

DOI: <https://doi.org/10.17816/KMJ643228> EDN: JXFFPY

Современные методы интраоперационной диагностики локализации паращитовидных желез

С.В. Зинченко, И.З. Галиев, Е.К. Кульбида, К.А. Петухов, Н.Ф. Муратов

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

Гиперпаратиреоз — распространённое эндокринное заболевание, часто протекающее с выраженной симптоматикой. Первичный гиперпаратиреоз обусловлен аденомой паращитовидных желез, тогда как вторичный и третичный развиваются у пациентов с хронической почечной недостаточностью, находящихся на программном гемодиализе. На современном этапе лекарственная терапия вторичного гиперпаратиреоза с применением цинокальцета демонстрирует высокий и продолжительный эффект. Однако при третичном и первичном гиперпаратиреозе единственным радикальным методом лечения остаётся хирургическое удаление патологически изменённых паращитовидных желез. При полигландулярных формах первичного, а особенно третичного гиперпаратиреоза, проведение паратиреоидэктомии требует максимально точной диагностики паращитовидных и щитовидной желез, а также близлежащих структур. Несмотря на развитие дооперационных топических и функциональных методов диагностики, точная локализация изменённых паращитовидных желез у половины пациентов остаётся неизвестной до момента хирургического вмешательства. Существующие методики открытой визуализации паращитовидных желез — интраоперационное ультразвуковое исследование, гамма-детекция, окрашивание метиленовой синью — продемонстрировали ограниченные возможности. Флуоресцентные методы с использованием индоцианин-зелёного, аминолевулановой кислоты и различных вариантов аутофлуоресценции показали высокую эффективность по данным авторов. Однако их широкое применение сдерживается высокой стоимостью оборудования, а также трудностями воспроизведения методики и достижения заявленных результатов. В этой связи возникла необходимость совершенствования алгоритмов интраоперационной визуализации паращитовидных желез, чему и посвящён настоящий обзор.

Ключевые слова: гиперпаратиреоз; паращитовидная железа; визуализация; хирургическое лечение; ICG; NIRAF; 5-АЛК.

Как цитировать:

Зинченко С.В., Галиев И.З., Кульбида Е.К., Петухов К.А., Муратов Н.Ф. Современные методы интраоперационной диагностики локализации паращитовидных желез // Казанский медицинский журнал. 2025. DOI: 10.17816/KMJ643228 EDN: JXFFPY

DOI: <https://doi.org/10.17816/KMJ643228> EDN: JXFFPY

Modern Approaches to Intraoperative Parathyroid Localization

Sergey V. Zinchenko, Ilfat Z. Galiev, Egor K. Kulbida, Kirill A. Petukhov, Niyaz F. Muratov

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

ABSTRACT

Hyperparathyroidism is a prevalent endocrine disorder that frequently manifests with severe symptoms. Primary hyperparathyroidism is caused by parathyroid adenoma, whereas secondary and tertiary hyperparathyroidism are typically reported in patients with renal failure on maintenance hemodialysis. Modern cinacalcet-based therapy for secondary hyperparathyroidism has long-term positive effects. However, surgical resection of affected parathyroid glands remains the only curative therapy option in tertiary hyperparathyroidism. In polyglandular primary and (especially) tertiary hyperparathyroidism, parathyroidectomy requires the most accurate examination of the parathyroid glands, thyroid gland, and surrounding structures. Despite advancements in preoperative topical and functional diagnostic approaches, the specific location of the affected parathyroid glands remains unknown until surgery in half of patients. Existing parathyroid imaging techniques, such as intraoperative ultrasound, gamma detection, and methylene blue staining, have demonstrated limited efficacy. Fluorescence imaging using indocyanine green, aminolevulinic acid, and various autofluorescence modes is highly effective. However, its use is limited by high equipment costs, reproducibility issues, and difficulties in achieving the claimed results. This necessitates improvements of intraoperative parathyroid imaging algorithms, which is the focus of this review.

Keywords: hyperparathyroidism; parathyroid gland; imaging; surgery; ICG; NIRAF; 5ALA.

To cite this article:

Zinchenko SV, Galiev IZ, Kulbida EK, Petukhov KA, Muratov NF. Modern approaches to intraoperative parathyroid localization. *Kazan Medical Journal*. 2025. DOI: 10.17816/KMJ643228 EDN: JXFFPY

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день первичный гиперпаратиреоз (пГПТ) после сахарного диабета и заболеваний щитовидной железы (ЩЖ) является одним из наиболее распространённых эндокринных заболеваний [1]. Вторичный (вГПТ) и третичный (тГПТ) гиперпаратиреозы считаются наиболее частыми осложнениями у пациентов с терминальной стадией хронической болезни почек. Их развитие связано с нарушением фосфорно-кальциевого обмена и изменённым метаболизмом кальцитриола (витамина D), при котором секреция паратиреоидного гормона (ПТГ) становится независимой от концентрации кальция и фосфора [1, 2]. В результате формируется вГПТ, морфологическим субстратом которого выступает гиперплазия паращитовидных желез (ПЩЖ). Дальнейшее прогрессирование заболевания приводит к тГПТ, морфологическим проявлением которого является образование автономных гиперфункционирующих аденом ПЩЖ [1, 2]. Лекарственная терапия гиперпаратиреоза препаратами, подавляющими синтез ПТГ, достаточно эффективна на ранних стадиях вГПТ, однако не применяется при пГПТ, тГПТ и длительно персистирующем вГПТ [1, 3]. Таким образом, для этих категорий пациентов единственным эффективным вариантом лечения остаётся оперативное лечение [1].

