



Компрессионная эластография в диагностике постлучевого гипотиреоза: современное состояние вопроса

О.В. Андреева^{1*}, И.П. Мошуров¹, Н.Н. Ветшева², Е.П. Фисенко³

¹ ФГБОУ ВО “Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко” Минздрава России; 394036 Воронеж, ул. Студенческая, д. 10, Российская Федерация

² ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

³ ФГБНУ “Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского”; 119991 Москва, ГСП-1, Абрикосовский пер., д. 2, Российская Федерация

Представлен обзор применения эластографии в диагностике различных заболеваний щитовидной железы. Обсуждаются возможности и ограничения компрессионной соноэластографии (КСЭГ) как дополнительного неинвазивного метода в дифференциации доброкачественных и злокачественных узловых образований; подчеркивается, что изолированное применение КСЭГ без количественных параметров эластографии сдвиговой волной имеет существенные ограничения вследствие высокой аппаратной и операторской зависимости метода. Освещены возможности КСЭГ в диагностике постлучевого гипотиреоза. Рассматривается необходимость проведения научных работ по интеграции эластографических методов для динамического наблюдения за пациентами после радиотерапии злокачественных новообразований головы и шеи, местнораспространенного рака молочной железы.

Ключевые слова: компрессионная эластография; щитовидная железа; гипотиреоз; лучевая терапия

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Андреева О.В., Мошуров И.П., Ветшева Н.Н., Фисенко Е.П. Компрессионная эластография в диагностике постлучевого гипотиреоза: современное состояние вопроса. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2026; 32 (3): 27–35. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-397>

Поступила в редакцию: 24.03.2026. Принята к печати: 21.07.2026.

Опубликована online: 16.09.2026.

Андреева Ольга Валериевна – канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры онкологии ФГБОУ ВО “Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко” Минздрава России, Воронеж. <http://orcid.org/0000-0002-0234-5059>

Мошуров Иван Петрович – доктор мед. наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО “Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко” Минздрава России, Воронеж. <http://orcid.org/0000-0003-1333-5638>

Ветшева Наталья Николаевна – доктор мед. наук, профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-9017-9432>

Фисенко Елена Полиектовна – доктор мед. наук, главный научный сотрудник лаборатории ультразвуковой диагностики отдела клинической физиологии, инструментальной и лучевой диагностики ФГБНУ “Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4503-950X>. Scopus Author ID 6507536162

Контактная информация*: Андреева Ольга Валериевна – e-mail: olga.andreeva-doc@yandex.ru

Лучевая терапия представляет собой важнейший компонент комплексного лечения злокачественных новообразований гортани и орфарингеальной области, молочной железы и лимфопролиферативных заболеваний. Однако облучение области шеи и надключичных зон может приводить к воздействию ионизирующего излучения на щитовидную железу (ЩЖ), что служит причиной формирования разных видов тиреоидной дисфункции, наиболее распространенным из которых является постлучевой гипотиреоз. По данным современной литературы, частота развития гипотиреоза варьирует от 20 до 50% [1] в зависимости от дозы облучения, объема ЩЖ до начала лечения, времени наблюдения после лечения, пола, возраста и ряда других факторов. Патологические изменения при данном состоянии основываются на прямом повреждении фолликулярных клеток в ходе лучевого лечения, нарушении микроциркуляции и развитии воспалительных процессов; это служит причиной развития фиброза, который приводит к прогрессирующему снижению функциональной активности ЩЖ. Традиционные методы диагностики постлучевого гипотиреоза основаны на биохимическом определении уровня тиреотропного гормона (ТТГ), свободного тироксина (T_4), а также на ультразвуковой оценке объема и структуры ЩЖ. Однако перечисленные методы не позволяют оценить изменения механических свойств тиреоидной ткани, которые могут предшествовать клинически значимым функциональным нарушениям органа.

Ультразвуковая эластография представляет собой неинвазивную технологию визуализации, позволяющую оценивать механические свойства тканей [2, 3]. Следует отметить, что большинство исследований, рассматриваемых в данном обзоре, выполнено в период 2008–2015 гг., когда эластография сдвиговой волной (ЭСВ) была недоступна у большинства производителей ультразвукового оборудования, что и обусловило широкое использование компрессионной эластографии деформации в качестве основного метода количественной оценки жесткости тканей. В настоящее время ЭСВ реализована в оборудовании всех ведущих производителей (США, Европа, Китай, Япония), и именно ЭСВ является предпочтительным методом объективной количественной оценки жесткости тканей.

Цель систематического обзора: анализ современной научной литературы, посвященной применению компрессионной эластографии в диагностике постлучевого гипотиреоза и оценке

структурно-функциональных изменений ЩЖ после радиотерапии. Изучено 42 литературных источника (39 из которых – зарубежных авторов), изданных в период с 2008 по 2025 г.; поиск проводили по электронным международным (PubMed, MEDLINE, Google Scholar) и российским (eLIBRARY.RU и КиберЛенинка) научным базам данных.

