

Ідентифікація та моніторинг нервів гортані: технології та проблеми. Огляд літератури



**В. О. Шідловський¹, О. В. Шідловський¹, А. М. Дивак²,
В. М. Привроцький³, І. І. Морозович¹**

¹ Тернопільський національний медичний університет
імені І. Я. Горбачевського МОЗ України

² Тернопільська міська комунальна лікарня швидкої допомоги

³ Тернопільська комунальна міська лікарня № 2

Я переконаний, що найкращий спосіб уникнути ушкодження поворотного нерва — запобігти цьому.
F. H. Lahey, 1938

Близько 70 % ускладнень у хірургії щитоподібної залози (ЩЗ) припадають на ушкодження поворотного нерва (ПН). Постійний його параліч, навіть коли операції виконують досвідчені хірурги, виникає в 1—2 % пацієнтів. Однак фактична кількість випадків постійних і тимчасових паралічів більша. Дослідження показали, що лише в 1 із 10 випадків ушкоджень нерва хірурги виявляли ускладнення під час хірургічного втручання. Крім того, не в усіх пацієнтів оглядали голосові зв'язки після операції. Фактичними показниками паралічу ПН при тиреоїдектіомії, яку виконують досвідчені хірурги, є 6—8 %, у деяких дослідженнях — близько 23 % [1].

Описано різні причини ушкодження ПН: механічні ушкодження, особливо в ділянці зв'язки Беррі, через кліпси та лігатури поблизу нерва, термічні ушкодження (застосування електрокоагуляції), рідше — випадкове перерізання нерва. З літератури відомо про поширеність таких типів уражень нервів, як тракція (71,0 %), термічне від енергетичних пристроїв (17,0 %), компресія (4,0 %), затискання (3,0 %), защемлення в лігатурі (1,5 %), перерізання нерва (1,5 %). Тяжкими є термічні ушкодження порівняно з тракційними [2, 3].

Для зменшення частоти травм нервів гортані під час операцій на ЩЗ розроблені технології їх моніторингу. Більшість авторів вважають, що моніторинг нервів має на меті полегшити ідентифікацію нервів, допомогти з виділенням нервів, спрогнозувати післяопераційну функцію нерва.

Під час операції знаходять нерв серед тканин операційної рани та постійно контролюють його хід і розгалуження до входу в гортань. Саме такі дії хірурга дають змогу запобігти травмам нервів і парезам гортані. Це найпростіший спосіб, оскільки при цьому не використовують жодного обладнання, і водночас складний, бо потребує великої майстерності та досвіду в хірургії ЩЗ. За своєю суттю цей метод не належить до моніторингу як такого. Найімовірніше, це технічні особливості виконання гемітиреоїдектіомії чи тиреоїдектіомії [4, 5]. Одним із шляхів зменшення кількості травм нервів гортані є впровадження інтраопераційного нейромоніторингу (ІОНМ).

За даними тиреоїдних асоціацій, із застосуванням ІОНМ виконують 50—85 % операцій на ЩЗ [6].

Для проведення ІОНМ розроблена технологія з використанням ендотрахеальної трубки (ЕТТ) із

Шідловський Віктор Олександрович, д. мед. н., проф., проф. кафедри хірургії № 1 з урологією, малоінвазивною хірургією та нейрохірургією ім. професора Л. Я. Ковальчука. E-mail: sofija.viktorolex@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8869-5780>; **Шідловський Олександр Вікторович**, д. мед. н., проф., проф. кафедри загальної хірургії. E-mail: shydlovskyow@tdmu.edu.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5049-7404>; **Дивак Андрій Миколайович**, лікар-хірург. E-mail: doriandre.ad96@gmail.com; **Привроцький Віталій Миколайович**, медичний директор. E-mail: vitaliy_pryvrotskyu@ukr.net; **Морозович Ігор Ігорович**, аспірант кафедри загальної хірургії. E-mail: morozovych_ii@tdmu.edu.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6897-351X>

поверхневими електродами на ній. Здебільшого виконують переривчастий ІОНМ, рідше — безперервний. Стандарти ІОНМ визначила Міжнародна дослідницька група інтраопераційного моніторингу. Для оптимального ІОНМ рекомендовано проводити до та після операції ларингоскопію, отримати інтраопераційні електроміографічні відповіді з моніторингу нервів гортані за допомогою стимуляції блукаючого, поворотного нерва чи зовнішньої гілки верхнього гортанного нерва під час операції та по її закінченні [7].

Технології переривчастого та безперервного ІОНМ розроблені та використовуються для визначення функціональності нерва й можливих його пошкоджень, а не для його ідентифікації серед тканин хірургічної рани. Адже визначення функціональної здатності нерва й ідентифікація його серед тканин хірургічної рани — принципово різні поняття і дії. Нейромоніторинг — це контроль за нервом під час виконання операції для запобігання його травмі. Термін «ідентифікація» означає процедуру розпізнавання нерва серед тканин хірургічної рани. Спочатку нерв (нерви) необхідно ідентифікувати, а потім моніторувати під час операції. Саме послідовність виконання цих дій є запорукою збереження функціональної цілісності нерва.

Операції на ЩЗ проводять під внутрішньовенним знеболюванням із дихальною підтримкою крізь ЕТТ на тлі застосування міорелаксантів. Останні блокують передачу електроподразнення в синапсах і не дають змоги провести ІОНМ. Для усунення цієї перешкоди використовують міорелаксанти короткої дії, а під час операції має бути чітка взаємодія між анестезіологом і хірургом, бо від злагодженості їхніх дій залежить результат моніторингу нервів.

На противагу такій методиці проведення анестезії запропоновано метод внутрішньовенного знеболювання на самостійному (спонтанному) диханні крізь ларингеальну маску (ЛМА), за якого немає потреби в застосуванні міорелаксантів [8, 9].

Умовно процес ІОНМ можна поділити на два етапи: електростимуляція нерва електричним струмом із заданими параметрами та реєстрація відповіді нерва на електростимуляцію.