Несмотря на то что хирургия ПЩЖ развивается с середины XX века, единого и стандартизированного метода операции, объёма и сроков выполнения вмешательства для вГПТ и тГПТ до сих пор не разработано. Наиболее применяемыми подходами считаются субтотальная паратиреоидэктомия и полная паратиреоидэктомия с ауто-трансплантацией [2]. Так, анализ, проведённый F. Triponez и соавт., доказывает уверенное снижение ПТГ в послеоперационном периоде у больных с тотальной паратиреоидэктомией, нежели у пациентов, которым была выполнена субтотальная резекция [2]. M. Rothmund и соавт. также обнаружили низкую частоту рецидива гиперпаратиреоза у больных, которым была проведена тотальная паратиреоидэктомия с ауто-трансплантацией [3]. Стоит отметить, что ауто-трансплантированная ткань ПЩЖ не будет полноценно функционировать, пока не подвергнется неоваскуляризации, поэтому транзитный гипопаратиреоз более распространён и выражен после таких радикальных операций, чем при субтотальной паратиреоидэктомии [4]. Ауто-трансплантация ПЩЖ также может оказаться неудачной и привести к долгосрочному гипопаратиреозу [4].

Для адекватной паратиреоидэктомии необходимо чёткое представление о локализации ПЩЖ [5]. Методики дооперационной визуализации ПЩЖ, такие как ультразвуковое исследование (УЗИ) и сцинтиграфия ПЩЖ, не утратили своего значения по настоящее время. Однако точность этих исследований значительно снижается при множественном поражении ПЩЖ при пГПТ, а также вГПТ и тГПТ [5, 6]. В этом обзоре мы детально рассмотрели

вопросы современной интраоперационной топической диагностики ПЩЖ.

Проведён поиск литературы в базах данных Pubmed, Google Scholar, ClinicalTrial.gov, The Cochrane Library, NICE, eLibrary.Ru, КиберЛенинка с использованием следующих ключевых слов: «hyperparathyroidism», «parathyroid gland», «imaging», «surgical treatment», «ICG», «NIRAF», «5-ALA», «гиперпаратиреоз», «ПЩЖ», «визуализация», «хирургическое лечение», «интраоперационная визуализация». Были включены следующие типы статей на английском и русском языках: систематический обзор, метаанализ, обзор, руководство, рандомизированное контролируемое исследование, клиническое исследование. Глубина поиска составила 11 лет (с 01.01.2014 по 31.01.2025).

ИНТРАОПЕРАЦИОННАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

На сегодняшний день активно развиваются и совершенствуются методы интраоперационной навигации: интраоперационное УЗИ, флуоресцентная ангиография, а также другие оптические методы визуализации, радиометрия с ^{99m}Tc при помощи гамма-зонда, одноканального либо многоканального сцинтилляционного/полупроводникового детектора [5–7]. В условиях операционной предпочтение всегда отдаётся быстрым и интуитивно понятным методам визуализации, что снижает травматичность и время операции, риски рецидива и персистенции заболевания [5–7].

Интраоперационный гамма-зонд и портативная гамма-камера используются при минимально инвазивной радиоассистированной паратиреоидэктомии у пациентов, строго отобранных по критериям — в случае солитарной аденомы и при наличии достоверных данных предоперационной визуализации (УЗИ высокого разрешения и сцинтиграфии и/или однофотонной эмиссионной компьютерной томографии, совмещённой с компьютерной томографией [8–11]. Радиоактивность измеряют в удалённом образовании ПЩЖ, в её ложе, удалённой ПЩЖ и в ЩЖ. О радикальности вмешательства судят по снижению счёта в операционном поле и его сохранению в удалённом образовании (операция считается радикальной при снижении на 20% и более) [12]. Дополнительно для контроля метода используют интраоперационное экспресс-определение уровня ПТГ.

Следует учитывать, что при наследственных формах гиперпаратиреоза другие ПЩЖ, макроскопически и сцинтиграфически классифицируемые как нормальные, но поражённые в меньшей степени, могут в дальнейшем проявиться рецидивом заболевания [13]. Особое внимание в ходе процедуры следует уделять дозировке излучения [13].

При интраоперационном гамма-зондировании у пациентов с пГПТ метод с использованием низкодозного радиоактивного материала демонстрирует более низкую

чувствительность, но более высокую специфичность при оценке послеоперационной патологии по сравнению с высокодозным подходом [14]. Избыточная масса тела пациента, рецидивный гиперпаратиреоз, множественное поражение и атипичное расположение ПЩЖ могут снижать точность метода [15, 16]. Эти ограничения характерны также для интраоперационного УЗИ и гамма-детекции [15, 16].

ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ С 5-АМИНОЛЕВУЛИНОВОЙ КИСЛОТЫ (5-АЛК)

После перорального приёма 5-АЛК избыточно накапливается в гиперплазированных и аденоматозно изменённых ПЩЖ, что и позволяет их визуализировать интраоперационно, облучая операционное поле синим светом [17]. Использование 5-АЛК может достаточно чётко визуализировать различия между ПЩЖ и прилегающими тканями [18]. А.А. Калашников и соавт. провели исследование, в котором сравнивали методику использования 5-АЛК у больных с аденомами ПЩЖ и тиреоидную патологию. В группе с патологией ПЩЖ у 95% больных удалось визуализировать ПЩЖ. Нарушений фонаций, повреждений возвратного нерва не было выявлено, что позволяет авторам высказать мнение о необходимости использования методики фотодинамической визуализации в хирургическом лечении заболеваний ПЩЖ [19]. Д.О. Вшивцев и соавт. в исследовании интраоперационной визуализации ПЩЖ с использованием 5-АЛК доказали, что интенсивность флуоресценции изменённых и гиперфункционирующих желез была субъективно выше, нежели у неизменённых. У всех больных в выборке ПТГ снизился до нормальных значений в краткие сроки. Парезов гортани не выявлено, рецидивы не были отмечены ни в одном из случаев. Однако коллектив исследователей справедливо отметил о существенных недостатках методики: фототоксическая реакция обнаружена у двух больных [20]. Стоит отметить, что применение метода сопряжено с определёнными неудобствами: препарат, в зависимости от протокола, необходимо принимать несколько раз до операции с учётом массы тела пациента; после процедуры требуется изоляция от света. Кроме того, во время операции необходимо полное затемнение операционной, а оценка флуоресценции возможна лишь качественно, «на глаз» [21]. Под руководством Д. Долидзе и соавт. изучалось применение 5-АЛК в диагностике послеоперационного гиперпаратиреоза. У 226 пациентов транзитный гиперпаратиреоз зарегистрирован в четырёх (1,8%) случаях после операции; стойкой гипокальциемии не зафиксировано. Аутотрансплантация ПЩЖ потребовалась лишь в одном (0,44%) случае. Дефицит или низкий уровень витамина D выявлен у 35% больных, что преимущественно было связано с вГПТ. Во всех случаях дефицит скорректирован назначением витамина D. У 23 (10,17%) пациентов (10,17%)

отсутствовал выраженный визуальный эффект свечения после введения 5-АЛК, что потребовало перехода ко 2-й части метода (гелий-неоновый лазер и регистрация флуоресценции с помощью лазерного спектроанализатора). По словам авторов, предложенный методический подход позволяет предотвратить развитие стойкого гиперпаратиреоза и снизить частоту транзитного [21].

ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В БЛИЖНЕМ ИНФРАКРАСНОМ СПЕКТРЕ

С метиленовым синим: методика исторически рассматривалась для визуализации ПЩЖ и первоначально демонстрировала эффективность [22, 23]. Однако результаты последующих исследований не показали значимых различий по сравнению с контрольной группой, что, вероятно, обусловлено использованием недостаточных доз препарата [24]. При применении более высоких доз зарегистрированы побочные эффекты — нейротоксичность и кожные осложнения, что обусловило отказ от практического использования метиленового синего [24, 25].

С индоцианином зелёным (ICG): препарат долго применялся в офтальмологии для ангиографии сетчатки, а в последние годы доказал эффективность при холангиографии, оценке перфузии желудочно-кишечных анастомозов и кожных лоскутов в пластической хирургии, адреналэктомии, картировании лимфатических узлов в режиме реального времени, оценке перфузии тканей при диабетической стопе, а также при визуализации ПЩЖ [26–29]. ICG — нетоксичное инертное органическое соединение, вводимое внутривенно; оно связывается с белками плазмы и отражает свет от низкоэнергетического лазера с длиной волны около 806 нм, что фиксируется камерой [30]. Препарат не является селективным агентом, позволяющим визуализировать кровоснабжение всех тканей, однако за счёт более активной васкуляризации ПЩЖ позволяет дифференцировать их от близлежащих структур [31]. Техника заключается во внутривенном введении раствора индоцианина зелёного (с водой для инъекций) объёмом 3–4 мл в ходе операции после хирургического доступа. Спустя 60–60 с с помощью камеры, улавливающей спектр свечения определённой длинной волны, возможно визуализировать кровоснабжение в режиме реального времени, при необходимости введение можно повторить [32]. Первое успешное определение аденомы ПЩЖ с использованием ICG описано J.M. Chakedis и соавт. в 2015 году [32]. В аналогичном исследовании J.C. DeLong и соавт. у 18 из 54 пациентов с невыявленными образованиями ПЩЖ по данным рутинных методов предоперационной диагностики использование данного метода позволило выявить их во всех случаях интраоперационно [26]. Среди преимуществ ICG — отсутствие ложноположительных результатов в опубликованных работах [33], безопасность и простота использования для хирурга [33, 34]. Работы

Таблица 1. Сравнительная характеристика методов интраоперационной визуализации паращитовидных желез**Table 1.** Comparison of intraoperative parathyroid imaging techniques

