



Возможности использования высокочастотного ультразвукового исследования кожи в диагностике цирроза печени

Д. Ю. Шестакова[✉], А. В. Борсуков

Смоленский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Смоленск, Российская Федерация

✉ daria@venidiktova.ru

Аннотация

Цирроз печени (ЦП) является серьезным заболеванием, которое сопровождается нарушениями микроциркуляции. Высокочастотное ультразвуковое исследование кожи позволяет выявить изменения в ее структуре и кровоснабжении, что может быть использовано в качестве неинвазивного метода для дополнительной диагностики ЦП.

Цель исследования. Оценить возможности использования высокочастотного ультразвукового исследования кожи ладони в комплексном диагностическом алгоритме у пациентов с ЦП.

Пациенты и методы. В период 2019–2024 гг. проведено исследование с участием 216 пациентов гастроэнтерологического профиля с ЦП. Контрольную группу составили 204 пациента без ЦП, группу сравнения – 50 пациентов без цирроза и без фиброза печени. Все пациенты обследованы по единому диагностическому алгоритму, состоящему из 2 этапов – клинико-лабораторный, мультипараметрический ультразвуковой (с исследованием паренхимы печени в В-режиме, режиме двумерной эластографии сдвиговой волной и высокочастотным исследованием кожи датчиками 24 и 48 МГц). Оценены параметры: толщина эпидермиса, дермы, пиксель-индекс. Для дополнительной полуколичественной оценки эхограмм использовался искусственный интеллект.

Результаты. По данным эластографии сдвиговой волной процентное соотношение цветовых импульсов от сосудистого русла у пациентов без ЦП в 7,4 раз больше, чем у пациентов с ЦП при исследовании кожи датчиком 24 МГц. У пациентов без ЦП при исследовании датчиком 48 МГц пиксель-индекс выше в большинстве слоев кожи, что может указывать на отсутствие микроциркуляторных нарушений. Это особенно заметно в слоях, включающих эпидермис, где средние значения показателей выше, а вариативность результатов больше по сравнению с пациентами с ЦП. Пациенты с ЦП демонстрируют более низкие и нестабильные значения пиксель-индекса, с большим разбросом между показателями, особенно в области измерения дермы (сосочковый и сетчатый слои), что может говорить о преимущественных нарушениях микроциркуляции в этой области.

Заключение. Высокочастотное ультразвуковое исследование кожи в области тенара (зоны с наиболее значимыми различиями в качественных, полуколичественных и количественных показателях) может быть использовано в качестве основного метода в комплексной диагностике цирроза печени с учетом показателя пиксель-индекс в зоне дермы (сосочкового и сетчатого слоев) при использовании датчика 48 МГц и выше и в качестве дополнительного метода с учетом качественного анализа микроциркуляторного русла с использованием датчика 24 МГц и выше, и искусственного интеллекта.

Ключевые слова:

цирроз печени, микроциркуляция, ультразвук, кожа, эластография, искусственный интеллект, пиксель-индекс

Для цитирования: Шестакова Д. Ю., Борсуков А. В. Возможности использования высокочастотного ультразвукового исследования кожи в диагностике цирроза печени. Research and Practical Medicine Journal (Исследования и практика в медицине). 2024; 11(4): 88–100. <https://doi.org/10.17709/2410-1893-2024-11-4-7> EDN: QIXPAC

Для корреспонденции: Шестакова Дарья Юрьевна – к.м.н., старший научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии» ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Смоленск, Российская Федерация

Адрес: 214019, Российская Федерация, г. Смоленск, ул. Крупской, д. 28

E-mail: daria@venidiktova.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5497-1476>, SPIN: 8489-0188, AuthorID: 937544, Scopus Author ID: 58199203500, ResearcherID: ABG-7839-2021

Соблюдение этических стандартов: в работе соблюдались этические принципы, предьявляемые Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (World Medical Association Declaration of Helsinki, 1964, ред. 2013). Исследование одобрено локальным этическим комитетом при ОГБУЗ «Клиническая больница №1» г. Смоленска (выписка из протокола заседания №23 от 12.03.2019). Информированное согласие получено от всех участников исследования.

Финансирование: финансирование данной работы не проводилось.

Конфликт интересов: все авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Статья поступила в редакцию 12.10.2024; одобрена после рецензирования 19.11.2024; принята к публикации 03.12.2024.

© Шестакова Д. Ю., Борсуков А. В., 2024

High-frequency skin ultrasound possibilities in terms of diagnosing liver cirrhosis

D. Yu. Shestakova[✉], A. V. Borsukov

Smolensk State Medical University, Smolensk, Russian Federation
✉ daria@venidiktova.ru

Abstract

Liver cirrhosis is a serious disease that is accompanied by microcirculatory disorders. High-frequency ultrasound examination of the skin allows for the detection of changes in its structure and blood supply, which can be used as a non-invasive method for additional diagnosis of liver cirrhosis.

Purpose of the study. To assess the potential of using high-frequency ultrasound examination of the palm skin in a comprehensive diagnostic algorithm for patients with liver cirrhosis.

Patients and methods. The study was conducted involving 216 gastroenterology patients with liver cirrhosis in 2019–2024. The control group included 204 patients without liver cirrhosis, the comparison group included 50 patients without liver cirrhosis and fibrosis. All patients were examined according to a unified diagnostic algorithm consisting of 2 stages – clinical and laboratory, multiparametric ultrasound (including liver parenchyma examination in B-mode, two-dimensional shear-wave elastography, and high-frequency skin examination using 24 and 48 MHz probes). The following parameters were evaluated: epidermal thickness, dermal thickness, pixel-index. Artificial intelligence was used for additional semi-quantitative assessment of echograms.

Results. According to shear wave elastography data, the percentage of color impulses from the vascular bed in patients without liver cirrhosis was 7.4 times higher than in patients with cirrhosis during skin examination with a 24 MHz probe. In patients without liver cirrhosis, the Pixel-index was higher in most skin layers, suggesting the absence of microcirculatory disturbances. This is especially evident in the layers that include the epidermis, where the average values were higher, and the variability of the results was greater compared to patients with cirrhosis. Patients with liver cirrhosis demonstrated lower and more unstable Pixel-index values, with greater variability between measurements, especially in the dermis (papillary and reticular layers), which may indicate predominant microcirculatory disorders in this area.

Conclusion. High-frequency ultrasound examination of the skin in the thenar region (region with the most significant differences in qualitative, semi-quantitative, and quantitative parameters) can be used as a main method in the comprehensive diagnosis of liver cirrhosis, considering the Pixel-index in the dermal area (papillary and reticular layers) with a probe of 48 MHz or higher, and an additional method with qualitative analysis of the microcirculatory bed using a probe of 24 MHz or higher and artificial intelligence.

Keywords:

liver cirrhosis, microcirculation, ultrasound, skin, elastography, artificial intelligence, pixel-index

For citation: Shestakova D. Yu., Borsukov A. V. High-frequency skin ultrasound possibilities in terms of diagnosing liver cirrhosis. Research and Practical Medicine Journal (Issled. prakt. med.). 2024; 11(4): 88–100. (In Russ.). <https://doi.org/10.17709/2410-1893-2024-11-4-7> EDN: QIXPAC

For correspondence: Daria Yu. Shestakova – Cand. Sci (Medicine), Senior Researcher of the Problem Scientific Research Laboratory "Diagnostic Research and Minimally Invasive Technologies", Smolensk State Medical University, Smolensk, Russian Federation

Address: 28 Krupskaya str., Smolensk, 214019, Russian Federation

E-mail: daria@venidiktova.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5497-1476>, SPIN: 8489-0188, AuthorID: 937544, Scopus Author ID: 58199203500, ResearcherID: ABG-7839-2021

Compliance with ethical standards: the study was carried out in compliance with the ethical principles set forth in the Declaration of the World Medical Association of Helsinki, 1964, ed. 2013. The study was approved by the local Ethics committee at the Clinical Hospital No. 1 in Smolensk (extract from the protocol of the meeting No. 23 dated 12.03.2019). Informed consents were obtained from all participants in the study.

