

<https://doi.org/10.17238/2072-3180-2026-2-231-237>

УДК 616.441-003.84/ 616-004

© Шулутко А.М., Александров Ю.К., Семиков В.И., Боблак Ю.А., Харнас С.С., 2026

Обзор/Review



ОЦЕНКА ФИБРОЗНО-СКЛЕРОТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЕ С ПОЗИЦИИ ХИРУРГА. ЧАСТЬ IV

А.М. ШУЛУТКО¹, Ю.К. АЛЕКСАНДРОВ², В.И. СЕМИКОВ¹, Ю.А. БОБЛАК¹, С.С. ХАРНАС¹

¹ ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский университет), 119047, Москва, Россия

² ФГБОУ ВО Ярославский государственный медицинский университет, 150000, Ярославль, Россия

Резюме

Введение. Минимально инвазивные методы лечения патологии щитовидной железы, основанные на применении различных физических факторов, обеспечивают локальное воздействие на очаговые образования с уменьшением их объема за счет деструктивных изменений. Последующие морфологические процессы являются прогнозируемыми и зависят от характера воздействия и особенностей узлов.

Цель. Оценить по данным литературы возможности и результаты применения минимально инвазивных методик, а также особенности динамики фиброзно-склеротических изменений в ткани щитовидной железы.

Материалы и методы. Проведен анализ публикаций, представленных в базах данных eLIBRARY, PubMed, Web of Science и Scopus, с использованием ключевых слов, отражающих процессы фиброза и склероза, а также методы абляции тканей щитовидной железы.

Результаты. Установлено, что минимально инвазивные методы, несмотря на различие механизмов действия, приводят к формированию зоны коагуляционного некроза с последующим развитием фиброза, склероза и кальциноза. В отдаленные сроки морфологические изменения приобретают однотипный характер и сопровождаются частичным или полным регрессом узловых образований.

Заключение. Минимально инвазивные методы лечения патологии щитовидной железы являются перспективным направлением, однако требуют дальнейшего изучения закономерностей морфологических изменений и оценки отдаленных результатов

Ключевые слова: щитовидная железа; фиброз; склероз; морфология; минимально инвазивные методы лечения.

Конфликт интересов: отсутствует.

Для цитирования: Семиков В.И., Александров Ю.К., Шулутко А.М., Боблак Ю.А., Харнас С.С. Оценка фиброзно-склеротических изменений в щитовидной железе с позиции хирурга. Часть IV. *Московский хирургический журнал*. 2026. № 2. С. 231–237. <https://doi.org/10.17238/2072-3180-2026-2-231-237>

Вклад авторов: А.М. Шулутко – редакция текста, подготовка к публикации, Ю.К. Александров – написание текста, подготовка к публикации, В.И. Семиков – редакция текста, подготовка к публикации, Ю.А. Боблак – подготовка к публикации, С.С. Харнас – редакция текста, подготовка к публикации.

ASSESSMENT OF FIBRO-SCLEROTIC CHANGES IN THE THYROID GLAND FROM A SURGICAL PERSPECTIVE. PART IV

ALEXEY M. SHULUTKO¹, YURI K. ALEXANDROV², VITALY I. SEMIKOV¹, JULIA A. BOBLAK¹, SERGEY S. KHARNAS¹

¹Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), 119047, Moscow, Russia

²Yaroslavl State Medical University, 150000, Yaroslavl, Russia

Abstract

Introduction. Minimally invasive techniques for the treatment of thyroid disorders based on various physical energy modalities provide targeted local destruction of focal lesions with subsequent volume reduction. The resulting morphological changes depend on the type of exposure and structural characteristics of thyroid nodules and determine long-term treatment outcomes.

Objective. To analyze published data on the effectiveness and technical aspects of minimally invasive treatment methods and to assess the patterns of fibro-sclerotic changes in thyroid tissue and nodular formations.

Methods. A literature review was performed using the eLIBRARY, PubMed, Web of Science and Scopus databases with keywords related to fibrosis, sclerosis and various ablation techniques applied to thyroid pathology. Publications focusing on both immediate and long-term morphological outcomes were included in the analysis.

Results. Despite differences in mechanisms of action, minimally invasive methods lead to the formation of coagulative necrosis followed by fibrosis, sclerosis and, in some cases, calcification. Over time, morphological changes become similar and are associated with partial or complete regression of nodules. The extent and rate of these processes may vary depending on the technique used and the initial structure of the treated lesion.

Conclusion. Minimally invasive treatment modalities represent a promising direction in thyroid surgery; however, further studies are required to clarify the patterns of morphological changes and to evaluate long-term outcomes and clinical effectiveness

Key words: thyroid gland; fibrosis; histology; ablation techniques; minimally invasive surgical procedures.

Conflict of interests: none.

For citation: Semikov V.I., Alexandrov Yu.K., Shulutko A.M., Boblak J.A., Kharnas S.S. Assessment of fibro-sclerotic changes in the thyroid gland from a surgical perspective. Part IV. *Moscow Surgical Journal*, 2026, no 2, pp. 231–237. <https://doi.org/10.17238/2072-3180-2026-2-231-237>

Contribution of the authors: A.M. Shulutko – text editing, preparation for publication, Yu.K. Alexandrov – writing of the manuscript, preparation for publication, V.I. Semikov – text editing, preparation for publication, J.A. Boblak – preparation for publication, S.S. Kharnas – text editing, preparation for publication.