Преимущества	Недостатки	Эффективность
Интраоперационное ультразвуковое исследование [24]		
- Распространённость (оснащённость клиник); - доступность (цена); - возможность оценить сопутствующую патологию щитовидной железы; - отсутствие лучевой нагрузки	- Крайне высокая оператор-зависимость; - существование «слепых» зон (трахеопищеводная борозда, средостение); - ограниченная эффективность при множественном поражении паращитовидной железы или сопутствующем многоузловым зобом; - анатомические особенности (пациент с короткой и/или толстой шеей; малые размеры образования паращитовидных желез)	Чувствительность — 51–91% Специфичность — 61–91% Общая точность — 56–98%
Интраоперационный гамма-зонд [10]		
Дополнительная информация о примерной анатомической локализации паращитовидных желез	Требует дорогостоящего оборудования и сопровождается значительной лучевой нагрузкой	Не позволяет визуализировать паращитовидную железу в 29% случаев при первичных операциях и в 56% случаев при повторных вмешательствах
Флуоресцентная визуализация с 5-амиолевулиновой кислотой [18]		
Достаточно чёткая визуализация различия между паращитовидной железой и прилегающими тканями	- Препарат, в зависимости от протокола, необходимо принимать несколько раз до операции из расчета на вес пациента; - после процедуры требуется изоляция от освещения; - необходимо полное выключение света в операционной; - возможна лишь качественная оценка «на глаз»	Чувствительность — 85–95% Специфичность — 90–98% Точность — 88–95%
Визуализации паращитовидной железы с использованием метиленового синего [24]		
Достаточно чёткая визуализация	Может приводить к развитию острых неврологических нарушений после операции	Чувствительность — 46%
Флуоресцентная визуализация с индоцианином зелёным [35]		
Достаточно чёткая визуализация	Требует лазерного свечения с длиной волны 802 нм	Чувствительность — 85–100% Специфичность — 90–100% Точность — 93–98%
Near infrared-визуализация (аутофлуоресценция) [44, 45]		
Ограниченная способность локализовать паращитовидные железы, расположенные глубоко (покрытые другими тканями)	- Необходимо полное выключение света в операционной - Невозможность оценить жизнеспособность паращитовидных желез	Чувствительность — 98% Специфичность — 80–90% Точность — 90–95%
Рамановская спектроскопия [52]		
Возможность дифференцировать «здоровые» и аденоматозно изменённые паращитовидные железы	- Требует дорогостоящего оборудования; - Находится в стадии изучения	Чувствительность — 100%

М. Richard и соавт. показали, что применение ICG значительно повышает точность идентификации ПЩЖ по сравнению с традиционными методами [35], что особенно важно при вариабельном анатомическом расположении желез [36, 37]. К недостаткам метода относят наличие йода в составе (риск аллергии), а также потребность в дорогостоящем оборудовании — источнике света и камеры со специальными фильтрами [27, 38, 39].

В 2019 году J. Nepesga и соавт. представили случай интратироидальной аденомы ПЩЖ, выявленной с помощью NIR-визуализации (визуализация в ближнем инфра-

красном диапазоне Near InfraRed 750–100 нм) [40]. Применение NIR не даёт информации о жизнеспособности ПЩЖ, поскольку флуоресценция сохраняется даже после девакуляризации, поэтому P.F. Alesina и соавт. предложили комбинировать аутофлуоресценцию с применением ICG для оценки васкуляризации ПЩЖ во время операции [41]. L. Rossi и соавт. исследовали 11 пациентов с пГПТ, перенёсших паратиреоидэктомию. Гистопатологическое исследование 15 резецированных образцов подтвердило 14 аденом ПЩЖ и одну шванному. Все аденомы имели гетерогенный рисунок NIRAF, отличный

от однородного рисунка, наблюдаемого в шванноме. Яркая «шапочка» была обнаружена у 9 из 14 (64,3%) аде- ном ПЩЖ, что доказывает высокую эффективность мето- да [42]. Недавний опыт применения аутофлуоресценции в ближнем инфракрасном спектре, выполненный S. Frey и соавт., показал отсутствие значимой разли- цы между стандартной паратиреоидэктомией и операцией с до- полнительной визуализацией. Использование ближней инфракрасной аутофлуоресценции не оказало суще- ственного влияния на количество идентифицирован- ных или резецированных желез, а также на частоту ос- ложнений [43]. Крупное моноцентровое проспективное исследование E. Akgun и соавт., в котором изучены изо- бражения NIRAF — 1506 нормальных и 597 изменённых ПЩЖ, — продемонстрировало различия в интенсивно- сти свечения: гиперплазированные железы светились значительно ярче [44]. Этот же коллектив провёл срав- нение эффективности методики при одиночных аде- ном и мультижелезистом поражении. Было показано, что при множественном поражении риск гетерогенности аутофлуоресценции выше, однако авторы подчёркива- ют необходимость учитывать эти различия в интраопера- ционной практике [45].

M. Takeuchi и соавт. исследовали корреляцию NIRAF при пГПТ и вГПТ. Во всех количественных сравнени- ях (*in situ/ex vivo*, средняя и максимальная интенсив- ность) аутофлуоресценция при пГПТ была выраженнее, чем при вГПТ. Визуальная субъективная классифика- ция *in situ* показала 100% аутофлуоресцент-позитивность для пГПТ против 33% при вГПТ. Субъективные визуаль- ные классификации показали положительную корреля- цию с интенсивностью аутофлуоресценции. Отношение максимального к среднему показателю флуоресценции было выше при пГПТ и вГПТ по сравнению с нормальны- ми ПЩЖ [46].