ЕЛЕКТРОСТИМУЛЯЦІЯ НЕРВА ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ ЗАДАНИХ ПАРАМЕТРІВ

Для стимуляції нервів в ІОНМ використовують уніполярні або біполярні електроди. Монополярний електрод чутливіший для визначення нервів гортані

під час картування, а біполярний — для мінімізації хибно позитивних відповідей. Вибір електрода здебільшого залежить від мети стимуляції, його характеристик, близькості до нерва чи наявності фасції над нервом, а також від уподобань хірурга. Серед способів і методів електростимуляції заслуговує на увагу електростимуляція ПН у періодичному чи безперервному режимах. Суттєвим недоліком ІОНМ є те, що між двома стимуляціями нерв може бути травмований, а травму виявлять лише при повторній стимуляції [10—12]. Безперервна електростимуляція проводиться за допомогою тимчасово імплантованого вагусного електрода [7, 13]. Вона дає змогу постійно контролювати цілісність нервів гортані [14, 15]. Серед інших способів і методів електростимуляції відзначимо застосування препарувальних інструментів для розділення тканин хірургічної рани як стимуляційних електродів [16, 17]. Така модифікація ІОНМ дає змогу ідентифікувати нерви серед тканин хірургічної рани та постійно контролювати їх під час операції. Крім того, одним із способів електростимуляції є поєднання енергетичних пристроїв із функцією нейромоніторингу. Стимульовальні кабелі нейромоніторингу під'єднують до різних енергетичних пристроїв, які застосовують разом і одночасно зі стимуляцією нервів. Така комбінація є безпечною та ефективною [18, 19]. Використовують також стимуляцію слизової оболонки надгортанника з використанням ларингеального аддукторного рефлексу (ЛАР), тобто рефлексу закриття гортані голосовими зв'язками [20]. Метод ЛАР фактично є вагусним рефлексом, за допомогою цього методу можна безперервно контролювати блукаючий нерв і його гілки, зокрема нерви гортані [21, 22].

РЕЄСТРАЦІЯ ВІДПОВІДІ НЕРВА НА ЕЛЕКТРОСТИМУЛЯЦІЮ

У літературі відомі такі методики: пальпаторне визначення скорочення м'язів гортані, реєстрація зміни положення голосових зв'язок за допомогою електродів на ЕТТ або накладних електродів, інтраопераційна ларингоскопія, інтраопераційна електроміографія тощо [11, 23, 24]. Використовують пальпаторне визначення скорочення заднього перснечерпакуватого м'яза глотки під час стимуляції ПН електричним струмом [10]. Розроблено технологію ІОНМ (система NIM — Response S. O. Medtronic Xomed, США), яка дає змогу реєструвати зміну положення голосових зв'язок у відповідь на електростимуляцію нервів гортані та скорочення відповідних

м'язів. Зміна положень голосових зв'язок щодо електродів на ЕТТ спричиняє зміну опору в електричному колі між електродами та голосовими зв'язками. Отриману відповідь розцінюють як цілісний нетравмований нерв, а її відсутність вказує на травму нерва. Цей метод має низку технічних моментів, які визначають його ефективність. Ключову роль відіграє анестезіолог. На момент проведення ІОНМ нейром'язова блокада має бути відсутня. Це потребує обов'язкового застосування міорелаксантів короткої дії. Крім того, для забезпечення контакту голосових зв'язок із розміщеними на ЕТТ електродами та отримання достовірного результату мають значення індивідуальний підбір трубки за розміром, глибина її постановки, кут обертання її в трахеї щодо правих та лівих електродів, відсутність слизу, слини чи мокротиння на ЕТТ і зв'язках.

Проводиться також реєстрація субперихондріальними одноголковими або двоголковими електродами, розміщеними субхондріально щодо середньої частини кожної латеральної пластинки щитоподібного хряща [25, 26]. При порівнянні результатів реєстрації з електродів на щитоподібному хрящі з такими з електродів ЕТТ установлено, що голчасті давали менше помилкових результатів, а сигнали були стабільнішими з двоголкових електродів.

Реєстрація клейкими поверхневими електродами забезпечує електроміографію, хоча амплітуди цих електродів зазвичай нижчі, ніж амплітуди електродів на ЕТТ. На цей тип електродів менше впливають маніпуляції з трахеєю.

При реєстрації трансхрящовими поверхневими електродами адгезивні гелеподібні електроди накладають на праву та ліву пластинки хряща трахеї. Отримувана з них інформація є стабільною й надійною порівняно з електродами на ЕТТ [29—31].

При реєстрації черезшкірними поверхневими електродами, накладеними на шкіру в ділянці передньої поверхні шиї, отримувані сигнали є низької амплітуди та недостатніми для раннього виявлення травми ПН. Попри те що низька амплітуда є основним обмеженням цієї методики, її можна розглядати як альтернативу електродам на ЕТТ [32, 33].

При реєстрації поверхневими електродами, накладеними на задній перснечерпакуватий м'яз, моніторинг скорочення цього м'яза надає інформацію про реакцію м'язів гортані на подразнення та забезпечує повну оцінку функції ПН [34, 35].

При реєстрації ларингеальними голчастими електродами моніторинг реакції голосових зв'язок на

подразнення нервів проводять через голчасті електроди, вставлені ендоскопічно або крізь перснечитоподібну мембрану в одну чи обидві голосові зв'язки. Дослідження показали, що ці електроди безпечні [36, 37].

При реєстрації біполярним голчастим електродом до перснечитоподібного і заднього перснечерпакуватого м'язів запис за допомогою одного біполярного електрода технічно можливий і такий саме надійний, як і стандартний моніторинг голосових зв'язок за допомогою ЕТТ [38]. Застосування голчастих електродів є інвазивним. Воно збільшує ймовірність виникнення гематоми голосових зв'язок або гортані, розриву голосових зв'язок, розвитку інфекції. Крім того, голчастий електрод може проколоти манжету інтубаційної трубки, тоді знадобиться повторна інтубація. Голка може зламатися й залишитися всередині тканини гортані [7].

