

<https://doi.org/10.25208/vdv16853>

Возможности эластографии для оценки жесткости посттравматических рубцов в процессе комплексного лечения

© Юрченко К.С.¹, Шанина Н.А.^{1,2*}, Патрушев А.В.^{2,4}, Ковлен Д.В.^{2,3}, Самцов А.В.²

¹ Военный клинический госпиталь № 442, Санкт-Петербург, Россия

² Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

³ Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации имени Г.А. Альбрехта, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

Обоснование. Эластография — современный вариант ультразвуковой визуализации, который позволяет исследовать механические свойства ткани. С учетом актуальности проблемы лечения посттравматических рубцов изучение их объективных характеристик представляет научный и практический интерес.

Цель исследования. Изучить использование эластографии сдвиговой волны в качестве инструмента для количественной оценки и визуализации жесткости посттравматических рубцов в процессе комплексного лечения.

Методы. Проведено проспективное открытое клиническое исследование в период с декабря 2023 по май 2024 г. Исследовалось состояние посттравматических рубцов с помощью УЗИ в режиме эластографии сдвиговой волны в процессе комплексного лечения с применением лазерных технологий и карбокситерапии. Контролем служили клинически неизменные контралатеральные участки кожи. Параллельно с показателями эластографии проводился расчет клинических индексов тяжести рубцовых поражений и дерматологического индекса качества жизни.

Результаты. В исследование было включено 45 человек с диагнозами «посттравматические рубцы». В сравнении с нормальной кожей получены значимые различия в жесткости тканей по данным эластографии сдвиговой волны, которые сохранялись на протяжении всего исследования. Зафиксировано нарастающее снижение жесткости рубцовых тканей в процессе комплексного лечения, при этом значимые различия в сравнении с исходным уровнем получены уже через 1 месяц ($p < 0,001$). Показания эластографии коррелируют с клиническим индексом оценки рубцов POSAS в исполнении врача (до лечения $r_s = 0,36$; $p = 0,016$; после лечения $r_s = 0,35$; $p = 0,017$), частично (только после лечения) со шкалой Stony Brook ($r_s = -0,36$; $p = 0,015$). Взаимосвязей с Ванкуверской шкалой и POSAS в исполнении пациента получено не было.

Заключение. УЗИ в режиме эластографии сдвиговой волны целесообразно использовать для объективной оценки состояния рубцов в процессе лечения.

Ключевые слова: эластография сдвиговой волны; УЗИ кожи; посттравматические рубцы

Конфликт интересов: авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Источник финансирования: исследования выполнены и опубликованы за счет финансирования по месту работы авторов.

Для цитирования: Юрченко К.С., Шанина Н.А., Патрушев А.В., Ковлен Д.В., Самцов А.В. Возможности эластографии для оценки жесткости посттравматических рубцов в процессе комплексного лечения. Вестник дерматологии и венерологии. 2025;101(2):XX–XX. doi: <https://doi.org/10.25208/vdv16853>



<https://doi.org/10.25208/vdv16853>

Possibilities of elastography for assessing the stiffness of post-traumatic scars in the process of complex treatment

© Kristina S. Iurchenko¹, Natalia A. Shanina^{1,2*}, Alexander V. Patrushev^{2,4}, Denis V. Kovlen^{2,3}, Alexey V. Samtsov²

¹ 442 Military Hospital, Saint Petersburg, Russia

² S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

³ Federal Scientific and Educational Center for Medical and Social Expertise and Rehabilitation named after G.A. Albrecht, Saint Petersburg, Russia

⁴ National Medical Research Center named after V.A. Almazov, Saint Petersburg, Russia

Background. Elastography is a modern variant of ultrasound imaging, which allows to study the mechanical properties of tissue. Given the urgency of the problem of treatment of posttraumatic scars, the study of their objective characteristics is of scientific and practical interest.

Aims. To investigate the use of shear wave elastography as a tool for quantitative assessment and visualization of stiffness of posttraumatic scars in the process of complex treatment.

Methods. A prospective open clinical study was conducted between December 2023 and May 2024. The state of posttraumatic scars was studied using ultrasound in shear wave elastography mode in the process of complex treatment with laser technology and carboxytherapy. Clinically unchanged contralateral skin areas served as a control. Clinical indices of scar lesions severity and dermatologic quality of life index were calculated in parallel with elastography indices.

Results. 45 people diagnosed with post-traumatic scars were included in the study. In comparison with normal skin, significant differences in tissue stiffness were obtained according to shear wave elastography, which persisted throughout the study. An increasing decrease in the stiffness of scar tissues in the process of complex treatment was registered, and significant differences in comparison with the initial level were obtained already after 1 month ($p < 0,001$). Elastography values correlate with the clinical index of POSAS scar assessment performed by the doctor (before treatment $r_s = 0.36$; $p = 0.016$; after treatment $r_s = 0.35$; $p = 0.017$), partially (only after treatment) with the Stony Brook scale ($r_s = -0.36$; $p = 0.015$). No correlations were obtained with the Vancouver scale and POSAS in patient performance.

Conclusion. Ultrasound in the mode of shear wave elastography is reasonable to use for objective assessment of scar condition in the course of treatment.

Keywords: shear wave elastography; skin ultrasound; posttraumatic scars

Conflict of interest: the authors of these articles have demonstrated that they have no conflicting interests to disclose.