Постлучевой гипотиреоз – это сложный многофакторный процесс, развивающийся в результате воздействия ионизирующего излучения на ткань ЩЖ. Так, исследование Z. Lin и соавт. [4] продемонстрировало характерную динамику изменений ЩЖ у пациентов с назофарингеальной карциномой в течение 48 мес после интенсивно-модулированной лучевой терапии. Согласно данным этого проспективного исследования ($n = 56$), объем ЩЖ у пролеченных от рака указанной нозологии пациентов уменьшался на 40% через 30 мес после окончания лечения. Примечательно, что уровень T_4 показывал схожую динамику, снижаясь на 21,5%, ТТГ показывал постепенное повышение сразу после радиотерапии, достигая пика через 24 мес. Частота встречаемости гипотиреоза увеличивалась до максимума через 24 мес (28,6%) с последующим снижением.

Ультразвуковая эластография основана на принципе оценки механических свойств тканей с помощью измерения их деформации или скорости распространения сдвиговых волн в ответ на оказываемое давление [5, 6]. Существуют две основные технологии эластографии: компрессионная эластография деформации (strain elastography, SE) и эластография сдвиговой волной (shear wave elastography, SWE). Компрессионная эластография основана на использовании внешнего давления, оказываемого с помощью ультразвукового датчика. Относительная деформация различных тканевых структур визуализируется в виде цветовой карты, где более жесткие ткани отображаются синим цветом (или красным в зависимости от параметров шкалы и производителя), а более мягкие – красным (или синим в зависимости от параметров шкалы и производителя). Количественная оценка осуществляется путем расчета коэффициента деформации (strain ratio, SR) – отношения деформации референсной ткани к деформации исследуемого образования [7]. Полуколичественный индекс SR широко применяется в исследованиях дифференциальной диагностики узловых образований ЩЖ. Необходимо подчеркнуть, что компрессионная эластография

предоставляет лишь дополнительную (и преимущественно качественную) информацию к стандартному В-режиму ультразвукового исследования (УЗИ) ЩЖ. Изолированное применение компрессионной соноэластографии (КСЭГ) без количественных характеристик ЭСВ имеет существенные ограничения: метод крайне аппарато- и операторозависим, цветовые паттерны жесткости тканей не могут быть воспроизведены в сопоставимых единицах на оборудовании разных производителей и операторами разного уровня подготовленности, что делает динамический мониторинг состояний с помощью изолированной КСЭГ затруднительным.

Наиболее известным направлением применения эластографии ЩЖ является дифференциальная диагностика доброкачественных и злокачественных узловых образований, что широко освещается в современной литературе [8]. Данное направление отражено в работах разных школ в области ультразвуковой диагностики отечественной медицины – А.В. Борсукова и соавт. [9], А.Н. Сенчи и соавт. [10]. По мнению некоторых ученых, эластография узловых образований ЩЖ может помогать отбирать пациентов на биопсию: Y. Luo и соавт. [11] показали, что компрессионная эластография может потенциально сократить количество тонкоигольных аспирационных биопсий (ТАБ) на 60% для доброкачественных узлов размером ≥ 1 см, позволяя клиницистам рекомендовать динамическое наблюдение вместо биопсии. В некоторых работах утверждается, что использование систолического индекса жесткости ЩЖ (STSI) с пороговым значением 10 достигло 100% чувствительности и 79,4% специфичности, что дало возможность сократить количество ТАБ на 60,8% путем идентификации доброкачественных узлов Bethesda I [12]. А. Mahmoud и соавт. [13] считают, что компрессионная эластография может ограничить ТАБ или хирургические вмешательства, особенно для узлов с неопределенной цитологией категорий Bethesda III. Однако есть мнение, что это имеет важное клиническое значение, поскольку категория Bethesda IV ассоциирована с повышенным риском фолликулярного рака, и эластография узловых образований ЩЖ может помочь в стратификации риска у этих пациентов. Так, А. Latia и соавт. в проводимом исследовании установили, что среди узлов категории Bethesda V с помощью компрессионной эластографии удалось правильно реклассифицировать 14 из 65 узлов, прогнозируя снижение хирургических вмешательств на

22% [14]. По мнению ряда авторов, это дает основание полагать, что компрессионная эластография узловых образований ЩЖ демонстрирует достаточно высокий потенциал в оптимизации принятия клинических решений для выполнения инвазивных процедур [15–18]. Однако необходимо учитывать, что приведенные данные о высокой диагностической точности КСЭГ получены преимущественно в исследованиях 2010–2015 гг., когда ЭСВ была недоступна. Согласно руководству EFSUMB 2018 [19], КСЭГ не является высокоинформативным самостоятельным методом дифференциации доброкачественных и злокачественных узловых образований ЩЖ ввиду высокой вариабельности результатов, обусловленной аппаратной и операторской зависимостью метода; изолированное применение КСЭГ без количественных параметров ЭСВ не рекомендуется. Сегодня качественные критерии (цветовые паттерны) жесткости тканей, как правило, не принимаются к самостоятельной трактовке и рассматриваются только в комплексе с данными ЭСВ.

