。特にamplitude が100μVを下回る場合はloss

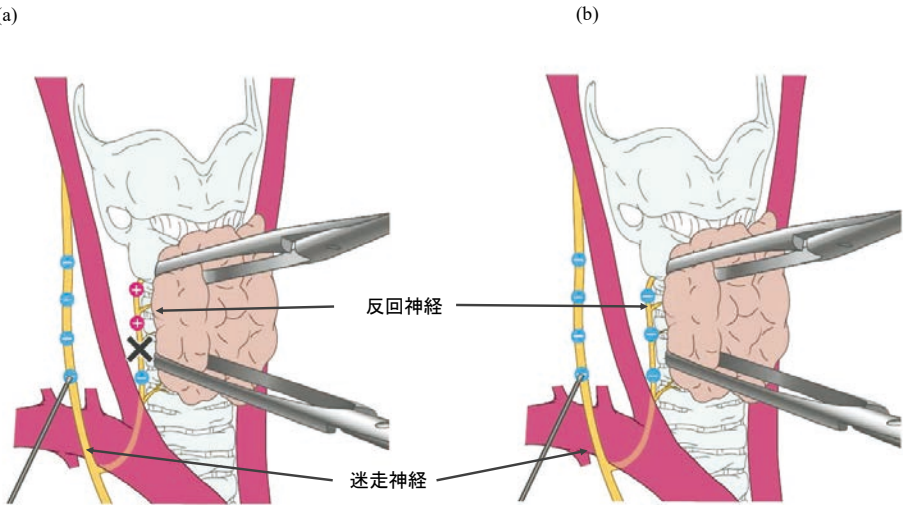


図10.　臨床的神経損傷の種類（a：神経損傷１型（局所的損傷：segmental type），b：神経損傷２型（びまん性損傷：diffuse type））⊕：EMG反応あり　⊖：EMG反応なし
神経損傷１型とは，神経がダメージを受けた位置が明らかな場合，すなわち神経のある一点を境にEMG反応が中枢側では消失し，末梢側ではEMG反応が得られる場合。
神経損傷２型とは，神経がダメージを受けた位置が不明で，迷走神経から反回神経全長でEMG反応が得られない場合。

of signal（LOS）と定義され，非常に高い確率で術後の声帯麻痺や音声障害を反映する[3〜5]。

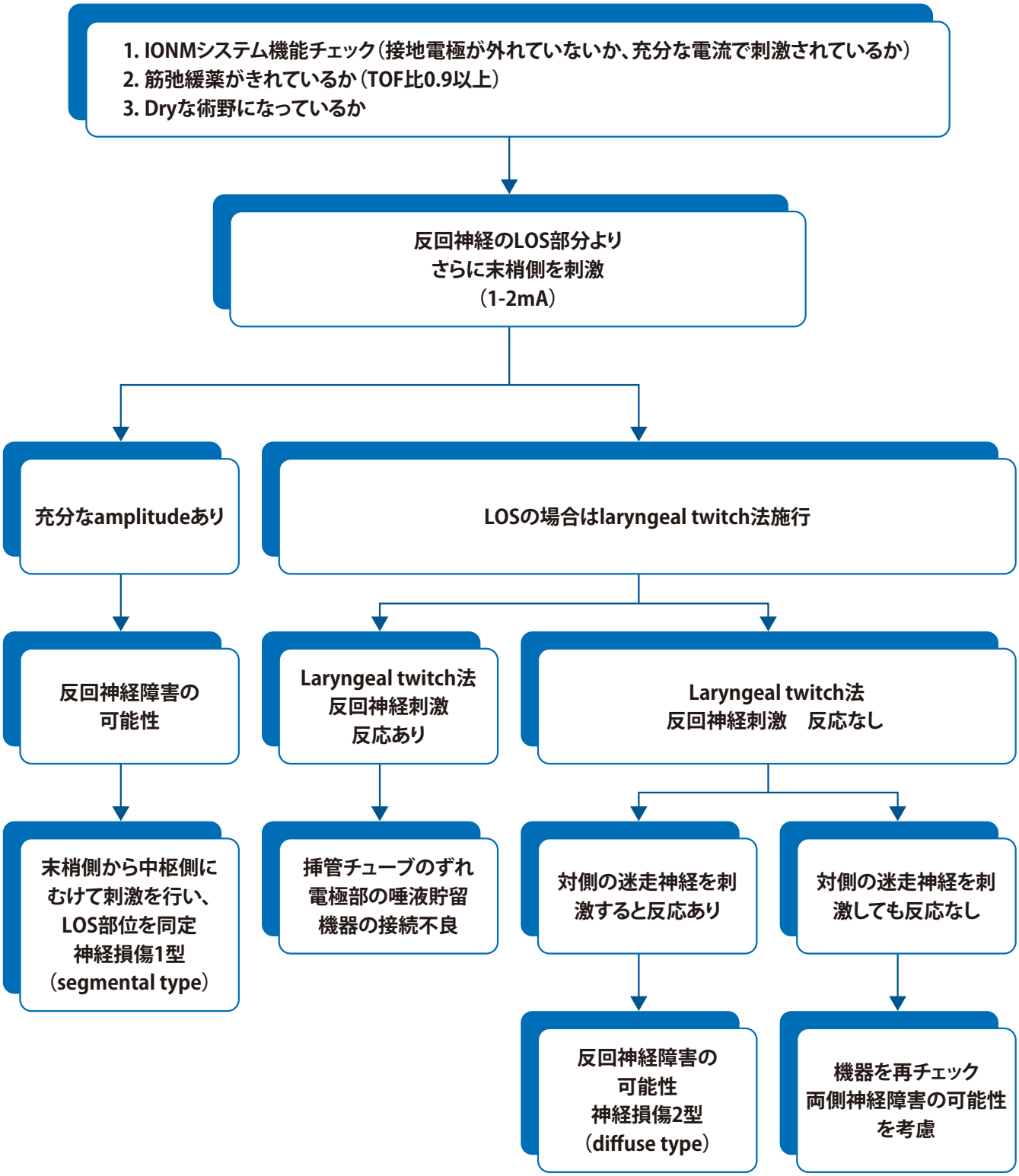
神経損傷１型は，熱損傷や圧損傷など局所の神経損傷が主な原因であり，術中の波形回復は困難なことが多い。エネルギーデバイスを使用した手術操作では，それぞれの機器によって神経に対する熱損傷の程度は異なる。動物実験によるそれぞれの安全域が検討されているので参考にすべきである[6〜10]。神経損傷２型では，原因が神経の過剰な牽引であることが多く，手術操作を控えることにより３割程度は術中に波形は改善する[11]。過剰な牽引は神経麻痺の原因として75〜83%と最多であり，傷害部位としては80%近くがBerry靱帯近傍である[12〜14]。

術中にLOSあるいはamplitudeがベースライン（V1）の50%未満となり，対側の手術が予定されている場合はstaged surgeryの実施も考慮してよい**(9.1参照)**。Staged surgeryとは損傷した反回神経の回復を待って後日二期的な手術を実施することである。Staged surgeryの意義は，甲状腺手術で最も避けるべき合併症の１つである両側反回麻痺に伴う外科的気道確保を回避することにある。INMSGガイドラインでも実施が推奨されており，欧米を中心に普及しつつある[15]。しかし，LOSとなっても一期的に対側手術を行うべき病態も存在する。欧米とは社会的背景も異なり，本邦では一律にstaged surgeryを推奨とすることはそぐわない。よって本プラクティカルガイドでは，患者の背景や病状によっては対側手術の実施も許容する。また，癌の浸潤などのために反回神経切除を行った場合には声帯麻痺回復の可能性は無いのでstaged surgeryの適応とはならない。最も大切なことは，手術計画段階からLOSとなった際の対応を術者は十分シミュレーションしておき，患者にも術前に説明を行っておくことである。