Funding source: the research was carried out and published with funding from the authors' place of work.

For citation: Iurchenko KS, Shanina NA, Patrushev AV, Kovlen DV, Samtsov AV. Possibilities of elastography for assessing the stiffness of post-traumatic scars in the process of complex treatment. Vestnik Dermatologii i Venerologii. 2025;101(2):XX-XX. doi: <https://doi.org/10.25208/vdv16853>



Обоснование

Эластография (эластографическая ультрасонография) — современный вариант ультразвуковой визуализации, который позволяет исследовать механические свойства ткани с заключением в виде эластограммы (изображения с цветовой кодировкой) и расчетом количественного показателя жесткости в килопаскалях [1]. Эластография предоставляет информацию о напряжении или жесткости ткани, которая не зависит от акустического сопротивления и перфузии крови. Таким образом, результаты эластографического исследования дополняют данные, полученные при обычном ультразвуковом исследовании в В-режиме и доплерографии [2].

Важно понимать, что показатель жесткости не является постоянным, он зависит от действия многочисленных факторов. На жесткость кожи влияют тургор, состояние внеклеточного матрикса, локализация, возраст, пол, тип кожи по Фитцпарнику, а также индекс массы тела, сопутствующие патологии со стороны эндокринной системы, наличие семейного анамнеза (келоидные рубцы) и терапия, которую получает пациент на момент исследования [3–5].

Рубцы вызывают физический и эмоциональный дискомфорт, а также контрактуры и деформации, что существенно влияет на качество жизни пациента [6, 7]. При этом субъективные показатели (шкалы) не могут заменить количественную оценку, необходимую для мониторинга изменений качества рубцов с течением времени. Поэтому эластография является уникальным незаменимым объективным методом, позволяющим определять тяжесть рубцовых поражений.

Цель исследования — изучить использование эластографии сдвиговой волны в качестве инструмента для количественной оценки и визуализации жесткости посттравматических рубцов в процессе комплексного лечения.

Методы

Дизайн исследования

Работа выполнена в формате проспективно-открытого исследования с декабря 2023 по май 2024 г. Основная клиническая база — кафедра кожных и венерических болезней Военно-медицинской академии Министерства обороны РФ. Включались пациенты, поступившие в клинику для проведения реабилитации по поводу наличия посттравматических рубцов.

Коррекция рубцовых поражений проводилась по разработанной авторами методике, которая заключалась в последовательном применении двух вариантов высокоэнергетического лазерного излучения (1-й этап — Nd:YAG лазер с длиной волны 1064 нм полным лучом в 5 проходов, 5 процедур с интервалом в 14 дней; 2-й этап — Nd:YAG Q-Switched лазер с длиной волны 1064 нм фракционным лучом в 1–2 прохода, 3 процедуры с интервалом 14 дней) и курса инъекционной карбокситерапии в течение 2,5 месяца параллельно с началом лазерной терапии (патент РФ № 2800323). Методика проведения карбокситерапии: 99,9% углекислый газ вводился по периферии очага поражения в случае раннего рубца и непосредственно в центр поражения при зрелом рубце в объеме 5–30 мл. Эластография выполнялась с интервалами 25–30 дней после проведения процедуры карбокситерапии.

Состояние рубцов исследовалось с помощью УЗИ в режиме эластографии сдвиговой волны. Контролем служили клинически не измененные контралатеральные участки кожи.

Параллельно с показателями эластографии проводился расчет клинических индексов тяжести рубцовых поражений (Stony Brook, Ванкуверская шкала, POSAS) и дерматологического индекса качества жизни (DLQI). Оценка выполнялась в следующих контрольных точках: до начала лечения (0-я неделя), через 1, 2 и 3 месяца.

Критерии соответствия

Критерии включения: наличие посттравматических рубцов кожи; отсутствие противопоказаний к использованию методик высокоинтенсивного лазерного воздействия; подписанное информированное согласие.

Критерии не включения: острые и хронические (в стадии обострения и декомпенсации) заболевания; онкологические заболевания; беременность или грудное вскармливание.

Критерии исключения: отзыв информированного согласия; несоблюдение пациентом графика визитов; развитие серьезных нежелательных явлений или медицинских состояний/заболеваний, при которых, по мнению исследователя, продолжение изучаемого лечения невозможно, или опасно для пациента, или не отвечает интересам максимального благополучия и безопасности пациента.

Исходы исследования

Основной исход исследования: изменение жесткости кожи при УЗИ в режиме эластографии сдвиговой волны в процессе лечения.

Дополнительные исходы исследования: установление корреляций между клиническими индексами тяжести рубцов, дерматологическим индексом качества жизни и показателем жесткости ткани, рассчитанным в ходе проведения эластографии.

Методы регистрации исходов

На каждого пациента оформлялась индивидуальная регистрационная карта. Проводился физикальный осмотр с оценкой локального статуса, учитывался анамнез болезни и следующие признаки: возраст, пол, фенотип кожи, давность патологии (до или больше 6 месяцев), тип рубца (атрофический, нормотрофический, гипертрофический, келоидный или комбинированный), причина возникновения рубца (после ожога, после травмы и операции, эстетические операции, постэруптивные), наличие у пациента или родственников келоидных рубцов, индекс массы тела, применение системных кортикостероидов, антикоагулянтной терапии. Выполнялась фотофиксация интересующих рубцов. В ходе работы различные типы рубцов были объединены в одну группу в связи с тем, что посттравматические рубцы зачастую являются комбинированными.