Вместе с тем в современной литературе все большее внимание уделяется количественным характеристикам жесткости паренхимы ЩЖ. ЭСВ позволяет получать воспроизводимые, независимые от оператора и оборудования количественные параметры: модуль Юнга (кПа) и скорость сдвиговой волны (м/с).

Диагностическая ценность ЭСВ при оценке узловых образований ЩЖ подтверждена рядом исследований. F. Sebag и соавт. [20] установили, что средний индекс эластичности злокачественных узлов составляет 150 ± 95 кПа, что достоверно превышает аналогичный показатель доброкачественных образований. В. Liu и соавт. [21] в метаанализе продемонстрировали высокую диагностическую точность количественной ЭСВ для дифференциации доброкачественных и злокачественных узлов ЩЖ. Т. Fukuhara и соавт. [22] определили корреляцию между количественными показателями ЭСВ и гистологической структурой тиреоидных образований, а А. Anvari и соавт. [23] подтвердили воспроизводимость оценки модуля Юнга при фолликулярных неоплазиях ЩЖ. На основании накопленных данных Н. Ху и соавт. [24] разработали рекомендации по клиническому применению ЭСВ для оценки узлов ЩЖ [25, 26].

Наряду с этим исследуются возможности интеграции ЭСВ с существующими классификационными системами. J. Hang и соавт. [27] показали, что комбинация максимального мо-

для сдвиговой эластичности с классификацией TI-RADS [28] повышает диагностическую специфичность, а S. Tan и соавт. [29] оценили применимость метода при микрокарциномах ЩЖ [30]. Примечательно, что параллельно проходили исследования, которые активно изучали полуколичественный индекс сопоставления жесткости (strain ratio, SR): V. Cantisani и соавт. [31] в проспективном исследовании сравнивали SR и 2D-ЭСВ в сочетании с TI-RADS для характеристики узлов ЩЖ в оценке возможностей определения диагностических пороговых значений SR для дифференциации доброкачественных и злокачественных образований ЩЖ.

Помимо оценки узловых образований, в ряде исследований (преимущественно периода 2010–2020 гг., когда ЭСВ не имела широкого распространения) компрессионная эластография продемонстрировала определенную ценность в диагностике диффузных заболеваний ЩЖ [32]. Вместе с тем следует принять во внимание, что все приводимые ниже данные основаны на качественных и полуколичественных показателях КСЭГ (SR, SI), которые в силу оператор- и аппаратозависимости метода не просто воспроизвести в условиях динамического наблюдения. Исследования в этом направлении были посвящены аутоиммунному тиреоидиту (тиреоидиту Хашимото). М. Öztürk и соавт. [33] провели кросс-секционное контролируемое исследование 63 детей с тиреоидитом Хашимото и 47 здоровых детей контрольной группы. Средний индекс эластографической деформации (SI) у здоровых лиц составил $0,26 \pm 0,77$, а у пациентов с тиреоидитом Хашимото – $1,75 \pm 1,46$ (при $p < 0,001$). Оптимальное пороговое значение среднего SI 0,31 обеспечивало 92,1% чувствительность и 66% специфичность для диагностики тиреоидита Хашимото. Принципиальное значение имеет, что 180 человек имели биохимически подтвержденный хронический аутоиммунный тиреоидит, в то время как 70 участников исследования являлись здоровыми людьми. В результате исследования идентифицировано, что средний коэффициент деформации (SR) выше 1,64 предсказывал аутоиммунный тиреоидит с 69% чувствительностью, 92% специфичностью. Кроме того, заслуживает внимания тот факт, что значительно более высокие значения SR ($2,81 \pm 2,11$) были обнаружены у пациентов с хроническим аутоиммунным тиреоидитом по сравнению с группой контроля ($1,03 \pm 0,51$). Наряду с этим следует упомянуть, что пороговое значение SR 2,94 было установлено для иденти-

фикации пациентов с хроническим аутоиммунным тиреоидитом, которые нуждались в гормональной терапии, с чувствительностью 52,3% и специфичностью 83,7%. Это демонстрирует потенциал эластографии не только в диагностике, но и в стратификации тяжести заболевания для определения тактики лечения. Классические работы М. Menzilcioglu и соавт. [34], С. Сепега и соавт. [35] дополнительно подтвердили полезность компрессионной эластографии в диагностике и градации тиреоидита Хашимото у детей, что расширяет возможности применения метода в педиатрической практике.