Важный аспект об определении ПТГ в условиях опе- рации раскрыт в исследовании P. Indelicato и соавт., где NIRAF применялся как альтернатива интраоперационно- му измерению ПТГ (ioPTH) у пациентов с пГПТ вследствие аденомы ПЩЖ с двумя предоперационными визуали- зационными обследованиями, совпадающими по поло- жению изменённой ПЩЖ. Результаты показали успеш- ное выполнение мини-инвазивной паратиреоидэктомии у всех пациентов. Среднее время ожидания результатов ioPTH составило 37 мин. Авторы выделили три паттер- на флуоресценции: «сар» (шапочка) (46%), гетерогенный (30%) и гомогенный (24%). Сделан вывод: если предопе- рационная визуализация подтверждает местоположение ПЩЖ, NIRAF может заменить ioPTH, сократив время опе- рации без ущерба для пациента и лабораторных показа- телей [47].

Несмотря на высокую чувствительность и точность, возможны случаи избирательного подхода к пациентам. Небольшие по размеру аденомы могут быть ошибоч- но интерпретированы хирургом как нормально функци- онирующие ПЩЖ [46]. В исследовании S.M. Lee и соавт. (2017–2021) на 131 пациенте (151 ПЩЖ) было показано, что интенсивность аутофлуоресценции отрицательно кор- релировала с массой железы (более лёгкие флуоресциро- вали сильнее) и положительно — с возрастом (у пожилых пациентов интенсивность была выше). При этом корреля- ции с уровнем кальция крови перед операцией, ПТГ, ин- дексом массы тела и полом не обнаружено [48].

К недостаткам NIR также относят необходимость пол- ного затемнения операционной для регистрации флуо- ресценции, что увеличивает время операции [49], а также ограниченную способность локализовать ПЩЖ, распо- ложенные глубоко (покрытые другими тканями), посколь- ку свет проникает только через несколько миллиметров ткани [49]. В сравнительном исследовании, проведённом B. Kahramangil и соавт., оба метода — флуоресценция ICG и аутофлуоресценция ПЩЖ — показали сопостави- мую чувствительность: 95% (60 из 63 ПЩЖ) и 98% (61 из 62 ПЩЖ) соответственно [50].

В исследовании A. Palermo и соавт. показано, что ра- мановская спектроскопия позволяет дифференцировать «здоровые» и аденоматозно изменённые ПЩЖ со 100% точностью на выборке из 18 пациентов [51]. Данный ме- тод представляется перспективным для интраоперацион- ной дифференциальной диагностики нормальных и пато- логически изменённых ПЩЖ [52].

Сводная информация сравнительной оценки суще- ствующих методов интраоперационной визуализации ПЩЖ представлена в табл. 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным способом лечения пГПТ, резистентного к лекар- ственному лечению вГПТ и тГПТ гиперпаратиреоза, оста- ётся хирургическое пособие.

Даже для опытного хирурга визуализация ПЩЖ и их полное удаление зачастую являются невыполнимыми за- дачами. Несмотря на большое количество научных работ на тему интраоперационной навигации ПЩЖ, наиболее дешёвый и эффективный способ флуоресцентной визу- ализации ПЩЖ — методика с применением 5-АЛК. Она не требует приобретения дорогостоящего оборудования и флуоресцирующих агентов, сопряжена с низкими пока- зателями побочных эффектов и осложнений.

Необходимо проведение дальнейших исследований по данному вопросу с целью оптимизации хирургического лечения полигландулярного пГПТ, вГПТ и тГПТ.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. З.С.В. — редактирование рукописи, общее руководство; Г.И.З. — редактирование рукописи, общее руководство; К.Е.К. — создание черновика; П.К.А. — редактирование рукописи; М.Н.Ф. — общее руководство. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Благодарности. Авторы выражают признательность преподавателям Казанского федерального университета (Россия).

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: Z.S.V.: supervision, writing—review & editing; G.I.Z.: supervision, writing—review & editing; K.E.K.: writing—original draft; P.K.A.: writing—review & editing; M.N.F.: supervision. All authors approved the version of the manuscript to be published and agree to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Acknowledgments: The authors express their gratitude to the faculty members of Kazan Federal University (Russia).

