



HAL
open science

Neuromonitoring en chirurgie thyroïdienne : revue de la littérature

Alice Bruel

► **To cite this version:**

Alice Bruel. Neuromonitoring en chirurgie thyroïdienne : revue de la littérature. Organes des sens. 2021. dumas-03543193

HAL Id: dumas-03543193

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03543193v1>

Submitted on 25 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THESE D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE

Mention Spécialité

DES d'Oto-Rhino-Laryngologie et Chirurgie Cervico-Faciale

Année 2021

N° de thèse 2021-190

Neuromonitoring en chirurgie thyroïdienne : revue de la littérature

Thèse présentée et soutenue publiquement

Le 15 octobre 2021

Par Madame Alice BRUEL

Le président du jury et directeur de thèse :

Monsieur le Professeur Cyril PAGE

Les membres du jury :

Monsieur le Professeur Denis CHATELAIN

Monsieur le Professeur Pascal BERNA

Monsieur le Professeur Yazine MAHJOUB

Monsieur le Docteur Patrice GALLET

A Monsieur le Professeur Cyril PAGE

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

(Oto-Rhino-Laryngologie et Chirurgie de la face et du cou)

Chef du Pôle des 5 Sens

Chef du Service d'ORL et de Chirurgie de la Face et du Cou

Je vous remercie de me faire l'honneur de diriger ma thèse et de présider mon jury.
Merci également pour ces cinq années d'internat, aussi bien pour la formation que vous m'avez apportée, que pour les belles découvertes musicales au bloc.

Soyez assuré de mes sincères remerciements et de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Denis CHATELAIN

Professeur des Universités-Praticien Hospitalier

(Anatomie et cytologie pathologique)

Chef du Service d'Anatomie et Cytologie Pathologiques du CHU d'Amiens Picardie

Je vous remercie de me faire l'honneur de juger mon travail.

Votre expertise en tant qu'anatomopathologiste m'est précieuse.

Soyez assuré de mon plus profond respect.

A Monsieur le Professeur Pascal BERNA

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Chef de Service de Chirurgie Thoracique et des Soins Continus Vasculaires et Thoraciques

Coordinateur Adjoint du Pôle "Thorax - Coeur - Vaisseaux"

Je vous remercie d'avoir accepté de juger mon travail.

Je vous remercie également pour les 6 mois passés dans votre service, ils furent instructifs et fort agréables.

Soyez assuré de mon plus profond respect.

A Monsieur le Professeur Yazine MAHJOUB

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

Anesthésiologie, réanimation, médecine d'urgence

Responsable de l'Unité de Réanimation Cardiaque Thoracique Vasculaire et Respiratoire

Je vous remercie de me faire l'honneur de juger mon travail.

Vos connaissances en anesthésie réanimation me sont précieuses.

Soyez assuré de mon plus profond respect.

A Monsieur le Docteur Patrice GALLET

Maître de Conférences des Universités-Praticien Hospitalier
(Oto-Rhino-Laryngologie et Chirurgie de la face et du cou)

Je te remercie d'avoir accepté de juger mon travail.

Merci pour tes conseils précieux et pour l'accompagnement en simulation et au bloc opératoire.

Aux services qui m'ont formée...

Au Service d'ORL de Laon : Merci aux Docteur Mambie, Delaveau et Tedong pour m'avoir accompagnée lors de mes débuts en ORL. Merci pour la découverte du libéral (promis je me gare mieux qu'à l'époque). Merci pour les petites phrases qui restent : « le mieux est l'ennemi du bien », « la maladie vient à cheval mais elle repart à pied ».

Merci aux infirmières du service et de la consultation pour votre gentillesse.

Merci à l'ensemble de l'équipe du bloc (et en particulier à Gilles, Jean Louis, Laetitia, Marjorie, Odile, Séverine ainsi qu'à Seb que j'ai retrouvé avec plaisir à Beauvais) : Merci pour votre bonne humeur et pour tous les conseils. Mention spéciale pour la technique brevetée pour ramener les patients en salle de réveil sans se fatiguer.

Au service d'ORL du CHU,

A Monsieur le Professeur Strunski, merci pour votre pédagogie et votre bienveillance.

A Aurélie, merci de m'avoir guidée lors de mon internat. Je te remercie pour ta patience au bloc et ta capacité à rendre chaque bloc supervisé plus serein. Merci pour les bons moments passés à l'extérieur.

A Nathalie, merci de m'avoir aidée à comprendre l'otologie et à mieux aborder les enfants en consultation. Merci pour les bons moments avec les CHIPI et le soutien pour mon premier 5km.

A Gladys, merci pour tes connaissances en laryngologie et ta bonne humeur communicative.

A Maxime E, merci pour les interrogations pendant le lavage des mains et pour mes premiers curages comme une grande.

A l'équipe de consultation, Anita, Anne, Carole, Martine, merci pour votre aide lors des nombreuses consultations, désolée pour le (dé)rangement post vidéo de thèse (coucou le ketchup au plafond), merci de toujours venir vérifier si tout va bien.

Aux exploratrices, Anne-Marie et Dominique, merci pour les audios et les caloriques et les cafés entre 2 consultations vertiges.

Aux secrétaires, Anne-Sophie, Catherine, Christine, Corinne et Sonia, merci de réussir à faire de beaux courriers malgré les dictées ratées (alors il faudra rajouter ça puis j'ai oublié ça au milieu et finalement on remet comme avant), et pour les papotages le midi.

A l'équipe d'hospitalisation, merci de m'avoir accompagnée dans mes débuts, de me

pardonnez mes oublis systématiques des horaires des antibiotiques, pour les petits déjeuners et les participations aux vidéos de thèse (alors on a un patient ça fait un petit moment qu'il est là).

A l'équipe du bloc, Amélie, Audrey, Emeline, Ludivine, Nathalie et Sylvie, merci pour le soutien pendant les blocs (d'habitude ils aiment bien cet instrument là) et les discussions pendant les longues fermetures.

Au service de Chirurgie thoracique du CHU : merci à Alejandro, Geoni pour ces 6 mois et pour les conseils que vous avez pu m'apporter.

Merci à Florence, Claire et Jules pour la formation que j'ai pu recevoir et aussi pour les soirées. Merci au service d'hospitalisation et à l'équipe du bloc : les drains, la caméra 3D et les côtes cassées n'ont plus de secrets pour moi.

Au service de CMF à Beauvais : merci au Dr Bonan-Lesur de m'avoir accueillie pendant 7 mois, Merci aussi à Ghassan et Anne-Catherine, on aura eu un semestre particulier à cause du covid, mais j'ai passé un très bon moment à vos côtés. Merci à Christine et Laetitia pour votre gentillesse et pour les nombreux cafés.

Au service de Chirurgie plastique du CHU : merci au Pr Sinna de m'avoir ouvert les portes de votre service, merci à Nizar de tout faire pour que tout se passe bien même si ce n'est pas notre spécialité, je garde aussi en tête le « redresse toi soit fier d'être chirurgien » à ne pas oublier en cas de bloc difficile.

Merci à Abeer, Eva, Géraldine et Pierre-Antoine pour votre patience au bloc et lors des visites à rallonge.

Merci à l'équipe d'hospitalisation et de consultation, les pansements n'ont (presque) plus de secret pour moi.

Au service d'ORL de Beauvais : merci au Docteur Nadjingar pour votre patience et la confiance que vous m'avez accordée. Merci aux Docteurs Bourrel et Hadjali pour les conseils.

A Céline, merci pour la relecture de cette thèse, pour la formation que tu m'as donnée, merci aussi pour tous les bons moments et pour ta disponibilité.

Merci à Kahina, Wilson et Arsène pour le partage de notre petit bureau.

Merci à l'équipe de la consultation pour l'aide et les petits thés entre deux patients.

Merci à l'équipe du bloc et d'hospitalisation de m'avoir aidée à bien prendre en charge nos

petits patients.

J'ai hâte de vous retrouver.

Au service d'ORL de Nancy : merci au Pr Jankowski, au Pr Rumeau, aux Docteurs Toussaint et Nguyen. Un grand merci pour votre accueil chaleureux et votre formation pour mes derniers mois d'internat.

Merci à Jordan et Yazan pour les nombreux conseils au bloc, et pour m'avoir aidée à mieux appréhender l'assistanat, « n'oublie pas dans quelques mois c'est ton tour ».

Et pour la version moins formelle : Merci Patrice pour le cochon le soir, mon oreille s'en rappelle encore.

Aux amis

A Isabelle, merci pour les voyages, les sessions pâtisseries, pour m'avoir aidée à supporter les joies de la cantine du collège et merci pour les nombreuses soirées pyjama.

A Camille, merci pour les années de théâtre, on aura eu de beaux rôles (ou pas).

Aux amis de la fac

A Juliette, Kitty a bien grandi depuis la p1, merci pour le week-end en Bretagne et les nombreux dîners. Ça a été un vrai plaisir de te retrouver à Amiens avec Matthieu, je vous souhaite tout le bonheur du monde avec le petit Thibault.

A Colinne, merci pour toutes les soirées jeux de société, pour la tradition des soirées d'Halloween (même si je pense ne jamais faire de spéléo à cause d'un certain film), et pour tous les conseils de lecture et de séries.

A Jules, merci pour le voyage dans le Sud-Ouest et pour les nombreuses soirées médecine.

A Luca, merci pour ton humour caustique, et pour les bons souvenirs de stage infirmier. On n'avait pas très bien commencé, mais finalement qu'est ce qu'on a ri.

A Laura, merci d'avoir partagé avec moi ton goût du voyage, merci pour les nombreux dîners entre filles et les bonnes suggestions musicales. Vivement les prochaines sessions shopping/brunch.

A Dimitri, merci pour le voyage en Amérique du Sud, pour le côté 3D (j'ai le groupe électrogène du BYC en otage et je n'hésiterai pas à m'en servir), pour les nombreuses soirées comme le zéro zéro.

Aux amis de l'internat

A Julie, merci d'avoir été là pour les premiers mois d'internat et le squattage de chambre à Laon,

A Lucie, merci pour l'internat à Amiens, on aura fait de belles soirées, et de m'avoir fait découvrir Friends également.

Merci à vous 2 pour la coloc avec nos soirées sushi Grey's anatomy/top chef et les nombreux papotages et soutien moral qui vont avec.

A Bastien, merci pour les séjours au ski et le séjour découverte en terre bordelaise. Un petit Mario kart ?

A Pierre, merci pour les soirées débats (mais tu l'hydrates ou tu le rempli ?), et les nombreux bars/restau.

A Julien, merci pour les vacances, j'ai pris un petit coup de vieux en te voyant passer d'externe

à interne.

A Cyrielle, merci pour ta bonne humeur et pour les vacances au Cap Vert.

Aux copains de l'internat pendant l'été : Amandine, Amaury, Jean-Marc, Laurine, Sophie, Quentin, William, merci pour les nombreuses soirées du jeudi et les sushis à volonté.

Aux Nancéiens : merci à Eva pour la découverte du ski de fond, pour les semaines de ski et de rando.

Merci à Mike et Nathan de m'avoir aidée à supporter la cuisine cracra de l'internat.

A mes ex-co-internes et néo-chefs

A Caroline R-C : merci de m'avoir guidée pendant le premier semestre et pour ta gentillesse.

A Maxime B : merci pour ta bonne humeur, merci d'avoir répondu à mes « j'ai une petite question pour un patient ».

A Nicolas, merci pour les fous rires en consultation, « alors je fais une expérience sur du riz aujourd'hui il faut lui parler gentiment et demain non »

A Benjamin, merci pour les révisions d'anatomie et de toujours répondre présent pour les avis.

A Laure-Marine, merci pour les nombreux dîners, pour les avis déco et shopping et les bons conseils.

A Caroline P alias Carolina/Pascaline, merci pour l'aide lors des semestres passés ensemble je savais que je pouvais toujours compter sur toi, merci pour la relecture et merci pour toutes les séances de sport.

A Pauline alias Paupau merci pour les belles soirées, pour l'hébergement lors des premiers youpiss, pour les sessions shopping. J'ai apprécié d'être ta première interne.

Aux co-internes

A Renaud et Charles, merci pour les mythiques déjeuners du jeudi à Beauvais. Vos commentaires et vos blagues resteront longtemps.

A Manon, Juliette, Delphine, Gonzague merci pour les moments sympas en stage.

A Thomas, merci pour ta magnifique interprétation lors de la vidéo de Caro « on verra l'anapath », j'espère que l'on passera un bon semestre ensemble.

A Sarah et Julie, merci de contribuer à pérenniser la bonne ambiance de la team ORL.

A Simon merci pour le semestre en chir tho et d'avoir assumé ton rôle de plus vieil interne.

A Solenne, merci pour le semestre en chir tho, pour le festival et les nombreuses soirées apéro-fromage.

A Maxime, Rodolphe, Guillaume, India et Juliette merci de m'avoir fait découvrir la chir plastique et pour votre bon accueil, merci pour les belles soirées cet été là.

Aux Nancéiens : A Samuel, le plus organisé des co-internes, merci pour les soirées d'écriture de thèse, un petit burger King et ça repart.

A Axel, merci pour les coups de main et ta gentillesse, et pour les échanges de bons procédés «soutien officiel des curages sur les LT »

A Nicolas, merci de gérer le secteur même quand ce n'est pas ton tour, merci de me faire rire en râlant.

A Jérôme, merci de ta confiance pour les avis et le sos vertiges. Merci pour tes belles imitations.

A la famille

A mes grands-parents, merci de m'avoir aidée à grandir, j'espère vous avoir rendu fiers.

A mes parents à qui je dois tout. Merci de m'avoir encouragée pendant mes études, merci pour toutes les journées/soirées de révision jusqu'à ce que je connaisse l'anatomie par cœur en p1. Merci de m'avoir rendu la vie plus facile avec tous les bons petits plats, le ménage, le repassage...

Merci pour tout le temps passé à vous occuper de moi. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi et que vous faites encore.

A Sylvie et Jacques, merci pour les dîners et déjeuners nancéiens petite parenthèse fort appréciée entre les jours de boulot, merci aussi pour les allers-retours à la gare quand le tram était en panne.

A Fabien, merci d'être là tous les jours, de me soutenir dans les périodes plus studieuses (mémoire et thèse, ça fait beaucoup de soirées à devoir faire à manger), merci pour les belles vacances sportives, merci d'arriver à me changer les idées quand j'ai juste envie de râler. Merci d'avoir rendu le confinement si doux. Merci pour ton soutien même à distance, de beaux projets nous attendent !

Résumé

Introduction : Cette revue de la littérature avait pour but principal de réaliser une synthèse des connaissances actuelles sur l'utilisation du neuromonitoring en chirurgie thyroïdienne, notamment le potentiel de réduction de l'incidence de paralysie récurrentielle et de protection du nerf laryngé externe.

La paralysie récurrentielle (PR), suite à une atteinte du nerf laryngé inférieur, est une des complications la plus redoutée de la chirurgie thyroïdienne. Les lésions du nerf laryngé externe ont également des conséquences sur la phonation.

Matériel et méthodes : une recherche des bases de données Pubmed, Medline a été effectuée de façon à identifier les articles éligibles pour cette revue. Les études comparant le neuromonitoring peropératoire intermittent (NMPO-I) ou continu (NMPO-C) du Nerf laryngé inférieur (NLI) ou du nerf vague ou du nerf laryngé externe (NLE) avec la visualisation seule, le NMPO-I avec le NMPO-C ou les études permettant de retrouver la performance du NMPO ont été inclus.

Résultats : 1157 études ont été retrouvées. 176 ont été retenues pour une lecture du texte complet, après lecture des résumés. Parmi celles-ci 90 ont été exclues devant l'absence de groupe contrôle ou l'absence de données sur la performance du test.

Discussion : L'utilisation du NMPO s'est généralisée en chirurgie thyroïdienne. Il permet d'obtenir des informations sur la fonction présumée du nerf qui ne pourraient pas être obtenue autrement. Son utilisation permet une réduction drastique de l'incidence de PR bilatérale. Une standardisation du NMPO a permis d'augmenter sa fiabilité. La capacité du NMPO à prédire la paralysie récurrentielle ainsi que l'atteinte du NLE a augmenté.

Conclusion : Les progrès réalisés suite au NMPO continu sont prometteurs quant à sa capacité à prédire de façon exacte une paralysie et à pouvoir la prévenir en temps réel.

Mots clés : thyroïdectomie, nerf laryngé inférieur, paralysie récurrentielle, nerf laryngé externe, neuromonitoring, chirurgie thyroïdienne

Abstract

Objectives: The purpose of this systematic review was to synthesize the current knowledge about the neuromonitoring in thyroid surgery, including the reduction of the vocal cord palsy and the protection of the external branch of the superior laryngeal nerve.

The recurrent laryngeal nerve palsy, following an injury of the recurrent laryngeal nerve, is one of the most feared complication in thyroid surgery. An injury to the external branch of the superior laryngeal nerve can also change the voice.

Methods: a search through Pubmed, Medline database was made to identify eligible articles for this review. The studies comparing intermittent intraoperative nerve monitoring or continuous intraoperative nerve monitoring of the recurrent laryngeal nerve or the external branch of the superior laryngeal nerve with visualization of these nerves only were included as the study evaluating the accuracy of the intraoperative nerve monitoring.

Results: 1157 studies were found. 176 were included for a full text review. Among these, 90 were excluded as they didn't have a control group or data on diagnostic value.

Discussion: The use of the intraoperative nerve monitoring has become increasingly popular. It can be used to assess the nerve function. Its use allows to reduce drastically the incidence of the bilateral vocal cord palsy. A standardization of the intraoperative nerve monitoring made it more reliable. The capacity of the intraoperative nerve monitoring to predict the recurrent laryngeal nerve palsy and the injury to the external laryngeal nerve has increased.

Conclusion: The progress made with the continuous intraoperative nerve monitoring are promising as it ensures a more accurate assessment of nerve integrity and could prevent a vocal cord palsy in real time.

Keywords: thyroidectomy , recurrent laryngeal nerve, laryngeal palsy, external branch of the superior laryngeal nerve, thyroid surgery

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	18
MATERIEL ET METHODE	21
Stratégie de recherche	21
RÉSULTATS	22
DISCUSSION	23
Anatomie chirurgicale des nerfs laryngés	23
• NLI	23
• NLE	24
Historique du neuromonitoring en chirurgie thyroïdienne.....	26
Analyse médico-économique du NMPO	27
Approche médico-légale	29
Laryngoscopie pré et postopératoire	29
Mécanismes des lésions du NLI.....	30
Principe d'installation du neuromonitoring et coordination avec l'équipe d'anesthésie	30
Standardisation du neuromonitoring	31
• Electromyogramme (EMG).....	32
• Définition d'une perte de signal	32
• Faux positifs et Faux négatifs	34
• Evènements indésirables	34
• EMG final et récupération au cours de l'intervention.....	35
Décision d'une chirurgie bilatérale en cas de perte de signal	35
Prise en charge d'un NLI envahi lors d'un cancer thyroïdien.....	36
Capacité du système de neuromonitoring à prédire en peropératoire la fonction des cordes vocales post opératoire	39
Prévention de la PR à l'aide du neuromonitoring	40

• NMPO du NLE	42
• NMPO continu	43
• NMPO intermittent versus continu	44
CONCLUSION	45
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	55
ABREVIATIONS	74

INTRODUCTION

La chirurgie thyroïdienne est réalisée afin de traiter plusieurs types de pathologies. Il peut s'agir de pathologies malignes en cas de suspicion de cancer thyroïdien ou de cancer prouvé par cytoponction, ou bien de maladies bénignes lorsque le volume thyroïdien est important, comme des nodules ou des kystes volumineux, ou encore des goitres entraînant une compression avec dysphagie et/ou dyspnée ou bien de goitre multi nodulaires, ou encore d'hyperthyroïdie : maladie de Basedow ou nodule chaud.