Несмотря на обширные исследования эластографии в контексте узловых образований и диффузных заболеваний ЩЖ, специализированные исследования, посвященные применению эластографии для мониторинга постлучевых изменений ЩЖ и диагностике радиационно-индуцированного гипотиреоза, остаются крайне ограниченными. Это представляет собой значительный пробел в современной научной литературе. Исследование, проводимое на предмет изучения постлучевых изменений ЩЖ, было инициировано в названных трудах Z. Lin и соавт. Однако данные работы базировались на традиционных методах оценки – измерении объема ЩЖ с помощью ультразвуковой томографии, компьютерной томографии и биохимическом определении уровней тиреоидных гормонов, без применения эластографических технологий. А. Gül и соавт. [36] провели исследование случай–контроль с использованием компрессионной эластографии для дифференциации между здоровой паренхимой ЩЖ и резидуальной паренхимой после частичной тиреоидэктомии. Важно отметить, что из представленной выборки были исключены пациенты, получившие лечение радиоактивным йодом или облучение области шеи по причине онкологических заболеваний региона голова–шея. Однако результаты продемонстрировали, что эластичность паренхимы ЩЖ после хирургического вмешательства значительно отличается от здоровой ткани с более высокими коэффициентами деформации (SR) в группе пациентов (правая доля: $2,22 \pm 1,9$, левая доля: $1,9 \pm 1,9$) по сравнению с контролями ($1,05 \pm 0,6$ и $0,8 \pm 0,5$ соответственно; $p = 0,002$ и $p = 0,043$). Эти данные дают основания полагать, что эластография способна выявлять изменения механических свойств тиреоидной ткани после различных воздействий, включая хирургическое лечение. Экстраполируя эти результаты на патофизиоло-

гические механизмы формирования постлучевого гипотиреоза, можно предположить, что радиационно-индуцированные фиброз и структурные изменения паренхимы ЩЖ могут быть обнаружены методами эластографии. Некоторые авторы предприняли попытку отнести лучевую терапию к качественной переменной в своих исследованиях; это дало авторам возможность повысить диагностическую точность эластографии, показывая 95,83% чувствительность и 88,89% специфичность [37] для пациентов с положительным радиационным анамнезом. Хотя работы не фокусировались на постлучевом гипотиреозе, они могут служить подтверждением того, что компрессионная эластография может быть эффективным методом исследования в популяции онкологических пациентов, которым было проведено лучевое лечение в областях, близких к ЩЖ. Таким образом, теоретическое обоснование применения эластографии для постлучевого мониторинга ЩЖ основывается на патофизиологических изменениях, происходящих в тиреоидной ткани, подвергнутой лучевой нагрузке в ходе специализированного противоопухолевого лечения.

Анализ доступной литературы дал возможность выявить несколько важных ограничений, которые необходимо учитывать при интерпретации результатов эластографических исследований ЩЖ: методологические ограничения включают значительную вариабельность в технике выполнения компрессионной эластографии. J. Gasic и соавт. [38] обращают внимание, что компрессионная эластография является субъективным методом, критически зависящим от оператора: давление, прикладываемое датчиком вручную, не поддается стандартизации, что приводит к существенной вариабельности результатов как между операторами, так и между аппаратами разных производителей. Это принципиально ограничивает возможности динамического мониторинга с использованием КСЭГ, особенно при смене оборудования или специалиста. Именно по этой причине в современной клинической практике изолированная КСЭГ уступила место ЭСВ, обеспечивающей воспроизводимые количественные параметры жесткости тканей (кПа или м/с) независимо от оператора. A. Solak и соавт. [39] также справедливо отмечают ограничения в результативности компрессионной эластографии, связывая это с операторозависимостью метода. Технические ограничения могут быть связаны с характеристиками исследуемых образований: Y. Yang

и соавт. [40] подчеркнули, что ценность эластографии ограничена при дифференциации доброкачественных и злокачественных образований ЩЖ в случаях, когда наряду с очаговыми образованиями имеют место и диффузные изменения ЩЖ, и локальные зоны фиброза или кальцификации, потому как эластографические данные могут “перекрываться”. L. Karasa и соавт. [41] отметили трудности применения эластографии в оценке глубоко расположенных образований ЩЖ, узлов малых размеров или узловых образований железы кистозного характера. В ряде работ указано, что необходимо правильно интерпретировать данные компрессионной эластографии для узлов, расположенных близко к сонной артерии (<10 мм). Ограничения дизайна в некоторых работах включают относительно небольшие размеры выборки пациентов в большинстве исследований, особенно для подгрупп злокачественных образований: авторы обращают внимание на небольшое количество злокачественных случаев в проводимом анализе и отсутствие градации между фолликулярными и папиллярными карциномами. В уже упомянутой работе A. Gül и соавт. ученые заострили внимание на различие возрастных характеристик пациентов, в то время как H. Korkusuzet и соавт. [42] подчеркнули, что точность компрессионной эластографии ограничена необходимостью редукции цветового кода выхода до эластографических баллов, что снижает точность диагностической информации по сравнению, например, со скинтиграфией. Кроме того, некоторые исследователи отметили малый размер выборки и короткие периоды наблюдения в имеющихся работах.