Funding: this work was not funded.

Conflict of interest: the authors declare that there are no obvious and potential conflicts of interest associated with the publication of this article.

The article was submitted 12.10.2024; approved after reviewing 19.11.2024; accepted for publication 03.12.2024.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Цирроз печени (ЦП) является глобальной проблемой здравоохранения, становясь причиной около 1,5 млн смертей ежегодно. По информации на 2019 г., цирроз и другие хронические заболевания печени стали причиной 1,47 млн смертей, что на 45 % превышает показатели 1990 г. Основные факторы, приводящие к ЦП, включают вирусные гепатиты (особенно гепатит В и С), злоупотребление алкоголем и метаболически ассоциированную стеатозную болезнь печени. Благодаря улучшению диагностики и лечения ЦП возрастная стандартизованная смертность от этого заболевания снизилась, однако общее количество случаев продолжает расти, особенно в регионах с высоким уровнем алкоголизма и ожирения [1].

«Золотым стандартом» диагностики ЦП остается биопсия печени с последующим гистологическим анализом, однако с учетом ее инвазивности и возможности осложнений, а также низкого уровня комплаентности пациентов, она активно заменяется неинвазивными методами диагностики, в том числе ультразвуковой двумерной эластографией печени сдвиговой волной (2D-SWE). В то же время продолжается исследование новых методов диагностики ЦП, обладающих высокой чувствительностью и специфичностью [2–4].

У пациентов с ЦП нередко наблюдаются изменения кожи на кистях, которые могут быть связаны с нарушениями микроциркуляции. Ладони имеют более плотную капиллярную сеть по сравнению с другими частями тела, так как они играют важную роль в терморегуляции и тактильной чувствительности. В коже ладоней есть как поверхностные, так и глубокие сосуды, которые соединяются между собой и образуют сложные сосудистые сети, включая петли. Поверхностные сосуды расположены непосредственно под эпидермисом, в дерме, и включают мелкие артериолы, капилляры и вены. Они играют важную роль в питании кожи и в теплообмене и создают плотную сеть, обеспечивая хорошее кровоснабжение ладоней. Глубокие сосуды находятся в подкожной жировой клетчатке и между мышцами. Это более крупные артерии и вены, которые питают не только кожу, но и более глубокие структуры ладоней, такие как мышцы, сухожилия и кости. Два слоя сосудов соединяются между собой через анастомозы – сосудистые соединения, которые позволяют перераспределять кровь между глубокими и поверхностными слоями. Такая связь важна для поддержания нормального кровообращения в различных условиях: при изменениях температуры окружающей среды или механическом давлении на ладони. Также в ладонях существуют сосудистые петли, которые соединяются в капиллярной

сети. Эти петли особенно хорошо заметны в области возвышений большого пальца и мизинца, их можно увидеть при капилляроскопии – методе визуализации мелких сосудов кожи [5].

При ЦП происходят значительные изменения в сосудистой системе, в том числе в микроциркуляторных сосудистых петлях на ладонях. К основным изменениям сосудистых петель на ладонях при ЦП относятся:

1. Замедление кровотока. Из-за повышенного сосудистого сопротивления и нарушения функции капилляров кровь может течь медленнее, это связано с тем, что печень не справляется с удалением токсинов и метаболитов, что вызывает повреждение эндотелия (внутренней стенки сосудов).

2. Расширение капилляров. При ЦП часто наблюдается расширение мелких сосудов, приводящее к развитию телеангиэктазий и покраснению ладоней. Такое расширение капилляров увеличивает количество крови в поверхностных слоях кожи, создавая впечатление усиленного кровообращения, хотя на самом деле кровоток может быть замедлен.

3. Нарушение сосудистого тонуса. Изменения в регуляции сосудистого тонуса могут вызвать хаотичное расширение и сужение сосудов и усугублять проблему микроциркуляции. Сосудистые петли могут терять свою структурную целостность, что приводит к нарушению равномерности кровообращения.

Таким образом, при ЦП сосудистые петли на ладонях расширяются, но кровоток в них может замедляться или становиться менее эффективным из-за нарушений микроциркуляции, вызванных общими изменениями в сосудистой системе организма [6–8].

В настоящее время существует ряд исследований, посвященных взаимосвязи ЦП и изменений в микроциркуляторном русле кожи, и изобретение, позволяющее оценивать патологию внутренних органов по изменениям ультразвуковых показателей кожи при контрастном усилении, что демонстрирует перспективы развития данного направления [9, 10].

Выбранные авторами зоны исследования – тенар, гипотенар, дистальная фаланга среднего пальца – в теории являются оптимальными для оценки ультразвуковых показателей по нескольким причинам: кожа в этих областях имеет выраженную васкуляризацию и представленную сеть мелких сосудов, позволяя объективно оценить микроциркуляцию и изменения кровоснабжения; зоны тенара и гипотенара включают значительные мышечные группы и имеют богатое капиллярное русло, что делает их чувствительными к изменениям микроциркуляции, возникающим при заболеваниях, сопровождающихся сосудистой дисфункцией, таких как ЦП; дистальная фаланга среднего пальца используется в клинической

практике как одна из референтных точек для оценки периферической микроциркуляции и состояния капиллярного русла, и это дополнительно обосновывает ее включение в исследование. Таким образом, комплексный анализ этих трех областей кисти дает возможность наиболее полно отразить состояние микроциркуляции кожи у пациентов с ЦП и выявить потенциальные изменения, связанные с патологией.

Цель исследования – оценить возможности использования высокочастотного ультразвукового исследования кожи ладони в комплексном диагностическом алгоритме у пациентов с ЦП.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

На клинической базе Проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии» ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России (ОГБУЗ «Клиническая больница № 1») в период 2019–2024 гг. проведено исследование с участием 216 пациентов гастроэнтерологического профиля, из них 126 мужчин (58,3 %), 90 женщин (41,7 %) в возрасте от 37 до 65 лет, европеоидной расы (основная груп-

па – группа 1). Критерии включения: наличие ЦП (согласно клиническому диагнозу при поступлении); профессиональная деятельность не связана с тяжелым физическим трудом [11]. Критерии досрочного исключения пациента из исследования: отсутствие ЦП согласно данным двумерной ультразвуковой эластографии печени сдвиговой волной – 2D-SWE.

В контрольную группу (группа 2) включены пациенты многопрофильного стационара гастроэнтерологического профиля (с диагнозами: гастрит, колит, дискинезия желчевыводящих путей) без ЦП по данным клинического диагноза при поступлении ($n = 202$), из них 95 мужчин (46,6 %), 107 женщин (52,4 %) в возрасте от 18 до 68 лет, европеоидной расы. Контрольная группа в полном составе проходила этапы обследования с последующей проверкой гипотезы.

Группу сравнения (группа 3) составили 50 здоровых молодых пациентов – 25 мужчин, 25 женщин в возрасте от 18 до 34 лет без фиброза или ЦП (по данным врача-гастроэнтеролога на основании анализа клинико-лабораторно-инструментальных данных).