Le nombre de thyroïdectomie réalisé a augmenté depuis plusieurs années. Il était de 35 500 thyroïdectomies en 2010 en France, [1] avec une augmentation jusqu'à 45 000 par an actuellement, augmentation jugée préoccupante par la sécurité sociale française [2].

En 2017, 70 000 patients ont été opérés de la thyroïde en Allemagne [3], et la majorité de ces interventions consistait en une thyroïdectomie totale.

Si l'on rapporte ce taux à la population, le taux de thyroïdectomie était en 2012 de 109/100 000 en Allemagne à 80/100 000 en France [4].

Aux Etats Unis on retrouvait entre 118,000 et 166,000 chirurgies thyroïdiennes pour des pathologies bénignes ou malignes [5]. Soit 42/100 000 habitants dans un pays où la chirurgie de la maladie de Basedow est remplacée par un traitement isotopique [4].

Il y a actuellement une majoration des indications chirurgicales grâce à l'amélioration de l'échographie thyroïdienne, permettant de détecter des nodules suspects de plus petite taille [6] et par la plus grande facilité de substitution par hormonothérapie.

La paralysie récurrentielle (PR) est une des complications les plus redoutées en chirurgie thyroïdienne. Elle est provoquée par une atteinte du Nerf laryngé inférieur (NLI).

Son incidence varie selon les études, entre 1.1 % et 6.1 % des chirurgies thyroïdiennes dans des cohortes récentes [7–9].

Une PR unilatérale peut déjà avoir un retentissement conséquent sur la qualité de vie du patient. Elle peut donner des complications allant d'une dysphonie transitoire légère à des troubles de déglutition majeurs.

Lorsqu'elle est bilatérale, les conséquences sont d'autant plus sévères, pouvant aller jusqu'à un risque de dyspnée laryngée nécessitant une trachéotomie définitive, ou même provoquant le décès du patient en cas d'anoxie prolongée en l'absence de mesure corrective adaptée.

Le NLI n'est pas le seul nerf à risque lors de la chirurgie thyroïdienne. Le Nerf Laryngé Externe (NLE), nerf moteur innervant le muscle cricothyroïdien, peut présenter une lésion jusque dans 58% des cas lors d'une thyroïdectomie [10]. Le muscle cricothyroïdien est le seul muscle tenseur des cordes vocales, l'atteinte de son innervation provoque des dysphonies.

L'absence de son identification et de la recherche de sa préservation ainsi que la méconnaissance de son anatomie sont des facteurs de risque de lésion de ce nerf.

De ce fait des méthodes permettant de réduire ce risque de lésion nerveuse ont été recherchées. Tout d'abord suite aux travaux de Lahey et Hoover en 1938, un changement de paradigme a eu lieu et la visualisation du NLI est devenue le gold standard [11]. Jusqu'alors il était admis qu'il était préférable de ne pas l'identifier lors de la chirurgie afin d'éviter une lésion à son contact.

Puis il a été noté que le mécanisme de la lésion provoquant la paralysie peut être la section complète du nerf, l'étirement, la traction, la compression, l'écrasement, ou des lésions thermiques dues à la chaleur des instruments chirurgicaux comme la pince bipolaire ou l'ultracision ou l'ultradissection [12]. Le mécanisme le plus fréquent semble être la traction [13].

Avec certains mécanismes, il est possible de retrouver une absence de fonction du nerf en post opératoire malgré un nerf visualisé et soigneusement disséqué lors de la chirurgie. Le nerf sera morphologiquement intact mais non fonctionnel [14].

Afin de pouvoir s'assurer de la présence d'un nerf fonctionnel et de faciliter la dissection du nerf, un neuromonitoring per opératoire (NMPO) a été développé.

Basé sur des principes d'électroneuromyographie avec un système de stimulation détection, des électrodes de recueil sont placées en regard du muscle vocal et permettent de recueillir un potentiel d'action lors de la stimulation électrique du NLI ou du nerf vague. Lors de la stimulation du NLE, on retrouve une contraction du muscle crico-thyroïdien. La survenue d'un potentiel d'action enregistrable est inconstante jusqu'alors pour ce nerf.

Depuis son introduction, son usage a augmenté progressivement jusqu'à devenir majoritaire dans certains pays comme l'Allemagne [15]. Mais il reste considéré dans de nombreux pays comme un supplément par rapport au gold standard qu'est la visualisation.

Son utilisation systématique reste en effet encore controversée car les études récentes ainsi que les méta-analyses réalisées retrouvent des résultats discordants ne permettant pas de trouver un consensus international.

L'objectif de cette revue de la littérature est la synthèse des connaissances actuelles sur l'utilisation du neuromonitoring notamment le potentiel de réduction de l'incidence de paralysie récurrentielle et de protection du nerf laryngé externe.

MATERIEL ET METHODE

Stratégie de recherche

En Aout 2021, une recherche dans les bases de données Pubmed, Medline a été effectuée de façon à identifier les articles éligibles pour cette revue.

La stratégie de recherche était la suivante : les termes utilisés pour la recherche étaient « neuromonitoring OR nerve monitoring » AND « thyroidectomy OR thyroid surgery OR recurrent laryngeal nerve OR External branch of the laryngeal nerve ».

Les références des articles inclus ont également été visualisées afin d'identifier d'autres articles intéressants non retrouvés par la précédente recherche.

Les recommandations « PRISMA » ont été respectées lors de cette revue systématique.

Les études étaient éligibles si elles correspondaient à une méta analyse ou des études randomisées en double aveugle ou des études observationnelles (prospectives, ou rétrospectives), comparant soit le neuromonitoring per opératoire intermittent (NMPO-I) avec la visualisation des NLI et vagues et NLE, soit le neuromonitoring per opératoire continu (NMPO-C) avec la visualisation de ces mêmes nerfs. S'il s'agissait d'études uniquement sur l'une ou l'autre technique de neuromonitoring, les études devaient mentionner le calcul de la sensibilité, et spécificité et/ou de la valeur prédictive positive et de la valeur prédictive négative afin de réaliser une comparaison objective.

Les critères d'exclusion étaient : les revues de la littérature sans méta analyse ou les études de cas.

RÉSULTATS

1157 études ont été retrouvées. Après une première lecture des résumés 176 études ont été retenues pour une lecture du texte complet. Parmi celles-ci 90 ont été exclues devant l'absence de groupe contrôle, ou l'absence de données sur la performance du test ou encore parce qu'ils s'agissaient d'études différentes sur la même population.

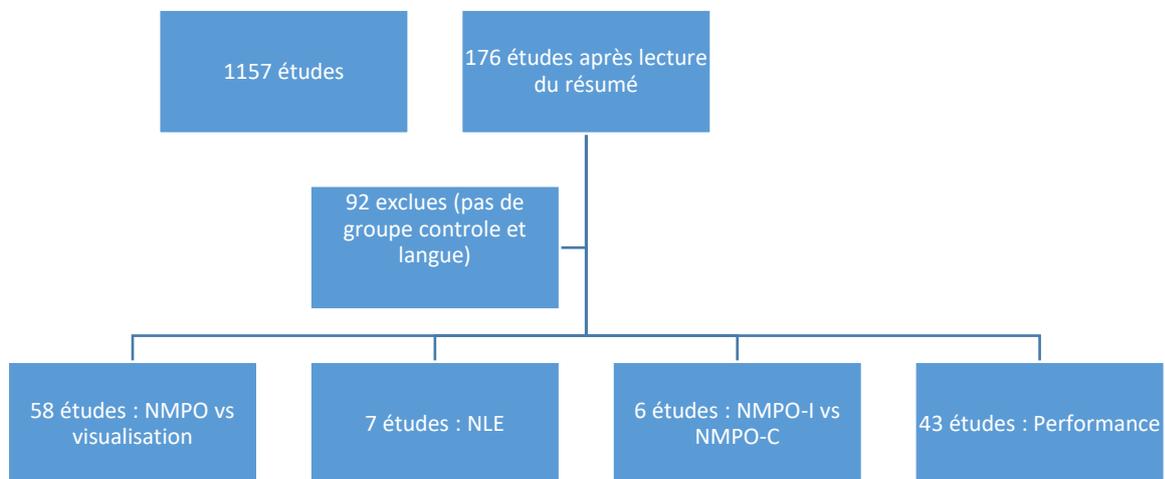
2 études ont été exclues car elles n'étaient pas rédigées en anglais ou français.

Parmi les études retenues :

6 études portaient sur la comparaison entre le NMPO intermittent et NMPO continu.

58 études comparaient le NMPO et la visualisation seule pour le NLI. 7 études comparaient le NMPO et la visualisation seule pour le NLE. 43 études étudiaient les performances du NMPO. Certaines études sont citées dans plusieurs catégories (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Diagramme de flux des études : à noter que certaines études répondaient à plusieurs catégories.



DISCUSSION

La glande thyroïde se situe dans la partie inférieure du cou, en profondeur des muscles sous hyoïdiens et antérieure à la trachée et l'œsophage et inférieure au cartilage thyroïde.

Les nerfs pouvant être visualisés lors de cette chirurgie sont le NLI et le NLE qui sont les principaux sujets de cette discussion.

Anatomie chirurgicale des nerfs laryngés

- *NLI*

Le nerf laryngé inférieur ou récurrent est une branche du nerf vague. Le NLI droit naît en avant de l'artère sous-clavière droite et contourne sous cette dernière et remonte vers le larynx via le sillon trachéo-œsophagien. Il est superficiel dans 67% des cas en moyenne [16].

À gauche, le nerf est presque toujours plus profond (dans 89% des cas) [16]. Il prend son origine dans le médiastin supérieur au niveau de l'arc aortique, s'enroule autour de lui, remonte vers le cou après sa portion thoracique puis se termine dans l'angle crico-thyroïdien.

Un NLI précocement divisé entre 1 et 2 cm avant son entrée dans le larynx peut être retrouvé dans 20 à 65% des cas, le risque de bifurcation précoce est plus important à droite qu'à gauche [16,17]. La composante motrice du NLI est souvent retrouvée sur la branche antérieure. Étant donné qu'elle est souvent plus fine que le tronc principal, elle est plus sensible à la traction, rendant plus probable une lésion du nerf par traction [16,17].

Le nerf laryngé non récurrent est retrouvé dans moins d'un % des cas à droite et provient directement du nerf vague sans passer sous l'artère sous clavière droite [18].

Dans les recommandations Américaines, trois méthodes de recherche du nerf laryngé inférieur sont préconisées : l'approche latérale, inférieure ou supérieure [19].

L'approche latérale est la plus communément utilisée pour les thyroïdectomies simples.

Le lobe thyroïdien est tracté médialement, la veine thyroïdienne moyenne est individualisée et le nerf récurrent est identifié à la partie moyenne.

L'approche inférieure est conseillée pour les reprises chirurgicales afin d'éviter de réaliser une dissection dans une zone cicatricielle. Elle peut également être conseillée dans les chirurgies de

goitre si le pôle inférieur peut être mobilisé, donc s'il n'y pas de prolongement thoracique rendant une traction du pôle inférieur difficile.

Le nerf est repéré dans le sillon trachéo-œsophagien, au niveau de son croisement avec l'artère thyroïdienne inférieure.

Avec l'approche supérieure, le nerf récurrent est identifié à son point de passage sous le muscle constricteur inférieur du pharynx, proche de la jonction crico-thyroïdienne [19]. Cette approche peut être nécessaire en cas de volumineux goitre avec un prolongement thoracique important ou latéral, en cas de réintervention ou encore de variation anatomique car le point de pénétration est constant [20].

- *NLE*

Le nerf laryngé supérieur est une branche du nerf vague qui émerge classiquement au niveau du ganglion inférieur du nerf vague à la partie supérieure du cou et est postéro-médial à l'artère carotide interne avant de se diviser environ 1.5 cm sous le ganglion en une branche interne et une branche externe.

La branche externe est appelée nerf laryngé externe (NLE) [21].

Le NLE ou rameau externe du nerf laryngé supérieur longe l'insertion du muscle constricteur inférieur du pharynx sur le cartilage thyroïde, innerve le muscle crico-thyroïdien et se distribue sur la muqueuse du ventricule et de la portion sous glottique du larynx.

Le NLE donne des branches motrices au muscle crico-thyroïdien. Il est le muscle tenseur des cordes vocales et permet de produire des sons aigus, en permettant la bascule antérieure du cartilage thyroïde par rapport au cartilage cricoïde. Il a également un rôle dans la qualité de la voix [22].

Ce nerf est proche de l'artère thyroïdienne supérieure ce qui induit un risque de lésion nerveuse lorsque qu'elle est disséquée ou lors de sa ligature pour libérer le pôle supérieur thyroïdien [23].

- *Classification de Cernea [24]*

Cette classification est basée sur le risque potentiel de lésion du NLE lors de la chirurgie thyroïdienne et selon sa relation au pôle supérieur. Il existe trois possibilités :

Le type I où il croise l'artère thyroïdienne supérieure plus d'un centimètre au-dessus de l'extrémité supérieure du pôle supérieur.

Le type IIa où le nerf croise l'artère moins d'un centimètre au-dessus de l'extrémité supérieure du pôle supérieur.

Le type IIb où le nerf croise l'artère sous l'extrémité supérieure du pôle supérieur.

De ce fait les types IIa et IIb sont considérés comme plus à risque de lésion nerveuse lors de la chirurgie.

Dans une méta analyse récente on retrouvait 44.84 % de type IIa et 19.28 % de type IIb [25].

La prévalence des types IIa et IIb était plus importante sur les études portant sur des interventions chirurgicales que lors d'études sur sujet anatomique.

En Europe et en Amérique du Sud le type I était retrouvé plus fréquemment [25].

- *Classification de Friedman [26]*

Cette classification est basée sur la relation entre le NLE et le muscle constricteur inférieur du pharynx (CIP).

On retrouve le type 1 où le nerf est entièrement superficiel par rapport au CIP, le type 2 où il traverse au niveau des fibres inférieures du CIP et le type 3 où l'ensemble de son trajet est sous le fascia du CIP.

Lors de la méta-analyse de Cheruiyot et al, le type 1 était le plus fréquent (50%) et le type 3 le moins fréquent (15.07%) [25].

De ce fait le nerf n'est pas entièrement protégé par le muscle lors de la chirurgie thyroïdienne dans la majorité des cas.

- *Relation entre le NLE et l'artère thyroïdienne supérieure*

Le NLE est retrouvé médialement par rapport à l'artère dans 70.98% des cas et retrouvé latéralement dans 29.01% des cas [25].

Chez les patients avec un volumineux goitre, ceux avec une lésion thyroïdienne localisée au pôle supérieur ou chez les patients avec un cou court, la relation avec l'artère thyroïdienne supérieure peut être plus étroite et donc exposant à un risque de lésion du NLE lors de sa dissection [24].

Historique du neuromonitoring en chirurgie thyroïdienne

Jusqu'aux travaux de Lahey et Hoover en 1938, il était admis qu'il était préférable de ne pas rechercher le NLI lors d'une chirurgie thyroïdienne afin d'éviter une lésion à son contact.

Ils ont montré sur plus de 3000 nerfs qu'en les disséquant précisément il était possible de réduire l'incidence de la paralysie récurrentielle [11].

Un changement de paradigme a eu lieu et la visualisation du nerf récurrent est devenue le gold standard.

Les premières techniques d'identification du NLI et du NLE au cours de la chirurgie thyroïdienne ont été développées par Shedd sur un modèle canin puis sur l'humain [27].

La bonne mobilité des cordes vocales était appréciée en laryngoscopie peropératoire [28].

Riddel dans les années 70 a démontré que la fonction du NLI peut être visualisée en laryngoscopie peropératoire mais que si celle-ci n'est pas disponible il est possible d'utiliser la palpation du larynx [29]. Les travaux de James et al allaient également dans ce sens [30].

Puis de nombreuses techniques de détection du neuromonitoring ont été étudiées : la palpation laryngée, l'observation du plan glottique, la mesure de la pression glottique, l'utilisation d'électrodes à l'intérieur du muscle vocal placées en endoscopie, des électrodes placées dans la membrane cricothyroïdienne, des électrodes placées à la surface de la sonde d'intubation, des électrodes placées à la partie postérieure du cartilage cricoïde [31].

Ce sont les méthodes permettant d'obtenir un EMG qui sont les plus récentes, elles peuvent être divisées en deux groupes : un premier où les électrodes sont directement insérées au moyen d'aiguilles dans le muscle et un deuxième où les électrodes sont à la surface de la sonde d'intubation.

Flisberg et Lindholm sont les premiers à avoir rapporté l'utilisation d'électrodes intra-laryngées et observé les mouvements des aiguilles après stimulation nerveuse [32].

Puis des données électrophysiologiques ont été ajoutées ainsi que des potentiels d'action.

Ensuite, un système d'électrodes attaché à la sonde d'intubation a été développé [33] [34].

Pour des raisons de simplicité et de sécurité les électrodes placées à la surface de la sonde d'intubation sont celles le plus couramment utilisées [31].

Le neuromonitoring développé en premier repose sur une stimulation intermittente. Il s'agit de la méthode utilisée le plus fréquemment actuellement.

Lamadé a ensuite décrit une technique de neuromonitoring continu avec une électrode appliquée sur le nerf vague permettant une analyse en temps réel [35]. Actuellement, le système utilisé le plus fréquemment est un système d'électrode installé sur un clip. Il sera attaché au nerf vague en début d'intervention.

En 2006 l'International Neural Monitoring Study Group (INMSG) a été établi.

Des recommandations pour la standardisation du neuromonitoring du NLI ont été publiées en 2011 par l'INMSG [31]. Ainsi que des recommandations pour la standardisation du neuromonitoring pour le NLE en 2013 par ce même groupe [21].

En 2018 les membres de l'INMSG ont publié deux recommandations, une première sur la poursuite ou non de la chirurgie suite à une perte de signal sur le premier côté en cas de chirurgie bilatérale [36]. La seconde sur la prise en charge du NLI en cas de cancer thyroïdien invasif [37].

Actuellement 83-93% des chirurgiens ORL et endocrinien utilisent le NMPO aux Etats Unis [38,39].

Dans une étude récente avec 12 888 patients opérés pour un goitre bénin, 98.4 % avaient bénéficié d'un NMPO en Allemagne [15].