【文　献】

1. Phelan E, Schneider R, Lorenz K, et al.: Continuous vagal IONM prevents recurrent laryngeal nerve paralysis by revealing initial EMG changes of impending neuropraxic injury: a prospective, multicenter study. Laryngoscope 124: 1498-1505, 2014
2. Schneider R, Randolph GW, Sekulla C, et al.: Continuous intraoperative vagus nerve stimulation for identification of imminent recurrent laryngeal nerve injury. Head Neck 35: 1591-1598, 2013
3. Genther DJ, Kandil EH, Noureldine SI, et al.: Correlation of final evoked potential amplitudes on intraoperative electromyography of the recurrent laryngeal nerve with immediate postoperative vocal fold function after thyroid and parathyroid surgery. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg 140: 124-128, 2014
4. Melin M, Schwarz K, Pearson MD, et al.: Postoperative vocal cord dysfunction despite normal intraoperative neuromonitoring: an unexpected complication with the risk of bilateral palsy. World J Surg 38: 2597-2602, 2014
5. Tomoda C, Hirokawa Y, Uruno T, et al.: Sensitivity and Specificity of Intraoperative Recurrent Laryngeal Nerve Stimulation Test for Predicting Vocal Cord Palsy after Thyroid Surgery. World J Surg 30: 1230-1233, 2006
6. Dionigi G, Wu CW, Kim HY, et al.: Safety of energy based devices for hemostasis in thyroid surgery. Gland surgery 5: 490-494, 2016
7. Wu CW, Huang TY, Chen HC, et al.: Intra-Operative Neural Monitoring of Thyroid Surgery in a Porcine Model. Journal of visualized experiments: JoVE 144: 2019
8. Dionigi G, Chiang FY, Kim HY, et al.: Safety of LigaSure in recurrent laryngeal nerve dissection-porcine model using continuous monitoring. The Laryngoscope 127: 1724-1729, 2017
9. Chávez KV, Barajas EM, Soroa F, et al.: Safety assessment of the use of ultrasonic energy in the proximity of the recurrent laryngeal nerve in a porcine model. American journal of surgery 215: 186-190, 2018
10. Kwak HY, Dionigi G, Kim D, et al.: ThermAl injury of the recurrent laryngeal nerve by THUNDERBEAT during thyroid surgery: findings from continuous intraoperative neuromonitoring in a porcine model. The Journal of surgical research 200: 177-182, 2016
11. Wu CW, Dionigi G, Barczynski M, 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 128: 18-27, 2018
12. Randolph GW, Kamani D: The importance of preoperative laryngoscopy in patients undergoing thyroidectomy: voice, vocal cord function, and the preoperative detection of invasive thyroid malignancy. Surgery 139: 357-362, 2006
13. Farrag TY, Samlan RA, Lin FR, et al.: The utility of evaluating true vocal fold motion before thyroid surgery. Laryngoscope 116: 235-238, 2006
14. Haugen BR, Alexander EK, Bible KC, 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 26: 1-133, 2016
15. Schneider R, Randolph GW, Dionigi G, et al.: International neural monitoring study group guideline 2018 part I: Staging bilateral thyroid surgery with monitoring loss of signal. Laryngoscope 128: 1-17, 2018

アルゴリズム1．LOS時のトラブルシューティング



3.4 手術終了時のIONM評価の留意点

Summary Statement

- 手術終了時の神経健全性は，Dry術野で充分な電流（１−３mA）による迷走神経刺激で判断される。下記の２つを満たすことが必要である。
  閉創時の迷走神経刺激（V2）で得られるamplitudeが①V1の50％以上②laryngeal twitchを認める。
- 波形変化を認めた場合は20分間の観察時間を設けた後に最終判断を下すことが望ましい。
- 閉創時にLOSの場合には，神経損傷１型（局所的損傷：segmental type）か，神経損傷２型（びまん性損傷：diffuse type）かを区別する。
- 両側がLOSとなった場合は両側声帯麻痺の可能性があり，手術中に気管切開などの外科的気道確保の実施を考慮する。

解　説

神経健全性の評価には，amplitude（反応する神経線維の数に依存）およびlatency（反応速度）の２つが重要である。Amplitudeやlatencyは，神経障害以外の原因でも容易に変動する為，**3.3術中波形変化時の対応**を参照し，手術開始時と手術終了時でできるだけ同じ条件下で評価できる環境を整える必要がある。Amplitudeは，記録電極と声帯の接触状況が異なる場合，latencyは神経を刺激する部位によって記録電極までの距離が異なる場合でも異なる。I-IONMでは手術開始時と閉創時で迷走神経を全く同じ位置で刺激することは困難ではあるが，迷走神経の刺激位置を一定にする（甲状軟骨下縁の高さなど）ことも重要である。

上記の理由もありINMSGの標準ガイドラインが提唱された後の報告でも，IONMの陽性的中率や陰性的中率はいずれも100%にはなり得ない[1〜4]。術後声帯麻痺の頻度が低い為，NPVは97.3-100％と高い。一方で，神経麻痺は時間とともに改善してくる為，声帯運動を確認する時期によってもその結果は異なりPPVは62.5-80.5％と幅をもって報告される。**表2**には偽陽性及び偽陰性の主な原因をまとめた。

INMSGのガイドラインに準じて神経健全性が保たれているとの最終判断（アルゴリズム２）は，dryな術野で充分な電流（１−３mA）で行う閉創時の迷走神経刺激（V2）で得られるamplitudeがV1の50％かつlaryngeal twitchで反応ありとする[5]。laryngeal twitch 法は，喉頭背側に指先を挿入し，後輪状披裂筋や外側輪状披裂筋などの収縮を直接触知する方法である。電極付き気管内挿管チューブが準備できない場合でも施行可能である基本的な手技である**(図3)**[6, 7]。上記の２つの条件を満たせば，術後声帯麻痺の可能性は極めて低い。一方でV2のamplitudeが100 μV以上であったとしても，V1に比べて50％以上低下している場合には術後声帯麻痺の可能性を考慮する必要がある[8]。Amplitude がベースライン（V1）より70%以上低下している場合には，術後声帯麻痺を認める確率は83%である[9]。適切に評価できる状況下においては，術中波形が変動した場合のV2の最終判断は神経障害の早期改善の程度を確認する為に，20分間の観察期間を設けた後の評価が望ましいとされる[5]。

LOSと判定した後には，神経損傷１型か，神経損傷２型かを区別することで，より正確な術後声帯麻痺の頻度や神経麻痺改善までの期間の推測が可能である[10]。Segmental typeとは，神経がダメージを受けた位置が明らかな場合，すなわち神経のある一点を境にEMG反応が中枢側では消失し，末梢側ではEMG反応が得られる場合である。Diffuse typeでは，神経がダメージを受けた位置が不明で，迷走神経から反回神経全長でEMG反応が得られない場合である。閉創時の臨床的神経麻痺のタイプ別の頻度はそれぞれ，神経損傷１型40.8-48.7%，神経損傷２型が51.3-59.2％と報告されており，良性疾患では神経損傷２型の頻度が

表2. 偽陽性及び偽陰性の原因

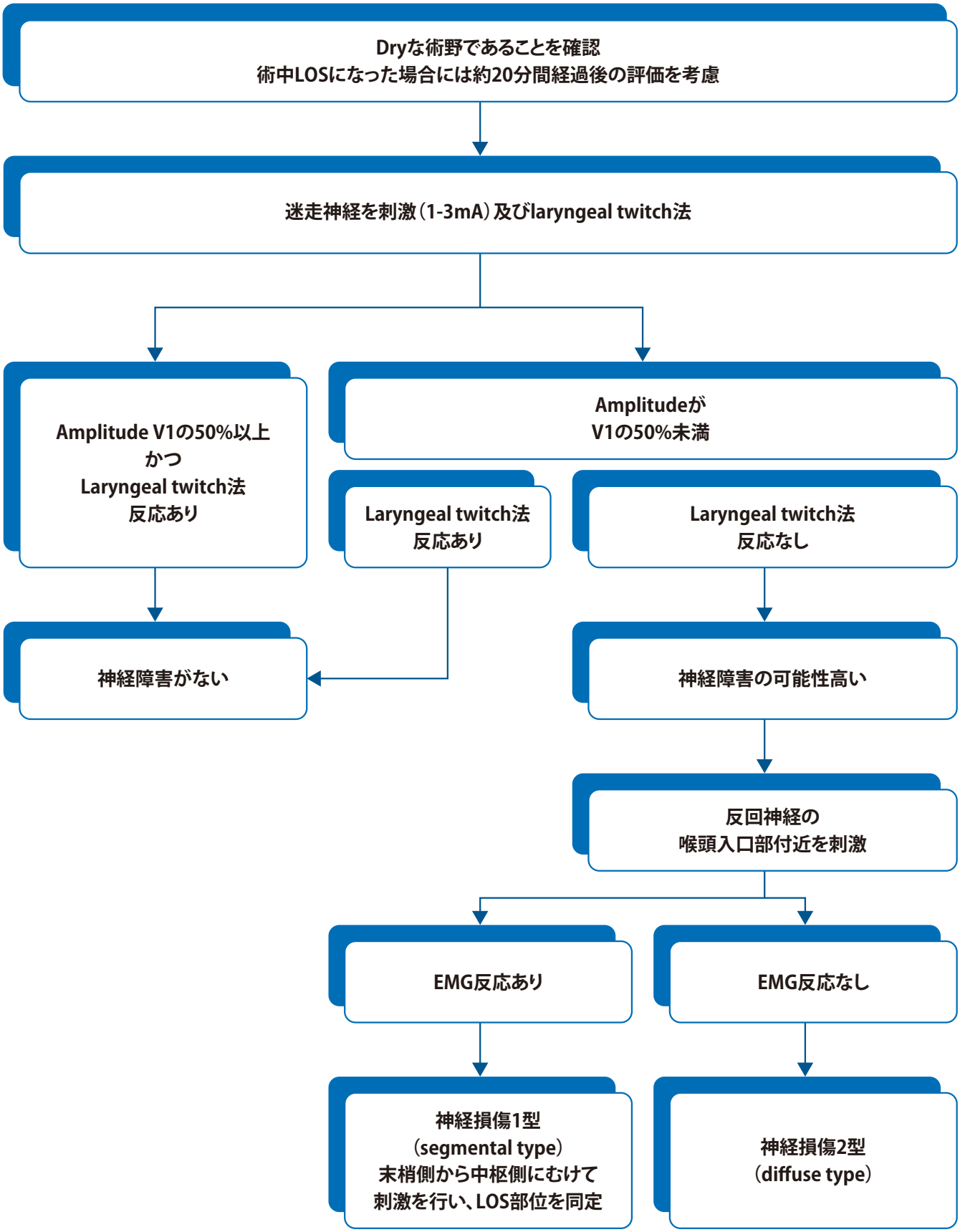
偽陽性（手術終了時LOSであったが，術後声帯運動は正常）
● 神経麻痺が早期に改善
● 電極付き気管内挿管チューブの電極位置が声帯に接触していない（比較的大きな甲状腺腫が摘出され気管狭窄が解除された場合）
● 電極付き気管内挿管チューブの電極あるいは声門付近の唾液の貯留
● 筋弛緩薬効果の遷延や，追加投与等の影響
● 神経刺激電流が不十分（神経刺激部位付近への血流貯留や被膜に覆われている場合など）
偽陰性（手術時充分なamplitudeが得られていたが，術後声帯麻痺を認めた）
● 神経を刺激した部位より中枢側での神経障害
● 出血や浮腫などによる遅発性の神経障害
● 外転枝のみあるいは，外転枝および内転枝の一部のみが損傷されている場合
● 非神経由来の声帯麻痺（披裂軟骨脱臼など）