При реєстрації безперервним ІОНМ нерва за допомогою ЛАР двобічну аддукцію голосових зв'язок можна контролювати при електростимуляції нервів гортані ЛАР. Обґрунтування, технологію виконання та оцінку результатів наведено вище [20—22, 39].

Нейромоніторинг на основі ЛМА розроблено як засіб усунення недоліків ендотрахеальної інтубації, зокрема травматичного впливу на голосові зв'язки. При цьому непотрібно застосовувати міорелаксанти. Після впровадження в 1983 р. як нову концепцію для забезпечення легеневої вентиляції ЛМА почали використовувати все частіше [40]. Уперше знеболювання з використанням ЛМА в хірургії ЩЗ застосовували R. A. Greateroth та співавт. Аналіз використання ЛМА в 13 пацієнтів, які перенесли операцію на ЩЗ, дав змогу авторам установити переваги та обмеження методу. Для оцінки реакції голосових зв'язок на електричне подразнення ПН гортані використовували волоконний бронхоскоп, який проводили крізь ЛМА [8].

У 2000 р. F. F. Palazzo та співавт. повідомили про успішне застосування в 130 пацієнтів ЛМА й проведення волоконно-оптичного огляду голосових зв'язок у хірургії ЩЗ. Автори показали переваги моніторингу та збереження поворотних гортанних нервів за допомогою цієї методики порівняно з ЕТТ. Вони також наголосили на можливості використання ЛМА для своєчасного виявлення трахеомалії [41].

Пізніше E. F. Shah та співавт. провели аналіз результатів хірургічного лікування 150 пацієнтів, які перенесли операцію на щитоподібній та прищитоподібних

залогах із застосуванням ЛМА та ІОНМ із волоконно-оптичним контролем функції голосових зв'язок. Автори дійшли висновку, що ЛМА можна безпечно використовувати для хірургії щитоподібної та прищитоподібних залоз навіть за наявності викривленої або звуженої трахеї, а волоконно-оптична ларингоскопія є простою, легко відтворюваною та надійною для контролю цілісності ПН [9, 42].

Про можливість застосування ЛМА для хірургічного видалення шийних, шийно-загрудничних та загрудничних зобів з відхиленнями, здавленням і звуженням трахеї повідомили R. A. Greatorex та співавт. (2002). Із 12 пацієнтів лише в одному випадку довелося замінити ЛМА ЕТТ. У цього хворого був великий загрудничний зоб обох часток залози, який здавлював і зміщував трахею [43].

Аналіз результатів подальших досліджень щодо проведення ІОНМ нервів гортані з використанням волоконно-оптичної ларингоскопії крізь ЛМА свідчить, що цей метод є безпечним [42, 44, 45].

Останнім часом з'явилися праці, в яких проводиться порівняння методик ІОНМ з використанням ЕТТ з електродами і ЛМА з волоконно-оптичною візуалізацією нервів гортані. Установлено, що ЛМА порівняно з ЕТТ має низку переваг, зокрема суттєво зменшує частоту, інтенсивність і тривалість післяопераційного болю в горлі та захриплість. Крім цього, ЛМА порівняно з ЕТТ дає змогу зменшити кількість фаринголарингеальних ускладнень, поліпшити гемодинамічний профіль під час інтубації [46, 47].

У літературі є повідомлення про розробку технології отримання інформації про зміну положення голосових зв'язок у відповідь на електричну стимуляцію нервів гортані за звуковими ефектами [48—50]. Вона ґрунтується на нейрохронаксичній теорії утворення голосу, яку запропонував французький дослідник R. Husson [7, 51]. Суть її полягає в тому, що голосові зв'язки активно змінюють натяг від м'язів гортані, які скорочуються під дією імпульсів біострумів, що надходять із центральної нервової системи. Зміни натягу і положення голосових зв'язок у голосовій щілині спричиняють коливання повітря, яке проходить крізь неї на видиху, створюючи відповідні звукові ефекти.

Отже, при електростимуляції тканин хірургічної рани в ділянці проходження нервів гортані й самих нервів заданими параметрами частоти імпульсів отримуємо звукові коливання такої самої частоти. Амплітуда звукових коливань (сила звуку) у цих випадках залежатиме від відстані між точкою

постановки активного електрода до нерва, тобто від величини питомого електричного опору тканин хірургічної рани. Що більша ця відстань, то вища величина питомого опору тканин хірургічної рани й нижча амплітуда звукових коливань. Серед тканин хірургічної рани найменшим є опір нервів гортані, а отже, амплітуда звукових коливань при їх подразненні найбільша. Порівняно більший опір мають сполучна і жирова тканини, трахея, капсула ЩЗ, м'язи гортані й стравоходу, стінки венозних і артеріальних судин [52, 53]. Електростимуляцію тканин хірургічної рани автори здійснюють струмом силою від 0,2 до 2,0 мА і частотою від 1 до 20 Гц активним електродом, яким є дисектор для роз'єднання тканин рани й мобілізації ЩЗ.

Автори розробили метод реєстрації скорочень голосових зв'язок у відповідь на електростимуляцію тканин хірургічної рани за звуковими ефектами. В основі методу лежать дві умови: вільні голосові зв'язки та самостійне спонтанне дихання. Цим умовам відповідає методика загальної анестезії із застосуванням ЛМА [9, 44].

Для реєстрації звукових ефектів, утворених коливаннями голосових зв'язок, використали високочутливий широкосмуговий міні-мікрофон, вмонтований у просвіт ЛМА. Отриманий з мікрофона електричний сигнал проходить обробку в блоці фільтрації та подається одночасно на екран монітора у вигляді осциляцій різної амплітуди, на гучномовці (динаміки) або в навушники хірурга. Гучність звукового ефекту прямо пропорційна його амплітуді. Оскільки амплітуда звукових ефектів залежить від питомого електричного опору тканин, то, відповідно, гучність збільшиться за близького розміщення дисектора (електрода) щодо нерва, а найбільшою гучність буде на самому нерві. Саме за гучністю звукових ефектів під час дисекції та мобілізації часток залози ідентифікуються нерви гортані серед тканин хірургічної рани і проводиться їх моніторинг. При цьому хірург використовує два аналізатори: звуковий та зоровий (інтенсивність звукового сигналу й контроль розташування інструмента серед препарованих тканин) [54—56].