Dans ce même pays, 17.4 % des chirurgiens utilisaient le NMPO continu lors d'une thyroïdectomie [15].

Analyse médico-économique du NMPO

Lors d'une chirurgie thyroïdienne, l'ajout d'un NMPO a un coût, en effet en plus de l'achat de la console de neuromonitoring, une grande partie du dispositif est à usage unique : la sonde d'intubation portant les électrodes, une prise de terre et selon les modèles de NMPO la sonde de stimulation tenue à la main.

De plus il faut compter quelques minutes d'installation supplémentaires en plus du temps chirurgical. Il peut également s'ajouter le temps de réadaptation de la sonde si celle-ci n'était plus en place au cours de l'intervention.

Il faut aussi parfois prendre en compte l'utilisation de vidéo laryngoscope par l'équipe d'anesthésie afin de vérifier le positionnement optimal de la sonde d'intubation qui est également un coût supplémentaire.

Une étude coût efficacité réalisée par Rocke et al retrouvait que la méthode de visualisation seule sans NMPO du NLI menait à des économies de 179.40 dollars par patient par rapport à l'usage sélectif du NMPO et 683.20 dollars par patient par rapport à une utilisation universelle du NMPO [40].

La visualisation seule était l'approche la plus rentable en termes de coût efficacité malgré des variations de coût.

Par contre s'il était supposé que la probabilité de lésion du NLI était diminuée suite à l'utilisation du NMPO sélectif, alors que le taux était supposé stable avec la visualisation seule, dans ce cas si le taux de lésion du NLI baissait de 50.4% par rapport à la visualisation seule, le NMPO sélectif était le plus rentable.

En cas de thyroïdectomie totale la visualisation seule est plus rentable que le NMPO. Les économies, même si elles sont relativement faibles par patient sont plus importantes au niveau de la société. Si le NMPO était utilisé dans un tiers des thyroïdectomies (calculé sur 72 344 thyroïdectomies en 2011 aux Etats-Unis) cela permettrait au système de santé américain d'économiser plus de 16 millions de dollars par an.

Cependant cette étude avait des limitations reconnues par leur auteurs. Ils avaient présumé que le risque de PR bilatérale était le carré du risque de lésion d'un seul nerf. Ce qui n'est pas nécessairement le cas si les variations anatomiques ou de complexités de la pathologie sont présentes des deux côtés, ou si certains nerfs sont plus susceptibles d'être lésés et que cette susceptibilité est bilatérale.

Une étude du coût et efficacité du NMPO a été réalisée par Al-Qurayshi [41]. Cette étude se concentrait sur la perte de signal et la chirurgie différée en utilisant un modèle de Markov. Son cas de référence était une femme de 40 ans diagnostiquée d'un cancer papillaire de la thyroïde. Il étudiait l'utilisation du NMPO versus pas d'utilisation. La chirurgie du second lobe thyroïdien serait différée en cas de perte de signal lors de la réalisation du premier lobe. Sans NMPO le second côté serait réalisé car il n'y aurait pas de possibilité de détecter une perte de signal. Le coût était calculé en Dollars américains à 20 ans en se référant au coût de Medicare de 2013. La volonté de payer était présumée à un niveau faible de cinquante mille Dollars américains par années de vie corrigée du facteur qualité (AVCQ). Les estimations de lésion controlatérale du nerf variaient de 1% à 17%. Le taux de trachéotomie en cas de PR bilatérale a été estimé à 14% même si des taux jusqu'à 45% sont reportés dans la littérature [42].

Les ratios progressifs de rentabilité, une statistique utilisée dans les études de rentabilité pour résumer la balance entre les coûts et l'efficacité et son rapport avec la qualité de vie de certaines interventions spécifiques, ont été calculés et un test de simulation de Monte Carlo a été effectué. Le NMPO avec l'intégration de la perte de signal dans la stratégie chirurgicale était l'algorithme le plus rentable pour les taux de PR allant de 1 à 17 %. Les résultats de cette étude répondent aux préoccupations du coût potentiel de chirurgie différée. Le NMPO, qui permet d'avoir connaissance de la perte de signal est de ce fait essentiel selon cette étude pour la réalisation d'une chirurgie thyroïdienne bilatérale pour une approche rentable et de qualité.

Approche médico-légale

L'information du patient est un temps essentiel de sa prise charge.

La survenue d'une PR est la première cause de procès en chirurgie thyroïdienne et la première raison de dépôt de plainte dans ce cas est le manque d'information.

Une analyse de 75 cas de procès en Allemagne avait été réalisée par Dralle et al, 60% des procès étaient réalisés suite à une atteinte récurrentielle [42]. En cas de PR bilatérale on retrouvait un verdict en faveur du plaignant dans 77% des cas (17 des 22 cas). Le rationnel derrière ces verdicts était que le moins atteint des deux lobes avait été réséqué en premier en cas de goitre et qu'il n'y avait pas de documentation qui montrait que le NLI avait bien été identifié visuellement lors du premier coté. Le NMPO permet d'enregistrer un tracé de l'EMG en fin d'intervention afin de pouvoir produire une documentation si nécessaire.

Horne et al avaient retrouvé lors d'une étude suite à l'envoi de questionnaire qu'aucun des chirurgiens qui avait été poursuivi en justice et qui avait perdu leur procès n'avait utilisé de NMPO [43].

Une étude menée par Melin et al montrait un taux élevé de satisfaction chez les patients opérés en deux fois. Il n'y avait pas de différence de satisfaction entre les patients opérés en une fois ou en deux fois (en cas de perte de signal) d'une thyroïdectomie totale [44].

Laryngoscopie pré et postopératoire

L'INMSG recommande une laryngoscopie pré opératoire afin de vérifier la fonction des cordes vocales avant tout geste [31].

Une étude du Scandinavian Quality Register avait montré que le taux de paralysie récurrentielle doublait si les patients avaient un examen laryngé systématique en postopératoire [45].

Cela permet de détecter une paralysie récurrentielle unilatérale bien compensée pouvant passer inaperçue, de renforcer une suspicion de malignité en cas de paralysie et de pouvoir comparer la fonction en pré et en postopératoire.

Malgré ces recommandations dans une large étude du registre EUROCRINE on retrouvait 249 patients soit 5.4 % des patients qui n'avaient pas de laryngoscopie en préopératoire mais avaient eu une laryngoscopie postopératoire [8]. Sur les 8751 patients initialement inclus, 4153 n'en avait eu ni en pré opératoire ni en postopératoire.

L'examen systématique en préopératoire et en post opératoire est également recommandé par la « British Association of Endocrine and Thyroid Surgeon », la « German Association of Endocrine surgery ».

Mécanismes des lésions du NLI

Dans une étude par Dionigi et al, le mécanisme de la lésion provoquant la paralysie peut être la section complète du nerf, l'étirement, la traction, la compression, l'écrasement, ou des lésions thermiques dues à la chaleur des instruments chirurgicaux comme la pince bipolaire ou l'ultracision ou l'ultradissection [12].

Une paralysie permanente était définie comme une paralysie de la corde vocale persistant plus de 12 mois. Le pourcentage initial correspondait aux paralysies constatées en postopératoire immédiat.

Le pourcentage initial de paralysie récurrentielle, ainsi que le pourcentage de paralysie permanente noté entre parenthèse étaient de : en cas de traction 98% (1.4%), en cas de lésion due à un échauffement du nerf 72% (28%), en cas de compression 100% (0%), en cas de clampage 50 % (50%), en cas de ligature 100% (0%), en cas d'aspiration du nerf 100% (0%) et en cas de section complète 100% (100%) [12].

Seulement 14% de ces lésions étaient visibles pendant l'intervention ce qui renforce la nécessité d'avoir plus que des informations visuelles d'intégrité du nerf lors de la chirurgie [12].

Schneider et al ainsi que Chiang et al ont retrouvé que 75 à 83 % des lésions du nerf étaient dues à une traction sur celui-ci dont jusqu'à 60% au niveau des ligaments thyro-trachéaux [46,47].

Principe d'installation du neuromonitoring et coordination avec l'équipe d'anesthésie

Lors de l'utilisation d'un système de neuromonitoring il est nécessaire d'avoir une bonne coordination avec l'équipe d'anesthésie. En effet, sur le modèle le plus fréquemment utilisé les électrodes sont placées sur la sonde d'intubation, de ce fait le bon positionnement de celle-ci est primordiale. Le choix de la taille de la sonde d'intubation est également capital car il faut que les électrodes soient bien en contact avec le plan glottique.

Il est important qu'elle soit sécurisée car un déplacement de la sonde jusqu'à 6 cm peut survenir durant le positionnement définitif du patient surtout suite à l'extension de la tête du patient [48]. De plus l'utilisation de curares peut perturber l'EMG, de ce fait ils doivent si possible être évités ou bien être de très courte durée d'action et uniquement utilisés lors de l'intubation.

Il est également noté qu'un certain degré de rotation de la sonde était possiblement imprimé lors de l'intubation des patients pouvant perturber le bon positionnement des électrodes avec une électrode possiblement non en contact avec le plan glottique [31].

De par les multiples variations induites l'INMSG recommande également une participation des anesthésistes lors des formations au NMPO [49].

Une fois la sonde d'intubation en place il faut brancher les électrodes à un boîtier puis mettre en place les électrodes de masse et neutre soit au sternum soit derrière l'épaule afin qu'elles soient en dehors du champ opératoire.

A la fin de l'installation l'impédance des électrodes doit être de moins de 5 Ω et la différence entre les 2 côtés doit être de moins d'1 Ω . Si la différence entre les deux est supérieure il faut remplacer les électrodes de masse et neutre.

En cas de neuromonitoring discontinu le système est complété par une sonde de stimulation tenue à la main. En cas de neuromonitoring continu un système permettant de monitorer le nerf vague en continu est placé souvent au moyen d'un clip après dissection du nerf de chaque côté. Les réglages recommandés de la console doivent être de 100 μ V pour les événements et les réglages de la sonde de stimulation de 1 à 2 mA. En effet il a été montré que ce seuil était suffisant pour obtenir une dépolarisation [31].

Pour le NLE une stimulation de 1 mA est recommandée sinon lors de l'utilisation d'un courant à 2 mA il y a une trop grande diffusion du signal [21].

Standardisation du neuromonitoring

L'INMSG a proposé une formule afin de s'assurer de la qualité du neuromonitoring :

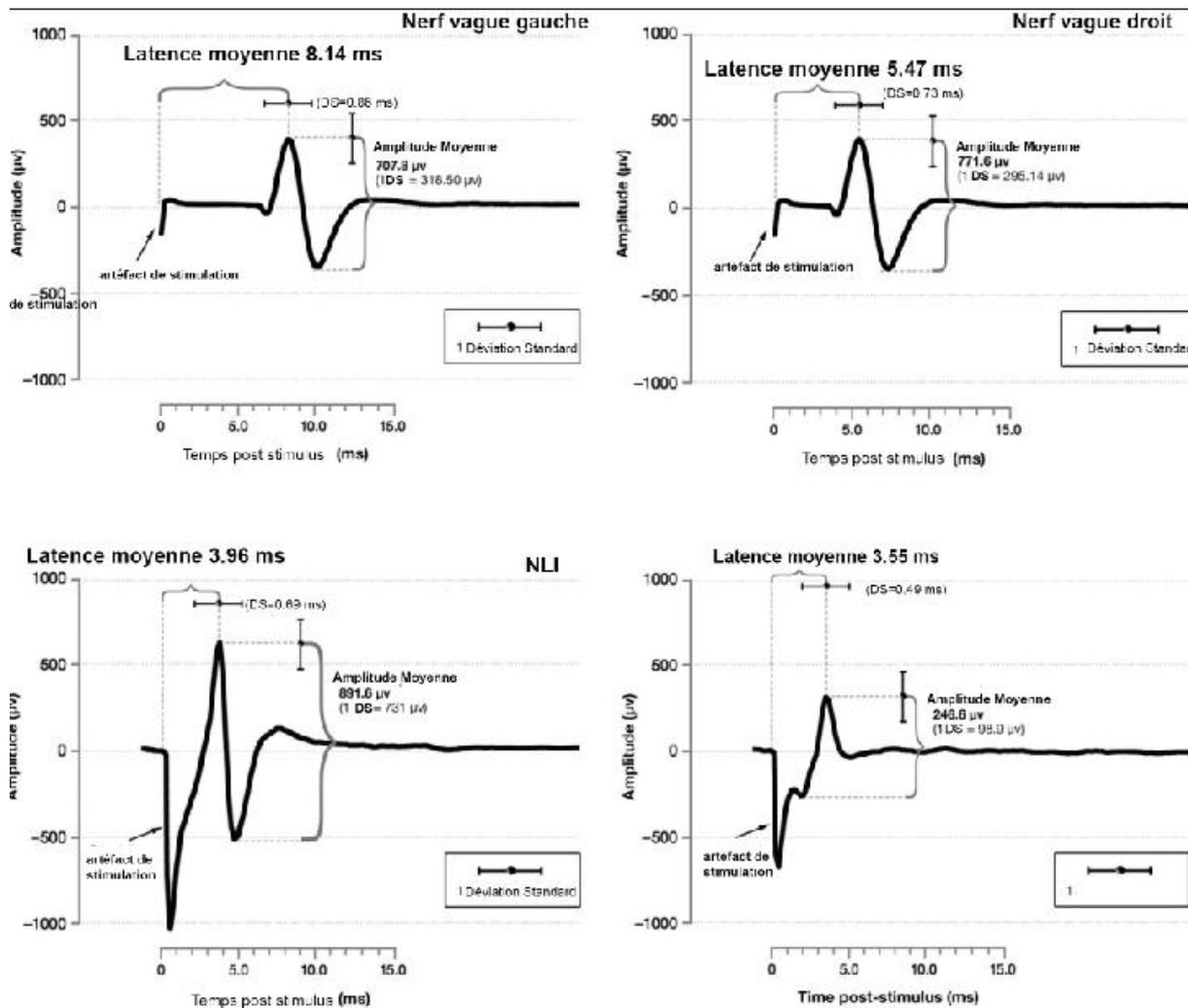
Il faut associer : un examen du larynx préopératoire, une stimulation initiale du nerf vague avant toute dissection thyroïdienne, une stimulation initiale du nerf récurrent. Puis une stimulation du nerf récurrent après résection de la glande et une stimulation du nerf vague après résection [31,46].

Pour faciliter la localisation du NLE il est recommandé de stimuler les tissus parallèles et sous la portion laryngée du muscle sternothyroïdien [21].

- *Electromyogramme (EMG)*

Les paramètres électrophysiologiques étudiables sont l'amplitude du potentiel d'action (μV), la latence (ms), le seuil supra maximal d'intensité de stimulation (mA), le seuil minimal d'intensité de stimulation (mA) (*Tableau 2*).

Tableau 2 : données EMG [36]

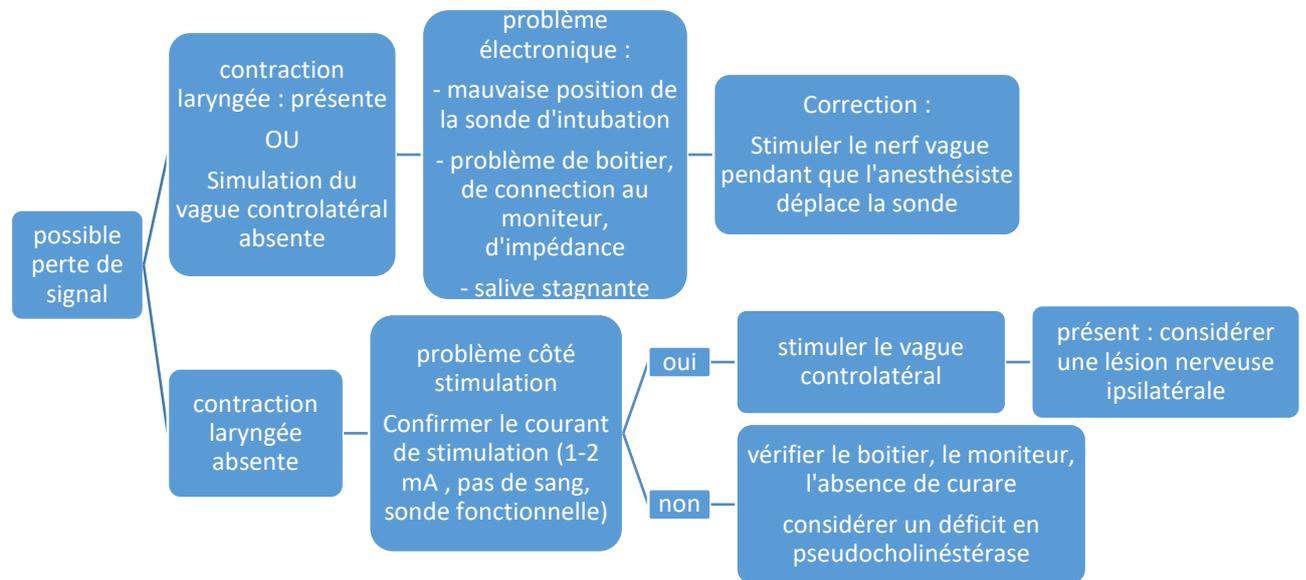


- *Définition d'une perte de signal*

Tout d'abord il ne peut y avoir une perte de signal que si un signal de qualité pouvait être obtenu initialement c'est-à-dire au moins supérieur à $500 \mu\text{V}$ [36,50,51].

Ensuite un algorithme a été proposé dans les recommandations de 2011 repris en 2018 (*Tableau 3*)

Tableau 3: Algorithme de décision en cas de perte de signal [36]



Il est proposé de vérifier si la contraction du larynx est présente en cas de stimulation du nerf vague : si elle est présente ou que la stimulation du nerf vague controlatéral ne fonctionne pas il s'agit d'un problème du neuromonitoring, par contre si elle est absente il est possible qu'il s'agisse d'une vraie perte de signal et qu'il y ait une lésion du NLI.

Un signal inférieur à 100 μV est suffisamment préoccupant et est fortement associé avec une PR avec une récupération limitée de 23% [36].

Il existe également deux types de lésions décrites par l'INMSG [47] :

Perte de signal de type 1 : segmentaires, elles représentent des lésions de survenues rapides, et sévères causées par la traction (68% des cas), l'électrocoagulation (16%) ou un pincement du nerf (13%) et associées avec des récupérations moins fréquentes et plus longues de la fonction des cordes vocales.

Perte de signal de type 2 : globales, elles représentent des lésions plus graduelles et plus légères du NLI causées par la traction (92%) et associées avec une récupération plus rapide et plus fréquente.

- *Faux positifs et Faux négatifs*

Les faux positifs sont décrits par Randolph et al comme les causes possibles de perte de signal avec une fonction des cordes vocales normale [31]. Il peut s'agir :

- D'un déplacement de la sonde d'intubation
- Si le nerf est recouvert par du sang ou un fascia
- Lors de l'usage de curare
- Si le courant de stimulation est inadéquat
- Lors d'un problème de la sonde de stimulation
- Si la réponse est considérée comme un artefact par la console de monitoring
- Lors d'une PR avec récupération précoce.