Перед проведением объективной оценки пациент заполнял два вопросника (DLQI; POSAS) и производилась оценка по шкалам Stony Brook, POSAS и Ванкуверской шкале. После этого пациент располагался на кушетке в удобном положении, принимая наиболее физиологичную позу в зависимости от локализации рубца и проводилась оценка УЗИ в режиме эластографии рубца и здорового участка. Так как минимальные различия жесткости тканей были продемонстрированы



Рис. 1. Посттравматические рубцы левой голени; контралатеральный участок правой голени без повреждений
 Fig. 1. Post-traumatic scars of left lower leg; contralateral area of the right lower leg without damage

между двумя сторонами тела у здоровых пациентов, то контралатеральный участок (рис. 1, 2) будет являться контрольной точкой состояния жесткости кожи.

Эластографию сдвиговой волны проводили на ультразвуковом аппарате Logis 9 с линейным датчиком L3–L12 в режиме эластографии. Полученная эластограмма представляет собой цветовую кодировку, которая накладывается на изображение в В-режиме. Красный цвет представляет собой более жесткие области, а синие — более мягкие. Цветовой шкале соответствует количественный показатель, измеряемый в килопаскалях. Выполнялось 4–5 снимков в зависимости от наличия артефактов на эластограмме. Далее оператор выбирал снимок и производил три замера жесткости по ходу рубца с вычислением среднеарифметического итогового показателя (рис. 3). Аналогично проводилась оценка на участке здоровой ткани. В ходе работы была разработана гелевая подушка, которая минимизировала давление на ткани, создавая акустическое окно между исследуемым участком и датчиком (раци-



Рис. 2, а — Левая часть лица, рубец после минно-взрывной травмы
 Fig. 2, а — Left side of the face, the scar after a mine blast injury



Рис. 2, б — Правая часть лица, контралатеральный участок без повреждений
 Fig. 2, б — Right side of the face, contralateral area without damage

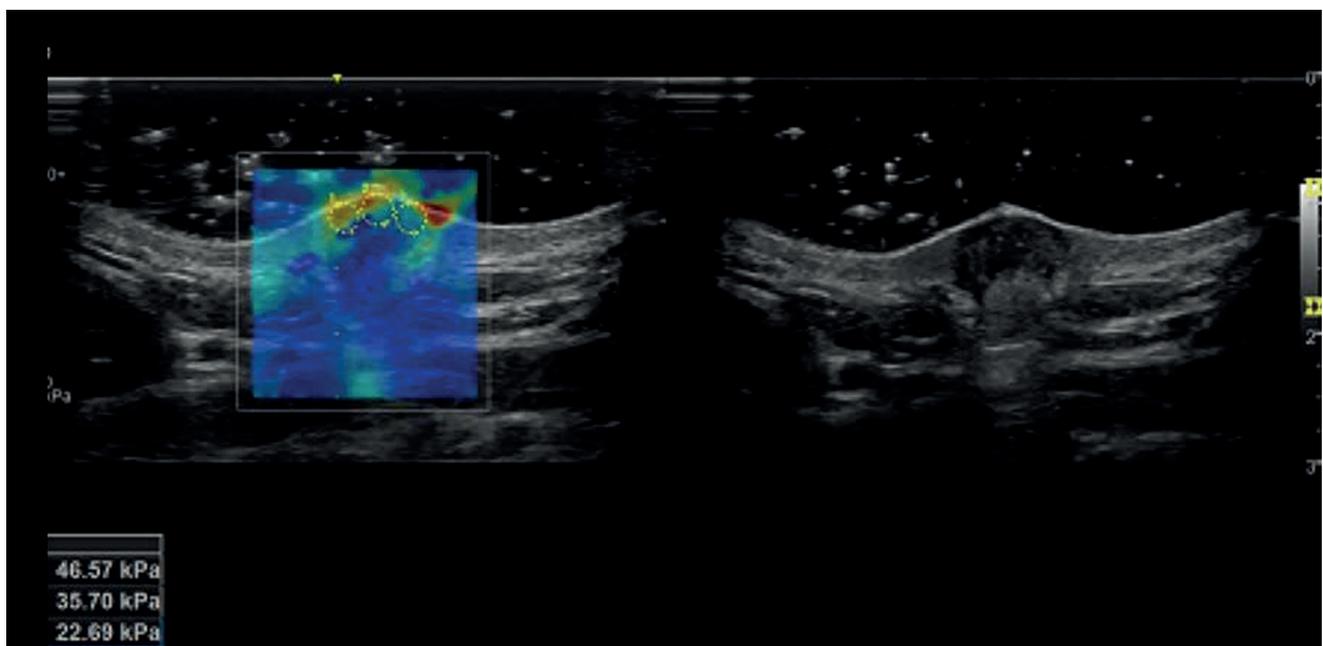


Рис. 3. Эластография гипертрофического рубца кожи голени у женщины 19 лет: слева — эластограмма; справа — этот же рубец в В-режиме
 Fig. 3. Elastography of a hypertrophic scar of the skin of the tibia in a 19-year-old woman: on the left — the elastogram; on the right — the same scar in B-mode



Рис. 4. Линейный датчик, расположенный на гель-подушке, заполненной гелем с целью эластографии

Fig. 4. A linear transducer placed on a gel pad filled with gel for the purpose of elastography

анализаторское предложение № 15461/8 от 19 октября 2023 г., принято к использованию Военно-медицинской академией) (рис. 4).