Наведена технологія ІОНМ фактично працює в безперервному режимі. На кінцевий результат — інтраопераційну ідентифікацію та моніторинг нервів гортані під час операції не впливають жодні зовнішні чинники, які могли б спотворити результати моніторингу. Спеціального налаштування апаратури не потребує, вона готова до використання

при вмиканні. Обслуговуючий технічний персонал не потрібен.

Останнім часом у літературі з'явилися праці, в яких обговорюється питання щодо доцільності застосування ІОНМ для запобігання травмуванню нервів гортані, зокрема щодо збільшення кількості учасників операції, її тривалості й вартості, високої вартості апаратури для ІОНМ, навчання персоналу, відсутності абсолютної ефективності та гарантій запобігання травмуванню нервів гортані.

Щодо доцільності застосування й ефективності ІОНМ наведемо кілька робіт, в яких обговорюються саме ці питання. Нещодавно проведені дослідження, які ґрунтуються на метааналізі баз даних за період з 1980 до 2017 р., показали, що ІОНМ дає змогу зменшити кількість постійних і тимчасових травм нервів гортані під час тиреоїдектомії [57].

За даними М. Barczyński та співавт. (2009), моніторинг нервів гортані порівняно з візуалізацією зменшив частоту тимчасових, але не постійних травм ПН, особливо при високому ризику травмування нервів [25].

М. G. Davey на підставі метааналізу рандомізованих контрольованих досліджень установив, що періодичний нейромоніторинг порівняно з візуалізацією сприяв незначному зниженню частоти травм ПН: при нейромоніторингу — 2,3 %, при візуалізації — 3,2 %. При безперервному нейромоніторингу порівняно з періодичним результати були дещо кращими (відповідно, 0,5 та 1,5 %) [6].

К. Meteh та співавт. проаналізували результати застосування ІОНМ у 15 836 пацієнтів і порівняли їх з результатами 8534 осіб, прооперованих без застосування ІОНМ у різних лікувальних закладах. Установлено, що в прооперованих із використанням ІОНМ суттєво зменшилася загальна частота ускладнень ПН (співвідношення ризиків — 0,77, довірчий інтервал — 0,68—0,87) [58].

Залишаючи за анатомічною візуалізацією ПН пріоритетне значення як золотого стандарту в хірургії щитоподібної та прищитоподібних залоз, автори більшості публікацій визнають необхідність застосування нейромоніторингу, який дає змогу зменшити кількість травм ПН [59—62].

На нашу думку, питання щодо доцільності застосування ІОНМ вирішено позитивно й остаточно. Поліпшення голосових результатів після операції на щитоподібній і прищитоподібних залозах є важливим питанням в епоху поліпшення якості життя.

Використовувати ІОНМ почали дедалі більше хірургів. Дані щодо застосування ІОНМ та отримані

за його допомогою результати розширили знання про анатомію і функції гортанних нервів, зробили важливий внесок у поліпшення стандартів хірургічних втручань з приводу зоба та патології прищитоподібних залоз. Серед позитивних властивостей ІОНМ слід виділити ідентифікацію поворотного гортанного нерва і його екстраларингеальних гілок, які є найпоширенішими анатомічними варіаціями ПН. Електронейромоніторинг допомагає виявити й зберегти неповоротний гортанний нерв. Завдяки ІОНМ отримано важливі знання про складний патерн іннервації гортані. Зокрема встановлено, що екстраларингеальні гілки ПН можуть спричиняти моторну іннервацію перснещитоподібного м'яза [63]. З огляду на ці дані питання щодо доцільності застосування ІОНМ можна вважати вирішеним. Проблему застосування нейромоніторингу гортанних нервів і його вдосконалення обговорено на Всесвітньому конгресі з раку ЩЗ у Лондоні (WCTC-2023), було узагальнено результати багатоцентрових досліджень та наголошено на безумовній його користі.

Щодо ефективності застосування ІОНМ. Чому це питання постає? На нашу думку, це зумовлено недосконалістю технологій, що є причиною помилкових результатів та інтраопераційних травм нервів гортані. Технології ІОНМ потребують удосконалення для забезпечення абсолютної ефективності.

ВИСНОВКИ

Інтраопераційний нейромоніторинг нервів гортані є важливою складовою хірургічного лікування захворювань щитоподібної і прищитоподібних залоз. Його використання додає впевненості при виконанні операцій, дає змогу знизити частоту травм нервів і парезів гортані.

Існуючі технології ІОНМ не забезпечують абсолютної точності результату. Деякі з них технічно складні, потребують залучення додаткового технічного персоналу, а результати ІОНМ залежать від багатьох чинників, які впливають на його достовірність.

У хірургів є потреба в створенні надійної, фізіологічно обґрунтованої, простої у використанні технології для ідентифікації та нейромоніторингу нервів гортані.

Конфлікту інтересів немає.