Les faux négatifs sont décrits en cas de bonne activité électromyographique malgré une PR postopératoire [31]. Il pouvait s'agir :

- D'une stimulation distale par rapport à la portion lésée du nerf
- D'une lésion survenue après la dernière stimulation c'est-à-dire lors de la fermeture
- D'une neurapraxie retardée suite à un œdème progressif post opératoire
- D'une lésion intéressant la branche postérieure en cas de fibres motrices présente dans celle-ci
- D'une cause non neurologique de paralysie de la corde vocale notamment une luxation aryénoïdienne.

- *Evènements indésirables*

L'étude sur des modèles animaux retrouve lors des lésions par compression ou traction une diminution de l'amplitude et un allongement des latences qui sont progressives.

Plusieurs études ont défini des « évènements combinés » qui sont des marqueurs importants d'une lésion de type neurapraxique [50,51]. Ces évènements sont une diminution d'amplitude (moins de fibres nerveuses participant à la réponse) et une augmentation des latences (réponse plus lente), ces études ont montré que lorsque que ces évènements se produisent fréquemment il y avait un plus grand risque de perte de signal.

Phelan et al, et Schneider et al ont retrouvé un risque accru de PR si ces évènements survenaient pendant plus de 40 secondes (avec une diminution de 50 %-70% d'amplitude et une latence augmentée de 10%). De plus ces changements étaient réversibles si l'action chirurgicale en cours était stoppée [50,51].

Ce qui amène l'INMSG à statuer que l'association d'une diminution d'amplitude supérieure à 50 % avec une latence supérieure à 10% est associée à un risque élevé de PR. Ils recommandent

l'arrêt de toute manœuvre chirurgicale avec ces changements EMG, reconnaissant que ces évènements peuvent induire un risque de PR s'ils sont prolongés pendant 40 à 60 secondes [36].

- *EMG final et récupération au cours de l'intervention*

Les lésions nerveuses ont été décrites et classées par Seddon suivant le degré de l'atteinte (neurapraxie, axonotmésis et neurotmésis) et leur potentiel de récupération [52].

Une atteinte de type neurapraxie, qui correspond à une interruption fonctionnelle de la conduction sans lésion axonale, est transitoire. Une atteinte plus sévère va entraîner des lésions directes des cellules de Schwann et des atteintes de la structure de l'axone appelée axonotmésis. Les structures conjonctives sont encore intactes et guideront la réinnervation. Des perturbations plus sévères encore sont appelées neurotmésis lorsque toutes les structures nerveuses sont sectionnées.

Schneider et al, avaient remarqué que chez tous les patients ayant une perte de signal per opératoire ($< 100 \mu V$) mais ayant une amplitude finale supérieure à 50 % de leur amplitude initiale avaient des cordes vocales fonctionnelles [53].

Si l'amplitude n'était pas revenue à plus de 50 % après 20 minutes il y avait un risque de 80 % de PR post opératoire [54].

De plus si l'amplitude finale est supérieure à $250 \mu V$, la probabilité d'une fonction normale est élevée [55].

De ce fait l'INMSG recommande que l'EMG final soit supérieur à $250 \mu V$ ainsi qu'une récupération supérieure à 50 % de l'amplitude de base [36].

Décision d'une chirurgie bilatérale en cas de perte de signal

La détection d'une perte de signal sur le premier côté en cas de chirurgie bilatérale peut réduire le risque de trachéotomie notamment lors de la décision d'une chirurgie différée.

Dans une étude menée par Goretzki et al avec une série de plus de 2600 nerfs le taux de PR bilatérale était de 17 % si la perte de signal du premier côté n'était pas détectée ou ignorée, alors que la perte de signal était de zéro si prise en compte [56]. Un taux similaire était retrouvé chez Melin et al [44].

Sadowski et al, lors d'une étude sur 220 patients, en utilisant une approche dissociée après la survenue d'une perte de signal du premier côté ne constatait pas de cas de PR bilatérale [57].

Ce constat est partagé par Schneider et al, Fontenot et al et Randolph et al [47,58,59].

De ce fait, lors de ces recommandations de 2018, l'INMSG recommande que les données d'une perte de signal du premier côté soient utilisées afin de reporter l'intervention du second côté.

En effet, pour eux, les risques psychologiques et physiques d'une PR bilatérale et d'une possible trachéotomie doivent être pris en compte dans la décision de poursuivre la chirurgie en cas de perte de signal [36].

Prise en charge d'un NLI envahi lors d'un cancer thyroïdien

Une PR préopératoire est un facteur prédisant la présence d'un cancer invasif de la thyroïde. Dans une étude par Kim JW et al, environ 70 % des patients avec une PR avaient un cancer invasif de la thyroïde [60].

Le neuromonitoring apporte une nouvelle dimension à la chirurgie thyroïdienne, en effet un nerf semblant morphologiquement intact n'est pas toujours fonctionnellement actif et un nerf envahi par une lésion maligne peut avoir une fonction préservée.

En effet, l'étude de Kamani et al retrouvait qu'en présence d'une invasion nerveuse du NLI 45 % des nerfs étaient fonctionnels avec une mobilité des cordes vocales normale en préopératoire [61].

Une invasion locale survient dans 13 à 15 % des cancers différenciés de la thyroïde et est plus commun avec un âge avancé et de larges lésions [62–64].

L'invasion du NLI n'impacte pas toujours la survie des patients, dans l'étude de McCaffrey et al il est rapporté que les facteurs pronostiques principaux sont l'envahissement trachéal et œsophagien et qu'il n'y a pas de différence selon l'envahissement ou non du nerf [64].

Plusieurs études ne rapportent pas de différence en termes de survie entre la résection chirurgicale des nerfs envahis ou la conservation nerveuse [60,65].

Les facteurs en faveur d'une conservation du nerf, même si cela signifie de ne pas réséquer l'ensemble de la tumeur, sont [37] :

- Les patients jeunes, en général bon répondeur à l'iode radioactif
- Un carcinome papillaire de la thyroïde
- La probabilité forte de l'efficacité d'une thérapie adjuvante (iode radioactif)
- Les patients âgés (augmentation du risque de fausses routes si résection)
- Une capacité pulmonaire réduite
- Les professionnels de la voix
- Une paralysie de la corde vocale controlatérale
- Des métastases à distance connues

Les facteurs en faveur d'un sacrifice nerveux sont [37] :

- Des tumeurs avec une agressivité connue
- Des cancers résistants à l'iode radioactif

- Un antécédent de radiothérapie externe
- L'invasion du nerf au point de pénétration dans le larynx
- Une fonction normale de la corde vocale controlatérale
- L'absence de métastase à distance

Dans la balance bénéfice-risque sont également à prendre en compte :

- Des facteurs laryngés :
- Fonction de la corde vocale ipsilatérale en préopératoire
- Statut du nerf controlatéral préopératoire
- À l'aide du NMPO : signal EMG proximal
- Impact de la résection nerveuse pour le patient (professionnel de la voix, risque de fausses routes)
- Des facteurs oncologiques :
- Possibilité d'une résection complète de la lésion avec la résection nerveuse
- Impact sur le pronostic de laisser de la tumeur en place (quantité et histologie, invasion viscérale)
- Métastases à distance
- Réponse probable à l'iode radioactif [37]

De ce fait plusieurs algorithmes de décision ont été proposés par l'INMSG (*Tableau 4-6*).

Tableau 4 : *Algorithme de prise en charge d'une invasion nerveuse avec une laryngoscopie préopératoire normale*

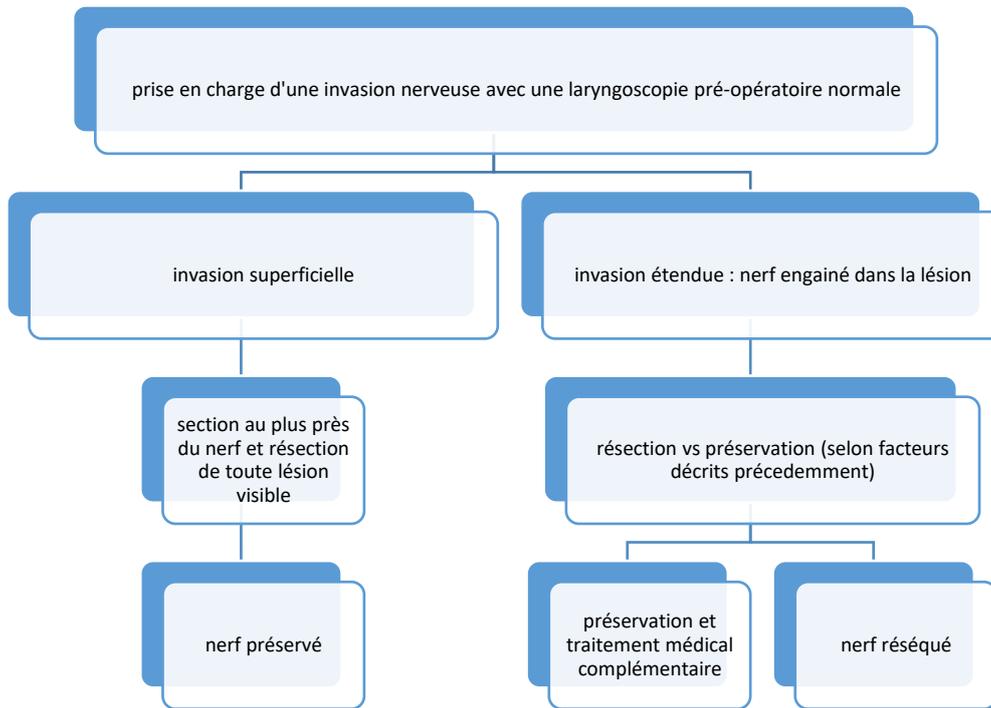


Tableau 5 : *Algorithme de prise en charge d'un nerf envahi avec une fonction de la corde vocale anormale*

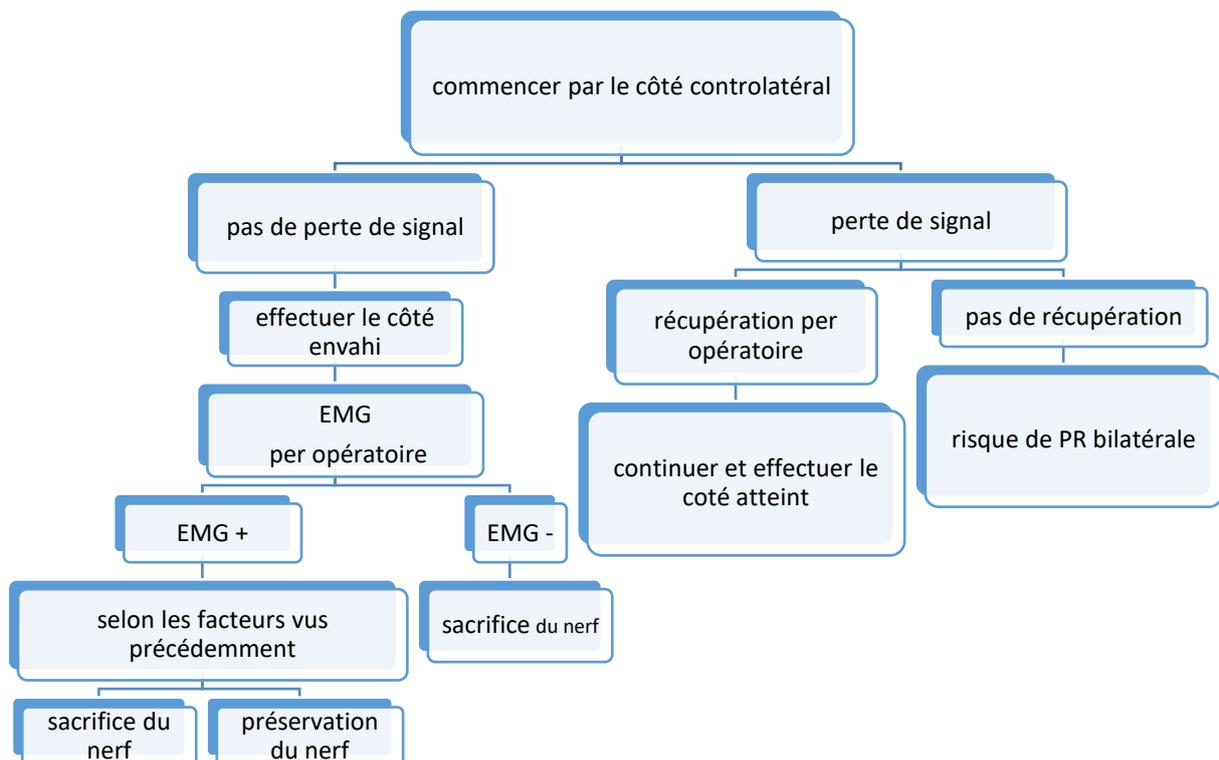
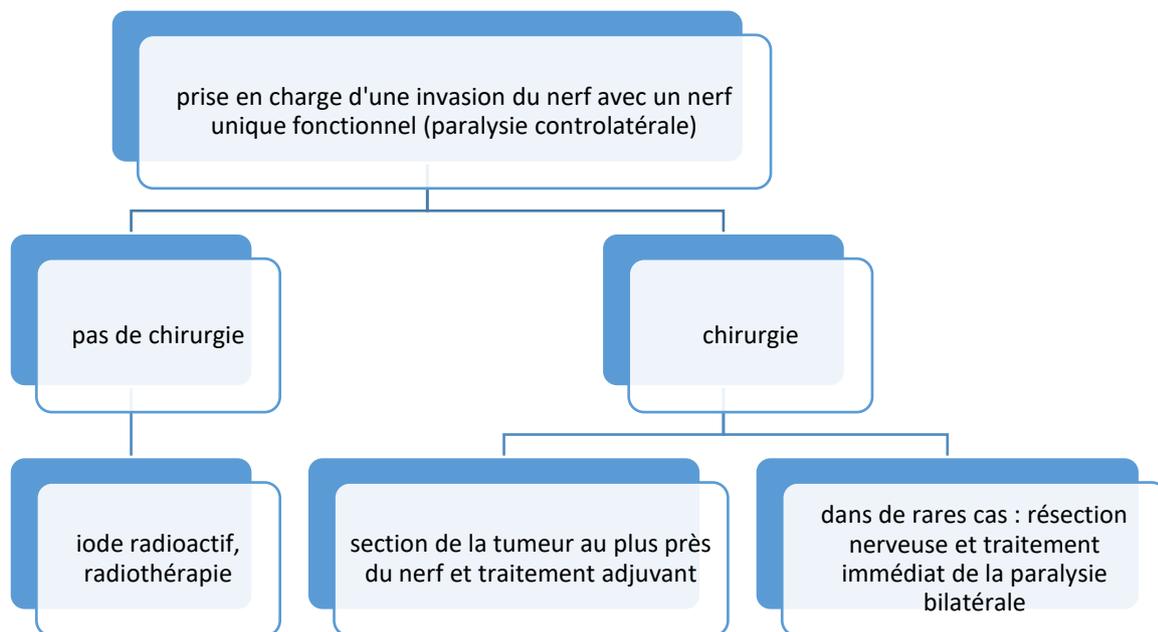


Tableau 6 : Algorithme de décision lors de l'envahissement nerveux



Capacité du système de neuromonitoring à prédire en peropératoire la fonction des cordes vocales post opératoire (tableau 7)

Plusieurs études ont tenté de prouver sa fiabilité dans le dépistage peropératoire des PR. La méconnaissance des paramètres et des pièges électromyographiques ainsi que le manque de standardisation des pratiques ont donné des résultats peu concluants avec une sensibilité variant de 29 à 100% et une spécificité de 62.5 à 100% [66–69].

La faible sensibilité des résultats de ces études peut être expliquée par un grand nombre de faux-négatifs.

De nombreux auteurs utilisaient comme référence les données recueillies au niveau du NLI, avec le risque de stimuler en aval d'une lésion nerveuse. Lors d'une section nerveuse, la dégénérescence wallérienne (dégénérescence sous-lésionnelle du nerf) peut prendre plusieurs jours et le nerf reste alors parfaitement stimuable en aval de la lésion. C'est pourquoi la stimulation au niveau du nerf vague, correspondant à une stimulation indirecte du NLI, garantit une stimulation sur la totalité du trajet du NLI. Les études de Thomusch et al et Melin et al ont montré que la stimulation au niveau du nerf vague était significativement plus fiable qu'au niveau du NLI [70,71].

De plus, les anciens appareils de neuromonitoring n'utilisaient qu'un signal sonore ou visuel pour la détection de l'activité électrique du NLI. Le signal recueilli peut alors être un artefact. Seule l'identification sur un écran d'électromyographie du potentiel d'action permet d'être certain qu'il s'agit bien d'un signal nerveux [31].

On remarque une augmentation de la sensibilité suite à la parution et l'application des recommandations de l'INMSG en 2011 (*Tableau 7*).

Cette constatation est également remarquée par Kim et al, lors de sa méta analyse avec une analyse par sous-groupes avec des données récentes [72].

Certaines études retrouvent également de nombreux faux-positifs expliquant une spécificité bien inférieure à 100%. Quelques auteurs utilisaient un seuil d'intensité minimal en-dessous duquel, s'il n'y a aucune réponse électromyographique, le nerf était considéré comme pathologique. Or, l'intensité de stimulation ne doit pas être le paramètre de référence du fonctionnement nerveux. Le potentiel d'action musculaire issu de stimulation électrique répond à la loi du « tout ou rien » : il est nécessaire de réaliser une stimulation électrique avec un seuil minimal pour obtenir un potentiel d'action. Celui-ci aura une amplitude maximale au-delà d'un certain seuil d'intensité électrique, appelé seuil supra-maximal.

De par la rareté de la survenue d'une PR, la valeur prédictive négative est élevée entre 91 et 100% [73,74] alors que la valeur prédictive positive est plus basse et variable allant de 8.2 à 100% [67,70].

On remarque que dans les études, suite aux recommandations de l'INMSG en 2011, avec l'application d'une standardisation du neuromonitoring, les valeurs prédictives positives et négatives augmentent (*Tableau 7*).

De par sa haute valeur prédictive négative, s'il n'y a pas de perte de signal en fin d'intervention le risque de PR est extrêmement faible.

Prévention de la PR à l'aide du neuromonitoring (*Tableaux 8 et 9*)

La capacité du NMPO à diminuer le risque de PR postopératoire est encore fortement débattue. En effet on dénombre plus d'une dizaine de méta-analyses sur le sujet depuis 2011 et plus d'une centaine d'études dont les conclusions sont discordantes.

Comme vu précédemment le gold standard actuel est la visualisation du NLI de ce fait les études comparatives sont entre l'utilisation du neuromonitoring versus la visualisation du nerf (*Tableaux 8 et 9*).

L'incidence des PR varie selon les études, en cas d'utilisation du neuromonitoring on retrouve des pourcentages allant de 0.33% [75] à 15.4 % [76] pour une paralysie transitoire, et de 0.2 % [77,78] à 6.3 % [72] pour une paralysie définitive.