Введение

Представляемая часть обзора о фиброзно-склеротических процессах в щитовидной железе (ЩЖ) является завершающей. В предыдущих частях обзора была представлена современная оценка структурных эволюционных патоморфологических процессов и морфологических изменений в узлах ЩЖ после диагностических манипуляций и склеротерапии. Литературные данные свидетельствуют, что после них регресс узлов и кист, также как и фиброзно-склеротическая перестройка зачастую стихийны и не прогнозируемы. Вместе с тем, сегодня уже созданы высокотехнологичные методы, позволяющие разрушать очаговые образования в ЩЖ различного морфологического строения с «запланированным» их уменьшением и формированием на их месте соединительнотканых структур. Технологии, получившие название «минимально инвазивные методы» (МИМ), основаны на локальном агрессивном воздействии на ткань и узлы ЩЖ факторов различной физической природы [1, 2]. Этими методами лечения узлов ЩЖ являются радиочастотная абляция (RFA) [3], лазерная абляция (LA) [4], микроволновая абляция (MVA) [5], электрохимический лизис (EChT) [6], высокочастотный фокусированный ультразвук (HIFU) [7], необратимая электропорация (IRE) [8].

Цель. Оценить по данным литературы возможности и результаты применения минимально инвазивных методик, а также особенности динамики фиброзно-склеротических изменений в ткани щитовидной железы и очаговых образованиях различного морфологического строения.

Материалы и методы

Проведен анализ публикаций, представленных в базах данных eLIBRARY, PubMed, Web of Science и Scopus, с использованием ключевых слов, отражающих фиброзно-склеротические процессы и методы абляции тканей щитовидной железы.

Результаты

Информация в публикациях об эффективности МИМ неоднозначна, поскольку основана на различных критериях. МИМ отличаются по принципу воздействия, по оборудованию, по показаниям, по технике выполнения, по эффективности, по УЗИ – эффектам и УЗИ – сопровождению, а также по последующим морфологическим изменениям. Условно их можно разделить на термические и нетермические. Единые критерии эффективности МИМ не разработаны. Наиболее важным специалисты считают уменьшение размеров узлов ЩЖ. В связи с тем, что в последние годы МИМ все активнее применяют при опухолях ЩЖ, в публикациях особое внимание уделяется динамике морфологических процессов, возникающих в зоне воздействия. Оценке ближайших результатов и оценке морфологических изменений в первые месяцы после применения МИМ посвящено много работ. Большинство из них описывают разрушение фолликулярных структур и замещение их соединительной тканью [9]. Достоверная оценка отдаленных результатов (5-10 лет) применения МИМ спорна, так как число пролеченных пациентов отдельными методиками невелико, а часть МИМ еще находится на этапе внедрения [10].

Среди МИМ, активно используемых для лечения очаговых образований ЩЖ с последующим фиброзом и склерозом разрушенного участка, является РЧА [11]. При РЧА в живых тканях происходит возбуждение ионов, которые пытаются следовать за изменением направления переменного тока. Такое возбуждение создает тепловое трение вокруг электрода. Трение вызывает немедленное повреждение живой ткани, но оно значительно только в зоне очень близкой к электроду, в пределах нескольких миллиметров от него. А ткань, расположенная дальше от электрода, нагревается постепенно, то есть абляция удаленной от электрода ткани происходит

медленнее, но равномернее в отличие от ЛА, за счет теплопроводности тканей. РЧА вызывает коагуляционный некроз, на месте которого со временем возникают фиброзные изменения с прогрессирующим уменьшением узла [12]. На основании анализа научных публикаций Cesareo R. с соавторами [13] считают, что РЧА должна рассматриваться как терапия первой линии для нефункционирующих доброкачественных узлов ЩЖ, а также она остается допустимым вариантом терапии второй линии при лечении автономных функционирующих узлов ЩЖ в случае противопоказаний или несогласия пациента на операцию или радиойодтерапию. Повреждение, вызываемое РЧА, зависит от достигнутой температуры ткани и от продолжительности нагрева. Эффективность РЧА снижается из-за неоднородности ткани, например, наличия фиброза или кальцификации. При морфологической оценке в зоне воздействия РЧА выявляется гиалинизация (бесклеточная, диффузная, центральная и периферическая), хроническое воспаление, гистиоцитарные отложения, инфаркты, кровоизлияния, пролиферация фибробластов, «черноватые частицы», кальцификация, реакция на инородное тело, холестериновые гранулемы и образование полостей. РЧА не влияет на капсулу ЩЖ и прилегающие ткани, сохраняя фолликулярную архитектуру и доброкачественные цитологические характеристики. После РЧА в отдаленные сроки идет активный процесс реабсорбции некротического материала макрофагами и замещение его фиброзным рубцом [14].