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Tjahjono R, Nguyen K, Phung D, et al. Methods of identification of parathyroid glands in thyroid surgery: A literature review. *ANZ J Surg.* 2021;91(9):1711–1716. doi: 10.1111/ans.17117 EDN: FQBEXL
2. Triponez F, Kebebew E, Dosseh D, et al. Less-than-subtotal parathyroidectomy increases the risk of persistent/recurrent hyperparathyroidism after parathyroidectomy in tertiary hyperparathyroidism after renal transplantation. *Surgery.* 2006;140(6):990–999. doi: 10.1016/j.surg.2006.06.039
3. Rothmund M, Wagner PK, Scharf C. Subtotal parathyroidectomy versus total parathyroidectomy and autotransplantation in secondary hyperparathyroidism: a randomized trial. *World J Surg.* 1991;15(6):745–750. doi: 10.1007/BF01665309 EDN: UULYDI
4. Steinl GK, Kuo JH. Surgical Management of Secondary Hyperparathyroidism. *Kidney Int Rep.* 2020;6(2):254–264. doi: 10.1016/j.ekir.2020.11.023 EDN: GOKDAU
5. Baj J, Sitarz R, Jokaj M, et al. Preoperative and Intraoperative Methods of Parathyroid Gland Localization and the Diagnosis of Parathyroid Adenomas. *Molecules.* 2020;25(7):1724. doi: 10.3390/molecules25071724 EDN: QRENDV
6. Noureldine SI, Gooi Z, Tufano RP. Minimally invasive parathyroid surgery. *Gland Surg.* 2015;4(5):410–419. doi: 10.3978/j.issn.2227-684X.2015.03.07
7. Fullerton ZH, Orloff LA. Pearls of Parathyroidectomy: How to Find the Hard to Find Ones. *Otolaryngol Clin North Am.* 2024;57(1):125–137. doi: 10.1016/j.otc.2023.07.004 EDN: HORCJL
8. Judson BL, Shaha AR. Nuclear imaging and minimally invasive surgery in the management of hyperparathyroidism. *J Nucl Med.* 2008;49(11):1813–1818. doi: 10.2967/jnumed.107.050237
9. Thomas G, McWade MA, Nguyen JQ, et al. Innovative surgical guidance for label-free real-time parathyroid identification. *Surgery.* 2019;165(1):114–123. doi: 10.1016/j.surg.2018.04.079
10. Blanco Saiz I, Salvador Egea P, Anda Apicóniz E, et al. Radio-guided procedure in minimally invasive surgery for primary hyperparathyroidism. *Cir Esp (Engl Ed).* 2023;101(3):152–159. doi: 10.1016/j.cireng.2022.09.001 EDN: RIRPLY
11. Abreu P, Guallart F, Siscar C, et al. Comparison of intraoperative imaging with a portable gamma camera with extemporaneous histology in minimally invasive surgery for primary hyperparathyroidism. *Rev Esp Med Nucl*

- Imagen Mol (Engl Ed).* 2024;43(5):500030. doi: 10.1016/j.remnie.2024.500030 EDN: ASMOQE
12. Suárez JP, Domínguez ML, de Santos FJ, et al. Radioguided surgery in primary hyperparathyroidism: Results and correlation with intraoperative histopathologic diagnosis. *Acta Otorrinolaringol Esp.* 2018;69(2):86–94. doi: 10.1016/j.otorri.2017.04.005
13. Rubello D, Mariani G, Pelizzo MR, et al. Minimally invasive radio-guided parathyroidectomy on a group of 452 primary hyperparathyroid patients: refinement of preoperative imaging and intraoperative procedure. *Nuklearmedizin.* 2007;46(3):85–92. doi: 10.1160/nukmed-0036
14. Ceylan S, Yilmaz N. The Comparison of Low and High-Dose Scintigraphy Findings in Patients with Primary Parathyroid Lesions in which Intraoperative Gamma-Probe was Applied. *Curr Med Imaging.* 2023. doi: 10.2174/1573405620666230426143033 EDN: VFTEGA
15. Epshteyn EV, Matyashchuk SI. *Ultrasound scan of the thyroid glands.* Atlas guide. 2nd ed. Kiev, 2004. 382 p. (In Russ.) ISBN: 978-966-7192-57-0
16. Mit'kov VV. *Clinical guidelines for ultrasound diagnostics.* T. 4. Moscow, 2005. p. 120. (In Russ.)
17. Akasu H, Igarashi T, Tanaka K, et al. Photodynamic identification of human parathyroid glands with 5-aminolevulinic acid. *J Nippon Med Sch.* 2006;73(5):246–247. doi: 10.1272/jnms.73.246
18. Sleptsov IV, Bubnov AN, Chemikov RA, et al. Photodynamic visualization of the parathyroid glands is the result of clinical application. *Clinical and experimental thyroidology.* 2009;5(1):35–40. EDN: RAQASN
19. Kalashnikov AA, Yashin SS, Ovchinnikov EL, et al. Prevention of iatrogenic postoperative complications in thyroid and parathyroid surgery. *Modern problems of science and education.* 2019;(6):135. EDN: ZQFDBJ
20. Vshivtsev DO, Shcherbakov VR, Makhmudov YuR. Intraoperative photodynamic visualization of the parathyroid glands using 5-aminolevulinic acid. *News of the Russian Military Medical Academy.* 2020;39(S1–1):188–191. EDN: ZPVXKN
21. Dolidze D, Shabunin A, Vardanyan A, et al. Prophylaxis of postoperative hypoparathyroidism in thyroid surgery. *Folia Med (Plovdiv).* 2023;65(2):207–214. doi: 10.3897/folmed.65.e75427 EDN: LGCHGX