Lorsqu'il n'est pas utilisé on retrouve des pourcentages allant de 1.2 % [79] à 16.4% [80] en cas de paralysie transitoire et de 0.3 % [81] à 5.5 % [80] en cas de paralysie définitive.

La survenue d'une PR est un évènement peu fréquent, Dralle et al avaient étudié la question de la puissance statistique nécessaire afin de prouver que le taux de paralysie récurrentielle était plus faible avec l'utilisation du neuromonitoring. Son étude suggérait qu'il faudrait 9 millions de patients par bras en cas de goitre bénin et approximativement 40 000 patients par bras en cas de cancer thyroïdien [82].

Afin d'augmenter le nombre de patients certaines études récentes utilisent de larges bases de données ou sont des méta-analyses regroupant de nombreuses études.

Ces études ont l'avantage d'inclure de très nombreux cas mais elles souffrent de la variabilité des patients des cohortes, des différences de techniques, du mélange d'établissement réalisant peu ou au contraire de très nombreuses thyroïdectomies, et dans le cas de registre du manque de données renseignées ou de l'incapacité à distinguer une paralysie transitoire et permanente, et parfois du manque de suivi. De plus sur des données rétrospectives il est possible qu'il y ait une sous déclaration des PR.

Bergenzel et al retrouvaient une plus faible incidence des PR définitive lors de l'utilisation du neuromonitoring [83]. Barczynski et al retrouvaient lors d'une étude prospective randomisée une plus faible incidence de PR transitoire et de l'ensemble des PR (PR définitive et transitoire confondues) sans différence significative en termes de PR définitive. Une paralysie persistant au-delà de 12 mois était considérée comme définitive [84].

D'autres études prospectives ne retrouvaient pas non plus de différence significative en terme de PR [66,85,86].

Une récente méta analyse publié par la Cochrane ne retrouvait pas de bénéfice évident par rapport à la visualisation seule [87]. Elle étudiait 5 études prospectives randomisées, qui sont les seuls essais randomisés réalisé jusqu'à ce jour. La plupart des patients de cette revue provenaient des études de Barczynski.et al. Elle concluait également que l'étude était limitée dû au faible nombre de patients et de la faible fréquence de PR survenue. Néanmoins une méta-analyse réalisée par Bai et al est parvenue à montrer une réduction significative du taux de PR aussi bien initiale (PR définitive et transitoire confondues) que définitive [88]. Cette étude regroupait les données de 59,380 patients provenant de 34 études.

Une méta analyse réalisée par Zheng et al, arrivait à la même conclusion [89].

Lors d'une méta-analyse réalisée par Sun et al en 2017 il était retrouvé une diminution du risque de PR définitive [90]. On retrouvait une diminution du risque de PR transitoire chez Yang et al ainsi que chez Wong et al, ce dernier avait étudié exclusivement les thyroïdectomies considérées comme à haut risque [91,92].

Il n'était pas trouvé de différence chez Lombardi et al et chez Pisanu et al [93,94].

Une étude multicentrique avec plus de 16 000 patients et 30 000 nerfs à risque concluait que les effets du neuromonitoring sur la survenue des PR n'étaient pas significatifs entre les groupes avec ou sans neuromonitoring sauf pour les patients avec un goitre auto-immun [70].

La raison pour les différences retrouvées lors des différentes études et méta-analyse peut s'expliquer par l'évolution continue du neuromonitoring. En effet lors des premières études il n'y avait pas de standardisation menant à de nombreuses erreurs d'interprétation.

Peu de centres utilisaient la laryngoscopie de façon systématique et la perception de l'absence de dysphonie pouvait suffire à classer le patient dans le groupe sans PR. Ce qui a pu résulter en une sous-estimation de l'incidence des PR [95].

Il existe également une hétérogénéité entre les études en termes de définition de la paralysie, en effet certaines études considèrent une diminution du mouvement des cordes vocales comme une paralysie [96] alors que d'autres définissent la paralysie comme l'absence complète de mouvement des cordes vocales [86].

- *NMPO du NLE (Tableau 10)*

Une branche nerveuse communiquant entre le NLE et le NLI est décrit dans une étude et identifié dans 85% des cas, de façon bilatérale dans 44% des cas et unilatéralement dans 41% des cas [97].

Cette branche permet une communication nerveuse aux cordes vocales chez 41 % à 85% des patients [97,98].

La variabilité de cette connexion peut expliquer la variabilité du signal retrouvé lors d'une stimulation du NLE.

Lors d'une étude prospective randomisée, Dionigi et al trouvaient un taux d'identification de NLE de 84 % lors de l'utilisation du NMPO versus 42% lorsqu'il n'était pas utilisé [99]. Lifante et al trouvaient quant à eux un taux de 65% avec et 33% sans [100]. Lors de l'étude prospective randomisée réalisée par Barczynski et al, un taux de 84% avec NMPO versus 34 %

sans NMPO [101]. Le NMPO permettait également de réduire la prévalence de paralysie transitoire du NLE (1% vs 5% avec $p=0.02$) [101].

Lors de l'étude par Aina et al le taux d'identification avec NMPO était de 92.7 % sur 151 patients consécutifs [102].

Dans l'étude de Selvan et al 100% des NLE étaient trouvés grâce au NMPO [103].

Dans une méta-analyse réunissant 56 études, on retrouvait 95.9% d'identification du NLE avec le NMPO versus 76.5% sans [25].

Lors d'une autre méta-analyse, il était également retrouvé un plus fort taux d'identification à l'aide du NMPO [104].

- *NMPO continu*

Récemment des techniques de NMPO-C ont été développées, en effet il était reproché au NMPO-I de ne pas permettre d'établir la fonction nerveuse entre 2 stimulations et de ne pas savoir quelle action était à l'origine d'une paralysie [83].

Le NMPO continu permet de suivre les changements d'amplitude et de latence de signal EMG. Il est basé sur des stimulations périodiques du nerf vague grâce à un système placé en continu sur le nerf vague.

De nombreuses études ont montré l'absence de risque de cette méthode en termes d'effets secondaires cardiaques, pulmonaires, neurologiques, gastrointestinaux [34,50,51,105].

Cependant des instabilités hémodynamiques et une neurapraxie attribuée au NMPO-C ont été rapportées lors de l'utilisation de ces NMPO-C et expliquent la réticence de certaines équipes à l'utiliser [106].

La survenue d'évènements combinés est particulièrement bien détectée par le NMPO continu, en effet les lésions survenant par un mécanisme de traction sont progressives et seront détectées par la survenue de changement d'amplitude et de latence progressifs. Cela permettra de stopper la manœuvre chirurgicale à risque en cours.

Les lésions dues à la cautérisation, au clampage, aux ligatures et à la section nerveuse sont des lésions brutales et peuvent ne pas être prévenues par le NMPO continu si elles surviennent entre 2 stimulations périodiques [50,53].

- *NMPO intermittent versus continu (Tableau 10)*

Plusieurs études comparent le NMPO intermittent versus un NMPO continu.

Lors d'une étude réalisée sur 346 patients il était retrouvé une diminution significative du risque de PR initial (PR transitoire et définitive sans distinction) lors de l'utilisation du NMPO-C mais non significative du risque de PR définitive [107].

Une étude réalisée par Sinclair et al parvenait à la même conclusion [108].

Des études menées par Yu et al et Bihain et al ne retrouvaient pas de différence significative entre les deux techniques [109,110].

Lors d'une méta analyse récente le NMPO continu présentait une plus grande sensibilité, (0.9403 vs 0.7589 $p=0.0126$), une plus grande valeur prédictive négative (0.9982 vs 0.9920 $p=0.0213$), en revanche il n'y avait pas de différence significative en termes de spécificité ou de valeur prédictive positive [72].

Une étude récente publiée par Schneider et al montrait sur une large cohorte de plus de 6000 patients avec plus de 12 000 nerfs à risque qu'un NMPO continu réduisait le risque de PR en post opératoire immédiat d'1.8 fois ainsi que le risque de la paralysie permanente de 29.4 fois comparé au NMPO intermittent [111]. Le risque qu'une paralysie précoce deviennent permanente était 17.9% moins probable en cas de neuromonitoring continu.

CONCLUSION

La connaissance du NMPO ainsi que les moyens technologiques à disposition ont considérablement progressé depuis quelques dizaines d'années.

La publication de recommandations internationales a permis une standardisation du NMPO augmentant sa fiabilité.

Les PR sont des évènements rares, de ce fait des études prospectives sur le NMPO nécessiteraient de nombreux patients et risqueraient d'être difficilement réalisables.

La capacité du NMPO à prédire la paralysie récurrentielle ainsi que l'atteinte du NLE a augmenté. Les progrès réalisés suite au NMPO continu sont prometteurs quant à sa capacité à prédire de façon exacte une paralysie et à pouvoir la prévenir en temps réel.

Le NMPO permet d'obtenir des données de fonctionnalité nerveuses que la visualisation seule n'est pas en mesure d'apporter et est donc un outil intéressant en chirurgie thyroïdienne.

Tableau 7 : Performance du test [44,53,59,66–70,73,74,76,82,84,107,112–138]

auteur	type	nerfs à risque	patient	sensibilité	specificité	valeur prédictive positive	valeur prédictive négative	paralysie de corde vocale précoce	paralysie permanente
Otto 2002	(palpation)	81	55	75	92,2	33,3	98,6	4 (4,9)	0
Dralle 2004		17832	–	46	97,6	12	99,6	626 (3,5)	143(0,8)
Thomusch 2004	indirect (nerf vague) signal normal permanent	12486		45,9	97,6	11,6	99,6	316 (2,5)	85 (0,7)
	direct permanent	12486		42,4	96,7	8,2	99,6	209 (2,5)	85 (0,7)
	signal normal indirect précoce	12486		33	98,3	36,7	97,9	316 (2,5)	85 (0,7)
	signal direct précoce	12486		29,8	97,3	25,2	97,8	209 (2,5)	85 (0,7)
Hermann 2004	parésie	475	328	57,1	97,3/99,3	87	96,6	43 (8,9)	15 (3,1)
	paralysie permanente	475	328	44,4	97,3	25	98,8	43 (8,9)	15 (3,1)
Beldi 2004	électrode (acoustique)	429	288	40	98	67	91	37 (8,6)	6 (1,4)
Yarbrough 2004		72	52	36,4	96,7	66,7	89,3	11 (15,3)	1 (1,9)
	décharge neurotonique	72	52	72,7	59	24,2	92,3	11 (15,3)	1 (1,9)
Chan 2006		501	316	52	94	29	98	21 (4,2)	4 (0,8)
Tomoda 2006	palpation	2197		69,3	99,7	92,1	98,5	101 (4,6)	21 (1)
Cavicchi 2008	palpation	1470		55,3	95,2	37,6	97,6	40 (2,7)	
	acoustique	354		66,7	96,5	40	98,8	12 (3,3)	
Barczynski 2009		1000	500	63	97,1	37,8	98,9	27 (2,7)	8 (1,6)
Cavicchi 2011	palpation	229	125	33,4	97,5	26,7	98,2	6 (2,65)	5 (2,21)
	laryngé	226	125	66,7	93,5	22,2	99	6 (2,62)	5 (2,18)
Alesina 2012		128	91	37,5	95	43	94	8 (6,2)	0
Cernea 2012		868	447	–	–	40	100	10 (1,2)	2 (0,2)
Perie 2012		196	100	36,8	99,4	87,5	93,6	23 (11,7)	4 (2)
Calo 2013		1493	751	90	99,1	75	99,7	20 (2,66)	6 (0,8)

auteur	type	nerfs à risque	patient	sensibilité	specificité	valeur prédictive positive	valeur prédictive	paralysie de corde vocale précoce	paralysie permanente
Eid 2013	paralysie permanente	909	-	97,3	85	99,7	30	28 (3,1)	11 (1,2)
	paralysie globale	909	-	98,4	62,5	98,6	58,8	28 (3,1)	11 (1,2)
Melin 2013		4012	2546	80	99	68	99	113 (3)	15 (0,37)
Barcynski 2014		500	306	90	95	78,3	99,6	20 (4)	7 (1,4)
Calo 2014		710	357	85,7	99,4	75	99,7	7 (1,96)	1 (0,28)
Calo 2014-2034 patients		2068	1041	91,3	99,41	77,77	99,8	23 (2,21)	6 (0,58)
De falco 2014		600	300	66,7	97,6	22,2	99,6	5 (1,66)	4 (1,33)
Melin 2014		3426	2152	85,4	99	68	99,6	82 (2,4)	-
Page 2015		612	306	27,27	91	10,52	97,11	22 (3,59)	6 (0,98)
Pavier 2015	<280 µ	216	127	100	94,06	47,83	100	9 (7,01)	1 (0,46)
Schneider 2015	intermittent	965	738	73,9	99,5	77,3	99,4	23 (2,4)	4 (0,4)
	NMPOC	1314	788	90,9	99,7	88,2	99,8	33 (2,5)	0
Calo 2016		2712	1356	93,55	99,4	78,38	99,85	29 (2,13)	6 (0,44)
Klopp 2016	paralysie permanente du nerf vague	160	95	100	99	50	100	9 (5,63)	2 (1,25)
Randolph 2016		1381		33	99,9	75	99,6	9 (0,7)	0
Stopa 2016	≤189 µV			96	99,28	77,4	99,9	25 (5)	0
De la Quintana Basarrate 2017	NMPOC > 50% de diminution d'amplitude EMG	400	248	100	97,7	47	100	8 (2)	0
Farizon 2017	nerf vague, ligament crico-thyroïdien		195	100	98,4	70	100	14 (3,8)	2 (0,51)
Kai 2017		455	340	-	-	70	99,77	8 (1,76)	2 (0,44)
Mirallie 2017	global		807	29	98	61	94	69 (8,6)	-
	paralysie complete			52	98	48	98	31 (3,8)	-
Wu 2017	<200 µ	522		54,5	100	100	99	11 (2)	-
	<280 µ	522		63,6	100	100	99	11 (2)	-

auteur	type	nerfs à risque	patient	sensibilité	specificité	valeur prédictive positive	valeur prédictive	paralysie de corde vocale précoce	paralysie permanente
Wu 2017	perte de signal	522		72,7	98,6	53,3	99,4	11 (2)	-
	perte de signal persistante	522		45,5	100	100	98,8	11 (2)	-
Cavicchi 2018		1264	716	90	99,2	78,3	99,7	40 (3,16)	3 (0,4)
Gur 2019		912	456	-	-	86,4	100	18 (11,53)	2 (0,43)
Gschwandtner 2019	NMPOI Vague inc parésie	640	388	48,3	97,4	65,1	95	58 (9,1)	-
	NMPOI Vague exd parésie	640	388	51,3	97,4	57,1	96,8	39 (6,1)	-
	contrac vague inc parésie	640	388	46,6	96,9	60	94,8	58 (9,1)	-
	contrac vague exc parésie	640	388	48,7	96,9	51,4	96,6	39 (6,1)	-
	NMPOI NLI inc parésie	640	388	34,5	90,3	66,7	93,8	58 (9,1)	-
	NMPOI NLI exc parésie	640	388	33,3	90,3	56,5	95,7	39 (6,1)	-
	contrac NLI inc parésie	640	388	39,7	97,6	62,2	94,2	58 (9,1)	-
	contrac NLI exc parésie	640	388	30,5	97,6	51,7	96	39 (6,1)	-
Hamilton 2019	NMPOC, amplitude < 50 % base	256	194	100	85	18	100	8 (4,12)	6 (2,3)
Sedlmaier 2019	NMPOI	409		76,7	97,8	80,5	97,3	43 (10,5)	6 (1,5)
	NMPOC	204		100	90,2	47,6	100	10 (2,9)	2 (1,0)
Yuan 2019	R2p/R2d >63% (pds incomplète) or R2 <100µV (pds complète)	1764	1108	90	99,8	79,4	99,8	30 (1,5)	-
Legre 2020	électrode sonde d'intubation	47	28	33	97	50	95	3 (6,4)	0
Ling 2020	électrode insérée	16	9	67	100	100	92	3 (18,75)	1 (6,25)
Nisi 2020	NMPOI	1104	701	-	-	65,38	99,9	25 (3,57)	2 (0,29)
		1652	928	100	98	52	100	23 (1,3)	7 (0,4)

Tableau 8 : Caractéristiques des études et des patients lors de la comparaison entre NMPO et visualisation seule pour le NLI [7–9,55,66,75–86,96,99,109,114,118,121-124,127,139-166]

auteur	type d'étude	population particulière	n patients		âge		sexe f/m		tt/autre	
			NMPO	v	NMPO	v	NMPO	v	ionm	v
Agha 2008	rétrospective (historique)	goitre thoracique	18	41	-	-	-	-	-	-
Akici 2020	rétrospective (historique)	bénin	140	133	46+/-11	48+/-13	119/21	116/17	140	133
Alesina 2012	rétrospective	réopération	91	159	55+/-12	55+/-13	78/11	131/26	35/54	31/126
Alqurayshi 2016	rétrospective (registre)		1433	15835	-	-	1125/308	12637/3198	966/467	9811/6024
Anuwong 2016	rétrospective		777 /NMPOs 768 /NMPOC	698	-	-	-	-	-	-
Barczynski 2009	randomisée		500	500	51,3+/-14,4	51,9+/-14,7	457/43	455/45	378/122	371/129
Barczynski 2011	rétrospective (historique)	cancer thyroïdien	151	151	43,9+18,1	44,9+/-15,7	137/14	135/16	151	151
Barczynski 2014	rétrospective (historique)	réopération	306	548	54,6+/-13,2	54,0+/-13,6	247/59	440/108	194/112	278/270
Bergenfels 2016	rétrospective (historique)		3277	1975	49	51	1595/380	2607/670		
Brajcich 2016	rétrospective (historique)		315	312	50,7+/-14	48,8+/-14	263/52	255/57	216/	
Brauckhoff 2002	rétrospective	pédiatrique	53	44	11,4	10,9	35/18	21/23	-	-
Calo 2013	rétrospective		751	942	-	-	563/188	785/157	742/9	902/40
Calo 2014	rétrospective	cancer thyroïdien	357	299	-	-	-	-	353/4	292/7
Calo 2014-2034 patients	rétrospective		993	1041	-	-	791/250	824/169	1027/14	953/40
Calo 2016	rétrospective		1356	1009	-	-	1034/322	839/170	1316/40	969/40
Chan 2006	prospective		316	323	50+/-16	48+/-15	250/66	256/67	186/130	176/147
Chuang 2013	rétrospective (historique)	réopération	56	15			48/8	11-4	-	-
Chung 2014	rétrospective (registre)		12746	230781	52,3+/-15,7	52,7+/-15,8			7873/4710	127514/ 101684
De Danschutter 2014	rétrospective		71	76	54+/-16	52+/-13	58/13	68/8	14/57	9/67
De Falco 2014	rétrospective (historique)		300	300	50,57	50,1	234/66	227/73	300/0	300/0
Demiryas 2017	rétrospective		79	112	49,28+/-11,419	47,11+/-11,994	72/7	102/10	42/40	46/66