Участь авторів: В. О. Шідловський — концепція і дизайн дослідження, редагування; О. В. Шідловський — написання тексту; А. М. Дивак, В. М. Привроцький, І. І. Морозович — збір та опрацювання матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Aygun N, Kostek M, Isgor A, Uludag M. Anatomical, Functional, and Dynamic Evidences Obtained by Intraoperative Neuromonitoring Improving the Standards of Thyroidectomy. *Sisli Etfal Hastan Tip Bul.* 2021 Jul 2;55(2):146-155. doi: 10.14744/SEMB.2021.45548. PMID: 34349588; PMCID: PMC8298074.
2. Dionigi G, Alesina PF, Barczynski M, Boni L, Chiang FY, Kim HY, Materazzi G, Randolph GW, Terris DJ, Wu CW. Recurrent laryngeal nerve injury in video-assisted thyroidectomy: lessons learned from neuromonitoring. *Surg Endosc.* 2012 Sep;26(9):2601-8. doi: 10.1007/s00464-012-2239-y. Epub 2012 Apr 5. PMID: 22476838.
3. Dionigi G, Wu CW, Kim HY, Rausei S, Boni L, Chiang FY. Severity of Recurrent Laryngeal Nerve Injuries in Thyroid Surgery. *World J Surg.* 2016 Jun;40(6):1373-81. doi: 10.1007/s00268-016-3415-3. PMID: 26817650.
4. Lahey FH. Routine dissection and demonstration of the recurrent laryngeal nerve in subtotal thyroidectomy. *Surg Gynecol Obstet* 1958;66:775-77.
5. 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.* 1970 Jan;57(1):1-11. doi: 10.1002/bjs.1800570102. PMID: 5411583.
6. Davey MG, Cleere EF, Lowery AJ, Kerin MJ. Intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring versus visualisation alone - A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Surg.* 2022 Sep;224(3):836-841. doi: 10.1016/j.amjsurg.2022.03.036. Epub 2022 Apr 9. PMID: 35422329.
7. Randolph GW, Dralle H; International Intraoperative Monitoring Study Group; Abdullah H, Barczynski M, Bellantone R, Brauckhoff M, Carnaille B, Cherenko S, Chiang FY, Dionigi G, Finck C, Hartl D, Kamani D, Lorenz K, Miccoli P, Mihai R, Miyauchi A, Orloff L, Perrier N, Poveda MD, Romanchishen A, Serpell J, Sitges-Serra A, Sloan T, Van Slycke S, Snyder S, Takami H, Volpi E, Woodson G. Electrophysiologic recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: international standards guideline statement. *Laryngoscope.* 2011 Jan;121 Suppl 1:S1-16. doi: 10.1002/lary.21119. PMID: 21181860.
8. Grotorex RA, Denny NM. Application of the laryngeal mask airway to thyroid surgery and the preservation of the recurrent laryngeal nerve. *Ann R Coll Surg Engl.* 1991 Nov;73(6):352-4. PMID: 1759763; PMCID: PMC2499473.
9. Shah EF, Allen JG, Grotorex RA. Use of the laryngeal mask airway in thyroid and parathyroid surgery as an aid to the identification and preservation of the recurrent laryngeal nerves. *Ann R Coll Surg Engl.* 2001 Sep;83(5):315-8. PMID: 11806554; PMCID: PMC2503402.
10. Barczyński M, Randolph GW, Cernea C; International Neural Monitoring Study Group in Thyroid and Parathyroid Surgery. International survey on the identification and neural monitoring of the EBSLN during thyroidectomy. *Laryngoscope.* 2016 Jan;126(1):285-91. doi: 10.1002/lary.25548. Epub 2015 Oct 9. PMID: 26452247.
11. Schneider R, Randolph GW, Barczynski M, Dionigi G, Wu CW, Chiang FY, Machens A, Kamani D, Dralle H. Continuous intraoperative neural monitoring of the recurrent nerves in thyroid surgery: a quantum leap in technology. *Gland Surg.* 2016 Dec;5(6):607-616. doi: 10.21037/gs.2016.11.10. PMID: 28149807; PMCID: PMC5233836.
12. Schneider R, Randolph GW, Sekulla C, Phelan E, Thanh PN, Bucher M, Machens A, Dralle H, Lorenz K. Continuous intraoperative vagus nerve stimulation for identification of imminent recurrent laryngeal nerve injury. *Head Neck.* 2013 Nov;35(11):1591-8. doi: 10.1002/hed.23187. Epub 2012 Nov 20. PMID: 23169450.
13. Schneider R, Sekulla C, Machens A, Lorenz K, Thanh PN, Dralle H. Dynamics of loss and recovery of the nerve monitoring signal during thyroidectomy predict early postoperative vocal fold function. *Head Neck.* 2016 Apr;38 Suppl 1:E1144-51. doi: 10.1002/hed.24175. Epub 2015 Aug 31. PMID: 26331940.
14. Wu CW, Wang MH, Chen CC, Chen HC, Chen HY, Yu JY, Chang PY, Lu IC, Lin YC, Chiang FY. Loss of signal in recurrent nerve neuromonitoring: causes and management. *Gland Surg.* 2015 Feb;4(1):19-26. doi: 10.3978/j.issn.2227-684X.2014.12.03. PMID: 25713776; PMCID: PMC4321049.
15. Wu CW, Dionigi G, et al. Intraoperative neuromonitoring for the early detection and prevention of RLN traction injury in thyroid surgery: a porcine model. *Surgery.* 2014 Feb; 155(2): 329-39. doi: 10.1016/j.surg.2013.08.015. Epub 2013 Sep 29. PMID: 24084598.
16. Chiang FY, Lu IC, et al. Stimulating dissecting instruments during neuromonitoring of RLN in thyroid surgery. *Laryngoscope.* 2015 Dec; 125(12): 2832-7. doi: 10.1002/lary.25251. Epub 2015 Mar 26. PMID: 25809677.
17. Sung ES, Lee JC, et al. Development of a Novel Detachable Magnetic Nerve Stimulator for Intraoperative Neuromonitoring. *World J Surg.* 2018 Jan; 42(1): 137-142. doi: 10.1007/s00268-017-4159-4. PMID: 28815342.
18. Wu CW, Liu X, Barczyński M, Kim HY, Dionigi G, Sun H, Chiang FY, Kamani D, Randolph GW. Optimal stimulation during monitored thyroid surgery: EMG response characteristics in a porcine model. *Laryngoscope.* 2017 Apr;127(4):998-1005. doi: 10.1002/lary.26141. Epub 2016 Jul 1. PMID: 27363899.
19. Shin SC, Sung ES, et al. Feasibility and safety of nerve stimulator attachment to energy-based devices: A porcine model study. *Int J Surg.* 2017 Dec; 48:155-159. doi: 10.1016/j.ijsu.2017.10.071. Epub 2017 Oct 31. PMID: 29100907.
20. Kim YH, Kang JW, Kim KM. Characteristics of glottic closure reflex in a canine model. *Yonsei Med J.* 2009 Jun 30; 50(3): 380-4. doi: 10.3349/ymj.2009.50.3.380. Epub 2009 Jun 23. PMID: 19568600; PMCID: PMC2703761.
21. Sinclair CF, Téllez MJ, Tapia OR, Ulkatan S. Contralateral R1 and R2 components of the laryngeal adductor reflex in humans under general anesthesia. *Laryngoscope.* 2017 Dec;127(12):E443-E448. doi: 10.1002/lary.26744. Epub 2017 Aug 4. PMID: 28776686.
22. Téllez MJ, Mirallave-Pescador A, Seidel K, Urriza J, Shoakazemi A, Raabe A, Ghatan S, Deletis V, Ulkatan S. Neurophysiological monitoring of the laryngeal adductor reflex during cerebellar-pontine angle and brainstem surgery. *Clin Neurophysiol.* 2021 Feb;132(2):622-631. doi: 10.1016/j.clinph.2020.10.021. Epub 2020 Nov 19. PMID: 33272821.
23. 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 Sep;48(9):300060520952646. doi: 10.1177/0300060520952646. PMID: 32961083; PMCID: PMC7513400.