22. Bewick J, Pfeleiderer A. The value and role of low dose methylene blue in the surgical management of hyperparathyroidism. *Ann R Coll Surg Engl*. 2014;96(7):526–529. doi: 10.1308/003588414X13946184903883
23. Lieberman ED, Thambi R, Pytynia KB. Methylene blue and parathyroid adenoma localization: Three new cases of a rare cutaneous complication. *Ear Nose Throat J*. 2016;95(2):70–72.
24. Kuriloff DB, Sanborn KV. Rapid intraoperative localization of parathyroid glands utilizing methylene blue infusion. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2004;131(5):616–622. doi: 10.1016/j.otohns.2004.04.026
25. Prosst RL, Weiss J, Hupp L, et al. Fluorescence-guided minimally invasive parathyroidectomy: clinical experience with a novel intraoperative detection technique for parathyroid glands. *World J Surg*. 2010;34(9):2217–2222. doi: 10.1007/s00268-010-0621-2 EDN: QOQTNJ
26. DeLong JC, Ward EP, Lwin TM, et al. Indocyanine green fluorescence-guided parathyroidectomy for primary hyperparathyroidism. *Surgery*. 2018;163(2):388–392. doi: 10.1016/j.surg.2017.08.018
27. Rudin AV, McKenzie TJ, Thompson GB, et al. Evaluation of Parathyroid Glands with Indocyanine Green Fluorescence Angiography After Thyroidectomy. *World J Surg*. 2019;43:1538. doi: 10.1007/s00268-019-04909-z EDN: NCCDCW
28. Park SY, Choi YS, Hwang YM, Yi JW. Robot-Assisted Parathyroidectomy Using Indocyanine Green (ICG) Fluorescence in Primary Hyperparathyroidism. *Medicina*. 2023;59(8):1456. doi: 10.3390/medicina59081456 EDN: EYIGTN
29. Battistella E, Pomba L, Toniato R, et al. Evolution of the Diagnosis and Treatment of Primary Hyperparathyroidism. *J Clin Med*. 2023;12(5):2057. doi: 10.3390/jcm12052057 EDN: DDLVMG
30. Lang BH, Wong CK, Hung HT, et al. Indocyanine green fluorescence angiography for quantitative evaluation of in situ parathyroid gland perfusion and function after total thyroidectomy. *Surgery*. 2017;161(1):87–95. doi: 10.1016/j.surg.2016.03.037
31. Razavi AC, Ibraheem K, Haddad A, et al. Efficacy of indocyanine green fluorescence in predicting parathyroid vascularization during thyroid surgery. *Head Neck*. 2019;41(9):3276–3281. doi: 10.1002/hed.25837
32. Chakedis JM, Maser C, Brumund KT, Bouvet M. Indocyanine green fluorescence-guided redoparathyroidectomy. *BMJ Case Rep*. 2015;2015:bcr2015211778. doi: 10.1136/bcr-2015-211778
33. Sound S, Okoh A, Yigitbas H, et al. Utility of Indocyanine Green Fluorescence Imaging for Intraoperative Localization in Reoperative Parathyroid Surgery. *Surg Innov*. 2019;26(6):774–779. doi: 10.1177/1553350615613450
34. Mannoh EA, Baregamian N, Thomas G, et al. Comparing laser speckle contrast imaging and indocyanine green angiography for assessment of parathyroid perfusion. *Sci Rep*. 2023;13(1):17270. doi: 10.1038/s41598-023-42649-2 EDN: IZDWDA
35. Richard M, Rizo P. Feasibility of parathyroid gland autofluorescence imaging after indocyanine green fluorescence angiography. *Front Endocrinol*. 2023;14:1248449. doi: 10.3389/fendo.2023.1248449 EDN: ZQYUJI
36. Zhang D, Sun H, Frattini F, et al. Use of Indocyanine Green Fluorescence During Total Thyroidectomy to Identify Parathyroid Glands and Prevent Hypoparathyroidism. *Surg Technol Int*. 2022;43:77–82. doi: 10.52198/23.STI.43.GS1741
37. Spartalis E, Ntokos G, Georgiou K, et al. Intraoperative Indocyanine Green (ICG) Angiography for the Identification of the Parathyroid Glands: Current Evidence and Future Perspectives. *In Vivo*. 2020;34(1):23–32. doi: 10.21873/invivo.11741 EDN: VWMQKY
38. Jin H, Cui M. New Advances of ICG Angiography in Parathyroid Identification. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets*. 2019;19(7):936–940. doi: 10.2174/1871530319666190206212456
39. Rames JD, Tran NV, Hesley GK, et al. An Allergic Reaction in Contrast-enhanced Ultrasound Lymphography for Lymphovenous Bypass Surgery. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2024;12(6):e5908. doi: 10.1097/GOX.0000000000005908 EDN: DIKKRP
40. Henegan J, McGrath S, Shah K, Bendinelli C. On the use of autofluorescence for detection of intrathyroidal parathyroid adenoma. *ANZ J Surg*. 2020;90(5):916–917. doi: 10.1111/ans.15425
41. Alesina PF, Meier B, Hinrichs J, et al. Enhanced visualization of parathyroid glands during video-assisted neck surgery. *Langenbecks Arch Surg*. 2018;403(3):395–401. doi: 10.1007/s00423-018-1665-2 EDN: UOBPPM
42. Rossi L, De Palma A, Papini P, et al. Near-infrared autofluorescence pattern in parathyroid gland adenoma. *Surg Endosc*. 2024;38(11):6930–6937. doi: 10.1007/s00464-024-11314-8 EDN: SPBQGG
43. Frey S, Bannani S, Caillard C, et al. Parathyroid near-infrared autofluorescence use for parathyroidectomy in mild primary hyperparathyroidism: Results from a randomized monocentric trial. *Surgery*. 2025;177:108878. doi: 10.1016/j.surg.2024.05.062 EDN: XEBGIV
44. Akgun E, Ibrahimli A, Berber E. Near-Infrared Autofluorescence Signature: A New Parameter for Intraoperative Assessment of Parathyroid Glands in Primary Hyperparathyroidism. *J Am Coll Surg*. 2025;240(1):84–93. doi: 10.1097/XCS.0000000000001147 EDN: FREPSO
45. Akgun E, Berber E. Near-Infrared Autofluorescence Signatures of Single- vs Multigland Disease in Primary Hyperparathyroidism. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 2024;150(11):979–985. doi: 10.1001/jamaoto.2024.3095
46. Takeuchi M, Takahashi T, Shodo R, et al. Comparison of Autofluorescence With Near-Infrared Fluorescence Imaging Between Primary and Secondary Hyperparathyroidism. *Laryngoscope*. 2021;131(6):E2097–E2104. doi: 10.1002/lary.29310 EDN: BXKMNM
47. Indelicato P, Barbieri D, Salerno E, et al. Near-Infrared Autofluorescence or Intraoperative Parathyroid Hormone Determination as a Surgical Support Tool in Primary Hyperparathyroidism: Too Close to Call? *Cancers*. 2024;16(23):4018. doi: 10.3390/cancers16234018 EDN: XHGRPK
48. Lee SM, Dedhia PH, Shen C, Phay JE. Smaller parathyroids have higher near-infrared autofluorescence intensity in hyperparathyroidism. *Surgery*. 2022;172(4):1114–1118. doi: 10.1016/j.surg.2022.06.027 EDN: CDBGTY
49. De Leeuw F, Breuskin I, Abbaci M, et al. Intraoperative Near-infrared Imaging for Parathyroid Gland Identification by Auto-fluorescence: A Feasibility Study. *World J Surg*. 2016;40(9):2131–2138. doi: 10.1007/s00268-016-3571-5 EDN: UDPYQU
50. Kahramangil B, Dip F, Benmiloud F, et al. Detection of Parathyroid Autofluorescence Using Near-Infrared Imaging: A Multicenter Analysis of Concordance Between Different Surgeons. *Ann Surg Oncol*. 2018;25(4):957–962. doi: 10.1245/s10434-018-6364-2 EDN: BNCHPH
51. Palermo A, Fosca M, Tabacco G, et al. Raman Spectroscopy Applied to Parathyroid Tissues: A New Diagnostic Tool to Discriminate Normal Tissue from Adenoma. *Anal Chem*. 2018;90(1):847–854. doi: 10.1021/acs.analchem.7b03617
52. Hu J, Xing J, Shao P, et al. Raman spectroscopy with an improved support vector machine for discrimination of thyroid and parathyroid tissues. *J Biophotonics*. 2024;17(8):e202400084. doi: 10.1002/jbio.202400084 EDN: GNLNDI