Исследование проводилось по единому для основной и контрольной групп пациентов диагностическому алгоритму для проверки достоверности получаемых ультразвуковых данных (в В-режиме,

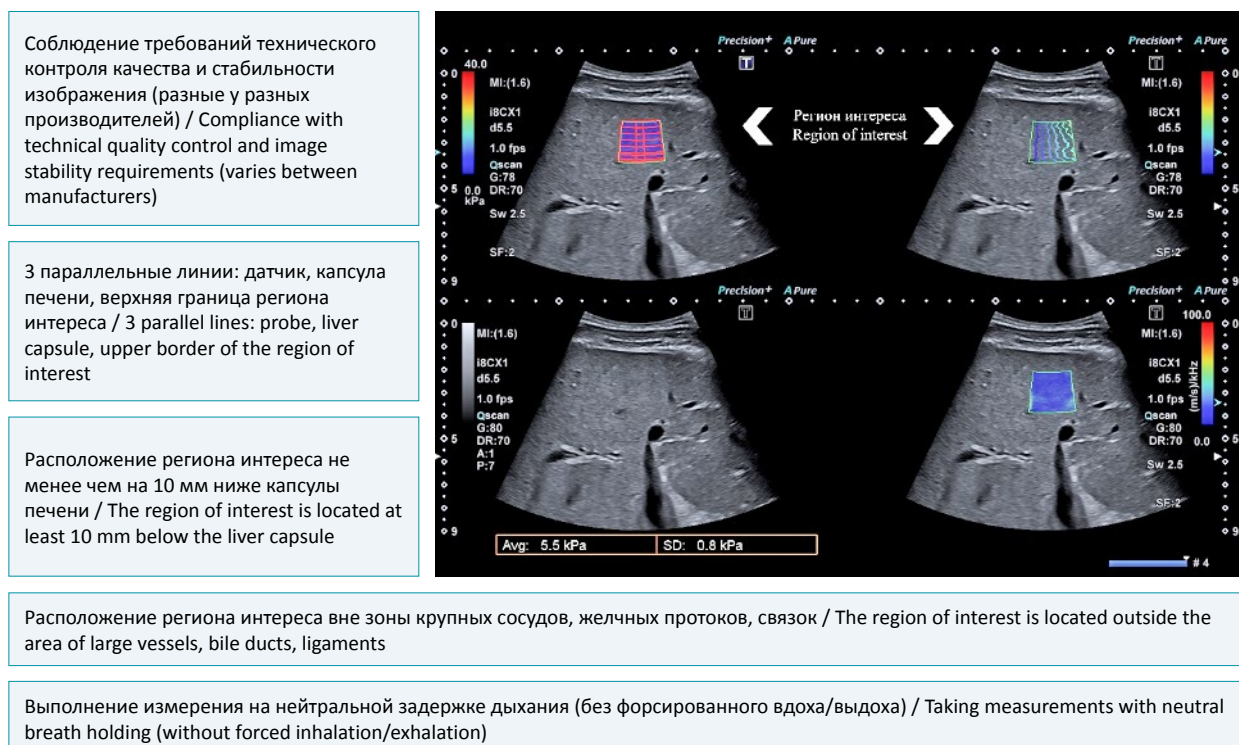


Рис. 1. Правила проведения двумерной ультразвуковой эластографии сдвиговых волн (2D-SWE) печени с определением стадии фиброза печени [19, 20, 21]

Fig. 1. Rules for performing two-dimensional ultrasound shear wave elastography (2D-SWE) of the liver with determination of liver fibrosis stage [19, 20, 21]

в режиме доплеровского картирования и в режиме эластографии сдвиговой волной).

1-й этап (клинико-лабораторный – для определения этиологии и класса ЦП). Сбор жалоб, анамнеза жизни и заболевания, ответов на опросники (CAGE, AUDIT), общие анализы крови и мочи, анализ крови на вирусные гепатиты, биохимический анализ крови [12, 13].

2-й этап (ультразвуковой). Ультразвуковое исследование было выполнено на оборудовании разных фирм-производителей и разного уровня экспертности для снижения уровня субъективизма за счет аппаратозависимых факторов – БИОСС Ангиодин-Соно/П-Ультра (Россия), конвексный датчик 3,5 МГц, DermaView (Польша), механический высокочастотный датчик 48 МГц, Esaote (Италия), линейный датчик 24 МГц, Mindray Resona 7 (Китай), конвексный датчик 5 МГц, Canon Aplio i800 (Япония), конвексный датчик 3,5 МГц, Fujifilm Arietta 850 (Япония), конвексный датчик 3,5 МГц и TELEMED, MLS (Литва), конвексный датчик 3,5 МГц.

На 2-м этапе были проведены представленные ниже исследования.

- Исследование печени в В-режиме в рамках классического протокола ультразвукового исследования органов брюшной полости (с определением косвен-

ных признаков ЦП: неровность, бугристость контуров, уменьшение органов в размере, неоднородность паренхимы за счет наличия узлов-регенератов, расширение диаметра воротной вены, наличие асцита) [14, 15].

- Двумерная ультразвуковая эластография сдвиговой волной (2D-SWE) печени с определением жесткости (кПа) и последующим соотносением со стадией фиброза печени по шкале METAVIR (F0–F4, где F0 оценивался как отсутствие фиброза, F1 – клинически незначимый фиброз, F2 – клинически значимый фиброз печени, F3 – выраженный фиброз печени, F4 – ЦП); интерпретация данных по «правилу четырех». Исследование принято за референтный метод [16–18]. Процедура проводилась натощак, в положении пациента лежа на спине, с запрокинутой за голову правой рукой, после 20-минутного отдыха в горизонтальном положении с соблюдением основных правил проведения исследования (рис. 1). Далее полученные количественные измерения показателя жесткости (кПа) в размере не менее 3 фиксировались в отчете с последующим вычислением среднего значения с учетом соотношения интерквартильного размаха к медиане (IQR/Med) – критерия, характеризующего достоверность и воспроизводимость измерений жесткости ткани печени, не более 30 %.

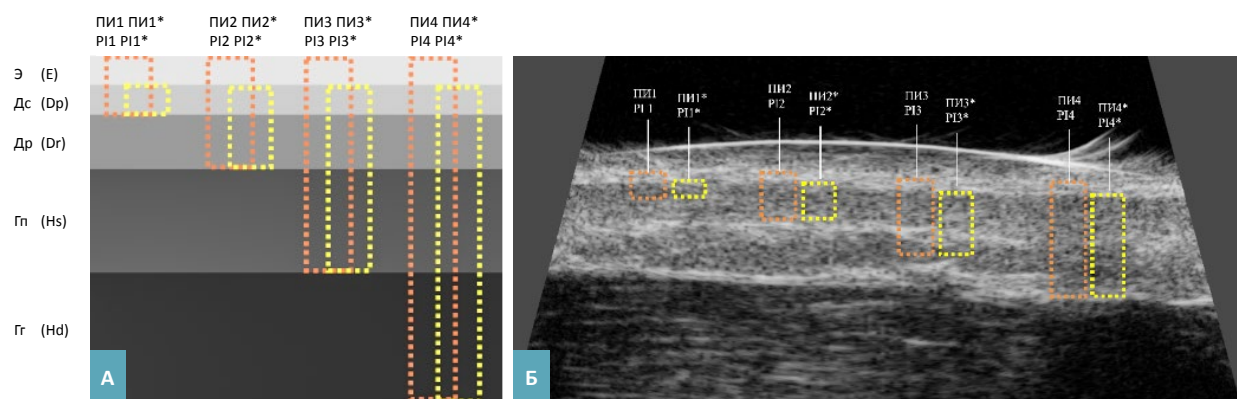


Рис. 2. Зоны определения показателя пиксель-индекса при проведении высокочастотного ультразвукового исследования кожи (датчик 48 МГц). А – схема кожи, Б – эхограмма кожи.

Примечание: Э – эпидермис, Дс – сосочковый слой дермы, Др – ретикулярный (сетчатый) слой дермы, Гп – поверхностные отделы гиподермы, Гг – глубокие отделы гиподермы, ПИ1 – пиксель-индекс, измеренный в зоне эпидермис-дерма (сосочковый слой), ПИ2 – пиксель-индекс, измеренный в зоне эпидермис-дерма (поверхностные отделы), ПИ3 – пиксель-индекс, измеренный в зоне эпидермис-дерма-гиподерма (поверхностные отделы), ПИ4 – пиксель-индекс, измеренный в зоне эпидермис-дерма-гиподерма (глубокие отделы), ПИ1* – пиксель-индекс, измеренный в зоне дерма (сосочковый слой), ПИ2* – пиксель-индекс, измеренный в зоне дерма, ПИ3* – пиксель-индекс, измеренный в зоне дерма-гиподерма (поверхностные отделы), ПИ4* – пиксель-индекс, измеренный в зоне дерма-гиподерма.

Fig. 2. Zones for determining the Pixel-index during high-frequency ultrasound examination of the skin (48 MHz sensor). A – skin scheme, Б – skin echogram.