高い[10, 11]。閉創時LOSの場合の声帯麻痺の頻度は不全麻痺を含めると，術後２日目では神経損傷１型84.9–94.6%，神経損傷２型45.8–69.5%，６か月後では改善傾向を認め神経損傷１型10.7–28.3%，神経損傷２型6.8–20.6%と報告されており，神経損傷２型の方が早期に神経麻痺は改善する[10, 11]。

【文　献】

1. Melin M, Schwarz K, Pearson MD, et al.: Postoperative vocal cord dysfunction despite normAl intraoperative neuromonitoring: an unexpected complication with the risk of bilateral palsy. World J Surg 38: 2597-2602, 2014
2. Calò PG, Pisano G, Medas F, et al.: Identification alone versus intraoperative neuromonitoring of the recurrent laryngeal nerve during thyroid surgery: experience of 2034 consecutive patients. Journal of otolaryngology - head & neck surgery 43: 16, 2014
3. De Falco M, Santangelo G, Del Giudice S, et al.: Double probe intraoperative neuromonitoring with a standardized method in thyroid surgery. International journal of surgery 12 Suppl 1: S140-144, 2014
4. Cavicchi O, Burgio L, Cioccoloni E, et al.: Intraoperative intermittent neuromonitoring of inferior laryngeal nerve and staged thyroidectomy: our experience. Endocrine 62: 560-565, 2018
5. Schneider R, Randolph GW, Dionigi G, et al.: International neural monitoring study group guideline 2018 part I: Staging bilateral thyroid surgery with monitoring loss of signal. Laryngoscope 128 Suppl 3: S1-S17, 2018
6. Randolph GW, Kobler JB, Wilkins J: Recurrent laryngeal nerve identification and assessment during thyroid surgery: laryngeal palpation. World J of Sug 28: 755-760, 2004
7. Tomoda C, Hirokawa Y, Uruno T, et al.: Sensitivity and specificity of intraoperative recurrent laryngeal nerve stimulation test for predicting vocal cord palsy after thyroid surgery. World J Surg 30: 1230-1233, 2006
8. Wu CW, Dionigi G, Sun H, et al.: Intraoperative neuromonitoring for the early detection and prevention of RLN traction injury in thyroid surgery: a porcine model. Surgery 155: 329-339, 2014
9. Phelan E, Schneider R, Lorenz K, et al.: Continuous vagal IONM prevents recurrent laryngeal nerve paralysis by revealing initial EMG changes of impending neuropraxic injury: a prospective, multicenter study. Laryngoscope 124: 1498-1505, 2014
10. Schneider R, Randolph G, Dionigi G, et al.: Prospective study of vocal fold function after loss of the neuromonitoring signal in thyroid surgery: The International Neural Monitoring Study Group's POLT study. Laryngoscope 126: 1260-1266, 2016
11. Tomoda C, Yoshioka K, Saito Y, et al.: Clinical classification of recurrent laryngeal nerve palsy. Gland surgery 12: 1203-1208, 2023

アルゴリズム２．閉創時における神経障害の評価方法



3.5 記録方法

Summary Statement

- IONMの測定結果については，何らかの方法で記録することを推奨する。
- 記録する項目は，対象の神経名称，刺激電流の強さ（mA），振幅値（μV），波形であり，甲状腺剥離前および閉創前に記録する。
- 術後声帯麻痺の予測を，甲状腺剥離前と閉創時の振幅値や波形の比較で行うため，IONMの記録が必須となる。

解　説

IONMの器械には，神経を電気的に刺激してEMG反応を測定した際に，V1，R1，R2，V2や日本語表記で左右迷走　前後，左右反回神経　前後，上喉頭神経　前後などのように測定した波形に名称をつけて電子的に保存する機能が付属している。この機能を活用することで，術中，反回神経や上喉頭神経外枝の健全性の確認が可能となる。一方，術後においても，法的事由や臨床研究目的にデータを利用する可能性があり，何らかの形でカルテに保存することが望ましい（**IONM記録用紙参照**）。

IONM　記録用紙

手術日　　年　　月　　日

患者ID	患者氏名	術前声帯麻痺
		なし 右声帯麻痺 左声帯麻痺

右				左			
刺激 タイミング	刺激 部位	刺激強度 mA	振幅 μV	刺激 タイミング	刺激 部位	刺激強度 mA	振幅 μV
摘出前	V1			摘出前	V1		
	R1				R1		
	S1		□CT収縮あり □不明		S1		□CT収縮あり □不明
摘出後	S2		□CT収縮あり □不明	摘出後	S2		□CT収縮あり □不明
	R2				R2		
	V2				V2		

□　右 LOS	□　左 LOS
□　Segmental type 喉頭入口部から　　cm	□　Segmental type 喉頭入口部から　　cm
□　Diffuse type	□　Diffuse type

V：迷走神経　R：反回神経　S：上喉頭神経外枝　CT：輪状甲状筋

第４章　上喉頭神経外枝に対するIONM

Summary Statement

- 甲状腺上極の血管処理を行う際には上喉頭神経外枝を損傷するリスクがある。上喉頭神経外枝の同定にはIONMが有効で，術後の音声障害もIONM使用群で有意に少ない。
- 上喉頭神経外枝を電気的に刺激した際には，術野にて輪状甲状筋の収縮を視認するか，電極付き気管内挿管チューブにて，声帯筋（甲状披裂筋）のEMG反応を確認することで，上喉頭神経外枝同定が可能である。
- 巨大甲状腺腫を伴うバセドウ病や大きな結節を伴う症例，甲状腺上極に位置する悪性腫瘍症例では，通常よりも上喉頭神経外枝損傷リスクが高く，特に注意が必要である。
- 上喉頭神経外枝の温存とともに，作用筋である輪状甲状筋もできる限り筋膜を残して温存することが重要である。
- 甲状腺上極の血管処理終了直後，処理を行った部位より頭側で上喉頭神経外枝を刺激して輪状甲状筋を収縮させると，上喉頭神経外枝の健全性を確認できる。

解　説

上喉頭神経外枝**(図2)**は，甲状腺近傍では輪状甲状間隙（甲状腺上極内側と下咽頭収縮筋の間）を走行して輪状甲状筋へ至り，これを支配する。輪状甲状筋が収縮すると甲状軟骨がやや前方へ傾き，これによって声帯の緊張が高まることで高音や大声の発声が可能となる。症例によって，甲状腺から離れて走行する場合から，上甲状腺動静脈に絡んで，甲状腺上極近傍を走行する場合まで様々である[1]。IONMが普及するまでは，甲状腺上極の被膜近傍で血管処理を行うことで上喉頭神経外枝は温存できるとされてきた。しかし，甲状腺上極近傍または背側を走行する上喉頭神経外枝が一定数存在することが明らかとなり，さらに甲状腺腫大や大きな結節を伴う場合にはさらにその確率が増えることが報告された[2]。近年，上喉頭神経外枝の同定にはIONMが有意に有効（使用群89.2～83.8％：非使用群17.8～34.3％）で，術後の音声障害もIONM使用群で有意に少ないことが報告された[3, 4]。

上喉頭神経外枝のIONMでは，上喉頭神経外枝を電気的に刺激した際，術野にて輪状甲状筋の収縮を視認するか（cricothyroid twitch），電極付き気管内挿管チューブにて，声帯筋（甲状披裂筋）のEMG反応を確認することで，上喉頭神経外枝同定が可能である[4, 5]。甲状披裂筋が収縮する理由としては，上喉頭神経外枝と反回神経との喉頭内交通枝（Human communicating nerve）の存在が報告されている[6]。Human communicating nerveは70–80％くらいの確率で存在するとされ，この交通枝がない症例では，甲状披裂筋の収縮はないこととなり，輪状甲状筋の収縮を直接観察して判断する。