ОБ АВТОРАХ

*** Зинченко Сергей Викторович**, д-р мед. наук, доцент, заведующий, каф. хирургии;
ORCID: 0000-0002-9306-3507;
eLibrary SPIN: 5381-4389;
e-mail: zinchenkos.v@mail.ru

Галиев Ильфат Зульфатович, старший преподаватель, каф. хирургии;
ORCID: 0000-0001-8926-8799;
eLibrary SPIN: 5337-1143;
e-mail: galiev-i-1990@mail.ru

Кульбида Егор Константинович, врач-ординатор (хирург), каф. хирургических болезней постдипломного образования;
ORCID: 0009-0000-4826-2534;
eLibrary SPIN: 1730-4607;
e-mail: egorkulbida@gmail.com

Петухов Кирилл Алексеевич, врач-ординатор (хирург), каф. хирургических болезней постдипломного образования;
ORCID: 0009-0000-2700-5467;
eLibrary SPIN: 3507-1137;
e-mail: kirya.kirill.petukhov@mail.ru

Муратов Нияз Фанусович, канд. мед. наук, доцент, каф. оториноларингологии и офтальмологии;
ORCID: 0000-0002-0825-422X;
eLibrary SPIN: 5381-4388;
e-mail: n.muratov@drcito.ru

AUTHORS INFO

*** Sergey V. Zinchenko**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Assistant Professor, Head, Depart. of Surgery;
ORCID: 0000-0002-9306-3507;
eLibrary SPIN: 5381-4389;
e-mail: zinchenkos.v@mail.ru

Ifat Z. Galiev, Senior Lecturer, Depart. of Surgery;
ORCID: 0000-0001-8926-8799;
eLibrary SPIN: 5337-1143;
e-mail: galiev-i-1990@mail.ru

Egor K. Kulbida, resident doctor (surgeon), Depart. of Surgical Diseases of Postgraduate Education;
ORCID: 0009-0000-4826-2534;
eLibrary SPIN: 1730-4607;
e-mail: egorkulbida@gmail.com

Kirill A. Petukhov, resident doctor (surgeon), Depart. of Surgical Diseases of Postgraduate Education;
ORCID: 0009-0000-2700-5467;
eLibrary SPIN: 3507-1137;
e-mail: kirya.kirill.petukhov@mail.ru

Niyaz F. Muratov, MD, Cand. Sci. (Medicine), Assistant Professor, Depart. of Otorhinolaryngology and Ophthalmology;
ORCID: 0000-0002-0825-422X;
eLibrary SPIN: 5381-4388;
e-mail: n.muratov@drcito.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author