Одной из МИМ, уже рекомендованных для применения клиническими рекомендациями ряда стран для лечения пациентов с заболеваниями ЩЖ, является ЛА [15]. Технология (Light Amplified Stimulated Emission of Radiation = усиленное световое стимулированное излучение) основана на воздействии коллимированной, монохроматической, когерентной, мощной световой энергии на четко ограниченную область ткани ЩЖ. Воздействие предсказуемое, точное и контролируемое. При ЛА происходит разрушение белковых структур клеток в основном за счет поглощения энергии. При мощности лазерного излучения 3 Вт и диаметре световода 1 мм возникает очаг деструкции 10x3x3 мм [16]. Практически немедленная коагуляция ткани происходит при температуре до 1000С, а температура выше 1100С приводит к испарению и карбонизации ткани. Так как для абляции больших узлов ЩЖ необходимо перемещать световод внутри образований, зона разрушения состоит из отдельных очагов погибшей ткани, между которыми могут оставаться живые клетки. Гибель живых клеток в зоне абляции может продолжаться до 72 часов после ЛА вследствие коагуляции микрососудов, ишемического повреждения и нарастающего отека [17]. В 1 сутки после ЛА гистохимический анализ демонстрирует полную потерю активности НАДФН-дегидрогеназы в зоне воздействия лазера, что говорит о необратимости повреждения клеток. Дальнейшие морфологические изменения

варьируют в зависимости от времени, прошедшего после ЛА [18]. В течение первых двух месяцев в зоне воздействия могут образовываться полости, заполненные темным аморфным материалом. Также выражена воспалительная реакция, представленная обильной инфильтрацией зоны воздействия нейтрофилами, лимфоцитами и макрофагами. Спустя 18 месяцев место воздействия ЛА представляет собой четко ограниченную зону, окруженную фиброзной капсулой. При микроскопии в зоне абляции присутствует аморфный материал, углеродные обломки, макрофаги и/или многоядерные гигантские клетки, а также лимфоциты, при этом клетки ЩЖ отсутствуют. Зона абляции окружена ободком плотной фиброзной ткани. Между бесструктурными зонами и зонами фиброза и склероза могут встречаться островки фолликулярного эпителия с признаками регресса. В ткани ЩЖ, прилегающей к зоне повреждения, изменения отсутствуют. В отдаленные сроки в зоне абляции формируется слабо васкуляризированный соединительнотканый рубец с большим количеством коллагена и клеточных элементов соединительной ткани. При агрессивных режимах (большое количество энергии, повторные сеансы ЛА) происходит прогрессивное достоверное увеличение объема соединительнотканых элементов, которые замещают практически все остальные клеточные элементы. В грубой фиброзной ткани островки фолликулярного эпителия практически не определяются, то есть условия для возможной регенерации железистой ткани на конкретном участке отсутствуют. В отдельных местах на фоне выраженного фиброза отмечается инфильтрация ткани лимфоцитами, что, вероятно, является отражением локальной аутоиммунной реакции. Данные фиброзно-склеротические изменения связаны с тем, что все виды лазерной терапии ведут к увеличению плотности коллагеновых волокон, а также к увеличению количества фибробластов и содержания гидроксипролина [19]. Синтез и ремоделирование коллагена типа I и коллагена типа III, индуцированные лазером наиболее активны начиная с четвертой недели после лечения.

После ЛА могут обнаруживаться морфологические находки, которые характерны для методики, в том числе последствия эффекта карбонизации, когда мелкие фрагменты обугленной ткани узла ЩЖ не подвергаются рассасыванию. Они располагаются среди элементов фиброза без каких-либо признаков отграничения. Также в числе находок могут быть фрагменты обгоревшей обмотки и частицы кварцевого стекла. Волоконно-оптические световоды, применяемые при ЛА, сделаны из тонкого кварцевого оптического волокна (диаметр до 0,4 мм). Прочность кварцевого стекла составляет 10 ГПа. При ЛА происходит нагревание не только ткани узла ЩЖ, но и световода. Полимерное покрытие световода частично обгорает, оптоволокно становится хрупким. Также при перемещении световода в ходе ЛА узла ЩЖ стекловолокно может крошиться, а обмотка обрываться.

Микроволновая абляция (МВА) также является одним из современных МИМ лечения очаговых образований ЩЖ [20]. Зоны абляции, создаваемые МВА, обычно не распространяются значительно за пределы дистального конца аппликатора («концевой луч»). Прямое охлаждение активной части аппликатора создает возможность обугливания ткани при очень высоких температурах. При МВА возникает зона нагрева сферической, эллипсоидной или каплевидной формы, центрированная на оси аппликатора вблизи его кончика [21]. Наличие эффектов теплоотвода от кровеносных сосудов или локальных искажений на границах тканей может непредсказуемым образом изменять размер и форму зон абляции. Так как границы зоны воздействия невозможно точно визуализировать в режиме реального времени, всегда существует определенная степень неопределенности оператора в отношении результата лечения. Аппликаторы МВА предназначены для создания больших объемов зон лечения и не обладают необходимой стабильностью, предсказуемостью и пространственным контролем. Считается, что МВА имеет преимущество перед РЧА и ЛА, за счет возможности достижения более высоких пиковых температур по всей зоне лечения, повышенную способность проникать через ткани с высоким импедансом, меньшую восприимчивость к эффектам теплоотвода, возможность быстрого нагрева больших объемов ткани [22].