巨大甲状腺腫を伴うバセドウ病などで，輪状甲状筋の前面を甲状腺組織が覆うような症例では，輪状甲状筋の収縮を視認することが困難である一方，電極付き気管内挿管チューブで声帯筋のEMG反応が得られない症例もある。甲状腺，副甲状腺手術で甲状腺上極近傍を操作する際には，いずれかの方法で上喉頭神経外枝の同定することが推奨される。なお，甲状腺上極の血管処理後，上喉頭神経外枝の健全性を確認する際には，血管処理終了直後に，処理を行った部位より頭側で上喉頭神経外枝を刺激して輪状甲状筋を収縮させることで確認可能である。甲状腺上極の血管処理直後であれば，血管処理を行った部位を容易に同定できるが，その後に上喉頭神経外枝の健全性確認を行おうとしても，血管処理を行った最頭側の位置が識別困難となるためである。

また，反回神経の作用筋である喉頭内筋群と異なり，上喉頭神経外枝の作用筋である輪状甲状筋は術野に露出され，錐体葉切除時に損傷されやすいため，筋膜を残して損傷しないように温存することが重要である。

【文　献】

1. Cernea CR, Ferraz AR, Nishio S, et al.: Surgical anatomy of the external branch of the superior laryngeal nerve. Head Neck 14: 380-383, 1992
2. Cernea CR, Nishio S, Hojaij FC: Identification of the external branch of the superior laryngeal nerve (EBSLN) in large goiters. Am J Otolaryngol 16: 307-311, 1995
3. Barczyński M, Konturek A, Stopa M, et al.: Randomized Controlled Trial of Visualization versus Neuromonitoring of the External Branch of the Superior Laryngeal Nerve during Thyroidectomy. World J Surg 36: 1340-1347, 2012
4. Masuoka H, Miyauchi A, Higashiyama T, et al.: Prospective randomized study on injury of the external branch of the superior laryngeal nerve during thyroidectomy comparing intraoperative nerve monitoring and a conventional technique. Head Neck 37: 1456-1460, 2015
5. Barczyński M, Randolph GW, Cernea CR, et al.: External branch of the superior laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: International Neural Monitoring Study Group standards guideline statement. Laryngoscope 123 Suppl 4: s1-14, 2013

6. Wu BL, Sanders I, Mu L, et al.: The human communicating nerve. An extension of the external superior laryngeal nerve that innervates the vocal cord. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 120 : 1321-1328, 1994

第５章　内視鏡下手術におけるIONM

Summary Statement

- 内視鏡下甲状腺手術においても全症例にIONMを用い，６steps法を遵守する。

解　説

内視鏡下甲状腺手術は2016年に良性甲状腺腫，副甲状腺，バセドウ病に対して，2018年には悪性腫瘍に対して保険収載され，現在本邦で広く行われるようになり，今後もさらなる普及が期待されている。内視鏡下手術でも発声機能に関わる反回神経や上喉頭神経外枝の損傷を回避することは必須であり，むしろ視野の広い開創手術と異なり，術中，オリエンテーションのつきにくい内視鏡下手術においてはIONMの有用性は高いと思われる。

内視鏡下手術においてIONMを最大限に利用するにあたり，４つのポイントを解説する。

１）標準手技の徹底

開創手術と同様に内視鏡下手術でもINMSGより提唱されている４steps法に加えて手術前後の声帯運動の確認を行う６steps法を徹底すべきである[1]。術中の神経の健全性の確認だけでなく，手術前後で喉頭ファイバーによる声帯運動を目視し確認しておく必要がある。

２）術中に発生する神経障害のメカニズムについての理解

反回神経麻痺の原因として神経の切断の他，圧迫・挫滅損傷，牽引損傷，電気･熱損傷，結紮・絞扼損傷，虚血などがあるとされる[2, 3]。エナジーデバイスによる思わぬ熱損傷のリスクにも留意する必要があるが，内視鏡手術では鉗子類を介した触覚となるため過剰牽引による反回神経麻痺が生じやすく，その点に留意したIONMの使用が重要となる。

３）反回神経の解剖学的バリエーションへの理解

反回神経喉頭外分枝や反回神経とBerry靭帯との関係，反回神経と下甲状腺動脈との関係，非反回下喉頭神経，上喉頭神経外枝の走行パターンなど，甲状腺手術において遭遇する解剖学的バリエーション[4]について，内鏡視下手術における拡大視野下ではIONMを使用することで，早期に正確な認知が可能となる。

４）術中持続神経モニタリング（Continuous Intraoperative Nerve Monitoring：C-IONM）の使用

反回神経を肉眼的に温存しても牽引や圧迫が原因と考えられる麻痺はある一定の確率で出現するが，C-IONMを適切に使用することで，その頻度を少なくすることができる[5〜8]。コストもかかり，また内視鏡下手術においてC-IONMを使用するためには①電極を装着しやすいように迷走神経を血管テープで牽引②鉗子類と干渉しないようにコードを胸鎖乳突筋の鎖骨枝と胸骨枝の間を通す，などの工夫が必要であるが，適切に使用することで特に過剰牽引による反回神経麻痺を減らすことが期待される。

【文　献】

1. Randolph GW, Dralle H, Abdullah H, et al.: Electrophysiologic recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: international standards guideline statement. Laryngoscope 121: 116, 2011
2. Lee HY, Cho YG, You JY, et al.: Traction injury of the recurrent laryngeal nerve: Results of continuous intraoperative neuromonitoring in a swine model. Head & neck 38: 582-588, 2016
3. Chiang FY, Lee KW, Chen HC, et al.: Standardization of Intraoperative Neuromonitoring of Recurrent Laryngeal Nerve in Thyroid Operation. World J Surg 34: 223-229, 2010
4. Brandon M, Jens V, Matthew J, et al.: Extralaryngeal branching of the recurrent laryngeal nerve: a meta-analysis of 28,387 nerves. Langenbecks Arch Surg 401: 913-923, 2016
5. Noda T, Ishisaka T, Okano K, et al.: Experience with the use of intraoperative continuous nerve monitoring in video-assisted neck surgery and external cervical incisions. Laryngoscope Investig Otolaryngol 6: 346-353, 2021
6. Del Rio P, Bignam E: Intraoperative monitoring in minimally invasive endocrine surgery from minimally invasive video-assisted technique to transoral endoscopic thyroidectomy vestibular approach. Gland Surg 8: 315-317, 2019
7. Dionigi G, Kim HY, Wu CW, et al.: Neuromonitoring in endoscopic and robotic thyroidectomy. Updates Surg 69: 171-179, 2017
8. Dionigi G, Chiang FY, Hui S, et al.: Continuous intraoperative neuromonitoring (C-IONM) technique with the automatic periodic stimulating (APS) accessory for conventional and endoscopic thyroid surgery. Surg Technol Int 26: 101-114, 2015

第6章　副甲状腺手術におけるIONM

Summary Statement

- 副甲状腺手術においても全症例にIONMを用い，6steps法を遵守する。
- 特に再発症例や腎性副甲状腺機能亢進症などではIONMの使用により声帯麻痺を減少できる可能性が高い。

解　説

原発性副甲状腺機能亢進症，腎性副甲状腺機能亢進症が副甲状腺手術の大半を占めると考えられる。原発性副甲状腺機能亢進症は80–85%が１腺腫大の副甲状腺腺腫，５％が多腺腫大の副甲状腺腺腫，10–15％が過形成，１％未満が副甲状腺癌となっている[1]。副甲状腺腺腫を術前から疑うような症例では，術前画像診断の進歩により原因となっている副甲状腺腫瘍の正確な位置診断が可能となっているためminimally invasive parathyroidectomy（MIP）が行われることが多くなっている[2〜4]。副甲状腺腺腫はときとして，数グラムを超えるような巨大な副甲状腺であることもある。MIPを行う場合には，狭い視野で手術を行うため，反回神経を確実に確認して温存することが大切となる[5]。副甲状腺腺腫が上腺である場合に，反回神経との癒着が認められるとの報告もあり，術前画像検査にて副甲状腺の上腺の腫大を認める場合には注意が必要である[6]。

過形成を疑うような症例では，基本的には副甲状腺全摘術+自家移植術が行われる[7]。この場合，両側の副甲状腺を検索する必要があるが，副甲状腺数は個人により異なり，さらに胸腺内にも過剰腺を認めることがあるため，両側胸腺舌部を摘出することが望まれる[7, 8]。さらに，副甲状腺を検索する場合に，副甲状腺の上腺は反回神経にそって存在することもあり，反回神経は副甲状腺を検索するための重要なanatomical landmarkとなっている**（図11）**[9, 10]。そのため副甲状腺の上腺を検索する過程や，胸腺舌部を摘出する過程で反回神経を損傷する可能性があり，反回神経を確実に確認して温存することが大切である。

副甲状腺癌の場合は，術前より副甲状腺ホルモンの異常高値，血清カルシウムの異常高値などから副甲状腺癌を疑って，手術を行う場合がある。一方で，副甲状腺腺腫による原発性副甲状腺機能亢進症の術前診断で手術をはじめても，予想外に副甲状腺が周囲組織と癒着しており，術中に副甲状腺癌を疑うような症例も認められる[11]。そのような場合，時として甲状腺を含めた周囲組織の合併切除が必要となる。さらに反回神経との癒着の可能性も想定される。

腎性副甲状腺機能亢進症では，副甲状腺全摘術+自家移植術，さらに両側胸腺舌部の摘出が行われる[12, 13]。特に，腎性副甲状腺機能亢進症では慢性腎不全患者であるため，組織がもろく易出血性であるため，出血により視野が不良になる可能性がある。さらに，副甲状腺内で出血，石灰化が起こっている場合には，反回神経と癒着している症例も認められる[14, 15]。特に副甲状腺上腺が腫大して通常より尾側に存在している様な症例では反回神経との癒着のリ