24. 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 Jan;163(1):47-50. doi: 10.1097/00000658-196601000-00006. PMID: 5904908; PMCID: PMC1476845.
25. Barczynski M, Konturek A, Cichon S. Randomized clinical trial of visualization versus neuromonitoring of recurrent laryngeal nerves during thyroidectomy. *Br J Surg* 2009; 96:240-246. doi: 10.1002/bjs.6417.
26. 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 Przegl Chir.* 2011 Apr;83(4):196-203. doi: 10.2478/v10035-011-0030-8. PMID: 22166358.
27. Chiang FY, Lu IC, et al. Comparison of EMG signals recorded by surface electrodes on endotracheal tube and thyroid cartilage during monitored thyroidectomy. *Kaohsiung J Med Sci.* 2017 Oct; 33(10): 503-509. doi: 10.1016/j.kjms.2017.06.014. Epub 2017 Jul 22. PMID: 28962821.
28. Chiang FY, Wu C.W, et al. Trans-thyroid cartilage recording for neural monitoring of the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery. *Laryngoscope.* 2020 Apr; 130(4): E280-E283. doi: 10.1002/lary.28049. Epub 2019 May 11. PMID: 31077388.
29. Wu CW, Chiang FY, et al. Feasibility of Intraoperative Neuromonitoring During Thyroid Surgery Using Transcartilage Surface Recording Electrodes. *Thyroid.* 2018 Nov; 28(11): 1508-1516. doi: 10.1089/thy.2017.0680. PMID: 30255736.
30. Liddy W, Lawson BR, et al. Anterior laryngeal electrodes for recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: New expanded options for neural monitoring. *Laryngoscope.* 2018 Dec; 128(12): 2910-2915. doi: 10.1002/lary.27362. Epub 2018 Nov 12. PMID: 30417384.
31. Van Slycke S, Van Den Heede K, Magamadov K, Brusselaers N, Vermeersch H. New placement of recording electrodes on the thyroid cartilage in intraoperative neuromonitoring during thyroid surgery. *Langenbecks Arch Surg.* 2019 Sep; 404(6): 703-709. doi: 10.1007/s00423-019-01825-7. Epub 2019 Nov 20. PMID: 31748870.
32. Wu CW, Chiang FY, et al. Transcutaneous Recording During Intraoperative Neuromonitoring in Thyroid Surgery. *Thyroid.* 2018 Nov; 28(11): 1500-1507. doi: 10.1089/thy.2017.0679. Epub 2018 Aug 24. PMID: 30027832.
33. Lee HS, Oh J, et al. Intraoperative Neuromonitoring of Recurrent Laryngeal Nerve During Thyroidectomy with Adhesive Skin Electrodes. *World J Surg.* 2020 Jan; 44(1): 148-154. doi: 10.1007/s00268-019-05208-3. PMID: 31602520.
34. Puram SV, Chow H, et al. Posterior cricoarytenoid muscle electrophysiologic changes are predictive of vocal cord paralysis with recurrent laryngeal nerve compressive injury in a canine model. *Laryngoscope.* 2016 Dec; 126(12): 2744-2751. doi: 10.1002/lary.25967.
35. Rea JL. Postcricoid surface laryngeal electrode. *Ear Nose Throat J.* 1992 Jun; 71(6): 267-9. PMID: 1451674.
36. Alon EE, Hinni ML. Transcricothyroid electromyographic monitoring of the recurrent laryngeal nerve. *Laryngoscope.* 2009 Oct; 119(10): 1918-21. doi: 10.1002/lary.20228. PMID: 19650135.
37. Li P, Liang QZ, Wang DL, Han B, Yi X, Wei W. Modified arytenoid muscle electrode recording method for neuromonitoring during thyroidectomy. *Gland Surg.* 2019 Oct;8(5):469-476. doi: 10.21037/gs.2019.08.07. PMID: 31741877; PMCID: PMC6842767.
38. Haerle S, Sidler D, Linder T, Mueller W. Use of a single bipolar electrode in the posterior arytenoid muscles for bilateral monitoring of the recurrent laryngeal nerves in thyroid surgery. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2008 Dec;265(12):1549-52. doi: 10.1007/s00405-008-0671-3. Epub 2008 Apr 16. PMID: 18415115.
39. Sinclair CF, Téllez MJ, Ulkatan S. Continuous Laryngeal Adductor Reflex Versus Intermittent Nerve Monitoring in Neck Endocrine Surgery. *Laryngoscope.* 2021 Jan; 131(1): 230-236. doi: 10.1002/lary.28710. Epub 2020 May 4. PMID: 32364626.
40. Brain AL. The laryngeal mask a new concept in airway management. *Br J Anaesth.* 1983 Aug; 55(8): 801-5. doi: 10.1093/bja/55.8.801. PMID: 6349667.
41. Palazzo FF, Allen JG, Groatorex RA. Laryngeal mask airway and fibre-optic tracheal inspection in thyroid surgery: a method for timely identification of tracheomalacia requiring tracheostomy. *Ann R Coll Surg Engl.* 2000 Mar; 82(2): 141-2. PMID: 10743437; PMCID: PMC2503525.
42. Hillermann CL, Tarpey J, Phillips DE. Laryngeal nerve identification during thyroid surgery - feasibility of a novel approach. *Can J Anaesth.* 2003 Feb 50(2): 189-92. doi: 10.1007/BF03017855. PMID: 12560313.
43. Shah EF, Allen JG, Groatorex RA. Use of the laryngeal mask airway in thyroid and parathyroid surgery as an aid to the identification and preservation of the recurrent laryngeal nerves. *Ann R Coll Surg Engl.* 2001 Sep;83(5):315-8. PMID: 11806554; PMCID: PMC2503402.
44. Eltschig HK, Posner M, Moore FD Jr. The use of readily available equipment in a simple method for intraoperative monitoring of recurrent laryngeal nerve function during thyroid surgery: initial experience with more than 300 cases. *Arch Surg.* 2002 Apr;137(4):452-6; discussion 456-7. doi: 10.1001/archsurg.137.4.452. PMID: 11926951.
45. Pott L, Swick JT, Stack BC Jr. Assessment of recurrent laryngeal nerve during thyroid surgery with laryngeal mask airway. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 2007 Mar;133(3):266-9. doi: 10.1001/archotol.133.3.266. PMID: 17372084.
46. Gong Y, Xu X, Wang J, Che L, Wang W, Yi J. Laryngeal mask airway reduces incidence of post-operative sore throat after thyroid surgery compared with endotracheal tube: a single-blinded randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol.* 2020 Jan 14;20(1):16. doi: 10.1186/s12871-020-0932-2. PMID: 31937238; PMCID: PMC6961403.
47. Hung KC, Wu SC, Hsu CW, Ko CC, Chen JY, Huang PW, Chen IW, Sun CK. Efficacy of laryngeal mask airway against postoperative pharyngolaryngeal complications following thyroid surgery: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies. *Sci Rep.* 2022 Oct 28;12(1):18210. doi: 10.1038/s41598-022-21989-5. PMID: 36307459; PMCID: PMC9616911.
48. Shidlovskiy VO, Dyvak MP, et al. Patent of Ukraine for utility model No. 66648. Device for identification of the laryngeal nerve. Patent of Ukraine for utility model No. 66648. Start 10.01.2012. Publ. 10.01.2012. Bull. No. 12.