Note: E – epidermis, Dp – papillary layer of the dermis, Dr – reticular (net) layer of the dermis, Hs – superficial parts of the hypodermis, Hd – deep parts of the hypodermis, PI1 – Pixel-index measured in the epidermis-dermis zone (papillary layer), PI2 – Pixel-index measured in the epidermis-dermis zone (superficial parts), PI3 – Pixel-index measured in the epidermis-dermis-hypodermis zone (superficial parts), PI4 – Pixel-index measured in the epidermis-dermis-hypodermis zone (deep parts), PI1* – Pixel-index measured in the dermis zone (papillary layer), PI2* – Pixel-index measured in the dermis zone, PI3* – Pixel-index measured in the dermis-hypodermis zone (superficial parts), PI4* – Pixel-index measured in the dermis-hypodermis zone.

- Высокочастотное ультразвуковое исследование кожи (24 МГц) в области тенар, гипотенар и дистальной фаланги среднего пальца на обеих кистях с оценкой параметров: толщина эпидермиса, дермы, доплеровская оценка микроциркуляции (качественная), компрессионная эластография. Для дополнительной полуколичественной оценки эхограмм использовался искусственный интеллект (онлайн платформа ChatGPT).

- Высокочастотное ультразвуковое исследование кожи (48 МГц) в области тенар, гипотенар и дистальной фаланги среднего пальца на обеих кистях с оценкой параметров: толщина эпидермиса, дермы, пиксель-индекс (ПИ) в зонах ПИ1 – эпидермис-дерма (сосочковый слой), ПИ2 – эпидермис-дерма (сосочковый и сетчатый слой), ПИ3 – эпидермис-дерма-гиподерма (поверхностные отделы), ПИ4 – эпидермис-дерма-гиподерма (поверхностный и глубокий

отделы), а также в зонах ПИ1* – дерма (сосочковый слой), ПИ2* – дерма (сосочковый и сетчатый слой), ПИ3* – дерма-гиподерма (поверхностные отделы), ПИ4* – дерма-гиподерма (поверхностный и глубокий отделы) (рис. 2) [22–24].

Высокочастотное исследование кожи датчиками частотой 24 и 48 МГц проводилось следующим образом: на кожу пациента наносился гель для ультразвуковых исследований, датчик ставился продольно в области тенара, гипотенара и дистальной фаланги среднего пальца продольно так, чтобы рабочая поверхность максимально захватывала исследуемую область в едином акустическом окне. После выведения на экран эхограммы изображение фиксировалось с последующим измерением всех параметров.

Биопсия печени с последующим гистологическим исследованием по шкале SAF пациентам с учетом

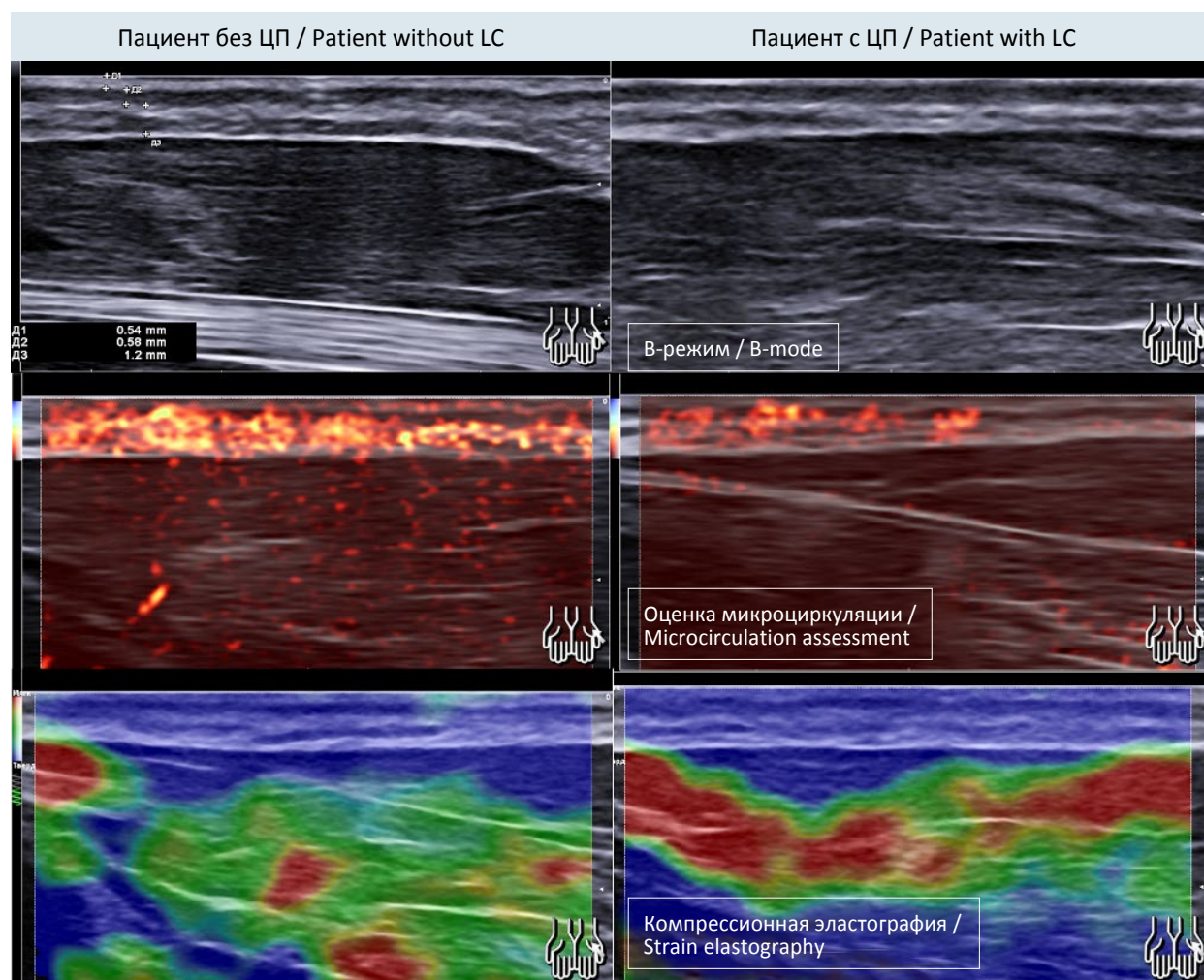


Рис. 3. Качественная сравнительная характеристика эхограмм кожи в области тенар (датчик 24 МГц) в В-режиме, режиме оценки микроциркуляции, режиме компрессионной эластографии у пациентов с и без ЦП

Fig. 3. Qualitative comparative characteristics of skin echograms in the thenar region (24 MHz sensor) in B-mode, in microcirculation assessment mode, in compression elastography mode in patients with and without liver cirrhosis (LC)

инвазивности процедуры, низкой комплаентностью пациентов, возможностью возникновения осложнений, превышения размера потенциального риска над потенциальной пользой, высокой корреляции с двумерной ультразвуковой эластографией сдвиговых волн – не проводилась [25, 26].

Статистический анализ был проведен с использованием программ Microsoft Office Excel 2017. Уровень значимости $p < 0,05$. Данные отражены в формате: среднее $\pm$ стандартное отклонение для непрерывных переменных и как частоты для категориальных переменных. Различия в описательных характеристиках между пациентами сравнивались с использованием независимого t-критерия, критерия Манна–Уитни или критерия хи-квадрат для непрерывных и категориальных переменных [27]. Были исследованы различия в параметрах: жесткость печени по данным двумерной ультразвуковой эластографии сдвиговой волной, параметры толщины и ПИ слоев кожи по данным высокочастотного ультразвукового исследования кожи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Распределение пациентов с учетом класса ЦП по Чайлд – Пью (на основании оценки параметров билирубин, альбумин, протромбиновое время, асцит, печеночная энцефалопатия): класс А: 5–6 баллов ($n = 91$) – 43,9 %, класс В: 7–9 баллов ($n = 72$) – 34,7 %, класс С: 10–15 баллов ($n = 44$) – 21,4 %.