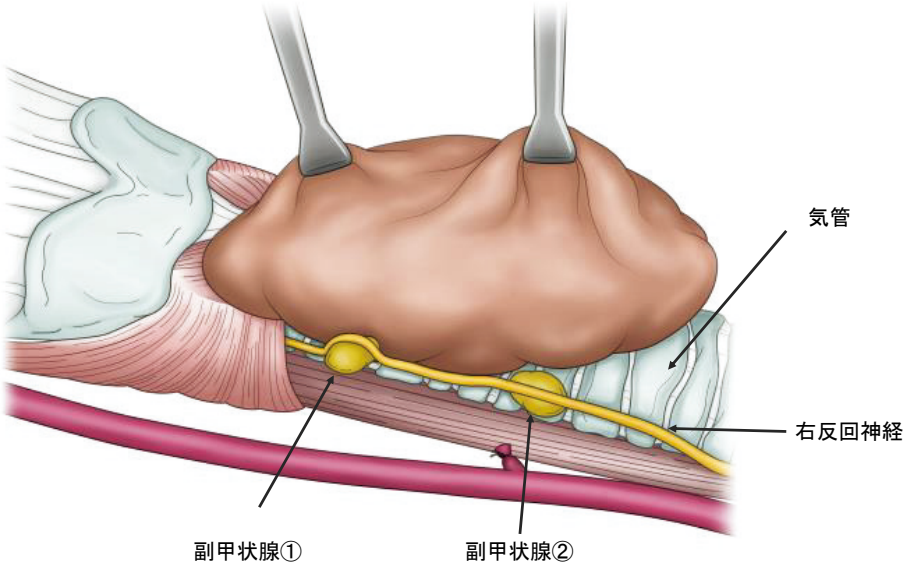


図11. 反回神経と副甲状腺との位置関係
副甲状腺を検索する場合に，副甲状腺の上腺は反回神経にそって存在することがあり，反回神経は副甲状腺を検索するための重要なanatomical landmarkとなる。
副甲状腺①：反回神経入口部周囲に存在する副甲状腺上腺が反回神経と癒着
副甲状腺②：腫大した副甲状腺上腺が下垂して反回神経と癒着

スクが多いとの報告もあり注意が必要である。また，副甲状腺検索に難渋する場合，甲状腺内に存在する副甲状腺の可能性があるため，甲状腺部分切除が必要となる場合もある[10]。Berry靱帯周囲に副甲状腺が存在することもあり，反回神経を露出することが必要になることもある**(図11)**[10]。術前画像診断から以上のような状況を予測することは，困難であることが多い。

原発性副甲状腺機能亢進症，腎性副甲状腺機能亢進症ともに，再手術症例では甲状腺手術における再手術の場合と同様に，以前の手術による癒着が高度であり，反回神経の位置を特定，温存が困難となる可能性もあり，反回神経損傷のリスクが高くなる[16]。また，腎性副甲状腺機能亢進症では，過去にpercutaneous ethanol injection therapy（PEIT）が行われていることもあり，副甲状腺と反回神経が癒着している可能性もあり注意が必要である[17, 18]。

【文　献】

1. Randolph GW : Chapter 55. Principles in surgical Management of primary hyperparathyroidism. In : Surgery of the Thyroid and Parathyroid Glands. 3rd ed Elsevier—Health Sciences Division Philadelphia, PA, 2020, P502-516.
2. Udelsman R, Lin Z, Donovan P : The superiority of minimally invasive parathyroidectomy based on 1650 consecutive patients with Primary hyperparathyroidism. Annals of surgery 253 : 585-591, 2011
3. Randolph GW : Chapter 54. Guide to preoperative parathyroid localization testing. In : Surgery of the Thyroid and Parathyroid Glands. 3rd ed Elsevier—Health Sciences Division Philadelphia, PA, 2020, P494-501.
4. Randolph GW : Chapter 57.Minimally invasive single gland parathyroid exploration. In : Surgery of the Thyroid and Parathyroid Glands. 3rd ed Elsevier—Health Sciences Division Philadelphia, PA, 2020, P502-516.
5. Noureldine S. I., Gooi Z, Tufano R. P : Minimally invasive parathyroid surgery. Gland surgery 4 : 410-419, 2015
6. Li P, Liang QZ, Wang DL, et al. : The transcutaneous electromyography recording method for intraoperative neuromonitoring of recurrent laryngeal nerve during minimAlly invasive parathyroidectomy. Sci Rep 10 : 7609. doi : 10.1038/s41598-020-64675-0
7. Randolph GW : Chapter 62. Parathyroid Management in the MEN syndromes. In : Surgery of the Thyroid and Parathyroid Glands. 3rd ed Elsevier—Health Sciences Division Philadelphia, PA, 2020, P576-584.
8. Akerström G, Malmaeus J, Bergström R : Surgical anatomy of human parathyroid glands. Surgery 95 : 14-21, 1984
9. Ghani U, Assad S, Assad S : Role of Intraoperative Nerve Monitoring During Parathyroidectomy to Prevent Recurrent Laryngeal Nerve Injury. Cureus 8 : e880, 2016
10. Randolph GW : Chapter 60. Surgical Management of multiglandular parathyroid disease. In : Surgery of the Thyroid and Parathyroid Glands. 3rd ed Elsevier—Health Sciences Division Philadelphia, PA, 2020, P502-516.
11. Randolph GW : Chapter 64. Parathyroid carcinoma. In : Surgery of the Thyroid and Parathyroid Glands. 3rd ed Elsevier—Health Sciences Division Philadelphia, PA, 2020, P591-596.
12. Randolph GW : Chapter 61. Surgical management of secondary and tertiary hyperparathyroidism. In : Surgery of the Thyroid and Parathyroid Glands. 3rd ed Elsevier—Health Sciences Division Philadelphia, PA, 2020, P564-575.
13. Hiramitsu T, Hasegawa Y, Futamura K, et al. : Treatment for secondary hyperparathyroidism focusing on parathyroidectomy. Front Endocrinol (Lausanne) 14 : 1169793. doi : 10.3389/fendo.2023.1169793, 2023
14. Randolph GW : Chapter 65. Surgical pathology of the parathyroid glands. In : Surgery of the Thyroid and Parathyroid Glands. 3rd ed Elsevier—Health Sciences Division Philadelphia, PA, 2020, P597-604.
15. Hiramitsu T, Tomosugi T, Okada M, et al. : Intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring using endotracheal electromyography during parathyroidectomy for secondary hyperparathyroidism. J Int Med Res 49 : 3000605211000987. doi : 10.1177/0300060521100987, 2021
16. Dralle H, Sekulla C, Haerting J, et al. : Risk factors of paralysis and functional outcome after recurrent laryngeal nerve monitoring in thyroid surgery. Surgery 136 : 1310-1322, 2004
17. Tominaga Y, Numano M, Tanaka Y, et al. : Surgical treatment of renal hyperparathyroidism. Semin Surg Oncol 13 : 87-96, 1997
18. Nakamura M, Marui Y, Ubara Y, et al. : Effects of percutaneous ethanol injection therapy on subsequent surgical parathyroidectomy. NDT Plus 1 (Suppl 3) : 39-41, 2008

第7章　患者への説明と同意

Summary Statement

- 手術前にIONMの目的について説明し，理解をえることが必要である
- IONMでは，高い確率で術後の声帯運動を予測できるが，正診率は100％ではないことを説明する

解　説

IONMは，現在すべての甲状腺手術及び副甲状腺手術の使用において保険収載されている。術式を説明するのと同時に，IONM施行の有無についても話し合うことが必要である。IONMの希望があるにも関わらず，機器が未設置，または機器の不具合等の問題で施行できない場合には，他施設に紹介することや機器の問題が解消できるまで手術を延期することも考慮する。又，手術中に機器の故障等によりIONMが施行できない場合にも手術を続行するか術前に相談が必要である。

IONMを施行することにより，特に再発症例などでは声帯麻痺の頻度を減らす可能性があること，上喉頭神経外枝の確認温存率があがること，術後声帯麻痺の頻度を術中に予測することができること，それに伴い予測しない両側声帯麻痺による呼吸困難に伴う緊急気管切開をさけることができる可能性が高いことなどを説明する。一方で，100%の正診率ではなく，偽陽性＋偽陰性は1-13％の頻度でおこることも同時に理解してもらえるように努める[1〜4]。

【文　献】

1. Wu CW, Huang TY, Randolph GW, et al.: Informed Consent for Intraoperative Neural Monitoring in Thyroid and Parathyroid Surgery - Consensus Statement of the International Neural Monitoring Study Group. Frontiers in endocrinology 12: 795281, 2021
2. Randolph GW, Dralle H, Abdullah H, et al.: Electrophysiologic recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: international standards guideline statement. Laryngoscope 121 Suppl 1: S1-16, 2011
3. Dionigi G, Bacuzzi A, Barczynski M, et al.: Implementation of systemAtic neuromonitoring training for thyroid surgery. Updates in surgery 63: 201-207, 2011
4. Stack BC, Jr., Angelos P: The Ethics of Disclosure and Counseling of Patients With Thyroid Cancer. JAMA otolaryngology-- head & neck surgery 141: 957-958, 2015