49. Shidlovskiy VO, Dyvak MP, et al. Patent of Ukraine for the invention No. 99228. Device for identification of the laryngeal nerve. Patent for the invention No. 99228. Start 06/23/2011. Publ. 27.07.2012. Bull. No. 14.
50. Shidlovskiy VO, Shidlovskiy OV, Dyvak MP. Electrophysiological identification and monitoring of laryngeal nerves during operations on the thyroid and parathyroid glands: monograph. Ternopil: TNMU, «Ukrmedknyha» 2019. 64 p. ISBN 978-966-673-368-2.
51. Kandil E, Mohamed SE, et al. Electrophysiologic identification and monitoring of the external branch of superior laryngeal nerve during thyroidectomy. *Laryngoscope*. 2015 Aug; 125(8): 1996-2000. doi: 10.1002/lary.25139. Epub 2015 Jan 13. PMID: 25942675.
52. Dyvak M, Pucas A, et al. Mathematical models of informative characteristic of tissues in surgical wound at monitoring the recurrent laryngeal nerve by electrophysiological method//2017 14th International Conference the Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelektronics (CADSM), Proceedings Polyana, February 21-25, 2017: 8-13.
53. Dyvak M, Dyvak A, et al. Information Technology for Recurrent Laryngeal Nerve Identification with Adaptive Adjustment of the Electrophysiological Method.// 10 th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany. 2020:297-301. doi: 10.1109/ACIT49673.2020.9209012.
54. Shidlovskiy OV, Shidlovskiy VO, et al. Prevention of intraoperative laryngeal nerve injuries (literature review and own data). *Clinical Endocrinology and Endocrine Surgery*. 2022;3:69-77.
55. Shidlovskiy OV, Sheremet MI, et al. Electrophysiological identification of nerves of the larynx among the tissues of operative wound in goiter surgeries. *Archives of the Balkan Medical Union*. 2017;52(4):408-413.
56. Shidlovskiy VO, Shidlovskiy OV, et al. Intraoperative neuromonitoring in the prevention of laryngeal nerve injuries. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*. 2022;2:173-177. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2022.v.i2.13148>.
57. Bai B, Chen W. Protective Effects of Intraoperative Nerve Monitoring (IONM) for Recurrent Laryngeal Nerve Injury in Thyroidectomy: Meta-analysis. *Sci Rep*. 2018 May 17; 8(1): 7761. doi: 10.1038/s41598-018-26219-5.
58. Memeh K, Vaghaiwalla T, Keutgen X, Angelos P. Effect of Intraoperative Neuromonitoring on the Risks of Recurrent Laryngeal Nerve Injury During Thyroidectomy: A Doubly Robust Approach. *Ann Surg*. 2022 Oct 1;276(4):684-693. doi: 10.1097/SLA.0000000000005588. Epub 2022 Jul 15. PMID: 35837957.
59. Princi P, Gallo G, Tempera SE, Umbriano A, Goglia M, Andreoli F, Nigro C. The impact of intraoperative «Nerve Monitoring» in a tertiary referral center for thyroid and parathyroid surgery. *Front Surg*. 2022 Aug 10;9:983966. doi: 10.3389/fsurg.2022.983966. PMID: 36034362; PMCID: PMC9399456.
60. Choi S.Y, Son YI. Intraoperative Neuromonitoring for Thyroid Surgery: The Proven Benefits and Limitations. *Clin Exp Otorhinolaryngol*. 2019 Nov; 12(4): 335-336. doi: 10.21053/ceo.2019.00542.
61. Kartal K, Aygun N, Celayir MF, Besler E, Citgez B, Isgor A, Uludag M. Intraoperative Neuromonitoring in Thyroid Surgery: An Efficient Tool to Avoid Bilateral Vocal Cord Palsy. *Ear Nose Throat J*. 2021 Sep;100(5 suppl):6945-6995. doi: 10.1177/0145561320906325. Epub 2020 Feb 18. PMID: 32067477.
62. Gutierrez-Alvarez M, Torres-Rios JA, et al. Advantages of Intraoperative Neuromonitoring Over Direct Visualization of the Recurrent Laryngeal Nerve During Thyroidectomy. *Cureus*. 2023 Aug 21; 15(8): e43869. doi: 10.7759/cureus.43869.
63. Deshmukh A, Thomas AE, Dhar H, Velayutham P, Pantvaiddya G, Pai P, Chaukar D. Seeing Is Not Believing: Intraoperative Nerve Monitoring (IONM) in the Thyroid Surgery. *Indian J Surg Oncol*. 2022 Mar;13(1):121-132. doi: 10.1007/s13193-021-01348-y. Epub 2021 May 17. PMID: 35462673; PMCID: PMC8986933.