Начиная с 2011 года для лечения доброкачественных узлов ЩЖ используется высокочастотный фокусированный ультразвук (HIFU) [23]. При HIFU пучок ультразвуковых волн с высокой энергией фокусируется в точечной области (5x7 мм) узла ЩЖ. Ультразвук достигает глубоко расположенных органов и структур (на глубину до 10–25 мм), которые и подвергаются абляции. При HIFU поглощение ультразвука тканями вызывает фрикционный нагрев в микроскопическом масштабе. Этот нагрев генерируется сдвигом, вызванным изменениями продольного сжатия и давления разрежения ультразвукового луча. Это ведет к термическому эффекту (превращение механической энергии в тепловую) и акустической кавитации, а также прямому повреждению питающих узлов ЩЖ сосудов [24]. Это приводит к необратимым изменениям в клетках в виде коагуляционного некроза. Разрежение ультразвуковых волн вытягивает газ, находящийся в растворенном состоянии из окружающей ткани, образуя микропузырьки. Эти пузырьки колеблются вместе с ультразвуковыми волнами и растут в резонансе с ними до тех пор, пока не произойдет их бурное схлопывание. Это ведет к дополнительному увеличению давления и температуры в этой зоне [25]. По мнению Schlesinger D с соавторами биологические эффекты HIFU [26] в значительной степени обусловлены тем, что одновременное воздействие этих двух механизмов намного сильнее, чем действие каждого из них по отдельности. Специфическим биологическим эффектом HIFU является коагуляционный некроз в опухолях и узлах

ЩЖ. В отдаленные сроки в зоне воздействия формируются соединительнотканые структуры со слабым кровотоком.

Нетермический электрохимический лизис (EChT) – метод абляции под воздействием постоянного электрического тока низкого напряжения (не более 15 В). При EChT разрушение клеток происходит за счёт химических реакций электролиза, направленных ионных сдвигов, изменения кислотно-основного состояния в тканях, а также прямого воздействия электрического тока на клеточные структуры, приводящих к глубокой дистрофии, апоптозу и, в последующем, к некрозу клеток [6]. При EChT в непосредственной близости к электродам возникают зоны деструкции (до 4 мм) в виде бесструктурных полей с примесью лизированных эритроцитов. При гистологическом исследовании у анода выявляется гомогенный однородный коагуляционный некроз (межфолликулярная строма без ядра, гомогенна, эозинофильна). У катода развивается неоднородный колликвационный некроз, по периферии которого обнаруживаются контуры фолликулов с частично сохранившимся эпителием. Граница зон повреждения с неповрежденной тканью отчетлива [27]. Морфологическая картина, оцениваемая через 24 часа после EChT, говорит о необратимости изменений: клетки в зоне анода повреждены, деформированы и имеют конденсированное ядро вместе с интенсивно эозинофильной цитоплазмой; в зоне катода – клетки увеличены и вакуолизированы. Через 2 недели на периферии очагов некроза появляются признаки воспаления (лимфоциты, макрофаги), с преобладанием фибробластов и фиброцитов. Через 1,5 месяца в зоне воздействия определяется соединительная ткань [28].

Нетермическая необратимая электропорация (IRE) – это метод, при котором высоковольтное импульсное электрическое поле влияет на трансмембранное напряжение клетки, вызывая нанометровые дефекты мембраны (пермеабиллизацию), что в конечном итоге, приводит к нарушению гомеостаза и гибели клетки. IRE разрушает только клетки, сохраняя при этом целостность функциональных свойств внеклеточных структур [29]. В отношении патологии ЩЖ данная методика находится на стадии экспериментальной разработки. Первые работы говорят о том, что при IRE ЩЖ активно повреждаются фолликулярные клетки, что проявляется отеком и апоптозом, также отмечается активная миграция макрофагов, нейтрофилов и лимфоцитов. При IRE узлов ЩЖ используют высокие электрические поля, используемые только для таких типов тканей, что связано с гетерогенной структурой ЩЖ. Большая часть ткани ЩЖ не подвергается термическому повреждению, но могут формироваться точки с потенциальным локальным термическим повреждением (в большинстве клеток фолликулярного эпителия отмечается апоптоз). Большинство фолликулов ЩЖ теряют свою нормальную структуру. По всей обработанной области наблюдаются ядерные обломки, воспалительные

клетки, застой и геморрагические изменения. IRE безопасна для манипуляциях вблизи трахеи. Причина заключается в том, что IRE воздействует только на клеточную мембрану и не затрагивает соединительную ткань.

Заключение

При лечении очаговых образований ЩЖ все чаще используются методы «физической» абляции под контролем УЗИ, свидетельством чему является рост числа публикаций, посвященных данной тематике. Эти методики обладают минимальной инвазивностью, малым риском осложнений, позволяют сохранить нормальный гормональный фон. Итогом воздействия термических и нетермических методов абляции является необратимое повреждение ткани (карбонизация, некроз) с последующим формированием в зоне деструкции рубцовой ткани (безклеточное аморфное вещество, фиброз, гиалиноз, склероз), что ведет к уменьшению объема разрушаемого объекта. Несмотря на общее обилие публикаций, эффективность «физических» МИМ при узлах различного морфологического строения с позиции оценки отдаленных результатов все еще недостаточно изучена. Необходимы более основательные морфологические исследования, оценивающие роль как термических, так и нетермических МИМ.