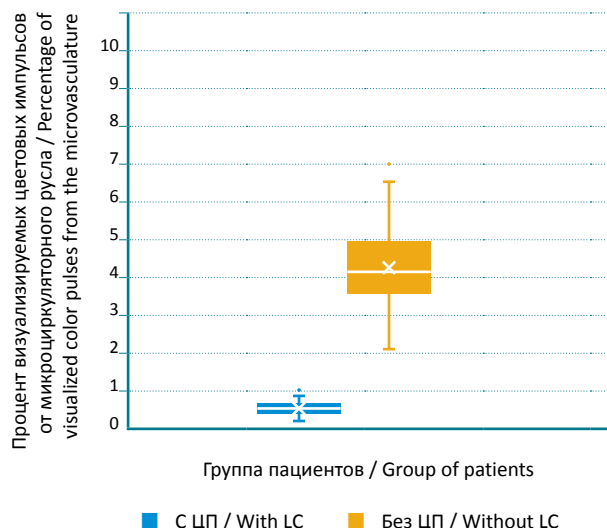


Рис. 4. Доля цветных сигналов микроциркуляторного русла в регионе интереса у пациентов основной и контрольной групп по данным полуколичественной оценки искусственным интеллектом

Fig. 4. The proportion of color signals of the microcirculatory in the region of interest in patients of the main and control groups according to semi-quantitative assessment by artificial intelligence

По результатам ультразвукового исследования печени в В-режиме у 188 пациентов (87 %) основной группы определены косвенные признаки ЦП (один и более): неровность, бугристость контуров ($n = 84$) у 39 %, уменьшение органов в размере ($n = 99$) – 45,8 %, неоднородность паренхимы за счет наличия узлов-регенератов ($n = 118$) – 54,6 %, расширение диаметра воротной вены ($n = 188$) – 87 %, наличие асцита ($n = 157$) – 72,7 %.

По результатам двумерной ультразвуковой эластографии печени сдвиговой волной 2D-SWE из исследования были исключены 9 пациентов (4,2 %) основной группы, у которых не был выявлен ЦП. Из них у 8 был выявлен F3 – выраженный фиброз печени (3,7 %), у 1 – F2 – клинически значимый фиброз печени (0,5 %). У пациентов контрольной группы (без ЦП по данным клинического диагноза при поступлении) ЦП не подтвердился и по данным двумерной ультразвуковой эластографии печени сдвиговой волной 2D-SWE, показатели жесткости печени варьировали в пределах F1–F3. У всех пациентов группы сравнения ($n = 50$) фиброз печени не обнаружен (F0).

При проведении ультразвукового исследования кожи датчиком частотой 24 МГц с визуализацией всех слоев кожи (эпидермиса, дермы, гиподермы и мышечного слоя) у пациентов основной и контрольной групп качественно были выявлены различия только в режиме оценки микроциркуляции (рис. 3).

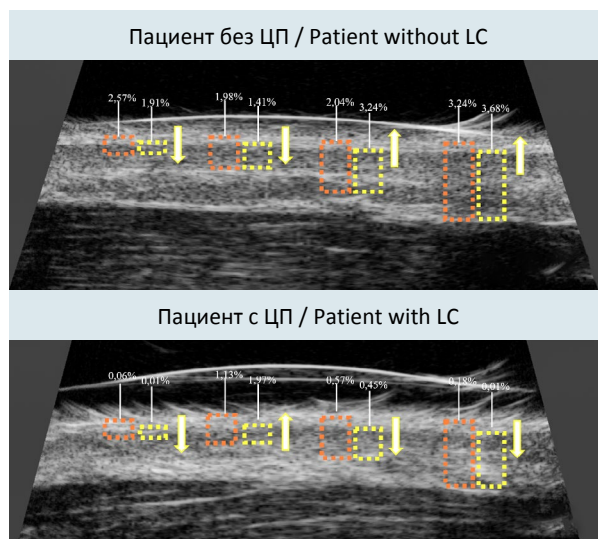


Рис. 5. Показатель пиксель-индекс (ПИ1-4, ПИ1*-4*), измеренный в разных отделах кожи у пациентов основной и контрольной групп (пример на отдельных пациентах)

Fig. 5. Pixel-index (PI1-4, PI1*-4*) measured in different parts of the skin of the main and control groups (example on individual patients)

С использованием аналитических способностей искусственного интеллекта была выполнена полуквантитативная оценка сигналов от микроциркуляторного русла, по результатам которой процентное соотношение цветовых импульсов от сосудистого русла у пациентов без ЦП было зафиксировано, в среднем, в 7,4 раз больше, чем цветовых импульсов у пациентов с ЦП (рис. 4). У здоровых пациентов группы сравнения процентное соотношение цветовых импульсов от сосудистого русла было зафиксировано, в среднем, в 11,2 раза больше, чем цветовых импульсов у пациентов с ЦП. Максимальные изменения отмечались в области тенара на уровне сосочкового и сетчатого слоев дермы. При ультразвуковом исследовании кожи в В-режиме не выявлено статистически значимых параметров, которые возможно было бы

использовать в диагностике ЦП; при компрессионной эластографии кожи – аналогично не выявлено статистически значимых параметров, которые возможно было бы использовать в диагностике ЦП. Изменения толщины эпидермиса и дермы у пациентов с ЦП не достигают статистической значимости.

Таким образом, подтверждена и обоснована необходимость высокочастотного ультразвукового исследования кожи датчиком с большей частотой для более детальной оценки показателей микроциркуляции с использованием ПИ в зонах ПИ1 – эпидермис-дерма (сосочковый слой), ПИ2 – эпидермис-дерма (сосочковый и сетчатый слой), ПИ3 – эпидермис-дерма-гиподерма (поверхностные отделы), ПИ4 – эпидермис-дерма-гиподерма (поверхностный и глубокий отделы), а также в зонах ПИ1* – дерма (сосочковый