auteur	type d'étude	population particulière	n patients	âge	sexe f/m	tt/autre
Dionigi 2008	prospective randomisé	vidéo	36	41	32/4	19/17
Draille 2004	prospective	-	-	-	-	-
Erçetin 2019	prospective	-	380	47,2+/-14	330/68	335/62
Frattini 2010	rétrospective	cancer thyroïdien	76	41	40/36	76/0
Gremillion 2012	rétrospective	-	88	-	-	10/21
Gunn 2020	rétrospective (registre)	-	4320	-	-	-
Hei 2016	prospective randomisée	mini-invasive vidéo	46	46,02+/-11,34	36/10	42/9
Hei 2016 - intermittent	prospective randomisée	réopération	33	48,3+/-9,09	23/10/21	31/6
Kadokia 2016	rétrospective (historique)	-	657	-	-	431/230
Kai 2017	rétrospective	gériatrique	340	65,56+/-0,25	76/264	165/203
Kartai 2020	rétrospective	-	282	47,42+/-12,93	220/62	170/41
Kim 2020 (Jina Kim)	rétrospective (registre)	-	11248	52+/-15	8828/2420	4878/1484
Kim 2020 (Jiang-il Kim)	rétrospective	cancer thyroïdien	48	47+/-12,8	37/11	50/23
Lee 2015	prospective randomisée	robot	25	44,2+/-11,9	23/02/21	19/06/21
Leow 2020	rétrospective	-	139	48,2+/-13,4	89/19	104/49
Ling 2020	rétrospective	thyroïde +parathyroïde	701	52	519/182	234/98
Legre 2020	rétrospective	pédiatrique	37	-	-	16/27
Lombardi 2019	prospective	NMPOC	94	51+/-14,75	84/10	79/24
Mirallie 2017	prospective	-	807	51,8	663/144	398/123
Mizuno 2018	rétrospective (registre)	cancer thyroïdien	849	57,6+/-14,7	621/228	3695/1300
Netto 2007	rétrospective (historique)	-	104	43	96/8	88/12
Page 2015	rétrospective (historique)	goitre bénin	306	53,53	247/59	383/78
Prokopakis 2012	comparative	réopération	47	-	-	13/34
Ritter 2020	rétrospective (historique)	pédiatrique	36	15	27/09/21	57/20
			77	14		15/21
						34/43

auteur	type d'étude	population particulière	n patients	âge	sexe f/m	tt/autre
Robertson 2004	rétrospective	NMPOC	82	42,8	99/17	83/37
Shindo 2007	rétrospective		427	257	244/183	115/142
Sopinski 2017	rétrospective	réopération goitre	27	55,81+/-9,29	27/0	49/4
Staubitz 2020	rétrospective (registre)	pathologie bénigne	4182	416	3204/978	338/78
Terris 2007	prospective	mini-invasive	73	64	19/54	4182/0
Thomusch 2002	prospective	goitres bénins	1453	2929	47/2858	19/54
Thong 2020	rétrospective		583	418	314/269	355/63
Vasileiadis 2016	rétrospective	thyroïdectomie	1481	1075	1481/0	857/218
Witt 2005	rétrospective		54	83	1075/0	1075/0
Wojtczak 2017	rétrospective	réopération	37	24	35/2	21/03/21
Xie 2016	rétrospective	endoscopique	68	55	30/38	52/3
Yarbrough 2004	rétrospective	réopération	52	59	2/50	37/22
Zhou 2019	rétrospective	basedow NMPOI et NMPOC	82 72 C	55	NMPOI : 39+/-3 NMPOC 38+/-3	40+/-5
						NMPOI : 77/5 NMPOC : 69/3
						45/10

Tableau 9 : Comparaison de la survenue d'une PR lors de l'utilisation NMPO versus visualisation seule pour le NLI [7–9,55,66,75–86,96,99,109,114,118,121-124,127,139–166]

auteur	n patients		nerfs à risque		totalité		p value		total transitoire		p value		total permanent		p value	
	NMPO	V	NMPO	V	NMPO	V	NMPO	V	NMPO	V	NMPO	V	NMPO	V	NMPO	V
Agha 2008	18	41	–	–	1	4										
Akici 2020	140	133	–	–	5	13			4	9	0,01	1	4	0,001		
Alesina 2012	91	159	128	–	8	4			8	4	0,03	0	1			
Alqurayshy 2016	1433	15835	–	–	24	189										
Anuwong 2016	777 / NMPOis 768/ NMPOC 626	698	777/768/626	–	–	–			39/s35/c20	47	0,07	9 / s ionnm 8 : cionnm 0	12	0,6		
Barczynski 2009	500	500	1000	–	27	50			19	38	0,011	8	12	0,368		
Barczynski 2011	151	151	302	–	5	10			39/s35/c20	8	0,04	2	2	0,31		
Barczynski 2014	306	548	500	–	20	72			13	52	0,003	7	20	0,202		
Bergenfelz 2016	3277	1975	–	–	134	83						36	24	0,51		
Brajcich 2016	315	312	531	–	–	–						4	3	1		
Brauckhoff 2002	53	44	91	–	1	3			1	2	0,48	0	1	0,31		
Calo 2013	751	942	1493	–	20	28			14	21	p>0,05	6	7	p>0,05		
Calo 2014	357	299	710	–	7	6			6	5	p>0,05	1	1	p>0,05		
Calo 2014 -2034 patients	993	1041	–	–	21	28			15	21	p>0,05	6	7	p>0,05		
Calo 2016	1356	1009	2712	–	31	28			25	21	p>0,05	6	7	p>0,05		
Chan 2006	316	323	501	–	21	26			17	20	>,05	4	6	>,05		
Chuang 2013	56	15	70	–	1	3										
Chung 2014	12746	230781	–	–	238	3198			0,001							
De Danschutter 2014	71	76	85	–	2	8			2	2	>,05	0	6	0,044		
De Falco 2014	300	300	600	–	5	13			1	8	0,044	4	5	1		
Demiryas 2017	79	112	153	–	7	15			5	11	>,0,05	2	4	p>0,05		
Dionigi 2008	36	36	110	–	1	3			1	3	p>0,05	0	0	–		
Dralle 2004	–	–	17832	–	626	193			483	144		143	49			
Erçetin 2019	368	380	736	–	9	11			9	11	–	0	0	–		
Frattoni 2010	76	76	152	–	3	7			2	5	–	1	2	–		
Gremillion 2012	31	88	41	–	2	4			2	3	p>0,05	0	1	p>0,05		
Gunn 2020	7031	4320	–	–	392	273			0,013							
Hel 2016	46	51	47	–	60	1			1	1	–	1	0	–		

auteur	n patients	nerfs à risque	totalité	p value	total transitoire	p value	total permanent	p value					
Hei 2016 - intermittent	33	37	41	43	7	4	0,291	5	3	0,658	2	1	0,966
Kadakia 2016	761	657	-	27	27	21	p>0,05	17	9	p>0,05	11	13	p>0,05
Kai 2017	340	212	455	381	8	18	0,01	6	14	0,03	2	4	0,3
Kartal 2020	282	211	479	360	27	33	0,05	23	27	0,23	4	6	0,341
Kim 2020 (Jina Kim)	11248	6362	-	640	640	420	0,0001	-	-	-	-	-	-
Kim 2020 (Jang-il Kim)	48	73	51	82	6	16	0,189	3	12	0,098	3	4	0,982
Lee 2015	25	25	-	0	0	0	-	0	0	-	0	0	-
Leow 2020	139	162	-	11	11	22	p>0,05	7	14	p>0,05	1	6	p>0,05
Ling 2020	701	332	1104	592	25	8	0,324	23	7	0,295	2	1	0,965
Legre 2020	37	10	63	14	6	2	-	5	1	-	1	1	0,34
Lombardi 2019	94	103	-	3	3	5	p>0,05	3	4	p>0,05	0	1	-
Mirallie 2017	807	521	-	69	69	62	-	-	-	-	6	6	0,391
Mizuno 2018	849	4995	-	21	21	106	p>0,05	-	-	-	-	-	-
Netto 2007	104	100	169	158	12	12	-	6	7	-	6	5	0,55
Page 2015	306	461	612	922	6	6	p>0,05	16	18	p>0,05	6	6	p>0,05
Prokopakis 2012	47	50	60	61	1	6	0,059	1	6	0,059	0	0	-
Ritter 2020	36	77	61	122	1	7	0,114	1	5	p>0,05	0	2	0,552
Robertson 2004	82	83	116	120	5	8	0,48	4	5	0,89	1	3	0,62
Shindo 2007	427	257	671	372	25	17	p>0,05	9	7	p>0,05	2	1	p>0,05
Sopinski 2017	27	53	47	86	5	13	0,47	-	-	-	-	-	-
Staubitz 2020	4182	416	8364	832	37	13	<0,001	5	2	-	4	2	-
Terris 2007	73	64	92	84	4	5	0,73	4	5	0,73	0	0	-
Thomusch 2002	1453	2929	2196	4033	41	136	-	32	99	<0,008	9	37	<0,004
Thong 2020	583	418	892	647	56	33	0,38	54	24	0,04	2	9	0,01
Vasileiadis 2016	1481	1075	2962	2150	19	71	-	15	51	-	4	20	-
Witt 2005	54	83	83	107	6	4	p>0,05	4	3	>0,05	2	1	>0,05
Wojtczak 2017	37	24	60	45	1	6	-	1	3	0,185	0	3	0,042
Xie 2016	68	55	98	69	11	11	p>0,05	9	8	p>0,05	1	2	p>0,05
Yarbrough 2004	52	59	72	79	11	9	0,76	9	8	p>0,05	1	1	p>0,05
Zhou 2019	82 72 C	55	-	10	10	6	-	4	6	0,058	0	1	-

Tableau 10 : Étude NLE [99–101,167–170]

auteur	Nombre de NLE identifié (NMPO)	Nombre total de NLE à risque (NMPO)	Nombre de NLE identifié (contrôle)	Nombre total de NLE à risque (contrôle)	Nombre de patients (NMPO)	Nombre de patients (contrôle)
Lifante et al, 2009	23	35	7	33	22	25
Diogioni et al, 2009	46	55	24	57	36	36
Barczynski et al, 2012	176	200	72	202	100	100
Masuoka et al, 2014	99	203	36	202	124	128
Glover et al, 2015	347	357	306	357	228	228
Hurtado-López et al, 2016	234	240	190	240	148	148
Uludag et al, 2016	37	106	8	105	68	65

Tableau 11 : Comparaison du NMPO-I et du NMPO-C [53,107–110,171]

auteur	Type NMPO	nerfs à risque	patients	sensibilité	specificité	valeur prédictive positive	valeur prédictive négative	paralysie de corde vocale précoce	paralysie permanente
Koulouris 2012	NMPOI	384	174	96,48	100	100	36,4	5	0
	NMPOC	384	174	100	100	100	100	5	0
Schneider 2015	NMPOI	965		73,9	99,5	77,3	99,4	23 (2,4)	4 (0,4)
	NMPOC	1314		90,9	99,7	88,2	99,8	33 (2,5)	0
Sedlmaier 2019	NMPOI	409		76,7	97,8	80,5	97,3	43 (10,5)	6 (1,5)
	NMPOC	204		100	90,2	47,6	100	10 (2,9)	2 (1,0)
Yu 2019	NMPOI	374	238	90	99,2	75	98,7	10 (2,7)	3 (0,8)
	NMPOC	173	106	100	99,4	66,7	100	2 (1,2)	0
Bihain 2020	NMPOI	472	236	–	–	–	–	18 (7,6)	–
	NMPOC	734	367	–	–	–	–	18 (4,9)	–
Sinclair 2020	NMPOI	130	130	–	–	–	–	10 (7,69)	1 (0,77)
	NMPOC	205	205	–	–	–	–	3 (1,46)	1 (0,49)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Caisse nationale de l'Assurance Maladie (Cnam). Analyse du parcours de soins des patients thyroïdectomisés pour cancer, goitre ou nodule. Juin 2013.
- [2] Lenay-Pinon D, Biet-Hornstein A, Strunski V, Page C. The circumstances in which recurrent laryngeal nerve palsy occurs after surgery for benign thyroid disease: a retrospective study of 1026 patients. *J Laryngol Otol* 2021;135:640–3.
- [3] Statistisches Bundesamt DESTATIS. Fallpauschalenbezogene Fallstatistik: DRG Statistik. Operationen und Prozeduren der Vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern; Statistisches Bundesamt: Berlin, Germany, 2017. n.d.
- [4] Peix J-L, Lifante J-C, Maillard L. Évolution récente de la chirurgie thyroïdienne. *Bull Académie Natl Médecine* 2017;201:707–13.
- [5] Davies L, Morris LGT, Haymart M, Chen AY, Goldenberg D, Morris J, et al. American association of clinical endocrinologists and American college of endocrinology disease state review : the increasing incidence of thyroid cancer. *Endocr Pract Off J Am Coll Endocrinol Am Assoc Clin Endocrinol*. juin 2015;21(6):686-96.
- [6] Brito JP, Morris JC, Montori VM. Thyroid cancer: zealous imaging has increased detection and treatment of low risk tumours. *BMJ* 2013;347:f4706.
- [7] Kim J, Graves CE, Jin C, Duh Q-Y, Gosnell JE, Shen WT, et al. Intraoperative nerve monitoring is associated with a lower risk of recurrent laryngeal nerve injury: A national analysis of 17,610 patients. *Am J Surg* 2021;221:472–7.
- [8] Staubitz JJ, Watzka F, Poplawski A, Riss P, Clerici T, Bergenfelz A, et al. Effect of intraoperative nerve monitoring on postoperative vocal cord palsy rates after thyroidectomy: European multicentre registry-based study. *BJS Open* 2020;4:821–9.
- [9] Gunn A, Oyekunle T, Stang M, Kazaure H, Scheri R. Recurrent Laryngeal Nerve Injury After Thyroid Surgery: An Analysis of 11,370 Patients. *J Surg Res* 2020;255:42–9.
- [10] Jansson S, Tisell LE, Hagne I, Sanner E, Stenborg R, Svensson P. Partial superior laryngeal nerve (SLN) lesions before and after thyroid surgery. *World J Surg* 1988;12:522–7.

- [11] Lahey FH, Hoover WB. Injuries to the recurrent laryngeal nerve in thyroid operations : their management and avoidance. *Ann Surg.* oct 1938;108(4):545-62.
- [12] Dionigi G, Wu C-W, Kim HY, Rausei S, Boni L, Chiang F-Y. Severity of Recurrent Laryngeal Nerve Injuries in Thyroid Surgery. *World J Surg* 2016;40:1373–81.
- [13] Liu M-Y, Chang C-P, Hung C-L, Hung C-J, Huang S-M. Traction Injury of Recurrent Laryngeal Nerve During Thyroidectomy. *World J Surg* 2020;44:402–7.
- [14] Snyder SK, Lairmore TC, Hendricks JC, Roberts JW. Elucidating Mechanisms of Recurrent Laryngeal Nerve Injury During Thyroidectomy and Parathyroidectomy. *J Am Coll Surg* 2008;206:123–30.
- [15] Bartsch D, Dotzenrath C, Vorländer C, Zielke A, Weber T, Buhr H, et al. Current Practice of Surgery for Benign Goitre—An Analysis of the Prospective DGAV StuDoQ|Thyroid Registry. *J Clin Med* 2019;8:477.
- [16] Page C, Foulon P, Strunski V. The inferior laryngeal nerve: surgical and anatomic considerations. Report of 251 thyroidectomies. *Surg Radiol Anat SRA* 2003;25:188–91.
- [17] Serpell JW, Yeung MJ, Grodski S. The Motor Fibers of the Recurrent Laryngeal Nerve Are Located in the Anterior Extralaryngeal Branch. *Ann Surg* 2009;249:648–52.
- [18] Defechereux T, Albert V, Alexandre J, Bonnet P, Hamoir E, Meurisse M. The inferior non recurrent laryngeal nerve: a major surgical risk during thyroidectomy. *Acta Chir Belg* 2000;100:62–7.
- [19] Fundakowski CE, Hales NW, Agrawal N, Barczyński M, Camacho PM, Hartl DM, et al. Surgical management of the recurrent laryngeal nerve in thyroidectomy: American Head and Neck Society Consensus Statement. *Head Neck* 2018;40:663–75.
- [20] Page C, Peltier J, Charlet L, Laude M, Strunski V. Superior approach to the inferior laryngeal nerve in thyroid surgery: anatomy, surgical technique and indications. *Surg Radiol Anat* 2006;28:631–6.
- [21] Barczyński 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: IONM During Thyroid Surgery. *The Laryngoscope* 2013;123:S1–14.

- [22] Sulica L. The superior laryngeal nerve: function and dysfunction. *Otolaryngol Clin North Am* 2004;37:183–201.
- [23] Legars D, Foulon P, Strunski V, Page C, Laude M. The external laryngeal nerve: surgical and anatomic considerations. Report of 50 total thyroidectomies. *Surg Radiol Anat* 2004;26:182–5.
- [24] Cernea CR, Ferraz AR, Nishio S, Dutra A, Hojaij FC, Dos Santos LRM. Surgical anatomy of the external branch of the superior laryngeal nerve. *Head Neck* 1992;14:380–3.
- [25] Cheruiyot I, Kipkorir V, Henry BM, Munguti J, Cirocchi R, Odula P, et al. Surgical anatomy of the external branch of the superior laryngeal nerve: a systematic review and meta-analysis. *Langenbecks Arch Surg* 2018;403:811–23.
- [26] Friedman M, LoSavio P, Ibrahim H. Superior Laryngeal Nerve Identification and Preservation in Thyroidectomy. *Arch Otolaryngol Neck Surg* 2002;128:296.
- [27] Shedd DP, Durham C. Electrical identification of the recurrent laryngeal nerve. I. Response of the canine larynx to electrical stimulation of the recurrent laryngeal nerve. *Ann Surg* 1966;163:47–50.
- [28] Hillermann CL, Tarpey J, Phillips DE. Laryngeal nerve identification during thyroid surgery — feasibility of a novel approach. *Can J Anesth Can Anesth* 2003;50:189–92.
- [29] Riddell V. Thyroidectomy: Prevention of bilateral recurrent nerve palsy, results of identification of the nerve over 23 consecutive years (1946-69) with a description of an additional safety measure. *Br J Surg* 2005;57:1–11.
- [30] James AG, Crocker S, Woltering E, Ferrara J, Farrar W. A simple method for identifying and testing the recurrent laryngeal nerve. *Surg Gynecol Obstet* 1985;161:185–6.
- [31] Randolph GW, Dralle H, with the 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. *The Laryngoscope* 2011;121:S1–16.