Список литературы:

1. Studen K.B., Domagała B., Gaberšček S., Zatelet K., Hubalewska-Dydejczyk A. Diagnosis and management of thyroid nodules and goiter – current perspectives. *Endocrine*, 2025, vol. 87, no 1, pp. 39–47. <https://doi.org/10.1007/s12020-024-04015-8>
2. Александров Ю.К., Могутов М.С., Патрунов Ю.Н., Сенча А.Н. Малоинвазивная хирургия щитовидной железы. М.: Медицина. 2005. 288 с.
3. Huber T.C., Park A.W. Radiofrequency ablation of benign thyroid nodules. *Seminars in Interventional Radiology*, 2021, vol. 38, no 3, pp. 377–381. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1731377>
4. Gambelungho G., Stefanetti E., Avenia N., De Feo P. Percutaneous ultrasound-guided laser ablation of benign thyroid nodules: results of 10-year follow-up in 171 patients. *Journal of the Endocrine Society*, 2021, vol. 5, no 7, pp. bvab081. <https://doi.org/10.1210/jendso/bvab081>
5. Zu Y., Liu Y., Zhao J., et al. A cohort study of microwave ablation and surgery for low-risk papillary thyroid microcarcinoma. *International Journal of Hyperthermia*, 2021, vol. 5, 38, no 1, pp. 1548–1557. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1996643>
6. Борсуков А.В., Иванов Ю.В., Косова А.А., Андреева О.В., Амиров А.Х. Первые экспериментальные данные использования метода электрохимического лизиса в лечении узловых образований щитовидной железы. *Клиническая и экспериментальная тиреологическая*. 2009. Т. 5, № 1. С. 41–46.
7. Palyga I., Palyga R., Mlynarczyk J., Kopczyński J., Gozdz S., Kowalska A. The current state and future perspectives of high-intensity focused ultrasound (HIFU) ablation for benign thyroid nodules. *Gland Surgery*, 2020, vol. 9, no Suppl, 2, pp. S95–S104. <https://doi.org/10.21037/gf.2019.10.16>
8. Hu Q.L., Kuo J.H. Choice in ablative therapies for thyroid nodules. *Journal of the Endocrine Society*, 2023, vol. 7, no 7, pp. bvad078. <https://doi.org/10.1210/jendso/bvad078>
9. Cesareo R., Pacella C.M., Pasqualini V., et al. Laser ablation versus radiofrequency ablation for benign nonfunctioning thyroid nodules: six-month results of a randomized, parallel, open-label trial (LARA trial). *Thyroid*, 2020, vol. 30, no 6, pp. 847–856.
10. Matella M., Hunter K., Balasubramanian S., Walker D.C. Multi-scale model development for electrical properties of thyroid and parathyroid tissues. *IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology*, 2023, no 5, pp. 661–669.
11. Baek J.H., Lee J.H., Valcavi R., Pacella C.M., Rhim H., Na D.G. Thermal ablation for benign thyroid nodules: radiofrequency and laser. *Korean Journal of Radiology*, 2011, vol. 12, no 5, pp. 525–540. <https://doi.org/10.3348/kjr.2011.12.5.525>
12. Bernardi S., Stacul F., Zecchin M., Dobrinja C., Zanconati F., Fabris B. Radiofrequency ablation for benign thyroid nodules. *Journal of Endocrinological Investigation*, 2016, vol. 39, no 9, pp. 1003–1013. <https://doi.org/10.1007/s40618-016-0469-x>
13. Cesareo R., Palermo A., Pasqualini V., Manfrini S., Trimboli P., Stacul F., Fabris B., Bernardi S. Radiofrequency ablation on autonomously functioning thyroid nodules: a critical appraisal and review of the literature. *Frontiers in Endocrinology*, 2020, no 11, pp. 317. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00317>
14. Russotto F., Fiorentino V., Pizzimenti C., Micali M.G., Franchina M., Pepe L., Riganati G., Giordano W., Magliolo E., Ristagno S., Rossi E.D., Tuccari G., Martini M., Ieni A., Fadda G. Histologic evaluation of thyroid nodules treated with thermal ablation: an institutional experience. *International Journal of Molecular Sciences*, 2024, vol. 25, no 18, pp. 10182. <https://doi.org/10.3390/ijms251810182>
15. Gharib H., Papini E., Garber J.R., et al. American Association of Clinical Endocrinologists, American College of Endocrinology, and Associazione Medici Endocrinologi medical guidelines for clinical practice for the diagnosis and management of thyroid nodules: 2016 update. Appendix. *Endocrine Practice*, 2016, vol. 22, no Suppl. 1, pp. 1–60.
16. Привалов В.А., Селиверстов О.В., Ревель-Муроз Ж.А., Лаппа А.В., Демидов А.К., Файзрахманов А.Б. Чрескожная лазериндуцированная термотерапия узлового зоба. *Хирургия*. 2001. № 4. С. 10–13.
17. Nikfarjam M., Muralidharan V., Malcontenti-Wilson C., Christophi C. Progressive microvascular injury in liver and colorectal liver metastases following laser-induced focal hyperthermia therapy. *Lasers in Surgery and Medicine*, 2005, no 37, pp. 64–73. <https://doi.org/10.1002/lsm.20194>
18. Piana S., Riganti F., Froio E., Andrioli M., Pacella C.M., Valcavi R. Pathological findings of thyroid nodules after percutaneous laser ablation: a series of 22 cases with cyto-histological correlation. *Endocrine Pathology*, 2012, vol. 23, no 2, pp. 94–100. <https://doi.org/10.1007/s12022-012-9192-0>
19. Liu H., Dang Y., Wang Z., Chai X., Ren Q. Laser-induced collagen remodeling: a comparative study in vivo on mouse model. *Lasers in Surgery and Medicine*, 2008, vol. 40, no 1, pp. 13–19. <https://doi.org/10.1002/lsm.20587>
20. Yue W., Wang S., Wang B., Xu Q., Yu S., Yonglin Z., Wang X. Ultrasound-guided percutaneous microwave ablation of benign thyroid nodules: safety and imaging follow-up in 222 patients. *European Journal of Radiology*, 2013, vol. 82, no 1, pp. e11–e16. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.07.020>