Стоуни-Брукская шкала оценки рубцов (Stony Brook Scar Evaluation Scale) представляет собой шкалу, в которой учитывается шесть показателей: ширина, высота, цвет, следы от швов, общий вид и общий балл. К каждому показателю предложена краткая характеристика с двоичным ответом (1 или 0). Максимальный общий балл — 5, минимальный — 0. Шкала Стоуни–Брук относительно недавно введена в долгосрочные исследования, так как изначально была разработана в 2007 г. A.J. Singer и соавт. с целью оценки краткосрочных результатов [8].

Шкала для оценки рубцов POSAS выполняется в двух вариантах: Patient Scar Assessment Scale (patient scale — шкала пациента) и Observer Scar Assessment Scale (observer scale — шкала исследователя). Шкала пациента оценивает цвет, эластичность, толщину, рельеф, зуд и боль, шкала исследователя — васкуляризация, пигментацию, эластичность, толщину и рельеф [9].

Ванкуверская шкала оценки рубцов (Vancouver Scar Scale, VSS), впервые предложенная T. Sullivan и соавт. в 1990 г., оценивает четыре клинические характеристики — васкуляризация, пигментация, податливость и высоту [10].

Дерматологический индекс качества жизни (Dermatology Life Quality Index, DLQI) состоит из 10 пунктов и включает оценочные показатели от 0 до 3 баллов с максимальной суммой 30 баллов (качество жизни пациента обратно пропорционально сумме баллов) [11]. DLQI определяли на 0-й неделе и в конце исследования (через 3 месяца).

Этическая экспертиза

Проведение исследования одобрено независимым этическим комитетом Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова (протокол № 286 от 19 декабря 2023 г.).

Статистический анализ

Предварительный расчет объемов выборок не проводился. Статистическую обработку результатов исследования осуществляли с использованием лицензионного пакета программ Statistica v. 10.0 (StatSoft, USA). Количественные данные представлялись в фор-

мате медианы (Me) и интерквартильного размаха (Q_1 ; Q_3). Сравнение двух независимых выборок выполняли при помощи непараметрического критерия Манна–Уитни (U -тест), двух зависимых выборок — с применением непараметрического критерия Вилкоксона. Различия принимались как статистически значимые при $p < 0,05$. Корреляционный анализ проводили с использованием непараметрического коэффициента корреляции Спирмена (r_s). Вывод о наличии слабой связи между признаками делался при значении $|r_s| \leq 0,3$; умеренной — при $0,3 < |r_s| < 0,7$; сильной связи — при $|r_s| \geq 0,7$.

Результаты

Объекты (участники) исследования

В исследование включено 45 человек (34 мужчины и 11 женщин) в возрасте от 19 до 54 лет (31,0 (26; 37)), 2-го и 3-го фототипов. У 16 человек (35,6%) давность рубцов составила менее 6 месяцев, у 29 (64,4%) — более 6 месяцев. По морфологическим характеристикам рубцы распределились следующим образом: нормотрофический — 22,2% (10 человек); атрофический — 11,1% (5); гипертрофический — 11,1% (5); келоидный — 8,9% (4); комбинированный — 46,7% (21 человек). Причинами образования рубцов были: ожоги — 6 человек (13,3%); минно-взрывные и огнестрельные ранения — 36 (80,0%); последствия операций — 3 человека (6,7%). Локализация рубцов: лицо — 73% (33 пациента); туловище — 13% (6); верхние конечности — 8% (4); нижние конечности — 6% (2 пациента).

Основные результаты исследования

На рис. 5 показано изменение жесткости рубцов по ходу комплексного лечения в сравнении со здоровой кожей. Отмечается планомерное уменьшение жесткости рубцов (через месяц — на 8,0%, через 2 месяца — на 15,8%, через 3 месяца — на 32,4%), что свидетельствует об эффективности терапии. При этом на контрольных участках (здоровая кожа) показатель сохранялся на прежнем уровне. Данный факт подтверждает надежность (воспроизводилось) методики эластографии.

Статистический анализ в несвязанных выборках («посттравматический рубец» и «здоровая кожа») показал наличие значимых различий во всех контрольных точках исследования. Таким образом, несмотря на положительную динамику, даже через 3 месяца не удалось добиться жесткости в области рубцов, сопоставимой с нормальной кожей ($Me_{\text{рубец}} = 22,7$ против $Me_{\text{контроль}} = 12,7$ при $p < 0,001$) (табл. 1).

Статистический анализ в связанных выборках «посттравматический рубец на этапах лечения» показал наличие значимых различий в равнении с исходным показателем уже после первого месяца терапии ($Me_{\text{0нед}} = 33,6$ против $Me_{\text{1мес}} = 30,9$ при $p < 0,001$). Однако значимых различий в связанных выборках «здоровая кожа в контрольных точках исследования» получено не было ($p > 0,05$).