Проведенный анализ дает основания полагать, что наиболее значимым пробелом в современной научной литературе является практически полное отсутствие исследований, посвященных применению компрессионной эластографии для диагностики и мониторинга постлучевого гипотиреоза и радиационно-индуцированных изменений ЩЖ. Недостаток знаний в этой области обуславливает значительный научный интерес: патофизиологические изменения при радиационном повреждении – фиброз, атрофия фолликулов, микроваскулярные нарушения – закономерно приводят к изменениям механических свойств ткани. Однако для их объективной и воспроизводимой оценки в условиях динамического наблюдения предпочтительным инструментом является ЭСВ с количественными параметрами жесткости, а не изолированная КСЭГ,

результаты которой не могут быть воспроизведены при смене оборудования или оператора. Количественные параметры ЭСВ (модуль Юнга, скорость сдвиговой волны) и полуколичественный SR демонстрируют воспроизводимость и клиническую значимость в многочисленных исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Критический анализ литературы свидетельствует о том, что КСЭГ является дополнительным неинвазивным методом качественной оценки механических свойств тиреоидной ткани. Вместе с тем необходимо учитывать, что изолированное применение КСЭГ без количественных параметров ЭСВ имеет существенные ограничения: метод крайне аппарато- и операторозависим, что исключает возможность стандартизированного динамического мониторинга, особенно при использовании оборудования разных производителей и специалистами различного уровня подготовки. Большинство приводимых данных о диагностической точности КСЭГ получено в период 2008–2015 гг., когда ЭСВ не имела широкого распространения. В соответствии с руководством EFSUMB 2018 КСЭГ не является высокоинформативным методом изолированной дифференциации узловых образований ЩЖ и должна применяться только в комплексе с ЭСВ. Метод показал различную диагностическую эффективность в дифференциации доброкачественных и злокачественных узловых образований ЩЖ с чувствительностью 69–100% и специфичностью 66–98%, а также в диагностике и градации диффузных заболеваний, таких как аутоиммунный тиреоидит. Однако систематизация имеющихся данных дает основание полагать наличие существенного пробела: несмотря на обширные исследования эластографии ЩЖ в различных клинических контекстах, работы, посвященные применению этого метода для диагностики и мониторинга постлучевого гипотиреоза и радиационно-индуцированных изменений ЩЖ, практически отсутствуют. Радиационно-индуцированный гипотиреоз является распространенным осложнением лучевой терапии злокачественных новообразований головы и шеи с частотой встречаемости до 28,6%. Патологические изменения при радиационном повреждении могут приводить к изменениям механических свойств ткани ЩЖ. Ряд исследований показывает, что эластография способна выявлять изменения механи-

ческих свойств ткани после хирургического вмешательства и у пациентов с радиационным воздействием в анамнезе. Тем не менее для целей постлучевого мониторинга ЩЖ перспективным является именно применение ЭСВ с получением воспроизводимых количественных параметров жесткости, тогда как изолированная КСЭГ может рассматриваться лишь как вспомогательный качественный инструмент в комплексном ультразвуковом исследовании.

Таким образом, несмотря на то что эластография ЩЖ является достаточно изученной технологией, ее применение для диагностики и мониторинга постлучевого гипотиреоза остается практически неисследованной областью. При этом перспективным направлением следует считать не изолированную КСЭГ, а комплексный подход с обязательным включением ЭСВ, обеспечивающей объективные и воспроизводимые количественные характеристики жесткости тиреоидной ткани. Фрагментированность и методологическая неоднородность имеющихся исследований определяют важность разработки стандартизированных протоколов с использованием ЭСВ для динамического наблюдения за пациентами после лучевой терапии.

Участие авторов

Андреева О.В. – анализ и интерпретация полученных данных.

Мошуров И.П. – концепция и дизайн исследования.

Ветшева Н.Н. – подготовка и редактирование текста.

Фисенко Е.П. – участие в научном дизайне.

Authors' participation

Andreeva O.V. – analysis and interpretation of the obtained data.

Moshurov I.P. – concept and design of the study.

Vetsheva N.N. – text preparation and editing.