21. Pfannenstiel A., Iannuccilli J., Cornelis F.H., Dupuy D.E., Beard W.L., Prakash P. Shaping the future of microwave tumor ablation: a new direction in precision and control of device performance. *International Journal of Hyperthermia*, 2022, vol. 39, no 1, pp. 664–674. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1991012>

22. Xia B., Yu B., Wang X., Ma Y., Liu F., Gong Y., Zou X., Lei J., Su A., Wei T., Zhu J., Lu Q., Li Z. Conspicuousness and recurrence related factors of ultrasound-guided microwave ablation in the treatment of benign thyroid nodules. *BMC Surgery*, 2021, vol. 21, no 1, pp. 317. <https://doi.org/10.1186/s12893-021-01312-1>

23. Esnault O., Franc B., Menegaux F., et al. High-intensity focused ultrasound ablation of thyroid nodules: first human feasibility study. *Thyroid*, 2011, no 21, pp. 965–973. <https://doi.org/10.1089/thy.2011.0141>

24. Zhou Y.F. High-intensity focused ultrasound in clinical tumor ablation. *World Journal of Clinical Oncology*, 2011, vol. 2, no 1, pp. 8–27. <https://doi.org/10.5306/wjco.v2.i1.8>

25. Карпов О.Э., Ветшев П.С., Животов В.А. Ультразвуковая абляция опухолей – состояние и перспективы. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2008. Т. 3. № 2. С. 77–82.

26. Schlesinger D., Benedict S., Diederich C., Gedroyc W., Klibanov A., Larner J. MR-guided focused ultrasound surgery, present and future. *Medical Physics*, 2013, vol. 40, no 8, pp. 080901. <https://doi.org/10.1118/1.4811136>

27. Von Euler H., Strahle K., Thorne A., Yongqing G. Cell proliferation and apoptosis in rat mammary cancer after electrochemical treatment (EChT). *Bioelectrochemistry*, 2004, vol. 62, no 1, pp. 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2003.10.008>

28. Иванов Ю.В., Попов Д.В., Соловьев Н.А., Злобин А.И. Первые результаты применения в эксперименте методики электрохимического лизиса в хирургической эндокринологии. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2010. Т. 5, № 2. С. 18–23.

29. Lv Y., Zhang Y., Huang J., Wang Y., Rubinsky B. A study on nonthermal irreversible electroporation of the thyroid. *Technology in Cancer Research & Treatment*, 2019, no 18. <https://doi.org/10.1177/1533033819876307>

References:

1. Studen K.B., Domagała B., Gaberšček S., Zaletel K., Hubalewska-Dydejczyk A. Diagnosis and management of thyroid nodules and goiter – current perspectives. *Endocrine*, 2025, vol. 87, no 1, pp. 39–47. <https://doi.org/10.1007/s12020-024-04015-8>

2. Aleksandrov Yu.K., Mogutov M.S., Patrunov Yu.N., Sencha A.N. Minimally invasive thyroid surgery. M.: Medicine, 2005, 288 p. (In Russ.)

3. Huber T.C., Park A.W. Radiofrequency ablation of benign thyroid nodules. *Seminars in Interventional Radiology*, 2021, vol. 38, no 3, pp. 377–381. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1731377>

4. Gambelunghe G., Stefanetti E., Avenia N., De Feo P. Percutaneous ultrasound-guided laser ablation of benign thyroid nodules: results of 10-year follow-up in 171 patients. *Journal of the Endocrine Society*, 2021, vol. 5, no 7, p. bvab081. <https://doi.org/10.1210/jendso/bvab081>

5. Zu Y., Liu Y., Zhao J., et al. A cohort study of microwave ablation and surgery for low-risk papillary thyroid microcarcinoma. *International Journal of Hyperthermia*, 2021, vol. 38, no 1, pp. 1548–1557. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1996643>

6. Borsukov A.V., Ivanov Yu.V., Kosova A.A., Andreeva O.V., Amirov A.Kh. First experimental results in electrochemical lysis of thyroid nodules. *Clinical and Experimental Thyroidology*, 2009, vol. 5, no 1, pp. 41–46. (In Russ.)