Дополнительные результаты исследования

Анализ динамики показателей по субъективным шкалам показал следующие результаты. Наиболее чувствительными клиническими индексами по оценке тяжести рубцов, зафиксировавшими изменения уже через 1 месяц лечения, оказались Ванкуверская шкала и POSAS в исполнении как врача, так и пациента. Шкала

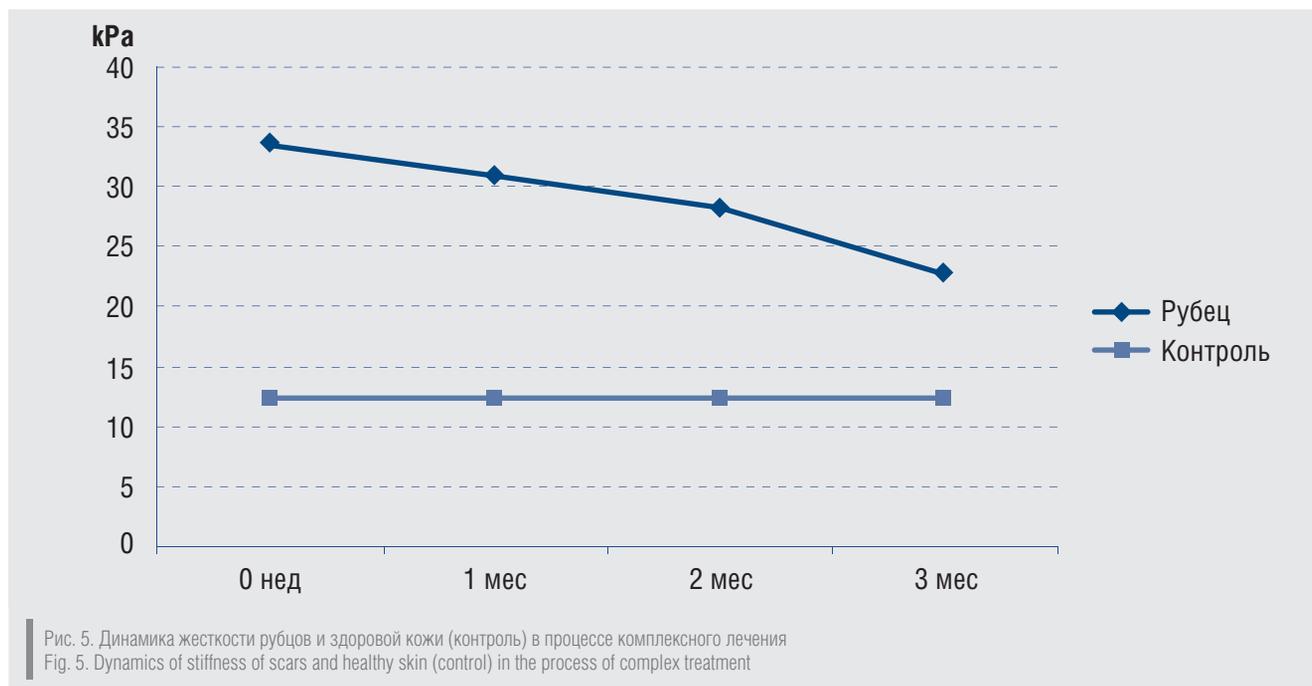


Рис. 5. Динамика жесткости рубцов и здоровой кожи (контроль) в процессе комплексного лечения
Fig. 5. Dynamics of stiffness of scars and healthy skin (control) in the process of complex treatment

Таблица 1. Изменение жесткости кожи в области рубцов и на контрольном (здоровом) участке в процессе лечения, кПа (Me (Q₁; Q₃))
Table 1. Change in skin stiffness in the area of scars and in the control (healthy) area during treatment, kPa (Me (Q₁; Q₃))

	0-я неделя	1-й месяц	2-й месяц	3-й месяц
Рубец	33,6 (20,9; 49,8)	30,9 (18,2; 46,5)	28,3 (13,6; 42,2)	22,7 (13,5; 35,6)
Контроль	12,4 (11,5; 15,2)	12,4 (11,6; 15,2)	12,4 (11,4; 15,3)	12,4 (11,4; 15,5)
<i>p</i>	$< 1 \times 10^{-6}$	$< 1 \times 10^{-6}$	$< 1 \times 10^{-6}$	$3,0 \times 10^{-6}$

Stony Brook показала наличие значимых изменений только через 3 месяца лечения. Также необходимо отметить значимое улучшение качества жизни в процессе лечения пациентов ($Me_{\text{0нед}} = 8,0$; $Me_{\text{3мес}} = 3,0$ при $p < 0,001$) (табл. 2).

Важная задача — оценка соответствия данных клинических индексов (субъективные показатели) такому объективному показателю, как жесткость рубцов по данным эластографии. Корреляционный анализ показал наличие прямой умеренной взаимосвязи между

Таблица 2. Динамика клинических шкал тяжести рубцов и качества жизни в процессе комплексного лечения, баллы (Me (Q₁; Q₃))
Table 2. Dynamics of clinical scales of scar severity and quality of life in the course of complex treatment, scores (Me (Q₁; Q₃))