РЕЗЮМЕ

Оглядова стаття присвячена важливій проблемі хірургічного лікування захворювань щитоподібної залози — запобіганню травмам нервів гортані та наслідкам, пов'язаним із ними. Одним зі шляхів її вирішення є проведення ідентифікації та моніторингу нервів під час операції. Проаналізовано методи й технології, які застосовують для ідентифікації та моніторингу нервів гортані. Розглянуто питання ефективності й доцільності їх використання. Наведено визначення термінів «ідентифікація нервів» і «нейромоніторинг нервів гортані». Першим терміном позначають процедуру розпізнавання нерва серед тканин хірургічної рани. Нейромоніторинг — це постійний контроль за нервом під час виконання операції. Для запобігання травмам нервів гортані важливе значення має поєднання цих двох дій і дотримання їхньої послідовності — спочатку ідентифікація нерва, а потім його моніторинг упродовж операції. Автори виділили два етапи в процесах ідентифікації та нейромоніторингу нервів гортані — електростимуляція і реєстрація її результатів. Наведено детальну характеристику кожного з етапів, методи й засоби їх реалізації, технології виконання, переваги та недоліки. Описано авторський метод ідентифікації та нейромоніторингу нервів гортані з використанням ларингеальної маски, який ґрунтується на нейрохронаксихній теорії звукоутворення. Зроблено висновок про доцільність застосування ідентифікації та нейромоніторингу нервів гортані при виконанні операцій на щитоподібній залозі, оскільки вони дають змогу зменшити кількість парезів гортані. Сучасні технології ІОНМ не забезпечують абсолютної точності. Деякі з них технічно складні, а отримані результати залежать від багатьох чинників, які суттєво впливають на достовірність. Наголошено на потребі в створенні надійної, фізіологічно обґрунтованої, простої у використанні технології для ідентифікації та нейромоніторингу нервів гортані.

Ключові слова: нерви гортані, інтраопераційна травма, ідентифікація та моніторинг.

ABSTRACT

Identification and monitoring of laryngeal nerves: technologies and problems. Review**V. O. Shidlovskiy¹, O. V. Shidlovskiy¹, A. M. Dyvak², V. M. Pryvrotskiy³, I. I. Morozovych¹**¹ *Ivan Horbachevsky Ternopil National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine*² *Ternopil Municipal Emergency Hospital*³ *Ternopil Communal City Hospital № 2*

The review paper is devoted to an important problem of surgical treatment of thyroid diseases: avoiding injuries to the nerves of the larynx and the consequences associated with them. One of the ways to solve it is the identification and monitoring of nerves during surgery. An analysis of existing methods and technologies used for identification and monitoring of laryngeal nerves has been carried out. The issues of effectiveness and expediency of their application were considered. The definition of the terms «nerve identification» and «neuromonitoring of laryngeal nerves» has been outlined. The term «nerve identification» defines the procedure for identifying a nerve among the tissues of a surgical wound. Neuromonitoring is the constant monitoring of the nerve during the operation. In the prevention of

laryngeal nerve injuries, it is important to combine these two actions and follow their sequence, the nerve identification should be the first, following by its monitoring during the surgery. The authors singled out two stages in the processes of identification and neuromonitoring of laryngeal nerves, electrical stimulation and recording the results of electrical stimulation. A detailed description of each of the stages is given, as well as methods and means of their implementation, technologies, positive and negative aspects. The author's method of identification and neuromonitoring of laryngeal nerves using a laryngeal mask is described, which is based on the neurochronaxic theory of sound formation. The authors conclude the advisability of the identification and neuromonitoring of laryngeal nerves during operations on the thyroid gland, as they allow reducing the number of paresis of the larynx. Modern IONM technologies do not provide absolute accuracy. Some of them are technically complex, and the obtained results depend on many factors that significantly affect the reliability. The need to create a reliable, physiologically based, easy-to-use technology for identification and neuromonitoring of laryngeal nerves is emphasized.

Keywords: laryngeal nerves, intraoperative injury, identification and monitoring.

Дата надходження до редакції 27.12.2023 р.

Дата рецензування 19.02.2024 р.

Дата підписання статті до друку 01.03.2024 р.