- [32] Flisberg K, Lindholm T. Electrical stimulation of the human recurrent laryngeal nerve during thyroid operation. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 1970;69:63–7.
- [33] Dimov RS, Doikov IJ, Mitov FS, Deenichin GP, Yovchev IJ. Intraoperative identification of recurrent laryngeal nerves in thyroid surgery by electrical stimulation. *Folia Med (Plovdiv)* 2001;43:10–3.
- [34] Hemmerling TM, Schmidt J, Bosert C, Jacobi KE, Klein P. Intraoperative Monitoring of the Recurrent Laryngeal Nerve in 151 Consecutive Patients Undergoing Thyroid Surgery: *Anesth Analg* 2001;93:396–9.
- [35] Lamadé W, Ulmer C, Seimer A, Molnar V, Meyding-Lamadé U, Thon K-P, et al. A new system for continuous recurrent laryngeal nerve monitoring. *Minim Invasive Ther Allied Technol MITAT Off J Soc Minim Invasive Ther* 2007;16:149–54.
- [36] Schneider R, Randolph GW, Dionigi G, Wu C-W, Barczynski M, Chiang F-Y, et al. International neural monitoring study group guideline 2018 part I: Staging bilateral thyroid surgery with monitoring loss of signal: INMSG LOS Part 1. *The Laryngoscope* 2018;128:S1–17.
- [37] Wu C-W, Dionigi G, Barczynski M, Chiang F-Y, 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: INMSG Loss of Signal Guidelines: Part II. *The Laryngoscope* 2018;128:S18–27.
- [38] Feng AL, Puram SV, Singer MC, Modi R, Kamani D, Randolph GW. Increased prevalence of neural monitoring during thyroidectomy: Global surgical survey. *The Laryngoscope* 2020;130:1097–104.
- [39] Ritter A, Ganly I, Wong RJ, Randolph GW, Shpitzer T, Bachar G, et al. Intraoperative nerve monitoring is used routinely by a significant majority of head and neck surgeons in thyroid surgery and impacts on extent of surgery—Survey of the American Head and Neck Society. *Head Neck* 2020;42:1757–64.
- [40] Rocke DJ, Goldstein DP, de Almeida JR. A Cost-Utility Analysis of Recurrent Laryngeal Nerve Monitoring in the Setting of Total Thyroidectomy. *JAMA Otolaryngol Neck Surg* 2016;142:1199.

- [41] Al-Qurayshi Z, Kandil E, Randolph GW. Cost-effectiveness of intraoperative nerve monitoring in avoidance of bilateral recurrent laryngeal nerve injury in patients undergoing total thyroidectomy. *Br J Surg* 2017;104:1523–31.
- [42] Dralle H, Lorenz K, Machens A. Verdicts on malpractice claims after thyroid surgery: emerging trends and future directions. *Head Neck* 2012;34:1591–6.
- [43] Horne SK, Gal TJ, Brennan JA. Prevalence and patterns of intraoperative nerve monitoring for thyroidectomy. *Otolaryngol Neck Surg* 2007;136:952–6.
- [44] Melin M, Schwarz K, Lammers BJ, Goretzki PE. IONM-guided goiter surgery leading to two-stage thyroidectomy—indication and results. *Langenbecks Arch Surg* 2013;398:411–8.
- [45] Bergenfelz A, Jansson S, Kristoffersson A, Mårtensson H, Reihner E, Wallin G, et al. Complications to thyroid surgery: results as reported in a database from a multicenter audit comprising 3,660 patients. *Langenbecks Arch Surg* 2008;393:667–73.
- [46] Chiang F-Y, Lu I-C, Kuo W-R, Lee K-W, Chang N-C, Wu C-W. The mechanism of recurrent laryngeal nerve injury during thyroid surgery—The application of intraoperative neuromonitoring. *Surgery* 2008;143:743–9.
- [47] Schneider R, Randolph G, Dionigi G, Barczyński M, Chiang F-Y, Triponez F, 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: Vocal Fold Function After Persistent LOS. *The Laryngoscope* 2016;126:1260–6.
- [48] Yap SJ, Morris RW, Pybus DA. Alterations in Endotracheal Tube Position during General Anaesthesia. *Anaesth Intensive Care* 1994;22:586–8.
- [49] Wu C-W, Randolph GW, Barczyński M, Schneider R, Chiang F-Y, Huang T-Y, et al. Training Courses in Laryngeal Nerve Monitoring in Thyroid and Parathyroid Surgery—The INMSG Consensus Statement. *Front Endocrinol* 2021;12:705346.
- [50] Phelan E, Schneider R, Lorenz K, Dralle H, Kamani D, Potenza A, et al. Continuous vagal IONM prevents recurrent laryngeal nerve paralysis by revealing initial EMG changes of impending neuropraxic injury: A prospective, multicenter study: Continuous Vagal IONM Prevents RLN Paralysis. *The Laryngoscope* 2014;124:1498–505.

- [51] Schneider R, Randolph GW, Sekulla C, Phelan E, Thanh PN, Bucher M, et al. Continuous intraoperative vagus nerve stimulation for identification of imminent recurrent laryngeal nerve injury: Continuous IONM for Thyroid Surgery. *Head Neck* 2013;35:1591–8.
- [52] Seddon HJ. A Classification of Nerve Injuries. *BMJ* 1942;2:237–9.
- [53] Schneider R, Sekulla C, Machens A, Lorenz K, Nguyen Thanh P, Dralle H. Postoperative vocal fold palsy in patients undergoing thyroid surgery with continuous or intermittent nerve monitoring. *Br J Surg* 2015;102:1380–7.
- [54] Sitges-Serra A, Fontané J, Dueñas JP, Duque CS, Lorente L, Trillo L, et al. Prospective study on loss of signal on the first side during neuromonitoring of the recurrent laryngeal nerve in total thyroidectomy. *Br J Surg* 2013;100:662–6.
- [55] Barczyński M, Konturek A, Stopa M, Hubalewska-Dydejczyk A, Richter P, Nowak W. Clinical Value of Intraoperative Neuromonitoring of the Recurrent Laryngeal Nerves in Improving Outcomes of Surgery for Well-Differentiated Thyroid Cancer. *Pol J Surg* 2011;83.
- [56] Goretzki PE, Schwarz K, Brinkmann J, Wirowski D, Lammers BJ. The Impact of Intraoperative Neuromonitoring (IONM) on Surgical Strategy in Bilateral Thyroid Diseases: Is it Worth the Effort? *World J Surg* 2010;34:1274–84.
- [57] 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;23:329–33.
- [58] Fontenot TE, Randolph GW, Setton TE, Alsaleh N, Kandil E. Does intraoperative nerve monitoring reliably aid in staging of total thyroidectomies?: IONM to Aid in Staging Total Thyroidectomies. *The Laryngoscope* 2015;125:2232–5.
- [59] Randolph GW, Kamani D. Intraoperative electrophysiologic monitoring of the recurrent laryngeal nerve during thyroid and parathyroid surgery: Experience with 1,381 nerves at risk: IONM of RLN: Experience with 1381 Nerves at Risk. *The Laryngoscope* 2017;127:280–6.

- [60] Kim JW, Roh J-L, Gong G, Cho K-J, Choi S-H, Nam SY, et al. Treatment Outcomes and Risk Factors for Recurrence After Definitive Surgery of Locally Invasive Well-Differentiated Papillary Thyroid Carcinoma. *Thyroid* 2016;26:262–70.
- [61] Kamani D, Darr EA, Randolph GW. Electrophysiologic Monitoring Characteristics of the Recurrent Laryngeal Nerve Preoperatively Paralyzed or Invaded with Malignancy. *Otolaryngol Neck Surg* 2013;149:682–8.
- [62] Hay ID, Thompson GB, Grant CS, Bergstralh EJ, Dvorak CE, Gorman CA, et al. Papillary Thyroid Carcinoma Managed at the Mayo Clinic during Six Decades (1940-1999): Temporal Trends in Initial Therapy and Long-term Outcome in 2444 Consecutively Treated Patients. *World J Surg* 2002;26:879–85.
- [63] Machens A, Hinze R, Lautenschläger C, Thomusch O, Dralle H. Thyroid carcinoma invading the cervicovisceral axis: Routes of invasion and clinical implications. *Surgery* 2001;129:23–8.
- [64] McCaffrey TV, Bergstralh EJ, Hay ID. Locally invasive papillary thyroid carcinoma: 1940–1990. *Head Neck* 1994;16:165–72.
- [65] Chan W-F, Lo C-Y, Lam K-Y, Wan K-Y. Recurrent Laryngeal Nerve Palsy in Well-differentiated Thyroid Carcinoma: Clinicopathologic Features and Outcome Study. *World J Surg* 2004;28:1093–8.
- [66] Mirallié É, Caillard C, Pattou F, Brunaud L, Hamy A, Dahan M, et al. Does intraoperative neuromonitoring of recurrent nerves have an impact on the postoperative palsy rate? Results of a prospective multicenter study. *Surgery* 2018;163:124–9.
- [67] Klopp-Dutote N, Biet-Hornstein A, Guillaume-Souaid G, Strunski V, Page C. Intraoperative neuromonitoring of the vagus nerve during thyroidectomy. A prospective study. *Clin Otolaryngol* 2016;41:454–60.
- [68] Wu C-W, Hao M, Tian M, Dionigi G, Tufano RP, Kim HY, et al. Recurrent laryngeal nerve injury with incomplete loss of electromyography signal during monitored thyroidectomy—evaluation and outcome. *Langenbecks Arch Surg* 2017;402:691–9.

- [69] Eid I, Miller FR, Rowan S, Otto RA. The role of nerve monitoring to predict postoperative recurrent laryngeal nerve function in thyroid and parathyroid surgery: Nerve Monitoring Predicting Postoperative RLN Function. *The Laryngoscope* 2013;n/a-n/a
- [70] Thomusch O, Sekulla C, Machens A, Neumann H-J, Timmermann W, Dralle H. Validity of intra-operative neuromonitoring signals in thyroid surgery. *Langenbecks Arch Surg* 2004;389:499–503.
- [71] Melin M, Schwarz K, Pearson MD, Lammers BJ, Goretzki PE. Postoperative Vocal Cord Dysfunction Despite Normal Intraoperative Neuromonitoring: An Unexpected Complication With the Risk of Bilateral Palsy. *World J Surg* 2014;38:2597–602.
- [72] Kim DH, Kim SW, Hwang SH. Intraoperative Neural Monitoring for Early Vocal Cord Function Assessment After Thyroid Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *World J Surg* 2021.
- [73] Beldi G, Kinsbergen T, Schlumpf R. Evaluation of Intraoperative Recurrent Nerve Monitoring in Thyroid Surgery. *World J Surg* 2004;28.
- [74] Gür E, Hacıyanlı M, Karaisli S, Hacıyanlı S, Kamer E, Acar T, et al. Intraoperative nerve monitoring during thyroidectomy: evaluation of signal loss, prognostic value and surgical strategy. *Ann R Coll Surg Engl* 2019;101:589–95.
- [75] De Falco M, Santangelo G, Del Giudice S, Gallucci F, Parmeggiani U. Double probe intraoperative neuromonitoring with a standardized method in thyroid surgery. *Int J Surg* 2014;12:S140–4.
- [76] Yarbrough DE, Thompson GB, Kasperbauer JL, Harper CM, Grant CS. Intraoperative electromyographic monitoring of the recurrent laryngeal nerve in reoperative thyroid and parathyroid surgery. *Surgery* 2004;136:1107–15.
- [77] Thong G, Brophy C, Sheahan P. Use of intraoperative neural monitoring for prognostication of recovery of vocal mobility and reduction of permanent vocal paralysis after thyroidectomy. *Head Neck* 2021;43:7–14.

- [78] 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 Neck Surg* 2016;142:994.
- [79] Kadakia S, Mourad M, Hu S, Brown R, Lee T, Ducic Y. Utility of intraoperative nerve monitoring in thyroid surgery: 20-year experience with 1418 cases. *Oral Maxillofac Surg* 2017;21:335–9.
- [80] Kim J, Kim S, Xu Z, Kwak J, Ahn J, Yu HW, et al. Efficacy of Intraoperative Neuromonitoring in Reoperation for Recurrent Thyroid Cancer Patients. *Endocrinol Metab* 2020;35:918–24.
- [81] Shindo M. Incidence of Vocal Cord Paralysis With and Without Recurrent Laryngeal Nerve Monitoring During Thyroidectomy. *Arch Otolaryngol Neck Surg* 2007;133:481.
- [82] 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;136:1310–22.
- [83] Bergenfelz A, Salem AF, Jacobsson H, Nordenström E, Almquist M, Wallin GW, et al. Risk of recurrent laryngeal nerve palsy in patients undergoing thyroidectomy with and without intraoperative nerve monitoring. *Br J Surg* 2016;103:1828–38.
- [84] Barczyński M, Konturek A, Cichoń S. Randomized clinical trial of visualization *versus* neuromonitoring of recurrent laryngeal nerves during thyroidectomy. *Br J Surg* 2009;96:240–6.
- [85] Lombardi CP, De Waure C, Mariani M, Carnassale G, D’Amore A, Traini E, et al. Efficacy of continuous neuromonitoring in thyroid surgery: preliminary report of a single-center experience. *Gland Surg* 2019;8:336–42.
- [86] Hei H, Zhou B, Qin J, Song Y. Intermittent intraoperative nerve monitoring in thyroid reoperations: Preliminary results of a randomized, single-surgeon study: Intermittent intraoperative nerve monitoring in thyroid reoperations. *Head Neck* 2016;38:E1993–7.

- [87] Cirocchi R, Arezzo A, D'Andrea V, Abraha I, Popivanov GI, Avenia N, et al. Intraoperative neuromonitoring versus visual nerve identification for prevention of recurrent laryngeal nerve injury in adults undergoing thyroid surgery. *Cochrane Database Syst Rev* 2019.
- [88] Bai B, Chen W. Protective Effects of Intraoperative Nerve Monitoring (IONM) for Recurrent Laryngeal Nerve Injury in Thyroidectomy: Meta-analysis. *Sci Rep* 2018;8:7761.
- [89] Zheng S, Xu Z, Wei Y, Zeng M, He J. Effect of intraoperative neuromonitoring on recurrent laryngeal nerve palsy rates after thyroid surgery—a meta-analysis. *J Formos Med Assoc* 2013;112:463–72.
- [90] 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;87:572–80.
- [91] 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.
- [92] 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.
- [93] Lombardi CP, Carnassale G, Damiani G, Acampora A, Raffaelli M, De Crea C, et al. “The final countdown”: Is intraoperative, intermittent neuromonitoring really useful in preventing permanent nerve palsy? Evidence from a meta-analysis. *Surgery* 2016;160:1693–706.
- [94] Pisanu A, Porceddu G, Podda M, Cois A, Uccheddu A. Systematic review with meta-analysis of studies comparing intraoperative neuromonitoring of recurrent laryngeal nerves versus visualization alone during thyroidectomy. *J Surg Res* 2014;188:152–61.
- [95] Henry BM, Graves MJ, Vikse J, Sanna B, Pękala PA, Walocha JA, et al. The current state of intermittent intraoperative neural monitoring for prevention of recurrent laryngeal nerve injury during thyroidectomy: a PRISMA-compliant systematic review of overlapping meta-analyses. *Langenbecks Arch Surg* 2017;402:663–73.

- [96] Leow YG, Lee CC, Gan JY, Huang LM. Comparison of Outcomes of Intra-operative Neuromonitoring of Recurrent Laryngeal Nerve Versus Visualisation Alone during Thyroidectomies: A Singapore Experience. *Ann Acad Med Singapore* 2020;49:870–5.
- [97] Maranillo E, Le??n X, Quer M, Or??s C, Sa??udo JR. Is the External Laryngeal Nerve an Exclusively Motor Nerve? The Cricothyroid Connection Branch: *The Laryngoscope* 2003;113:525–9.
- [98] Wu B-L, Sanders I, Mu L, Biller HF. The Human Communicating Nerve: An Extension of the External Superior Laryngeal Nerve That Innervates the Vocal Cord. *Arch Otolaryngol - Head Neck Surg* 1994;120:1321–8.
- [99] Dionigi G, Boni L, Rovera F, Bacuzzi A, Dionigi R. Neuromonitoring and video-assisted thyroidectomy: a prospective, randomized case-control evaluation. *Surg Endosc* 2009;23:996–1003.
- [100] Lifante J-C, McGill J, Murry T, Aviv JE, Inabnet WB. A prospective, randomized trial of nerve monitoring of the external branch of the superior laryngeal nerve during thyroidectomy under local/regional anesthesia and IV sedation. *Surgery* 2009;146:1167–73.
- [101] Barczyński M, Konturek A, Stopa M, Honowska A, Nowak W. Randomized Controlled Trial of Visualization versus Neuromonitoring of the External Branch of the Superior Laryngeal Nerve during Thyroidectomy. *World J Surg* 2012;36:1340–7.
- [102] Aina EN, Hisham AN. External laryngeal nerve in thyroid surgery: Recognition and surgical implications: external laryngeal nerve. *ANZ J Surg* 2001;71:212–4.
- [103] Selvan B, Babu S, Paul MJ, Abraham D, Samuel P, Nair A. Mapping the Compound Muscle Action Potentials of Cricothyroid Muscle Using Electromyography in Thyroid Operations: A Novel Method to Clinically Type the External Branch of the Superior Laryngeal Nerve. *Ann Surg* 2009;250:293–300.
- [104] Naytah M, Ibrahim I, Silva S. Importance of incorporating intraoperative neuromonitoring of the external branch of the superior laryngeal nerve in thyroidectomy: A review and meta-analysis study. *Head Neck* 2019;41:2034–41.

- [105] Schneider R, Randolph GW, Barczynski M, Dionigi G, Wu C-W, Chiang F-Y, et al. Continuous intraoperative neural monitoring of the recurrent nerves in thyroid surgery: a quantum leap in technology. *Gland Surg* 2016;5:607–16.
- [106] Terris DJ, Chaung K, Duke WS. Continuous Vagal Nerve Monitoring is Dangerous and Should not Routinely be Done During Thyroid Surgery. *World J Surg* 2015;39:2471–6.
- [107] Sedlmaier A, Steinmüller T, Hermanns M, Nawka T, Weikert S, Sedlmaier B, et al. Continuous versus intermittent intraoperative neuromonitoring in complex benign thyroid surgery: A retrospective analysis and prospective follow-up. *Clin Otolaryngol* 2019;44:1071–9.
- [108] Sinclair CF, Téllez MJ, Ulkatan S. Continuous Laryngeal Adductor Reflex Versus Intermittent Nerve Monitoring in Neck Endocrine Surgery. *The Laryngoscope* 2021;131:230–6.
- [109] Yu Q, Liu K, Zhang S, Li H, Xie C, Wu Y, et al. Application of Continuous and Intermittent Intraoperative Nerve Monitoring in Thyroid Surgery. *J Surg Res* 2019;243:325–31.
- [110] Bihain F, Nomine-Criqui C, Demarquet L, Blanchard C, Gallet P, Nguyen P-L, et al. What is the impact of continuous neuromonitoring on the incidence of injury to the recurrent laryngeal nerve during total thyroidectomy? *Surgery* 2021;169:63–9.
- [111] Schneider R, Machens A, Sekulla C, Lorenz K, Elwerr M, Dralle H. Superiority of continuous over intermittent intraoperative nerve monitoring in preventing vocal cord palsy. *Br J Surg* 2021;108:566–73.
- [112] Otto RA, Cochran CS. Sensitivity and specificity of intraoperative recurrent laryngeal nerve stimulation in predicting postoperative nerve paralysis. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2002;111:1005–7.
- [113] Hermann M, Hellebart C, Freissmuth M. Neuromonitoring in Thyroid Surgery: Prospective Evaluation of Intraoperative Electrophysiological Responses for the Prediction of Recurrent Laryngeal Nerve Injury. *Ann Surg* 2004;240:9–17.