	0-я неделя	1-й месяц	2-й месяц	3-й месяц
Stony Brook	3,0 (2,0; 3,0)	3,0 (2,0; 3,0)	3,0 (2,0; 3,0)	4,0 (3,0; 4,0)
<i>p</i>		0,89	0,47	$3,5 \times 10^{-4}$
Ванкуверская шкала	4,0 (4,0; 6,0)	4,0 (3,0; 6,0)	3,0 (2,0; 4,0)	2,0 (1,0; 4,0)
<i>p</i>		0,006	$< 1 \times 10^{-6}$	$< 1 \times 10^{-6}$
POSAS (врач)	20,0 (16,0; 26,0)	20,0 (12,0; 24,0)	14,0 (10,0; 23,0)	12,0 (8,0; 17,0)
<i>p</i>		$4,0 \times 10^{-6}$	$< 1 \times 10^{-6}$	$< 1 \times 10^{-6}$
POSAS (пациент)	36,0 (25,0; 52,0)	34,0 (24,0; 47,0)	30,0 (24,0; 40,0)	27,0 (18,0; 34,0)
<i>p</i>		$< 1 \times 10^{-6}$	$< 1 \times 10^{-6}$	$< 1 \times 10^{-6}$
DLQI	8,0 (5,0; 12,0)	—	—	3,0 (3,0; 7,0)
<i>p</i>				$< 1 \times 10^{-6}$

Таблица 3. Результаты корреляционного анализа между показателем жесткости рубцов по данным эластографии и клиническими индексами тяжести рубцов, а также качеством жизни до начала лечения и через 3 месяца (r_s — коэффициент корреляции Спирмена, значение p)
 Table 3. Results of correlation analysis between scar stiffness according to elastography and clinical indices of scar severity, as well as quality of life before treatment and after 3 months (r_s — Spearman correlation coefficient, p -value)

	0-я неделя				
	Stony Brook	Ванкуверская шкала	POSAS (врач)	POSAS (пациент)	ДИКЖ
Жесткость рубцов по данным эластографии	–9,0 10 ^{–4} $p = 0,998$	0,009 $p = 0,953$	0,357 $p = 0,016$	0,253 $p = 0,093$	0,602 $p = 1,2 \times 10^{-5}$
3-й месяц					
Жесткость рубцов по данным эластографии	–0,361 $p = 0,015$	0,183 $p = 0,229$	0,354 $p = 0,017$	0,170 $p = 0,265$	0,314 $p = 0,035$

Примечание. Жирным шрифтом выделены варианты с наличием умеренной, статистически значимой связи между признаками.

Note. Variants with a moderate, statistically significant relationship between traits are highlighted in bold font.

жесткостью рубца и шкалой POSAS в исполнении врача до и после лечения. Также было выявлено наличие обратной умеренной взаимосвязи между жесткостью рубца и шкалой Stony Brook, но только после лечения. Взаимосвязей с Ванкуверской шкалой и шкалой POSAS в исполнении пациента выявлено не было ($p > 0,05$). Индекс качества жизни показал наличие прямой умеренной взаимосвязи между признаками до и после лечения (табл. 3).

Нежелательные явления

Нежелательных явлений в ходе проведения исследования зарегистрировано не было.

Обсуждение

Эластография кожи — относительно новая технология, внедренная в клиническую практику в начале XXI в. [2]. В настоящее время в дерматологии данный метод исследования находится на этапе разработки и изучения. Предыдущие работы касались в основном опухолей кожи [12–18], склеродермии [19–23] и псориаза [24]. Большинство этих исследований подтвердило, что эластография является точным методом выявления и количественной оценки пролиферативных и фиброзных процессов, происходящих в коже. При этом отсутствуют публикации по оценке посттравматических рубцов с помощью эластографической ультрасонографии, а также нет опубликованных эталонных значений напряжения здоровой кожи.

Имеющиеся объективные методы оценки рубцов немногочисленны и ориентированы на измерение конкретного физического свойства: плотности (дюрометрия), эластичности (кутометрия), цвета (хроаметрия), перфузии (доплеровская флуометрия). Существенным недостатком указанных технологий является отсутствие сертифицированных приборов в штатном оснащении медицинских учреждений. В то же время аппараты УЗИ широко распространены в клинической практике и при наличии соответствующего датчика и программного обеспечения могут использоваться в варианте эластографии.

В нашем исследовании применение эластографии продемонстрировало в целом существен-

но большую жесткость рубцов на всех участках по сравнению со здоровой кожей. Также мы констатировали разницу в жесткости рубцовых тканей уже через 1 месяц лечения, что свидетельствует как об эффективности терапии, так и о высокой чувствительности метода эластографии сдвиговой волны. Важным результатом следует считать наличие взаимосвязи между показателем жесткости и качеством жизни пациента (чем выше жесткость рубца, тем хуже качество жизни). Данный факт указывает на клиническую значимость методики эластографии.

Наиболее важным ограничением применения эластографической ультрасонографии при поражениях кожи является минимальное расстояние между датчиком и оцениваемой тканью, что может привести к искажениям в измерениях. В ходе нашего исследования была разработана акустическая гель-подушка, применение которой нивелирует данную ситуацию и улучшает визуализацию кожи.

В практической и научной деятельности широкое распространение получили субъективные методы оценки рубцов на основании заключения врача или пациента. Выбрать подходящую шкалу довольно сложно из-за схожести определяемых параметров, показателей надежности и согласованности. По нашим данным, только шкала POSAS в исполнении врача коррелирована с данными эластографии на протяжении всего исследования.

Ограничения исследования

Включение пациентов с одной нозологической формой, что не позволяет сделать окончательный вывод о необходимости внедрения эластографии в клиническую дерматологическую практику. Также целесообразно проведение отдельного исследования по определению жесткости нормальной кожи в различных локализациях и возрастных группах.