Fisenko E.P. – participation in scientific design.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [REFERENCES]

1. Забровская С.А., Геворков А.Р., Зайцева Н.А., Федосеева А.А., Бойко А.В., Хмелевский Е.В., Каприн А.Д. Постлучевые изменения функции щитовидной железы при лечении опухолей головы и шеи: современное состояние проблемы. *Опухоли головы и шеи*. 2025; 15 (2): 92–98. <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2025-15-2-92-98>
Zabrovskaya S.A., Gevorkov A.R., Zaitseva N.A. et al. Post-radiation changes in thyroid function during treatment of head and neck tumors: current state of the problem. *Head and Neck Tumors*. 2025; 15 (2): 92–98. <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2025-15-2-92-98> (In Russian)

2. Cantisani V., Lodise P., Grazhdani H. et al. Ultrasound elastography in the evaluation of thyroid pathology. Current status. *Eur. J. Radiol.* 2014; 83 (3): 420–428. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.05.008>
3. Andrioli M., Persani L. Elastographic techniques of thyroid gland: current status. *Endocrine.* 2014; 46 (3): 455–461. <http://doi.org/10.1007/s12020-014-0178-1>
4. Lin Z., Wu V.W.C., Lin J. et al. Pattern of radiation-induced thyroid gland changes in nasopharyngeal carcinoma patients in 48 months after radiotherapy. *PloS One.* 2018; 13 (7), e0200310. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0200310>
5. Bamber J., Cosgrove D., Dietrich C.F. et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 1: Basic principles and technology. *Ultraschall. Med.* 2013; 34 (2): 169–184. <http://doi.org/10.1055/s-0033-1335205>
6. Shiina T., Nightingale K.R., Palmeri M.L. et al. WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography: Part 1: basic principles and terminology. *Ultrasound Med. Biol.* 2015; 41 (5): 1126–1147. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2015.03.009>
7. Kratky J., Veverka L., Hana V. et al. Neck muscles and content of carotid artery as reference tissue for strain ratio – A novel approach to improve the diagnostic performance of thyroid elastography? *Exp. Clin. Endocrinol. Diabetes.* 2016; 124 (3): 192–197. <https://doi.org/10.1055/S-0035-1569359>
8. Asteria C., Giovanardi A., Pizzocaro A. et al. US-elastography in the differential diagnosis of benign and malignant thyroid nodules. *Thyroid.* 2008; 18 (5): 523–531. <http://doi.org/10.1089/thy.2007.0323>
9. Борсуков А.В., Морозова Т.Г., Ковалев А.В., Сафронова М.А., Иванов Ю.В., Казакова О.П. Стандартизированная методика соноэластографии щитовидной железы. *Эндокринная хирургия.* 2014; 8 (1): 55–61. <https://doi.org/10.14341/serg2014155-61>
Borsukov A.V., Morozova T.G., Kovalev A.V. et al. Standardized Technique of Compression Sonoelastography (Strain-Elastography) of Internal Organs (Draft). *Endocrine Surgery.* 2014; 8 (1): 55–61. <https://doi.org/10.14341/serg2014155-61> (In Russian)
10. Сенча А.Н., Могутов М.С., Беляев Д.В., Сергеева Е.Д. Ультразвуковая эластография в диагностике рака щитовидной железы. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2010; 3; 8–17.
Sencha A.N., Mogutov M.S., Belyaev D.V., Sergeeva E.D. Ultrasound elastography in a thyroid cancer diagnosis. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2010; 3; 8–17. (In Russian)
11. Luo Y. Ultrasound Thyroid Elastography as a Pre-FNA Screening Tool: Algorithms and Clinical Evaluation. University of Washington, 2012. 100 p.
12. Dighe M., Bae U., Richardson M.L. et al. Utility of the ultrasound elastographic systolic thyroid stiffness index in reducing fine-needle aspirations. *J. Ultrasound Med.* 2010; 29 (4), 565–574. <https://doi.org/10.7863/JUM.2010.29.4.565>
13. Mahmoud A.A., Abdelaziz M.S., Zidan A.M. et al. Comparison of the accuracy of thyroid sono-elastography vs. ultrasound-guided fine needle aspiration cytology with thyroid malignancy diagnosis histopathology. *Endocr. Regulations.* 2024; 58 (1): 120–130. <https://doi.org/10.2478/enr-2024-0014>
14. Latia A., Elhomisy G., Saponaro F. et al. OC12 – Stiffness matters: Elastography enhances detection of thyroid cancer across histologic subtypes. *Eur. J. Endocrinol.* 2025; 192 (Suppl. 1), lvaf168.021. <https://doi.org/10.1093/ajendo/lvaf168.021>
15. Omar M., Mostafa M., Morad M. et al. Evaluation of thyroid nodule by US including elastography versus MRI T2W and diffusion sequences. *QJM: Int. J. Med.* 2024; 117 (Suppl. 1), hcae070.594. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcae070.594>
16. Pandit A., Pandey P., Singh S. et al. Thyroid nodules evaluation by strain ultrasound elastography and histocytological correlation. *J. Med. Sci.* 2016; 1 (2): 69–73. <https://doi.org/10.21761/JMS.V1I2.7124>
17. Reginelli A., Urraro F., Sangiovanni A. et al. Conventional ultrasound integrated with elastosonography and B-flow imaging in the diagnosis of thyroid nodular lesions. *Int. J. Surg.* 2014; 12 (Suppl. 1): S117–S122. <https://doi.org/10.1016/j.ijss.2014.05.033>
18. Friedrich-Rus M., Sperber A., Holzer K. et al. Evaluation of strain elastography for differentiation of thyroid nodules: Results of a prospective DEGUM multicenter study. *Ultraschall. Med.* 2016; 37 (3): 262–270. <https://doi.org/10.1055/S-0042-104647>
19. Saftoiu A., Gilja O.H., Sidhu P.S. et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations for the Clinical Practice of Elastography in Non-Hepatic Applications: Update 2018. *Ultraschall. Med.* 2019; 40 (4): 425–453. <https://doi.org/10.1055/a-0838-9937>
20. Sebag F., Vaillant-Lombard J., Berbis J. et al. Shear Wave Elastography: A New Ultrasound Imaging Mode for the Differential Diagnosis of Benign and Malignant Thyroid Nodules. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2010; 95 (12): 5281–5288. <https://doi.org/10.1210/jc.2010-0766>
21. Liu B.J., Li D.D., Xu H.X. et al. Quantitative Shear Wave Velocity Measurement on Acoustic Radiation Force Impulse Elastography for Differential Diagnosis between Benign and Malignant Thyroid Nodules: A Meta-analysis. *Ultrasound Med. Biol.* 2015; 41 (12): 3035–3043. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2015.08.003>
22. Fukuhara T., Matsuda E., Endo Y. et al. Correlation between quantitative shear wave elastography and pathologic structures of thyroid lesions. *Ultrasound Med. Biol.* 2015; 41 (9): 2326–2332. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2015.05.001>