- [114] Chan W-F, Lo C-Y. Pitfalls of Intraoperative Neuromonitoring for Predicting Postoperative Recurrent Laryngeal Nerve Function during Thyroidectomy. *World J Surg* 2006;30:806–12.
- [115] Tomoda C, Hirokawa Y, Uruno T, Takamura Y, Ito Y, Miya A, et al. Sensitivity and Specificity of Intraoperative Recurrent Laryngeal Nerve Stimulation Test for Predicting Vocal Cord Palsy after Thyroid Surgery. *World J Surg* 2006;30:1230–3.
- [116] Cavicchi O, Caliceti U, Fernandez IJ, Macrì G, Di Lieto C, Marcantoni A, et al. The value of neurostimulation and intraoperative nerve monitoring of inferior laryngeal nerve in thyroid surgery. *Otolaryngol Neck Surg* 2009;140:866–70.
- [117] Cavicchi O, Caliceti U, Fernandez IJ, Ceroni AR, Marcantoni A, Sciascia S, et al. Laryngeal neuromonitoring and neurostimulation versus neurostimulation alone in thyroid surgery: A randomized clinical trial. *Head Neck* 2012;34:141–5.
- [118] Alesina PF, Rolfs T, Hommeltenberg S, Hinrichs J, Meier B, Mohmand W, et al. Intraoperative Neuromonitoring does not Reduce the Incidence of Recurrent Laryngeal Nerve Palsy in Thyroid Reoperations: Results of a Retrospective Comparative Analysis. *World J Surg* 2012;36:1348–53.
- [119] Cernea CR, Brandão LG, Hojaij FC, De Carlucci D Jr, Brandão J, Cavalheiro B, Sondermann A. Negative and positive predictive values of nerve monitoring in thyroidectomy. *Head Neck*. 2012 Feb;34(2):175-9.
- [120] Périé S, Aït-Mansour A, Devos M, Sonji G, Baujat B, St Guily JL. Value of recurrent laryngeal nerve monitoring in the operative strategy during total thyroidectomy and parathyroidectomy. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* 2013;130:131–6.
- [121] Calò PG, Pisano G, Medas F. Intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring in thyroid surgery: is it really useful? *Clin Ter* 2013:e193–8.
- [122] Barczyński M, Konturek A, Pragacz K, Papier A, Stopa M, Nowak W. Intraoperative Nerve Monitoring Can Reduce Prevalence of Recurrent Laryngeal Nerve Injury in Thyroid Reoperations: Results of a Retrospective Cohort Study. *World J Surg* 2014;38:599–606.

- [123] Calò PG, Medas F, Erdas E, Pittau MR, Demontis R, Pisano G, et al. Role of intraoperative neuromonitoring of recurrent laryngeal nerves in the outcomes of surgery for thyroid cancer. *Int J Surg* 2014;12:S213–7.
- [124] Calò PG, Pisano G, Medas F, Pittau MR, Gordini L, Demontis R, et al. Identification alone versus intraoperative neuromonitoring of the recurrent laryngeal nerve during thyroid surgery: experience of 2034 consecutive patients. *J Otolaryngol - Head Neck Surg* 2014;43:16.
- [125] Page C, Cuvelier P, Biet A, Strunski V. Value of intra-operative neuromonitoring of the recurrent laryngeal nerve in total thyroidectomy for benign goitre. *J Laryngol Otol* 2015;129:553–7.
- [126] Pavier Y, Saroul N, Pereira B, Tauveron I, Gilain L, Mom T. Acute prediction of laryngeal outcome during thyroid surgery by electromyographic laryngeal monitoring: Acute Use of Monitoring During Thyroidecomy. *Head Neck* 2015;37:835–9.
- [127] Calò PG, Medas F, Gordini L, Podda F, Erdas E, Pisano G, et al. Interpretation of intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring signals: The importance of a correct standardization. *Int J Surg* 2016;28:S54–8.
- [128] Stopa M, Barczyński M. Prognostic value of intraoperative neural monitoring of the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery. *Langenbecks Arch Surg* 2017;402:957–64.
- [129] De la Quintana Basarrate A, Iglesias Martínez A, Salutregui I, Agirre Etxabe L, Arana González A, Yurrebaso Santamaría I. Continuous monitoring of the recurrent laryngeal nerve. *Langenbecks Arch Surg* 2018;403:333–9.
- [130] Farizon B, Gavid M, Karkas A, Dumollard J-M, Peoc'h M, Prades J-M. Intraoperative monitoring of the recurrent laryngeal nerve by vagal nerve stimulation in thyroid surgery. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2017;274:421–6.
- [131] Kai H, Xixia L, Miaoyun L, Qinchang C, Xinzhi P, Dingyuan L, et al. Intraoperative nerve monitoring reduces recurrent laryngeal nerve injury in geriatric patients undergoing thyroid surgery. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 2017;137:1275–80.

- [132] Cavicchi O, Burgio L, Cioccoloni E, Piccin O, Macri G, Schiavon P, et al. Intraoperative intermittent neuromonitoring of inferior laryngeal nerve and staged thyroidectomy: our experience. *Endocrine* 2018;62:560–5.
- [133] Gschwandtner E, Netz J, Passler C, Bobak-Wieser R, Göbl S, Tatzgern E, et al. The laryngeal twitch response – Can it avoid unnecessary two-stage thyroidectomy? – A retrospective cohort study. *Int J Surg* 2019;72:130–4.
- [134] Hamilton N, Morley H, Haywood M, Arman S, Mochloulis G. Continuous intraoperative nerve monitoring in thyroidectomy using automatic periodic stimulation in 256 at-risk nerves. *Ann R Coll Surg Engl* 2019;101:432–5.
- [135] Yuan Q, Wu G, Hou J, Liao X, Liao Y, Chiang F-Y. Correlation Between Electrophysiological Changes and Outcomes of Vocal Cord Function in 1764 Recurrent Laryngeal Nerves with Visual Integrity During Thyroidectomy. *Thyroid* 2020;30:739–45.
- [136] Legré M, Bois E, Bernard S, Teissier N, Van Den Abbeele T. Recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroidectomy and parathyroidectomy in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2020;131:109846.
- [137] Ling Y, Zhao J, Zhao Y, Li K, Wang Y, Kang H. Role of intraoperative neuromonitoring of recurrent laryngeal nerve in thyroid and parathyroid surgery. *J Int Med Res* 2020;48:030006052095264.
- [138] Nisi P, Piva G, Cozzani F, Rossini M, Bonati E, Madoni C, et al. Intraoperative neuromonitoring in traditional and miniinvasive thyroidectomy. A single center experience in 1652 nerve at risk. *Acta Bio Medica Atenei Parm* 2020;91:64–9.
- [139] Agha A, Glockzin G, Ghali N, Iesalnieks I, Schlitt HJ. Surgical treatment of substernal goiter: An analysis of 59 patients. *Surg Today* 2008;38:505–11.
- [140] Akıcı M, Çilekar M, Yılmaz S, Arıkan Y. Should intraoperative nerve monitoring be used routinely in primary thyroid surgeries? *Pak J Med Sci* 2019;36.
- [141] Al-Qurayshi Z, Randolph GW, Alshehri M, Kandil E. Analysis of Variations in the Use of Intraoperative Nerve Monitoring in Thyroid Surgery. *JAMA Otolaryngol Neck Surg* 2016;142:584.

- [142] Anuwong A, Lavazza M, Kim HY, Wu C-W, Rausei S, Pappalardo V, et al. Recurrent laryngeal nerve management in thyroid surgery: consequences of routine visualization, application of intermittent, standardized and continuous nerve monitoring. *Updat Surg* 2016;68:331–41.
- [143] Brajcich BC, McHenry CR. The utility of intraoperative nerve monitoring during thyroid surgery. *J Surg Res* 2016;204:29–33.
- [144] Brauckhoff M, Gimm O, Thanh PN, Brauckhoff K, Ukkat J, Thomusch O, et al. First experiences in intraoperative neurostimulation of the recurrent laryngeal nerve during thyroid surgery of children and adolescents. *J Pediatr Surg* 2002;37:1414–8.
- [145] Chuang Y-C, Huang S-M. Protective effect of intraoperative nerve monitoring against recurrent laryngeal nerve injury during re-exploration of the thyroid. *World J Surg Oncol* 2013;11:94.
- [146] Chung TK, Rosenthal EL, Porterfield JR, Carroll WR, Richman J, Hawn MT. Examining National Outcomes after Thyroidectomy with Nerve Monitoring. *J Am Coll Surg* 2014;219:765–70.
- [147] de Danschutter SJR, Schreinemakers JMJ, Smit LHM, van der Laan L, Nuytinck HKS. Thyroid Surgery and the Usefulness of Intraoperative Neuromonitoring, a Single Center Study. *J Invest Surg* 2015;28:86–94.
- [148] Demiryas S. Effect of nerve monitoring on complications of thyroid surgery. *North Clin Istanb* 2017.
- [149] Erçetin C, Şahbaz A, Acar S, Tural F, Aksakal N, Sarı S, et al. Is intraoperative nerve monitoring useful for surgical training in thyroid surgery? *Turk J Surg* 2019;35:259–64.
- [150] Frattini F, Mangano A, Boni L, Rausei S, Biondi A, Dionigi G. Intraoperative neuromonitoring for thyroid malignancy surgery: technical notes and results from a retrospective series. *Updat Surg* 2010;62:183–7.
- [151] Gremillion G, Fatakia A, Dornelles A, Amedee RG. Intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring in thyroid surgery: is it worth the cost? *Ochsner J* 2012;12:363–6.

- [152] Hei H, Zhai Y, Qin J, Song Y. Intermittent Intraoperative Neural Monitoring Technology in Minimally Invasive Video-Assisted Thyroidectomy: A Preliminary Study. *J Invest Surg* 2016;29:93–7.
- [153] Kartal K, Aygun N, Celayir MF, Besler E, Citgez B, Isgor A, et al. Intraoperative Neuromonitoring in Thyroid Surgery: An Efficient Tool to Avoid Bilateral Vocal Cord Palsy. *Ear Nose Throat J* 2021;100:694S-699S.
- [154] Lee HY, Lee J-Y, 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* 2015;25:908–14.
- [155] Mizuno K, Takeuchi M, Kanazawa Y, Kitamura M, Ide K, Omori K, et al. Recurrent laryngeal nerve paralysis after thyroid cancer surgery and intraoperative nerve monitoring: Nerve Monitoring During Thyroid Surgery. *The Laryngoscope* 2019;129:1954–60.
- [156] Netto I de P, Vartarian JG, Ferraz PRR, Salgado P, Azevedo JBM de, Toledo RN, et al. Vocal fold immobility after thyroidectomy with intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring. *Sao Paulo Med J* 2007;125:186–90.
- [157] Prokopakis E, Kaprana A, Velegarakis S, Panagiotaki I, Chatzakis N, Iro H, et al. Intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring in revision thyroidectomy. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2013;270:2521–4.
- [158] Ritter A, Hod R, Reuven Y, Shpitzer T, Mizrachi A, Raveh E, et al. Role of intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring for pediatric thyroid surgery: Comparative analysis. *Head Neck* 2021;43:849–57.
- [159] Robertson ML, Steward DL, Gluckman JL, Welge J. Continuous Laryngeal Nerve Integrity Monitoring During Thyroidectomy: Does it Reduce Risk of Injury? *Otolaryngol Neck Surg* 2004;131:596–600.
- [160] Sopiński J, Kuzdak K, Hedayati M, Kołomecki K. Role of intraoperative neuromonitoring of the recurrent laryngeal nerves during thyroid reoperations of recurrent goiter. *Pol Przegl Chir* 2017;89:11–5.

- [161] Terris DJ, Anderson SK, Watts TL, Chin E. Laryngeal Nerve Monitoring and Minimally Invasive Thyroid Surgery: Complementary Technologies. *Arch Otolaryngol Neck Surg* 2007;133:1254.
- [162] Thomusch O, Sekulla C, Walls G, Machens A, Dralle H. Intraoperative neuromonitoring of surgery for benign goiter. *Am J Surg* 2002;183:673–8.
- [163] Witt RL. Recurrent Laryngeal Nerve Electrophysiologic Monitoring in Thyroid Surgery: The Standard of Care? *J Voice* 2005;19:497–500.
- [164] Wojtczak B, Sutkowski K, Kaliszewski K, Barczyński M, Bolanowski M. Thyroid reoperation using intraoperative neuromonitoring. *Endocrine* 2017;58:458–66.
- [165] Xie Q, Wang P, Yan H, Wang Y. Feasibility and Effectiveness of Intraoperative Nerve Monitoring in Total Endoscopic Thyroidectomy for Thyroid Cancer. *J Laparoendosc Adv Surg Tech* 2016;26:109–15
- [166] Zhou L, Dionigi G, Pontin A, Pino A, Caruso E, Wu C-W, et al. How does neural monitoring help during thyroid surgery for Graves' disease? *J Clin Transl Endocrinol* 2019;15:6–11.
- [167] Masuoka H, Miyauchi A, Higashiyama T, Yabuta T, Fukushima M, Ito Y, 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: New method for preserving external branch of superior laryngeal nerve. *Head Neck* 2015;37:1456–60.
- [168] Glover AR, Norlén O, Gundara JS, Morris M, Sidhu SB. Use of the Nerve Integrity Monitor during Thyroid Surgery Aids Identification of the External Branch of the Superior Laryngeal Nerve. *Ann Surg Oncol* 2015;22:1768–73.
- [169] Hurtado-López L-M, Díaz-Hernández PI, Basurto-Kuba E, Zaldívar-Ramírez FR, Pulido-Cejudo A. Efficacy of Intraoperative Neuro-Monitoring to Localize the External Branch of the Superior Laryngeal Nerve. *Thyroid* 2016;26:174–8.
- [170] Uludag M, Aygun N, Kartal K, Citgez B, Besler E, Yetkin G, et al. Contribution of intraoperative neural monitoring to preservation of the external branch of the superior laryngeal nerve: a randomized prospective clinical trial. *Langenbecks Arch Surg* 2017;402:965–76.

- [171] Koulouris C, Papavramidis TS, Pliakos I, Michalopoulos N, Polyzonis M, Sapalidis K, et al. Intraoperative stimulation neuromonitoring versus intraoperative continuous electromyographic neuromonitoring in total thyroidectomy: identifying laryngeal complications. *Am J Surg* 2012;204:49–53.

ABREVIATIONS

AVCQ : années de vie corrigée du facteur qualité AVCQ

CIP : constricteur inférieur du pharynx

EMG : électromyogramme

INMSG : International Neural Monitoring Study Group

ms : milliseconde

mA : milliampère

NLE : Nerf Laryngé Externe

NLI : Nerf laryngé inférieur

NMPO : neuromonitoring per opératoire

NMPO-I : neuromonitoring per opératoire intermittent

NMPO-C : neuromonitoring per opératoire continu

ORL : oto-rhino-laryngologiste

PR : paralysie récurrentielle

PRISMA : Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses

Neuromonitoring en chirurgie thyroïdienne : revue de la littérature

Introduction : Cette revue de la littérature avait pour but principal de réaliser une synthèse des connaissances actuelles sur l'utilisation du neuromonitoring en chirurgie thyroïdienne, notamment le potentiel de réduction de l'incidence de paralysie récurrentielle et de protection du nerf laryngé externe.

La paralysie récurrentielle (PR), suite à une atteinte du nerf laryngé inférieur, est une des complications la plus redoutée de la chirurgie thyroïdienne. Les lésions du nerf laryngé externe ont également des conséquences sur la phonation.

Matériel et méthodes : une recherche des bases de données Pubmed, Medline a été effectuée de façon à identifier les articles éligibles pour cette revue. Les études comparant le neuromonitoring peropératoire intermittent (NMPO-I) ou continu (NMPO-C) du Nerf laryngé inférieur (NLI) ou du nerf vague ou du nerf laryngé externe (NLE) avec la visualisation seule, le NMPO-I avec le NMPO-C ou les études permettant de retrouver la performance du NMPO ont été inclus.

Résultats : 1157 études ont été retrouvées. 176 ont été retenues pour une lecture du texte complet, après lecture des résumés. Parmi celles-ci 90 ont été exclues devant l'absence de groupe contrôle ou l'absence de données sur la performance du test.

Discussion : L'utilisation du NMPO s'est généralisée en chirurgie thyroïdienne. Il permet d'obtenir des informations sur la fonction présumée du nerf qui ne pourraient pas être obtenue autrement. Son utilisation permet une réduction drastique de l'incidence de PR bilatérale. Une standardisation du NMPO a permis d'augmenter sa fiabilité. La capacité du NMPO à prédire la paralysie récurrentielle ainsi que l'atteinte du NLE a augmenté.

Conclusion : Les progrès réalisés suite au NMPO continu sont prometteurs quant à sa capacité à prédire de façon exacte une paralysie et à pouvoir la prévenir en temps réel.

Mots clés : thyroïdectomie, nerf laryngé inférieur, paralysie récurrentielle, nerf laryngé externe, neuromonitoring, chirurgie thyroïdienne

Neuromonitoring in thyroid surgery : systematic review

Objectives: The purpose of this systematic review was to synthesize the current knowledge about the neuromonitoring in thyroid surgery, including the reduction of the vocal cord palsy and the protection of the external branch of the superior laryngeal nerve.

The recurrent laryngeal nerve palsy, following an injury of the recurrent laryngeal nerve, is one of the most feared complication in thyroid surgery. An injury to the external branch of the superior laryngeal nerve can also change the voice.

Methods: a search through Pubmed, Medline database was made to identify eligible articles for this review. The studies comparing intermittent intraoperative nerve monitoring or continuous intraoperative nerve monitoring of the recurrent laryngeal nerve or the external branch of the superior laryngeal nerve with visualization of these nerves only were include as the study evaluating the accuracy of the intraoperative nerve monitoring.

Results: 1157 studies were found. 176 were included for a full text review. Among these, 90 were excluded as they didn't have a control group or data on diagnostic value.

Discussion: The use of the intraoperative nerve monitoring has become increasingly popular. It can be used to assess the nerve function. Its use allows to reduce drastically the incidence of the bilateral vocal cord palsy. A standardization of the intraoperative nerve monitoring made it more reliable. The capacity of the intraoperative nerve monitoring to predict the recurrent laryngeal nerve palsy and the injury to the external laryngeal nerve has increased.

Conclusion: The progress made with the continuous intraoperative nerve monitoring are promising as it ensures a more accurate assessment of nerve integrity and could prevent a vocal cord palsy in real time.

Keywords: thyroidectomy, recurrent laryngeal nerve, laryngeal palsy, external branch of the superior laryngeal nerve, neuromonitoring, thyroid surgery