Заключение

Ультразвуковая эластография может рассматриваться как альтернативный метод количественной оценки тяжести поражения кожи у пациентов с посттравматическими рубцами. ■

Литература/References

1. Wells PN, Liang HD. Medical ultrasound: imaging of soft tissue strain and elasticity. *J R Soc Interface*. 2011;8(64):1521–1549. doi: 10.1098/rsif.2011.0054
2. Ambroziak M, Pietruski P, Noszczyk B, Paluch L. Ultrasonographic elastography in the evaluation of normal and pathological skin — a review. *Postepy Dermatol Alergol*. 2019;36(6):667–672. doi: 10.5114/ada.2018.77069
3. Nedelec B, Forget NJ, Hurtubise T, Cimino S, de Muszka F, Legault A, et al. Skin characteristics: normative data for elasticity, erythema, melanin, and thickness at 16 different anatomical locations. *Skin Res Technol*. 2016;22(3):263–275. doi: 10.1111/srt.12256
4. Pawlaczyk M, Lelonkiewicz M, Wieczorowski M. Age-dependent biomechanical properties of the skin. *Postepy Dermatol Alergol*. 2013;30(5):302–306. doi: 10.5114/pdia.2013.38359
5. Pham H, Reece B, Hines M. Loss of skin elasticity is more dependent on Fitzpatrick skin type than chronologic age. *Journal of the American Academy of Dermatology*. 2015;72(5):AB25. doi: 10.1016/j.jaad.2015.02.110
6. Fayzullin A, Ignatieva N, Zakharkina O, Tokarev M, Mudryak D, Khristidis Ya, et al. Modeling of Old Scars: Histopathological, Biochemical and Thermal Analysis of the Scar Tissue Maturation. *Biology (Basel)*. 2021;10(2):136. doi: 10.3390/biology10020136
7. Fernandes MG, Silva LP, Marques AP. *Advances in Biomechanics and Tissue Regeneration*. Academic Press; 2019. Ch. 17: Skin Mechanobiology and Biomechanics: From Homeostasis to Wound Healing. doi: 10.1016/B978-0-12-816390-0.00017-0
8. Singer AJ, Arora B, Dagum A, Valentine S, Hollander JE. Development and validation of a novel scar evaluation scale. *Plast Reconstr Surg*. 2007;120(7):1892–1897. doi: 10.1097/01.prs.0000287275.15511.10
9. Draaijers LJ, Tempelman FR, Botman YA, Tuinebreijer WE, Middelkoop E, Kreis RW, et al. The Patient and Observer Scar Assessment Scale: a reliable and feasible tool for scar evaluation. *Plast Reconstr Surg*. 2004;113(7):1960–1965. doi: 10.1097/01.prs.0000122207.28773.56
10. Sullivan T, Smith J, Kermodie J, McIver E, Courtemanche DJ. Rating the burn scar. *J Burn Care Rehabil*. 1990;11(3):256–260. doi: 10.1097/00004630-199005000-00014
11. Chernyshov PV. The Evolution of Quality of Life Assessment and Use in Dermatology. *Dermatology*. 2019;235 (3):167–174. doi: 10.1159/000496923
12. Курлович М.В. Ультразвуковое исследование высокого разрешения в диагностике доброкачественных образований кожи и подкожной клетчатки. Медицинская визуализация. 2014;6:75–82. [Kurlovich MV. High Resolution Ultrasonography in Benign Lesions of Skin and Subcutaneous Tissue. *Medical Visualization*. 2014;6:75–82. (In Russ.)]
13. Nakajima M, Kiyohara Y, Shimizu M, Kobayashi M. Clinical application of real-time tissue elastography on skin lesions. *MEDIX Suppl*. 2007;36–39. URL: <https://medix.fujifilm.com/jp/index.html>
14. Максимова Н.А., Пржедецкий Ю.В., Хохлова О.В., Позднякова В.В., Ильченко М.Г., Максимова М.И. Ультразвуковое исследование при планировании операций по поводу меланомы кожи конечностей. *Сибирский онкологический журнал*. 2019;18(1):95–102. [Maksimova NA, Przhedetsky YuV, Khokhlova OV, Pozdnyakova VV, Ilchenko MG, Maksimova MI. Ultrasound scan in planning surgery for cutaneous melanoma of the extremities. *Siberian Journal of Oncology*. 2019;18(1):95–102. (In Russ.)] doi: 10.21294/1814-4861-2019-18-1-95-102
15. Botar-Jid CM, Cosgarea R, Bolboaca SD, Şenilă SC, Lenghel LM, Rogoian L, et al. Assessment of cutaneous melanoma by use of very-high-frequency ultrasound and real-time elastography. *AJR Am J Roentgenol*. 2016;206(4):699–704. doi: 10.2214/AJR.15.15182
16. Hinz T, Wenzel J, Schmid-Wendtner MH. Real-time tissue elastography: a helpful tool in the diagnosis of cutaneous melanoma? *J Am Acad Dermatol*. 2011;65(2):424–426. doi: 10.1016/j.jaad.2010.08.009
17. Botar C, Bolboaca S, Cosgarea R, Şenilă S, Rogoian L, Lenghel M., et al. Doppler ultrasound and strain elastography in the assessment of cutaneous melanoma: preliminary results. *Med Ultrason*. 2015;17(4):509–514. doi: 10.11152/mu.2013.2066.174.dus
18. Dasegb B, Morris MA, Mehregan D, Siegel EL. Quantified ultrasound elastography in the assessment of cutaneous carcinoma. *Br J Radiol*. 2015;88(1054):2015034. doi: 10.1259/bjr.20150344
19. Iagnocco A, Kaloudi O, Perella C, Bandinelli F, Riccieri V, Vasile M, et al. Ultrasound elastography assessment of skin involvement in systemic sclerosis: lights and shadows. *J Rheumatol*. 2010;37(8):1688–16891. doi: 10.3899/jrheum.090974
20. Di Geso L, Filippucci E, Girolimetti R, Tardella M, Gutierrez M, De Angelis R, et al. Reliability of ultrasound measurements of dermal thickness at digits in systemic sclerosis: role of elastosonography. *Clin Exp Rheumatol*. 2011;29(6):926–932.
21. Cannabò P, Vinci V, Caviggioli F, Klingner M, Orlandi D, Sardanelli F, et al. Technical feasibility of real-time elastography to assess the peri-oral region in patients affected by systemic sclerosis. *J Ultrasound*. 2014;17(4): 265–269. doi: 10.1007/s40477-014-0119-0
22. Lee SY, Cardones AR, Doherty J, Nightingale K, Palmeri M. Preliminary results of the feasibility of using AFRI/SWEI to assess cutaneous sclerotic diseases. *Ultrasound Med Biol*. 2015;41(11):2806–2819. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2015.06.007
23. Liu KH, Bhatia K, Chu W, He LT, Leung SF, Ahuja AT. Shear wave elastography — A new quantitative assessment of post-irradiation neck fibrosis. *Ultraschall Med*. 2015;36(4):348–354. doi: 10.1055/s-0034-1366364
24. Cuccos M, Crisan M, Lenghel M, Dudea M, Croitoru R, Dudea SM. Conventional ultrasonography and sonoelastography in the assessment of plaque psoriasis under topical corticosteroid treatment — work in progress. *Med Ultrason*. 2014;16(2):107–113. doi: 10.11152/mu.2013.2066.162.mc1mc2