第８章　安全性及び有害事象

Summary Statement

- 適切な条件下ではIONMによる重大な有害事象は発生しない。

解　説

現在2024年12月まで，文献報告から推測するに約73,000以上の神経に対してIONMが施行されている。小児を含めて，迷走神経に電気刺激を与えても，明らかな心肺機能や関連の神経系への悪影響は報告されていない[1, 2]。又，迷走神経留置型電極による連続刺激でも明らかな有害事象は報告されていない[3〜5]。

１－２mAの30Hz未満の電気刺激であれば無髄神経であるC線維を活性化しないため副交感神経系が優位にはなるものの，脈拍や心拍リズム，血行動態パラメーター（血圧等）に影響を与えず，胃食道関連の合併症の明らかな増加は認められない[6〜10]。一方で30Hz以上の場合には，反復刺激による迷走神経関連の副作用が出現する[11]。現在日本で使用可能である神経モニタリング機器では，30Hz以上の刺激にならないように設定されており，通常は４Hz（１秒毎に４回）である[12, 13]。適切な刺激間隔であれば１－２mAで最長16時間連続刺激をおこなった場合でも，副作用はなかったと報告されている[14, 15]。

記録電極として使用される電極付き気管内挿管チューブは，通常の気管内チューブと同様にカフの位置異常による換気障害や挿管による喉頭浮腫に注意を要する。IONM時には，電極と声帯の接着面を広く確保して充分な誘発活動電位を得る為に，通常よりやや太めの径を選択することがある。電極付き気管内挿管チューブには金属の電極が配線されており，やや強い弾性をもつため，頸部の伸展などによりチューブが曲げられると，その弾性力によって喉頭に強い圧力がかかり喉頭浮腫の一因になることが報告されていた[16]。現在は改良がおこなわれ，気管チューブの材質は，シリコンからポリ塩化ビニルに変更となってより柔らかくなり，電極部の材質もステンレスから導電性塗料に変更となり，組織接触に対する圧迫が軽減されている。

【文　献】

1. Legré M, Bois E, Bernard S, et al.: Recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroidectomy and parathyroidectomy in children. International journal of pediatric otorhinolaryngology 131: 109846, 2020
2. White WM, Randolph GW, Hartnick CJ, et al.: Recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroidectomy and related cervical procedures in the pediatric population. Archives of otolaryngology--head & neck surgery 135: 88-94, 2009
3. Schneider R, Przybyl J, HermAnn M, et al.: A new anchor electrode design for continuous neuromonitoring of the recurrent laryngeal nerve by vagal nerve stimulations. Langenbeck's archives of surgery 394: 903-910, 2009
4. Mathieson T, Jimaja W, Triponez F, et al.: Safety of continuous intraoperative vagus nerve neuromonitoring during thyroid surgery. BJS open 7: zrad039. doi. 10.1093/bjsopen/zrad039, 2023
5. Van Slycke S, Gillardin JP, Brusselaers N, et al.: Initial experience with S-shaped electrode for continuous vagal nerve stimulation in thyroid surgery. Langenbeck's archives of surgery 398: 717-722, 2013
6. LamAdé W, Ulmer C, Seimer A, et al.: A new system for continuous recurrent laryngeal nerve monitoring. MinimAlly invasive therapy & allied technologies. MITAT: official journal of the Society for Minimally Invasive Therapy 16: 149-154, 2007
7. LamAdé W, Meyding-LamAdé U, Buchhold C, et al.: First continuous nerve monitoring in thyroid gland surgery. Der Chirurg; Zeitschrift fur alle Gebiete der operativen Medizen 71: 551-557, 2000
8. Ulmer C, Friedrich C, Kohler A, et al.: Impact of continuous intraoperative neuromonitoring on autonomic nervous system during thyroid surgery. Head & neck 33: 976-984, 2011
9. Pino A, Wu CW, Kim HY, et al.: C2 Xplore® for Intermittent and Continuous Laryngeal Nerve Monitoring: Technical Note. Surgical technology international 38: 145-150, 2021
10. Ben-Menachem E: Vagus nerve stimulation, side effects, and long-term safety. Journal of clinical neurophysiology : official publication of the American Electroencephalographic Society 18: 415-418, 2001
11. Terris DJ, Chaung K, Duke WS: Continuous Vagal Nerve Monitoring is Dangerous and Should not Routinely be Done During Thyroid Surgery. World J Surg 39: 2471-2476, 2015
12. Schneider R, Randolph GW, Barczynski M, et al.: Continuous intraoperative neural monitoring of the recurrent nerves in thyroid surgery: a quantum leap in technology. Gland surgery 5: 607-616, 2016
13. Groves DA, Brown VJ: Vagal nerve stimulation: a review of its applications and potential mechanisms that mediate its clinical effects. Neuroscience and biobehavioral reviews 29: 493-500, 2005

14. Agnew WF, McCreery DB : Considerations for safety with chronically implanted nerve electrodes. Epilepsia 31 Suppl 2 : S27-32, 1990
15. McCreery DB, Yuen TG, Agnew WF, et al. : A characterization of the effects on neuronal excitability due to prolonged microstimulation with chronically implanted microelectrodes. IEEE transactions on bio-medical engineering 44 : 931-939, 1997
16. Birkholz T, Saalfrank-Schardt C, Irouschek A, et al. : Comparison of two electromyographical endotracheal tube systems for intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring : reliability and side effects. Langenbeck's archives of surgery 396 : 1173-1179, 2011

第9章　コラム

9.1　Staged surgery（二期的手術）

IONM施行下の甲状腺全摘術を予定する場合には，可能な限り気管切開を避けることをコンセプトとしたstaged thyroidectomyについても考慮する必要がある[1, 2]。Staged thyroidectomyでは，術中に一側の神経健全性が失われた場合には，対側の甲状腺切除を行わず手術を終了し，一側の反回神経の健全性を担保する考え方である。その後声帯運動の回復が確認できた時点で，残存甲状腺の切除を計画する。

欧米においては，良性疾患や低リスク甲状腺乳頭癌において全摘術を考慮する場合にはstaged thyroidectomyを行うことが推奨されている。良性の場合には主病変のある側から手術を施行し，amplitudeが低下しその後充分な回復が見込めない場合（ベースラインの50%未満及びlatencyが110%以上延長）では，一側で手術を一旦終了する。術後定期的な声帯運動の確認を行い，声帯運動が回復してから，対側の手術を考慮する。

一方，日本においては基本的には甲状腺を温存する術式を選択することが多い。低リスク甲状腺乳頭癌に対しては，葉切除が推奨されており，高リスク群のみに全摘術は推奨されている。バセドウ病においても，薬物療法やアイソトープ治療がまずは考慮され，手術が選択される症例は抗甲状腺剤の副作用や眼症，妊娠早期希望など全摘術を考慮する状況がより多いと考えられる。このような条件下においては，一側の反回神経の健全性が失われた場合にも，そのまま手術を続行し甲状腺全摘を完遂することが多い。

いずれにおいても，二期的手術を考慮するか，術中に気管皮膚瘻を造設するかなど様々な術中の判断の可能性について，あらかじめ患者に十分に説明したうえでshared decision-makingを行う。

9.2　術前声帯麻痺を認める症例に対する対応

声帯麻痺は，非甲状腺由来のものも多く**(表3)**，術前に声帯麻痺の原因を判断する必要がある。声帯麻痺が切除を予定している側なのか対側なのか，一過性なのか永続性なのかもあわせて評価する。特発性声帯麻痺が疑われる場合には，数ヶ月で改善することもあり，判断期間を設けた上での手術加療が望ましい。

良性疾患では，声帯麻痺のない側の手術はできる限りさけ，手術加療以外の治療方法を選択する。一方で，頻度は0.35-0.95%と低いものの甲状腺良性疾患である橋本病やリーデル甲状腺炎，甲状腺嚢胞内出血による圧迫や急速伸展が原因と考えられる声帯麻痺が報告されている[3〜5]。この場合には，発症早期では神経は完全に損傷されている訳ではない[6]。反回神経麻痺の回復の可能性は麻痺の持続時間に相関する為，橋本病やリーデル甲状腺炎など原因が除去できない場合には，発症早期に反回神経麻痺の原因を除去できることで永続性麻痺を回避できる可能性がある。一方で甲状腺嚢胞内出血などが原因の場合には，血腫は数か月で自然吸収される為，原因が取り除かれることにより神経麻痺が改善することも念頭におく必要がある。

甲状腺癌由来の声帯麻痺であれば，cT4aに相当し高リスク群と判断され，基本的には甲状腺全摘術が推奨される。浸潤も高度であることが多く，神経合併切除が必要なことが多い。C-IONMを準備**(9.6参照)**し，非声帯麻痺側の迷走神経に持続刺激電極を装着し，麻痺側を手術している間を含めて一側の神経の健全性を保つように注意を払うことも考慮する。