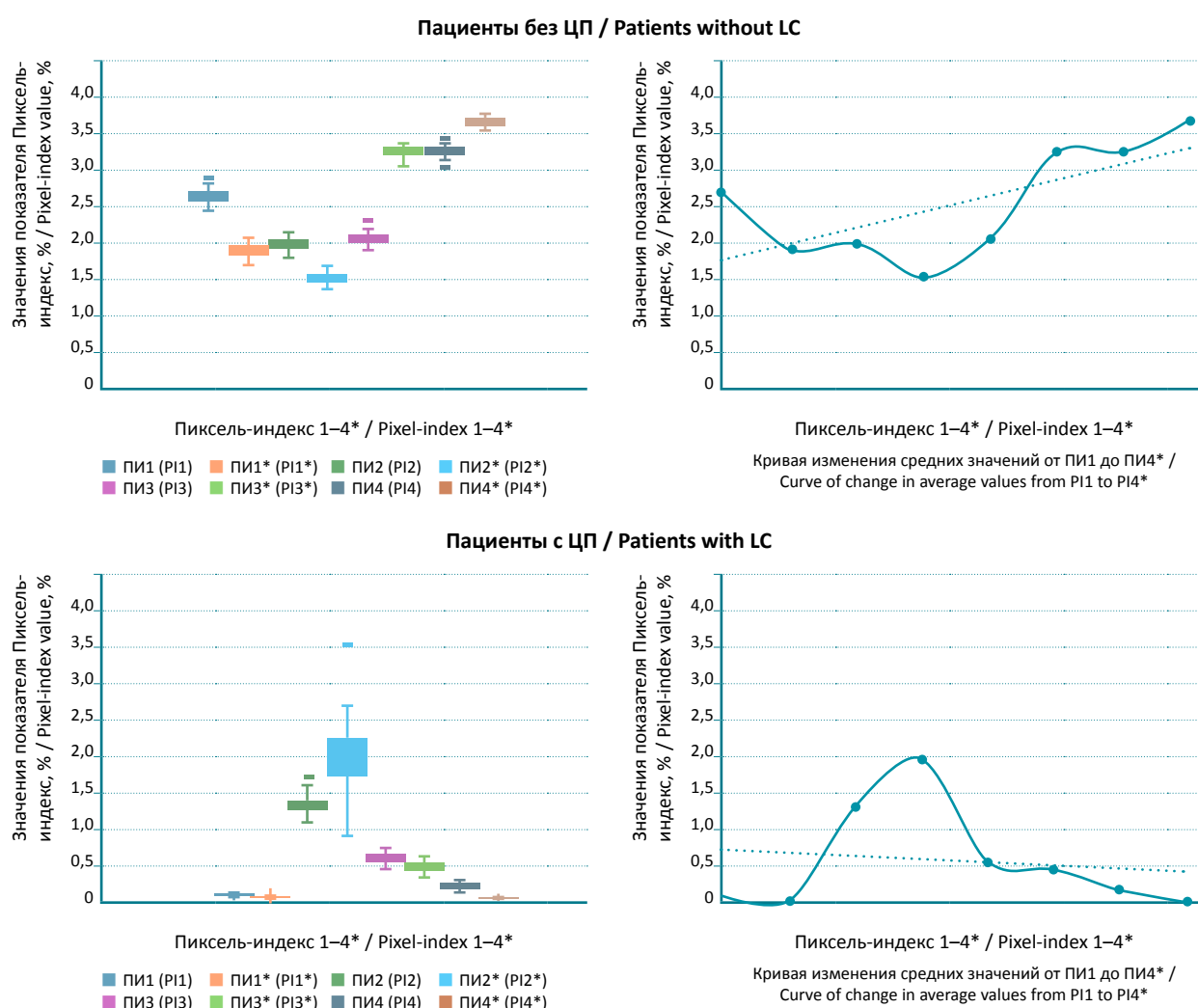


Рис. 6. Показатель пиксель-индекс (ПИ1-4, ПИ1*-4*), измеренный в разных отделах кожи в области тенара у пациентов основной и контрольной групп (анализ показателей всех пациентов)

Fig. 6. Pixel-index (PI1-4, PI1*-4*) measured in different parts of the skin in the thenar region of the main and control groups (analysis of the indices of all patients)

слой), ПИ2* – дерма (сосочковый и сетчатый слой), ПИ3* – дерма-гиподерма (поверхностные отделы), ПИ4* – дерма-гиподерма (поверхностный и глубокий отделы) (рис. 5).

На рис. 6 видны различия в определенных значениях параметра ПИ у пациентов основной и контрольной групп в различных слоях кожи, включая эпидермис. Для всех зон исследования (ПИ1–ПИ4, ПИ1*–ПИ4*) наблюдаются значительные отличия в косвенных показателях микроциркуляции.

У пациентов без ЦП ПИ выше в большинстве слоев кожи, что может указывать на отсутствие микроциркуляторных нарушений. Это особенно заметно в слоях, включающих эпидермис (ПИ1–ПИ4), где средние значения показателей выше, а вариативность результатов больше по сравнению с пациентами с ЦП. Пациенты с ЦП демонстрируют более низкие и нестабильные значения ПИ, с большим разбросом между показателями, особенно в области измерения ПИ2* (дерма), что может говорить о нарушениях микроциркуляции в этой области. Отдельно стоит отметить, что значения ПИ в слоях без эпидермиса (ПИ1*–ПИ4*) также демонстрируют различия между группами. При этом у пациентов с разными классами ЦП по Чайлд – Пью вектор изменения показателей сохраняется (табл. 1).

Эти данные могут свидетельствовать о том, что ЦП влияет на глубокие слои кожи, нарушая микроциркуляцию в дермальном слое у пациентов с разным классом ЦП по Чайлд – Пью, однако степень выраженности этих изменений варьирует в зависимости от включения эпидермиса в анализ. Максимальные изменения отмечались в области тенара на уровне

сосочкового и сетчатого слоев дермы. При исследовании всех пациентов с ЦП лишь у 8,7 % ($n = 19$) были выявлены признаки ЦП по данным ультразвукового исследования в В-режиме, у всех из них – класс С по Чайлд – Пью, стадия декомпенсации.

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, у пациентов с ЦП наблюдаются значительные изменения в косвенных показателях микроциркуляции кожи ПИ, которые могут быть использованы в качестве дополнительных диагностических критериев при использовании высокочастотного ультразвукового исследования в выявлении пациентов с ЦП. Погрешности измерений ПИ у пациентов разного пола – статистически незначимы. Наиболее явные различия в значениях показателя ПИ выявлены в области тенара с сохранением общей тенденции измерений. Выбор зоны тенара в качестве основной области для высокочастотного ультразвукового исследования кожи в данном случае оптимален и обусловлен выявленными в ходе исследования наиболее значимыми различиями в качественных, полуколичественных и количественных показателях. Область тенара характеризуется выраженной сосудистой сетью, что позволяет более точно оценивать микроциркуляцию и проводить анализ показателя ПИ. В отличие от гипотенара, где сосудистая сеть может быть менее выраженной и демонстрирует большую вариабельность из-за анатомических особенностей, зона тенара предоставляет более стабильные параметры за счет равномерного кровоснабжения. Измерения в области дистальной фаланги среднего

Таблица 1. Изменения показателя пиксель-индекс у пациентов с классами цирроза печени А, В, С по Чайлд-Пью
Table 1. Changes in the pixel index in patients with liver cirrhosis classes A, B, C according to Child-Pugh

Признак / Parameter	Пациенты с ЦП, класс А по Чайлд-Пью / Patients with LC, Child-Pugh class A, ($n = 91$), 43,9 %	Пациенты с ЦП, класс В по Чайлд-Пью / Patients with LC, Child-Pugh class B, ($n = 72$), 34,7 %	Пациенты с ЦП, класс С по Чайлд-Пью / Patients with LC, Child-Pugh class C, ($n = 44$), 21,4 %
ПИ1 медиана / PI1 median, %	0,24	0,14	0,07
ПИ1* медиана / PI1* median, %	0,15	0,1	0,01
ПИ2 медиана / PI2 median, %	1,8	1,4	1,3
ПИ2* медиана / PI2* median, %	1,59	1,68	1,96
ПИ3 медиана / PI3 median, %	0,74	0,58	0,56
ПИ3* медиана / PI3* median, %	0,61	0,53	0,45
ПИ4 медиана / PI4 median, %	0,38	0,22	0,17
ПИ4* медиана / PI4* median, %	0,23	0,12	0,01

ПИ – пиксель-индекс, PI – pixel-index, ЦП – цирроз печени, LC – liver cirrhosis; $p < 0,05$.

пальца также имеют свои ограничения: из-за тонкой кожи и периферического расположения затруднены стабильные измерения и выше риск артефактов, связанных с давлением датчика и изменением кровотока. В целом, зона тенара продемонстрировала высокую воспроизводимость и точность результатов, что делает ее предпочтительной для высокочастотного ультразвукового исследования кожи, особенно в контексте пациентов с ЦП, где изменения микроциркуляторного русла могут служить важным диагностическим маркером.

В результате проведенного статистического анализа установлено, что ультразвуковой показатель ПИ, получаемый при высокочастотном ультразвуковом исследовании кожи, демонстрирует высокую корреляцию с показателями жесткости печени, определяемыми с помощью двумерной ультразвуковой эластографии сдвиговой волной ($r = 0,86$). Эта корреляция позволяет использовать ПИ в качестве надежного неинвазивного маркера для выявления ЦП, что существенно расширяет возможности ранней диагностики и мониторинга прогрессирования заболевания. Наиболее репрезентативные результаты были получены при исследовании кожи в области тенар, что может быть связано с анатомическими особенностями микроциркуляции и повышенной чувствительностью данного региона к изменениям, связанным с патологиями печени. Эти находки подчеркивают значимость высокочастотного ультразвукового исследования кожи как перспективного метода оценки микроциркуляторных нарушений при ЦП (чувствительность 85 %, специфичность 88 %, точность 86 %). Между параметрами толщины эпидермиса и дермы у пациентов с ЦП и без ЦП статистически значимых различий не обнаружено.