23. Anvari A., Dhyani M., Stephen A.E. et al. Reliability of shear-wave elastography estimates of the young modulus of tissue in follicular thyroid neoplasms. *Am. J. Roentgenol.* 2016; 206 (4): 609–616. <https://doi.org/10.2214/ajr.15.14676>
24. Xu H.X., Yan K., Liu B.J. et al. Guidelines and recommendations on the clinical use of shear wave elastography for evaluating thyroid nodule. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2019; 72 (4): 363–375. <https://doi.org/10.3233/ch-180452>
25. Fukuhara T., Matsuda E., Fujiwara K. et al. Phantom experiment and clinical utility of quantitative shear wave elastography for differentiating thyroid nodules. *Endocr. J.* 2014; 61 (10): 1003–1011. <https://doi.org/10.1507/endocrj.ej14-0061>
26. Hu L., He N., Ye L. et al. Evaluation of the stiffness of tissues surrounding thyroid nodules with shear wave elastography. *J. Ultrasound Med.* 2018; 37 (12): 2903–2909. <https://doi.org/10.1002/jum.14578>
27. Hang J., Li F., Qiao X.H. et al. Combination of Maximum Shear Wave Elasticity Modulus and TIRADS Improves the Diagnostic Specificity in Characterizing Thyroid Nodules: A Retrospective Study. *Int. J. Endocrinol.* 2018; 2018: 4923050. <https://doi.org/10.1155/2018/4923050>
28. Durante C., Hegedüs L., Na D.G. et al. International Expert Consensus on US Lexicon for Thyroid Nodules. *Radiology.* 2023; 309 (1): e231481. <https://doi.org/10.1148/radiol.231481>
29. Tan S., Sun X., Xue H. et al. Evaluation of thyroid micro-carcinoma using shear wave elastography: Initial experience with qualitative and quantitative analysis. *Eur. J. Radiol.* 2021; 142: 109571. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.109571>
30. Petersen M., Schenke S., Firla J. et al. Shear Wave Elastography and Thyroid Imaging Reporting and Data System (TIRADS) for the Risk Stratification of Thyroid Nodules. *Diagnostics.* 2022; 12 (1): 109. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12010109>
31. Cantisani V., David E., Grazhdani H. et al. Prospective Evaluation of Semiquantitative Strain Ratio and Quantitative 2D Ultrasound Shear Wave Elastography (SWE) in Association with TIRADS Classification for Thyroid Nodule Characterization. *Ultraschall. Med.* 2019; 40 (4): 516–524. <https://doi.org/10.1055/a-0853-1821>
32. Yoon J.H., Yoo J., Kim E.K. et al. Real-time elastography in the evaluation of diffuse thyroid disease: a study based on elastography histogram parameters. *Ultrasound Med. Biol.* 2014; 40 (9): 2012–2019. <http://doi.org/10.1016/j.ultrasmed-bio.2014.03.033>
33. Öztürk M., Çelebi İ., Polat A. et al. The usefulness of strain elastography in the diagnosis and grading of Hashimoto's thyroiditis in children. *Radiol. Med.* 2017; 122 (12): 960–966. <https://doi.org/10.1007/S11547-017-0801-3>
34. Menzilcioglu M.S., Duymus M., Gungor G. et al. The value of real-time ultrasound elastography in chronic autoimmune thyroiditis. *Br. J. Radiol.* 2014; 87 (1044): 20140604. <https://doi.org/10.1259/BJR.20140604>
35. Cepeha C.M., Laza R.F., Duma M. et al. The value of strain elastography in predicting autoimmune thyroiditis. *Diagnostics.* 2020; 10 (11): 874. <https://doi.org/10.3390/DIAGNOSTICS10110874>
36. Gül A.E., Çetin F.A., Özdemir Z.M. et al. The utility of strain elastography in differentiation between healthy thyroid parenchyma and residual/recurrent thyroid parenchyma disorders. *Eur. Research J.* 2022; 8 (4): 505–512. <https://doi.org/10.18621/eurj.909077>
37. Arslan S., Durmaz M.S., Yardımcı A.H. et al. Contribution of ultrasound strain elastography to the differentiation of benign and malignant thyroid lesions: Randomized controlled study. *Van. Tıp. Dergisi.* 2018; 25(3): 276–283. <https://doi.org/10.5505/VTD.2018.87587>
38. Gasic J., Nikin Z., Ivanac G. et al. The importance of compression elastography in the evaluation of thyroid nodule malignancy. *Srpski Arhiv za Celokupno Lekarstvo.* 2017; 145 (1–2): 29–34. <https://doi.org/10.2298/SARH161020087G>
39. Solak A., Genç V., Yıldırım Ö. et al. The value of strain elastography in the distinction between benign and malignant thyroid nodules in patients with Hashimoto thyroiditis. *Cyprus J. Med. Sci.* 2023; 8 (3): 360–365. <https://doi.org/10.4274/cjms.2022.2021-176>
40. Yang Y., Yan L., Wang Y. et al. Comparison of the effectiveness of ultrasound elastography with that of conventional ultrasound for differential diagnosis of thyroid lesions with suspicious ultrasound features. *Oncol. Lett.* 2017; 14 (3): 2923–2930. <https://doi.org/10.3892/OL.2017.6644>
41. Karaca L., Yılmaz R., Teke M. et al. Examining the contribution of elasticity score and strain ratio to the diagnosis and evaluation of malignant and benign thyroid nodules. *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi.* 2016; 36 (3): 139–145. <https://doi.org/10.5336/MEDSCI.2016-51629>
42. Korkusuz H., Happel C.M., Koch D.A. et al. Diagnostic accuracy of elastography and scintigraphic imaging after thermal microwave ablation of thyroid nodules. *RöFo.* 2015; 187 (5): 353–361. <https://doi.org/10.1055/S-0034-1385827>