声帯麻痺のある癌患者で甲状腺全摘術を予定する場合には，声帯麻痺側から施行するのか，声帯麻痺にない側からはじめるかは意見が分かれる。INMSGのガイドラインでは，非声帯麻痺側から手術することが推奨されている[1]。非声帯麻痺側であれば神経を温存できる可能性が高い。万が一神経が障害をうけるとしても，ダメージは軽く改善するまでの時間が短く，手術終了時までには神経の健全性が確保できる可能性が高く，気管切開を回避できる。一方で，癌の浸潤が反回神経のみに留まっている症例では，再発や予後への影響は少ない[7〜9]。患側から手術を開始し，反回神経以外の周囲臓器への浸潤を確認した後，その他の周辺臓器への浸潤が軽微な場合には患側のみ切除し，麻痺のない側の甲状腺葉を温存して一側の反回神経の健全性を保つという考えもある。

9.3　術中反回神経浸潤を認めた際のIONMを用いたマネージメント

甲状腺癌はしばしば反回神経に浸潤し声帯麻痺をきたすが，術前に声帯麻痺がない症例でも術中に甲状腺癌による反回神経浸潤を認めることがある。このような症例では，できるだけ反回神経の剥離温存に努めることによって，癌の再発リスクを増やすことなく声帯運動を温存できる[10]。また，反回神経が腫瘍からの剥離によって，元の太さの半分以下まで細くなって温存（反回神経部分層切除）されても，約80%の症例で神経機能は元通り回復する[11]。一方，既に神経浸潤によって神経伝導が途絶し，声帯麻痺を来している場合には，剥離温存するメリットはなく，神経合併切除および神経再建術の適応となるため，その術中判断は重要である。これまで，術前喉頭鏡所見で術前声帯麻痺が

認められる症例では，神経合併切除術を行い，声帯麻痺が認められない症例では，なるべく神経剥離温存術を施行することで，概ねコンセンサスが得られてきた[12]。

近年，IONMが普及し，反回神経の状態をよりリアルタイムに評価できるようになってきた。術前喉頭鏡所見で何らかの声帯運動異常を認めても，神経剥離前にIONMのEMG反応が約１/３の症例で認められ[13, 14]，これらの症例の中には，神経を剥離温存できる症例が含まれていた[14]。また，神経浸潤を認める症例において，EMG反応が認められない，または健常側よりも明らかにamplitudeが低値の症例では，神経合併切除術を要する可能性が高い[14]。

反回神経浸潤症例においては，術前喉頭鏡検査を施行することは必須であるが，その上で，術中，IONMを使用してリアルタイムに反回神経機能を評価することで，より的確に，神経を剥離温存するのか神経合併切除術を施行するかの判断が可能となる[15]。

9.4 両側迷走神経の電位が消失した場合の対応

両側の迷走神経のEMG反応が消失してしまった場合には，約30%に気管切開，21%に気管切開以外の気道確保の必要性があったと報告されている[16]。内分泌外科学会会員の全国アンケート報告（2023）では，両側の迷走神経のEMG反応が消失した時点での対応は，“抜管して経過観察をする”が60%を占め，“即時気管切開”（23%）や“挿管したまま様子をみる”（10%）の頻度は低い結果であった[17]両側LOSとなった際は，両側声帯麻痺の可能性を考慮しなければならない。IONMの最も大切な有用性の１つは，術中に両側声帯麻痺が疑われた場合にはあらかじめ気管切開などの外科的気道確保を行っておくことで，手術室外での緊急気管切開やさらに深刻な術後の窒息という重大な合併症を回避可能なことにある[15]。V2の評価は，神経障害が早期に回復する可能性もある為，LOSから20分待った後の最終評価が望ましいが**(3.5参照)**，正しい評価手順を踏んだ後でも，両側V2がLOSの場合には，医療安全面の観点からも，気管切開を含めた何らかの気道確保を本プラクティカルガイドでは推奨する**(9.2参照)**。

ただし，喉頭ファイバースコピーの実施や外科的気道確保の経験など，施設によって両側声帯麻痺に対応できる体制に差があることも事実である。よって，経験豊富で体制が充実する施設では経過観察や抜管後声帯運動を確認してから外科的気道確保を判断することも選択肢の１つになりうる。医療安全を第一に考え，施設ごとに両側LOSとなった際の対応を事前に検討しておくことが必要である。

9.5 頸部外側区域リンパ節郭清時のIONM

頸部外側区域リンパ節郭清時には，副神経，横隔神経，舌下神経，顔面神経下顎縁枝**(図12)**などの運動神経にも注意をはらう必要がある。IONMを施行することによりその走行を確認することが可能になり，神経機能を客観的に確認できる。いずれも運動神経である為，それぞれの支配筋収縮を確認することで判断が可能である。

副神経は，甲状腺癌取扱い規約上内深頸リンパ節（Ⅴ），外深頸リンパ節（Ⅶ）（AJCC Level Ⅱ，Ⅴ）郭清時に損傷する可能性がある。肉眼的に確認が困難な場合には，3.0–4.0mAで神経走行が予測される部位を刺激すると，僧帽筋が収縮することで確認することができる。

横隔神経は，前斜角筋上の深頸筋膜下を走行しており通常では損傷することは比較的少ない。下内深頸リンパ節（甲状腺癌取扱い規約Ⅵ，AJCC Level Ⅳ）に存在するリンパ節が深頸筋膜に浸潤している場合に損傷の可能性がある。通常でも目視が容易であり1.0–2.0mAの刺激で横隔膜が収縮することで確認できる。

舌下神経は，上内深頸リンパ節（甲状腺癌取扱い規約Ⅴb，AJCC Level Ⅱ）を郭清する際に注意が必要である。特に舌静脈を結紮する際には注意が必要である。1.0–2.0mAで顎二複筋後腹下の神経を刺激すると，電極付き気管内挿管チューブでも筋電図波形を得ることができる。

顔面神経下顎縁枝は，広頸筋の筋膜直下に走行しており，目視でも確認できる。下顎付近の皮弁を作成する際や助手が筋鈎で下顎や顎二腹筋の後腹を挙上する際に注意が必要である。1.0mAで顎下部三角をマッピングし，下口唇等の収縮を目視確認する，あるいは口角付近皮下に刺入した針電極で電位を測定する。

9.6 持続的術中神経モニタリング

持続的術中神経モニタリングを施行する為には，留置型刺激電極を迷走神経に設置する。甲状軟骨下縁の高さで頸動脈鞘を1.5–2cmの幅で剥離し，迷走神経を愛護的に露出する。まず間歇的刺激用の刺激プローブで迷走神経を同定後，留置型電極を迷走神経に装着し，基準値となるamplitudeとlatencyを設定する。Amplitudeの基準値は，間欠的術中神経モニタリング（I-IONM）と同様に500μV以上が望ましく，充分なamplitudeの方がその変化を捉えやすい。Amplitudeをモニター上肉眼でリアルタイムに確認することができる為，電極付き気管内挿管チューブの調整はより容易である。電気刺激の頻度は，１秒–１分毎の間で設定可能である為，術操作に応じて調整する。アラーム設定には，様々な設定があるが，ベースラインと比較してamplitude 50%以上低下かつlatencyが10%以上延長を選択することが多い。留置型電極の迷走神経からの離脱や，神経圧

表3. 声帯麻痺の原因

非術後性麻痺	
	頭蓋内疾患（脳血管障害，腫瘍） 脳神経（IX, X）障害 頸部悪性腫瘍（喉頭癌，下咽頭癌，甲状腺癌，食道癌など） 胸部悪性腫瘍（肺癌など） ウイルス感染 内頸静脈塞栓 糖尿病性神経障害
術後性麻痺	
	喉頭手術 頭蓋内手術 頸部手術（甲状腺，神経鞘腫，頸椎腫瘍の前方アプローチ，内頸動脈内膜剥離術など） 胸部手術（心血管系，肺，食道） 挿管性麻痺
特発性	

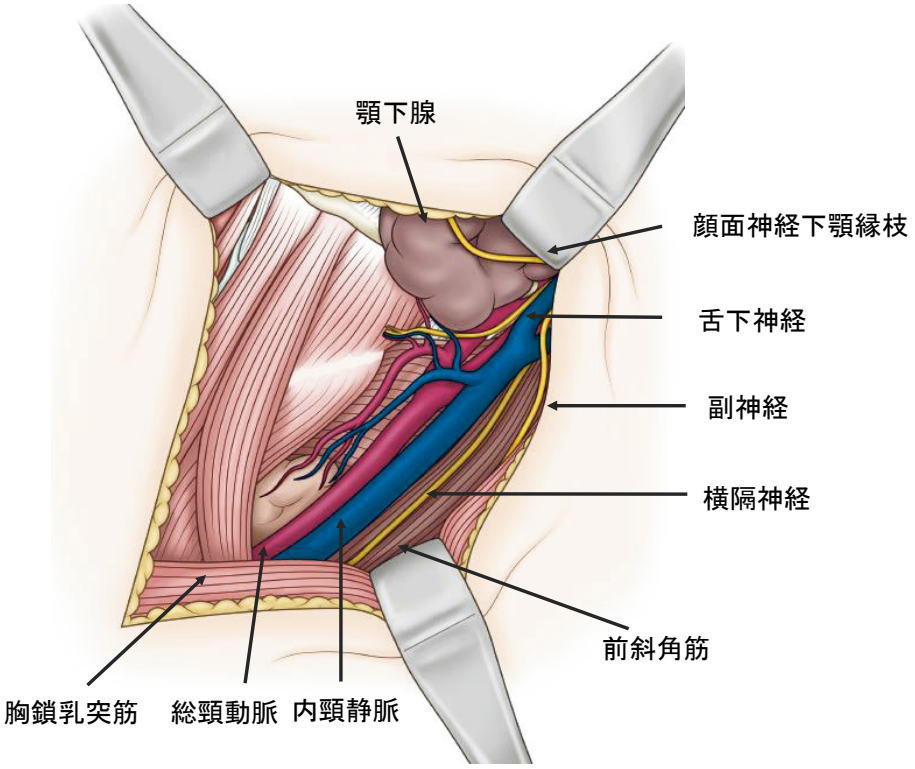


図12. 頸部外側区域リンパ節郭清時に注意すべき神経
副神経：甲状腺癌取扱い規約上内深頸リンパ節（V），外深頸リンパ節（Ⅶ）（AJCC Level Ⅱ, Ⅴ）郭清時
横隔神経：甲状腺癌取扱い規約Ⅵ（AJCC　Level Ⅳ）に存在するリンパ節が深頸筋膜に浸潤している場合
舌下神経，顔面神経下顎縁枝：甲状腺癌取扱い規約Ⅴb（AJCC　Level Ⅱ）を郭清時