Возможность косвенной оценки микроциркуляции с помощью ультразвуковых технологий открывает новые перспективы для клинической практики, особенно в контексте ранней диагностики и мониторинга прогрессирования заболеваний печени. Одним из ключевых аспектов данной работы является использование ПИ, который позволяет оценить состояние микроциркуляции на уровне дермально-гиподермального соединения. Исследования показывают, что при ЦП происходит изменение микроциркуляторной сети, выражающееся в расширении капилляров и нарушении их функции. Высокочастот-

ное ультразвуковое исследование кожи может быть использовано для выявления этих изменений, что, в свою очередь, может помочь в определении степени тяжести ЦП и прогноза заболевания.

Сравнение данных высокочастотного ультразвукового исследования кожи с другими методами оценки микроциркуляции, такими как капилляроскопия и лазерная доплеровская флоуметрия, позволяет установить высокую степень корреляции между ними [28]. Также данные высокочастотного ультразвукового исследования кожи имеют высокий уровень корреляции (0,86) с данными метода двумерной ультразвуковой эластографии печени сдвиговой волной 2D-SWE в решении вопроса о различии пациентов с ЦП и без этого заболевания. Тем не менее, необходимо учитывать, что результаты, полученные с помощью высокочастотного ультразвукового исследования, могут зависеть от многих факторов, включая опыт оператора, настройку оборудования и состояние кожи пациента. Дальнейшее развитие исследования планируется в сфере оценки возможности использования данного метода в дифференциальной диагностике различных стадий фиброза печени (F1–F4). Важно отметить, что высокочастотное ультразвуковое исследование имеет свои преимущества: оно является менее инвазивным, доступным и быстро выполняемым методом. Это особенно актуально для пациентов с ЦП, у которых могут быть противопоказания к более инвазивным исследованиям, а также для медицинских организаций, в оснащении которых отсутствует ультразвуковое оборудование с режимом 2D-SWE.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокочастотное ультразвуковое исследование кожи в области тенара может быть использовано как основной метод в определении изменений микроциркуляции кожи с учетом полуколичественного показателя пиксель-индекс в зоне сосочкового и сетчатого слоев дермы в качестве прогностического фактора цирроза печени (при использовании датчика частотой 48 МГц); и как дополнительный метод в комплексной диагностике цирроза печени с учетом качественного анализа микроциркуляторного русла с использованием искусственного интеллекта (при использовании датчика частотой 24 МГц).

Список источников

1. Wu X, Xue F, Zhang N, Zhang W, Hou J, Yi Lv. et al. Global burden of liver cirrhosis and other chronic liver diseases caused by specific etiologies from 1990 to 2019. 2024 Feb 3;24(1):363. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-17948-6>
2. Венидиктова Д. Ю., Борсуков А. В. К вопросу о биопсии печени у пациентов с метаболически ассоциированной жировой болезнью печени. Acta Medica Eurasica. 2022;4:12–26. <https://doi.org/10.47026/2413-4864-2022-4-12-26>

3. Жирков И. И., Гордиенко А. В. Эластография в диагностике хронических невирусных диффузных заболеваний печени. Методические рекомендации. М.: Новый формат; 2021, 90 с.
4. Ветшева Н. Н., Солдатов И. В., Лантух З. А., Киреев С. Г., Гуревич А. И., Мухортова А. Н. Минимальный стандарт оснащения поликлиник города Москвы ультразвуковыми диагностическими приборами. *Digital Diagnostics*. 2022;3(4):362–372. <https://doi.org/10.17816/dd111194>
5. Braverman IM. The cutaneous microcirculation. *Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings*. 2000;5(1):3–9. <https://doi.org/10.1046/j.1087-0024.2000.00010.x>
6. Bhandari A, Mahajan R. Skin changes in cirrhosis. *Journal of Clinical and Experimental Hepatology*. 2022;12(4):1215–1224. <https://doi.org/10.1016/j.jceh.2021.12.013>
7. Liu Y, Zhao Y, Gao X, Liu J, Ji F, Yao-Chon H et al. Recognizing skin conditions in patients with cirrhosis: a narrative review. *Annals of Medicine*. 2022;54(1):3016–3028. <https://doi.org/10.1080/07853890.2022.2138961>
8. Naeem AS, Samreen DS, Shumaila S, Zahid AS, Irfan AS, Sham L. Dermatological manifestations of chronic liver disease. *Journal of Health Science and Medical Research*. 2022;16:1149–1150. <https://doi.org/10.53350/pjmhs22161149>
9. Гельт Т. Д., Борсуков А. В. Возможности неинвазивной лазерной доплерографии в определении нарушений микроциркуляции у пациентов с диффузными заболеваниями печени. Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014;8(1):21–27. <https://doi.org/10.12737/2906>
10. Роспатент. Зарегистрировано 28.04.2021. Патент на изобретение. Способ оценки клинически значимой хронической болезни почек. Борсуков А. В., Венидиктова Д. Ю., Горбатенко О. А., Борсуков С. А. Доступно по: <https://patenton.ru/patent/RU2747159C1>
11. Wong QYA, Chew FT. Defining skin aging and its risk factors: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*. 2021 Nov 11;11(1):22075. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01573-z>
12. Addolorato G, Vassallo GA, Mirijello A, Gasbarrini A. Diagnosis and Management of Alcohol Use Disorder in Patients with Liver Disease: Lights and Shadows. *Neurotherapeutics*. 2020 Jan;17(1):127–141. <https://doi.org/10.1007/s13311-019-00802-8>
13. Kulkarni AV, Singal AK. Screening for alcohol use disorder and monitoring for alcohol use in the liver clinic. *Clin Liver Dis (Hoboken)*. 2023 Jun 19;22(6):219–224. <https://doi.org/10.1097/cld.0000000000000053>
14. Lee CM, Yoon EL, Nakajima A, Yoneda M, Toyoda H, Yasuda S, et al. A Reappraisal of the Diagnostic Performance of B-Mode Ultrasonography for Mild Liver Steatosis. *Am J Gastroenterol*. 2023 May 1;118(5):840–847. <https://doi.org/10.14309/ajg.00000000000002020>
15. Petzold G, Lasser J, Ruhl J, Bremer SCB, Knoop RF, Ellenrieder V, et al. Diagnostic accuracy of B-mode ultrasound and Hepatorenal Index for graduation of hepatic steatosis in patients with chronic liver disease. *PLoS One*. 2020;15(5): e0231044 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231044>
16. Chimoriya R, Piya MK, Simmons D, Ahlenstiel G, Ho V. The use of two-dimensional shear wave elastography in people with obesity for the assessment of liver fibrosis in non-alcoholic fatty liver disease. *Journal of Clinical Medicine*. 2020;10(1):95. <https://doi.org/10.3390/jcm10010095>
17. Фазылов А. А., Саипова Г. Г. Инновационные технологии ультразвуковой эластографии печени: обзор состояния и перспективы. *Клиническая и экспериментальная онкология*. 2021;1:51–60.
18. Жирков И. И., Гордиенко А. В., Павлович И. М., Яковлев В. В., Сердюков Д. Ю. Возможности транзиентной и двухмерной сдвиговой эластографии в диагностике фиброза при хронических диффузных заболеваниях печени невирусной этиологии. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2020;7(179):86–91. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-179-7-86-91>
19. Борсуков А. В., Амосов В. И., Александров Ю. К., Арабачян М. И., Бобров Е. И., Бусько Е. А., и др. Ультразвуковая эластография: как делать правильно (учебно-методическое пособие). 2-е изд., перераб. и доп. Смоленск: «Смоленская городская типография»; 2023, 104 с.
20. Борсуков А. В. (общая редакция). Эластография сдвиговых волн. Анализ клинических примеров (практическое руководство для последипломной профессиональной переподготовки врачей). 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство «СИМК»; 2022, 468 с.
21. Ferraioli G, Barr RG, Berzigotti A, Sporea I, Wong VW, Reiberger T, et al. WFUMB Guideline/Guidance on Liver Multiparametric Ultrasound: Part 1. Update to 2018 Guidelines on Liver Ultrasound Elastography. *Ultrasound Med Biol*. 2024 Aug;50(8):1071–1087. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2024.03.013>
22. Santiago T, Santos EJF, Luis M, Gaspar C, Lima J, Caramelo F et al. Normal percentile reference curves for skin ultrasound thickness and stiffness at Rodnan sites. *RMD Open*. 2022;8(2):e002577. <https://doi.org/10.1136/rmdopen-2022-002577>
23. Catalano O, Wortsman X. Dermatology ultrasound: Imaging technique, tips and tricks, high-resolution anatomy. *Ultrasound Quarterly*. 2020;36(4):321–327. <https://doi.org/10.1097/ruq.0000000000000520>
24. Бондаренко И. Н. Сравнительный анализ ультразвукового исследования кожи высокочастотными датчиками. *Радиология–практика*. 2021;6:22–30. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2021-6-22-30>
25. Jain D, Torres R, Celli R, Koelme J, Charkoftaki G, Vasilou V. Evolution of the liver biopsy and its future. *Transl Gastroenterol Hepatol*. 2021 Apr 5;6:20. <https://doi.org/10.21037/tgh.2020.04.01>