Strain elastography in the diagnosis of radiation-induced hypothyroidism: current state of the art

O.V. Andreeva^{1*}, I.P. Moshurov¹, N.N. Vetsheva², E.P. Fisenko³

¹ Voronezh State Medical Academy named after N.N. Burdenko; 10, Studencheskaya str., Voronezh 394036, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1-1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

³ Petrovsky Russian Research Center of Surgery; 2, Abrikosovsky lane, Moscow 119991, Russian Federation

Olga V. Andreeva – MD, PhD (Med.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Oncology, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh. <http://orcid.org/0000-0002-0234-5059>

Ivan P. Moshurov – MD, Doct. of Sci. (Med.), Rector of the Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh. <http://orcid.org/0000-0003-1333-5638>

Natalya N. Vetsheva – MD, Doct. of Sci. (Med.), Professor at the Department of Ultrasound Diagnostics, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-9017-9432>

Elena P. Fisenko – MD, Doct. of Sci. (Med.), Chief Researcher, Ultrasound Diagnostics Department, Petrovsky Russian Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4503-950X>. Scopus Author ID 6507536162

Correspondence* to Dr Olga V. Andreeva – e-mail: olga.andreeva-doc@yandex.ru

This review addresses the role of elastography in the diagnosis of thyroid diseases, with a focus on strain elastography (SE) as a complementary non-invasive tool for differentiating benign and malignant thyroid nodules. The study evaluates the diagnostic capabilities and inherent limitations of SE, particularly emphasizing that its isolated application – without integration of quantitative parameters of shear wave elastography (SWE) – is constrained by high equipment- and operator-dependency. Additionally, the paper highlights the utility of SE in assessing radiation-induced hypothyroidism. The authors underscore the need for further scientific research to integrate elastography into the dynamic follow-up of patients who have undergone radiation therapy for head and neck malignancies and locally advanced breast cancer.

Keywords: strain elastography; thyroid; hypothyroidism; radiation therapy

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Andreeva O.V., Moshurov I.P., Vetsheva N.N., Fisenko E.P. Strain Elastography in the Diagnosis of Radiation-Induced Hypothyroidism: Current State of the Art. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2026; 32 (3): 27–35. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-397> (In Russian)

Received: 24.03.2026.

Accepted for publication: 21.07.2026.

Published online: 16.09.2026.