7. Palyga I., Palyga R., Mlynarczyk J., Kopczynski J., Gozdz S., Kowalska A. The current state and future perspectives of high intensity focused ultrasound (HIFU) ablation for benign thyroid nodules. *Gland Surgery*, 2020, vol. 9, Suppl. 2, pp. S95–S104. <https://doi.org/10.21037/gS.2019.10.16>

8. Hu Q.L., Kuo J.H. Choice in ablative therapies for thyroid nodules. *Journal of the Endocrine Society*, 2023, vol. 7, no 7, p. bvad078. <https://doi.org/10.1210/jendso/bvad078>

9. Cesareo R., Pacella C.M., Pasqualini V., et al. Laser ablation versus radiofrequency ablation for benign non-functioning thyroid nodules: six-month results of a randomized, parallel, open-label trial (LARA trial). *Thyroid*, 2020, vol. 30, no 6, pp. 847–856.

10. Matella M., Hunter K., Balasubramanian S., Walker D.C. Multi-scale model development for electrical properties of thyroid and parathyroid tissues. *IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology*, 2023, vol. 5, pp. 661–669.

11. Baek J.H., Lee J.H., Valcavi R., Pacella C.M., Rhim H., Na D.G. Thermal ablation for benign thyroid nodules: radiofrequency and laser. *Korean Journal of Radiology*, 2011, vol. 12, no 5, pp. 525–540. <https://doi.org/10.3348/kjr.2011.12.5.525>

12. Bernardi S., Stacul F., Zecchin M., Dobrinja C., Zanconati F., Fabris B. Radiofrequency ablation for benign thyroid nodules. *Journal of Endocrinological Investigation*, 2016, vol. 39, no 9, pp. 1003–1013. <https://doi.org/10.1007/s40618-016-0469-x>

13. Cesareo R., Palermo A., Pasqualini V., Manfrini S., Trimboli P., Stacul F., Fabris B., Bernardi S. Radiofrequency ablation on autonomously functioning thyroid nodules: a critical appraisal and review of the literature. *Frontiers in Endocrinology*, 2020, vol. 11, p. 317. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00317>

14. Russotto F., Fiorentino V., Pizzimenti C., Micali M.G., Franchina M., Pepe L., Riganati G., Giordano W., Magliolo E., Ristagno S., Rossi E.D., Tuccari G., Martini M., Ieni A., Fadda G. Histologic evaluation of thyroid nodules treated with thermal ablation: an institutional experience. *International Journal of Molecular Sciences*, 2024, vol. 25, no 18, p. 10182. <https://doi.org/10.3390/ijms251810182>

15. Gharib H., Papini E., Garber J.R., et al. American Association of Clinical Endocrinologists, American College of Endocrinology, and Associazione Medici Endocrinologi medical guidelines for clinical practice for the diagnosis and management of thyroid nodules – 2016 update. Appendix. *Endocrine Practice*, 2016, vol. 22, no Suppl. 1, pp. 1–60.

16. Privalov V.A., Seliverstov O.V., Revel-Muroz Zh.A., Lappa A.V., Demidov A.K., Faizrakhmanov A.B. Percutaneous laser-induced thermotherapy of nodular goiter. *Surgery*, 2001, no 4, pp. 10–13. (In Russ.)

17. Nikfarjam M., Muralidharan V., Malcontenti-Wilson C., Christophi C. Progressive microvascular injury in liver and colorectal liver metastases following laser-induced focal hyperthermia therapy. *Lasers in Surgery and Medicine*, 2005, vol. 37, pp. 64–73. <https://doi.org/10.1002/lsm.20194>

18. Piana S., Riganti F., Froio E., Andrioli M., Pacella C.M., Valcavi R. Pathological findings of thyroid nodules after percutaneous laser ablation: a series of 22 cases with cyto-histological correlation. *Endocrine Pathology*, 2012, vol. 23, no 2, pp. 94–100. <https://doi.org/10.1007/s12022-012-9192-0>

19. Liu H., Dang Y., Wang Z., Chai X., Ren Q. Laser-induced collagen remodeling: a comparative study in vivo on mouse model. *Lasers in Surgery and Medicine*, 2008, vol. 40, no 1, pp. 13–19. <https://doi.org/10.1002/lsm.20587>

20. Yue W., Wang S., Wang B., Xu Q., Yu S., Yonglin Z., Wang X. Ultrasound-guided percutaneous microwave ablation of benign thyroid nodules: safety and imaging follow-up in 222 patients. *European Journal of Radiology*, 2013, vol. 82, no 1, pp. e11–e16. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.07.020>

21. Pfannenstiel A., Iannuccilli J., Cornelis F.H., Dupuy D.E., Beard W.L., Prakash P. Shaping the future of microwave tumor ablation: a new direction in precision and control of device performance. *International Journal of Hyperthermia*, 2022, vol. 39, no 1, pp. 664–674. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1991012>