Участие авторов: все авторы несут ответственность за содержание и целостность всей статьи. Разработка концепции и дизайн исследования — А.В. Патрушев, К.С. Юрченко; сбор и обработка материала — К.С. Юрченко, Н.А. Шанина; написание статьи — К.С. Юрченко, Н.А. Шанина, А.В. Патрушев; обоснование исследования и проверка критически важного интеллектуального содержания рукописи — А.В. Самцов, Д.В. Ковлен. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Authors' participation: all authors are responsible for the content and integrity of the entire article. Development of the concept and design of the study — Alexander V. Patrushev, Kristina S. Iurchenko; collection and processing of material — Kristina S. Iurchenko, Natalia A. Shanina; article writing — Kristina S. Iurchenko, Natalia A. Shanina, Alexander V. Patrushev; justification of the research and checking of the critical intellectual content of the manuscript — Alexey V. Samtsov, Denis V. Kovlen. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Благодарность. Авторский коллектив выражает признательность и благодарность компании «Медицинские системы и технологии» за предоставленный аппарат УЗИ.

Acknowledgment. The author's team expresses its appreciation and gratitude to the Medical Systems and Technologies company for the ultrasound device provided.

Информация об авторах

***Шанина Наталья Александровна** — к.м.н.; адрес: Россия, 191124, Санкт-Петербург, Суворовский проспект, д. 63а; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0254-7048>; eLibrary SPIN: 2938-8820; e-mail: shanina_n@mail.ru

Юрченко Кристина Станиславовна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9909-356X>; eLibrary SPIN: 1724-6729; e-mail: kristina23237@gmail.com

Патрушев Александр Владимирович — д.м.н.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6989-9363>; eLibrary SPIN: 1367-5580; e-mail: alexpat2@yandex.ru

Ковлен Денис Викторович — д.м.н., доцент; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6773-9713>; eLibrary SPIN: 6002-2766; e-mail: denis.kovlen@mail.ru

Самцов Алексей Викторович — д.м.н., профессор; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9458-0872>; eLibrary SPIN: 2287-5062; e-mail: avsamstov@mail.ru

Information about the authors

***Natalia A. Shanina** — MD, Cand. Sci. (Med.); address: 63a Suvorovsky Prospekt, 191124 St. Petersburg, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0254-7048>; eLibrary SPIN: 2938-8820; e-mail: shanina_n@mail.ru

Kristina S. Iurchenko — MD; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9909-356X>; eLibrary SPIN: 1724-6729; e-mail: kristina23237@gmail.com

Alexander V. Patrushev — MD, Dr. Sci. (Med.); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6989-9363>; eLibrary SPIN: 1367-5580; e-mail: alexpat2@yandex.ru

Denis V. Kovlen — MD, Dr. Sci. (Med.), Assistant Professor; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6773-9713>; eLibrary SPIN: 6002-2766; e-mail: denis.kovlen@mail.ru

Alexey V. Samstov — MD, Dr. Sci. (Med.), Professor; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9458-0872>; eLibrary SPIN: 2287-5062; e-mail: avsamstov@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 09.11.2024

Принята к публикации: 03.04.2025

Опубликована онлайн: **XX.XX.2025**

Submitted: 09.11.2024

Accepted: 03.04.2025

Published online: **XX.XX.2025**