迫にも注意する。

C-IONMの利点は，①反回神経のどの部位の損傷でもリアルタイムに確認することができる点②牽引が原因となる神経障害をさけることができる点③神経機能の回復具合をリアルタイムに判断できる点である。特に神経障害の原因として最も高い頻度の牽引操作の場合には，まずはamplitudeが低下し，ついでlatencyが延長してくる[18]。一度LOSまで到達してしまうと，術中に改善する頻度は5.6–30.5％と報告されている[19, 20]。神経損傷の種類（牽引，圧迫，熱損傷など）やその強さ，その操作時間などの要因

で決定される。神経損傷が軽度な時点（アラーム設定値）で，手術操作を一旦停止する，あるいは手術操作の強度や操作時間を短縮するなど，神経に負担を与えない工夫をすることが重要である。これらにより，C-IONMを使用した甲状腺手術後の早期声帯麻痺の頻度は，2.6-2.9％と報告されており，I-IONMの0.8-10.5％に比較して低い［21～25］。

【文　献】

1. Wu CW, Dionigi G, Barczynski M, 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 128 Suppl 3: S18-S27, 2018
2. Schneider R, Randolph GW, Dionigi G, et al.: International neural monitoring study group guideline 2018 part I: Staging bilateral thyroid surgery with monitoring loss of signal. Laryngoscope 128 Suppl 3: S1-S17, 2018
3. Worgan D, Saunders S, Jones J: Recurrent laryngeal nerve paralysis and the non-mAlignant thyroid. The Journal of laryngology and otology 88: 375-378, 1974
4. Rowe-Jones JM, Rosswick RP, Leighton SE: Benign thyroid disease and vocal cord palsy. Annals of the Royal College of Surgeons of England 75: 241-244, 1993
5. Chiang FY, Lin JC, Lee KW, et al.: Thyroid tumors with preoperative recurrent laryngeal nerve palsy: clinicopathologic features and treatment outcome. Surgery 140: 413-417, 2006
6. Kamani D, Darr EA, Randolph GW: Electrophysiologic monitoring characteristics of the recurrent laryngeal nerve preoperatively paralyzed or invaded with malignancy. Otolaryngology--head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery 149: 682-688, 2013
7. Ito Y, Kihara M, Takamura Y, et al.: Prognosis and prognostic factors of patients with papillary thyroid carcinomA requiring resection of recurrent laryngeal nerve due to carcinom. A extension. Endocrine journal 59: 247-252, 2012
8. Brooks JA, Abdelhamid Ahmed AH, Al-Qurayshi Z, et al.: Recurrent Laryngeal Nerve Invasion by Thyroid Cancer: Laryngeal Function and Survival Outcomes. Laryngoscope 132: 2285-2292, 2022
9. Moritani S: Impact of gross extrathyroidal extension into major neck structures on the prognosis of papillary thyroid carcinoma according to the American Joint Committee on Cancer eighth edition. Endocrine journal 67: 941-948, 2020
10. Nishida T, Nakao K, Hamaji M, et al.: Preservation of recurrent laryngeal nerve invaded by differentiated thyroid cancer. Ann Surg 226: 85-91, 1997
11. Kihara M, Miyauchi A, Yabuta T, et al.: Outcome of vocal cord function after partial layer resection of the recurrent laryngeal nerve in patients with invasive papillary thyroid cancer. Surgery 155: 184-189, 2014
12. Shindo ML, Caruana SM, Kandil E, et al.: Management of invasive well-differentiated thyroid cancer: an American Head and Neck Society consensus statement. AHNS consensus statement. Head Neck 36: 1379-1390, 2014
13. Kamani D, Darr EA, Randolph GW: Electrophysiologic monitoring characteristics of the recurrent laryngeal nerve preoperatively paralyzed or invaded with malignancy. Otolaryngol Head Neck Surg 149: 682-688, 2013
14. 舛岡裕雄，宮内　昭，宮　章博：術中神経モニタリングにおける電気的反応と甲状腺癌による反回神経浸潤程度との関連性．Thyroid Cancer Explore　3：69-72，2017
15. Wu CW, Dionigi G, Barczynski M, 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 128: 18-27, 2018
16. Eisele DW: Intraoperative electrophysiologic monitoring of the recurrent laryngeal nerve. Laryngoscope 106: 443-449, 1996
17. 友田智哲，舛岡裕雄，杉谷　巌他：甲状腺，副甲状腺手術時の術中神経モニタリングの現況～全国アンケート報告～．内分泌外会誌　40：38-45，2023
18. Phelan E, Schneider R, Lorenz K, et al.: Continuous vagal IONM Prevents recurrent laryngeal nerve paralysis by revealing initial EMG changes of impending neuropraxic injury: a prospective, multicenter study. Laryngoscope 124: 1498-1505, 2014
19. Schneider R, Randolph G, Dionigi G, et al.: Prospective study of vocal fold function after loss of the neuromonitoring signal in thyroid surgery: The International Neural Monitoring Study Group's POLT study. Laryngoscope 126: 1260-1266, 2016
20. Tomoda C, Yoshioka K, Saito Y, et al.: Clinical classification of recurrent laryngeal nerve palsy. Gland surgery 12: 1203-1208, 2023
21. Barczyński M, Konturek A, Cichoń S: Randomized clinical trial of visualization versus neuromonitoring of recurrent laryngeal nerves during thyroidectomy. The British journal of surgery 96: 240-246, 2009
22. Calò PG, Pisano G, Medas F, et al.: Identification alone versus intraoperative neuromonitoring of the recurrent laryngeal nerve during thyroid surgery: experience of 2034 consecutive patients. Journal of otolaryngology - head & neck surgery = Le Journal d'oto-rhino-laryngologie et de chirurgie cervico-faciale 43: 16, 2014

23. Melin M, Schwarz K, Pearson MD, et al.: Postoperative vocal cord dysfunction despite normAl intraoperative neuromonitoring: an unexpected complication with the risk of bilateral palsy. World J surg 38: 2597-2602, 2014
24. Schneider R, Sekulla C, Machens A, et al.: Postoperative vocal fold palsy in patients undergoing thyroid surgery with continuous or intermittent nerve monitoring. The British journal of surgery 102: 1380-1387, 2015
25. Sedlmaier A, Steinmüller T, Hermanns M, et al.: Continuous versus intermittent intraoperative neuromonitoring in complex benign thyroid surgery: A retrospective analysis and prospective follow-up. Clinical otolaryngology : official journal of ENT-UK ; official journal of Netherlands Society for Oto-Rhino-Laryngology & Cervico-Facial Surgery 44: 1071-1079, 2019

日本内分泌外科学会雑誌

Official Journal of the Japan Association of Endocrine Surgery

甲状腺及び副甲状腺手術時の術中神経モニタリングに対するプラクティカルガイド

第42巻増刊号（通巻187号）　2025年4月25日発行

１部定価4,000円+税

発行所：一般社団法人日本内分泌外科学会
〒112-0012　東京都文京区大塚5-3-13　3F
学会支援機構内
電　話：03-6821-5819
Ｆａｘ：03-5981-6012
Ｅｍａｉｌ：jaes@asas-mail.jp

編集部：日本内分泌外科学会雑誌編集部
〒105-0014　東京都港区芝1-9-3
芝マツラビル１階　大村印刷株式会社内
電　話：03-6459-0066
Ｆａｘ：03-3451-6561
Ｅｍａｉｌ：jaes-jsts@med.omura.jp

令和七年四月二十日印刷
令和七年四月二十五日発行

編集兼
発行人　東京都文京区大塚五―三―一三　三階
一般社団法人学会支援機構内
一般社団法人日本内分泌外科学会

印刷所　大村印刷株式会社

発行所　〒112-0012
東京都文京区大塚五―三―一三　三階
一般社団法人学会支援機構内
電話〇三―五九八一―六〇一一

一般社団法人日本内分泌外科学会

一部定価四〇〇〇円＋税