22. Xia B., Yu B., Wang X., Ma Y., Liu F., Gong Y., Zou X., Lei J., Su A., Wei T., Zhu J., Lu Q., Li Z. Conspicuousness and recurrence related factors of ultrasound-guided microwave ablation in the treatment of benign thyroid nodules. *BMC Surgery*, 2021, vol. 21, no 1, p. 317. <https://doi.org/10.1186/s12893-021-01312-1>

23. Esnault O., Franc B., Menegaux F., et al. High-intensity focused ultrasound ablation of thyroid nodules: first human feasibility study. *Thyroid*, 2011, vol. 21, pp. 965–973. <https://doi.org/10.1089/thy.2011.0141>

24. Zhou Y.F. High-intensity focused ultrasound in clinical tumor ablation. *World Journal of Clinical Oncology*, 2011, vol. 2, no 1, pp. 8–27. <https://doi.org/10.5306/wjco.v2.i1.8>

25. Karpov O.E., Vetshev P.S., Zhivotov V.A. Ultrasound ablation of tumors – current state and prospects. *Bulletin of the N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center*, 2008, vol. 3, no 2, pp. 77–82. (In Russ.)

26. Schlesinger D., Benedict S., Diederich C., Gedroyc W., Klibanov A., Larner J. MR-guided focused ultrasound surgery, present and future. *Medical Physics*, 2013, vol. 40, no 8, p. 080901. <https://doi.org/10.1118/1.4811136>

27. Von Euler H., Strahle K., Thorne A., Yongqing G. Cell proliferation and apoptosis in rat mammary cancer after electrochemical treatment (EChT). *Bioelectrochemistry*, 2004, vol. 62, no 1, pp. 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2003.10.008>

28. Ivanov Yu.V., Popov D.V., Solov'ev N.A., Zlobin A.I. First results of experimental application of electrochemical lysis in surgical endocrinology. *Bulletin of the N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center*, 2010, vol. 5, no 2, pp. 18–23. (In Russ.)

29. Lv Y., Zhang Y., Huang J., Wang Y., Rubinsky B. A study on nonthermal irreversible electroporation of the thyroid. *Technology in Cancer Research & Treatment*, 2019, vol. 18. <https://doi.org/10.1177/1533033819876307>

Сведения об авторах:

Шулутко Александр Михайлович – профессор кафедры факультетской хирургии № 2 им. Г.И. Лукомского, доктор медицинских наук, профессор. ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (**Сеченовский университет**), 119047, Россия, г. Москва, ул. Трубецкая 8–2. E-mail: Shulutko@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8001-1601>

Александров Юрий Константинович – профессор кафедры хирургических болезней с курсом эндокринной хирургии

им. Н.П. Пампутиса, доктор медицинских наук, профессор. ФГБОУ ВО Ярославский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, 150000, Россия, г. Ярославль, ул. Революционная, д. 5. E-mail: yka2000@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7581-1543>

Семиков Василий Иванович – профессор кафедры факультетской хирургии № 2 им. Г.И. Лукомского, доктор медицинских наук, профессор. ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (**Сеченовский университет**), 119047, Россия, г. Москва, ул. Трубецкая 8–2. E-mail: Semik61@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3844-1632>

Боблак Юлия Александровна – ассистент кафедры факультетской хирургии № 2 им. Г.И. Лукомского. ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский университет), 119047, Россия, г. Москва, ул. Трубецкая 8–2, e-mail: Julia.boblak@icloud.com, <http://orcid.org/0000-0001-7838-3054>

Харнас Сергей Саулович – доктор медицинский наук, профессор кафедры факультетской хирургии N1 им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский университет), 119047, Россия, г. Москва, ул. Трубецкая 8–2, e-mail: kharnas_s_s@staff.sechenov.ru <http://orcid.org/0000-0002-2393-4864>

Information about the authors:

Shulutko Alexandr Mikhailovich – Professor of the Department of Faculty Surgery no 2 named after G.I. Lukomsky, Doctor of Medical Sciences, Professor. I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8–2 Trubetskaya St., Moscow, 119047, Russia. E-mail: Shulutko@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8001-1601

Aleksandrov Yuri Konstantinovich – Professor of the Department of Surgical Diseases with a course of Endocrine Surgery named after N.P. Pamputis, Doctor of Medical Sciences, Professor. Yaroslavl State Medical University, 5 Revolyutsionnaya St., Yaroslavl, 150000, Russia. E-mail: yka2000@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7581-1543

Semikov Vasily Ivanovich – Professor of the Department of Faculty Surgery no 2 named after G.I. Lukomsky, Doctor of Medical Sciences, Professor. I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8–2 Trubetskaya St., Moscow, 119047, Russia. E-mail: Semik61@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-3844-1632

Boblak Julia Alexandrovna – Assistant of the Department of Faculty Surgery No 2 named after G.I. Lukomsky. I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8–2 Trubetskaya St., Moscow, 119047, Russia. E-mail: Julia.boblak@icloud.com. ORCID: 0000-0001-7838-3054

Kharnas Sergey Saulovich – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Faculty Surgery No 1 named after N.V. Sklifosovsky. I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8–2 Trubetskaya St., Moscow, 119047, Russia. E-mail: kharnas_s_s@staff.sechenov.ru. ORCID: 0000-0002-2393-4864