26. Жирков И. И., Гордиенко А. В., Павлович И. М., Чумак Б. А., Яковлев В. В. Диагностика фиброза печени: акцент на эластографию. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2021;10(194):72–81. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-194-10-72-81>
27. Баврина А. П. Современные правила использования методов описательной статистики в медико-биологических исследованиях. Медицинский альманах. 2020;2(63):95–105.
28. Lenasi H, Potočník N, Petrishchev N, Papp M, Egorkina A, Girina M, Skedina M, Kovaleva A. The measurement of cutaneous blood flow in healthy volunteers subjected to physical exercise with ultrasound Doppler imaging and laser Doppler flowmetry. Clin Hemorheol Microcirc. 2017;65(4):373–381. <https://doi.org/10.3233/ch-16204>

References

1. Wu X, Xue F, Zhang N, Zhang W, Hou J, Yi Lv. et al. Global burden of liver cirrhosis and other chronic liver diseases caused by specific etiologies from 1990 to 2019. 2024 Feb 3;24(1):363. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-17948-6>
2. Venidiktova DY, Borsukov AV. On the Issue of Liver Biopsy in Patients with Metabolically Associated Fatty Liver Disease. Acta Medica Eurasica. 2022;4:12–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.47026/2413-4864-2022-4-12-26>
3. Zhirkov II, Gordienko AV. Elastography in the diagnosis of chronic non-viral diffuse liver diseases. Guidelines. Moscow: "Noviy format" Publ.; 2021, 90 p. (In Russ.).
4. Vetsheva NN, Soldatov IV, Lantukh ZA, Kireev SG, Gurevich AI, Mukhortova AN. Minimum standard for equipping Moscow clinics with ultrasound diagnostic devices. Digital Diagnostics. 2022;3(4):362–372. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/dd111194>
5. Braverman IM. The cutaneous microcirculation. Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings. 2000;5(1):3–9. <https://doi.org/10.1046/j.1087-0024.2000.00010.x>
6. Bhandari A, Mahajan R. Skin changes in cirrhosis. Journal of Clinical and Experimental Hepatology. 2022;12(4):1215–1224. <https://doi.org/10.1016/j.jceh.2021.12.013>
7. Liu Y, Zhao Y, Gao X, Liu J, Ji F, Yao-Chon H et al. Recognizing skin conditions in patients with cirrhosis: a narrative review. Annals of Medicine. 2022;54(1):3016–3028. <https://doi.org/10.1080/07853890.2022.2138961>
8. Naeem AS, Samreen DS, Shumaila S, Zahid AS, Irfan AS, Sham L. Dermatological manifestations of chronic liver disease. Journal of Health Science and Medical Research. 2022;16:1149–1150. <https://doi.org/10.53350/pjmhs22161149>
9. Gelt TD, Borsukov AV. Non-invasive laser doppler opportunities in the determination of microcirculation disturbances in the patients with diffuse liver disease. Journal of New Medical Technologies. 2014;8(1):21–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/2906>
10. Ruspatent. Registered on 28.04.2021. Patent for invention. Method for assessing clinically significant chronic kidney disease. Borsukov AV, Venidiktova DY, Gorbatenko OA, Borsukov SA. (In Russ.). Available at: <https://patenton.ru/patent/RU2747159C1>
11. Wong QYA, Chew FT. Defining skin aging and its risk factors: a systematic review and meta-analysis. Sci Rep. 2021 Nov 11;11(1):22075. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01573-z>
12. Addolorato G, Vassallo GA, Mirijello A, Gasbarrini A. Diagnosis and Management of Alcohol Use Disorder in Patients with Liver Disease: Lights and Shadows. Neurotherapeutics. 2020 Jan;17(1):127–141. <https://doi.org/10.1007/s13311-019-00802-8>
13. Kulkarni AV, Singal AK. Screening for alcohol use disorder and monitoring for alcohol use in the liver clinic. Clin Liver Dis (Hoboken). 2023 Jun 19;22(6):219–224. <https://doi.org/10.1097/cld.0000000000000053>
14. Lee CM, Yoon EL, Nakajima A, Yoneda M, Toyoda H, Yasuda S, et al. A Reappraisal of the Diagnostic Performance of B-Mode Ultrasonography for Mild Liver Steatosis. Am J Gastroenterol. 2023 May 1;118(5):840–847. <https://doi.org/10.14309/ajg.00000000000002020>
15. Petzold G, Lasser J, Ruhl J, Bremer SCB, Knoop RF, Ellenrieder V, et al. Diagnostic accuracy of B-mode ultrasound and Hepatorenal Index for graduation of hepatic steatosis in patients with chronic liver disease. PLoS One. 2020;15(5): e0231044 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231044>
16. Chimoriya R, Piya MK, Simmons D, Ahlenstiel G, Ho V. The use of two-dimensional shear wave elastography in people with obesity for the assessment of liver fibrosis in non-alcoholic fatty liver disease. Journal of Clinical Medicine. 2020;10(1):95. <https://doi.org/10.3390/jcm10010095>
17. Fazylov AA, Saipova GG. Innovative technologies of ultrasound elastography of the liver: a review of the state and prospects. Clinical and Experimental Oncology. 2021;1:51–60. (In Russ.).
18. Zhirkov II, Gordienko AV, Pavlovich IM, Yakovlev VV, Serdyukov DY. Possibilities of transient and two-dimensional shear wave elastography in the diagnosis of fibrosis in chronic diffuse liver diseases of non-viral etiology. Experimental and Clinical Gastroenterology. 2020;7(179):86–91. (In Russ.). <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-179-7-86-91>
19. Borsukov AV, Amosov VI, Aleksandrov Yu. K., Arabachyan MI, Bobrov EI, Busko EA, et al. Ultrasound elastography. 2nd ed. Smolensk, 2023, 104 p. (In Russ.).
20. Borsukov AV. Shear-Wave Elastography. Analysis of Clinical Cases. 2nd ed. Moscow: "SIMK" Publ., 2022, 468 p. (In Russ.).

21. Ferraioli G, Barr RG, Berzigotti A, Sporea I, Wong VW, Reiberger T, et al. WFUMB Guideline/Guidance on Liver Multiparametric Ultrasound: Part 1. Update to 2018 Guidelines on Liver Ultrasound Elastography. *Ultrasound Med Biol*. 2024 Aug;50(8):1071–1087. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2024.03.013>
22. Santiago T, Santos EJF, Luis M, Gaspar C, Lima J, Caramelo F et al. Normal percentile reference curves for skin ultrasound thickness and stiffness at Rodnan sites. *RMD Open*. 2022;8(2):e002577. <https://doi.org/10.1136/rmdopen-2022-002577>
23. Catalano O, Wortsman X. Dermatology ultrasound: Imaging technique, tips and tricks, high-resolution anatomy. *Ultrasound Quarterly*. 2020;36(4):321–327. <https://doi.org/10.1097/ruq.0000000000000520>
24. Bondarenko IN. Comparative Analysis of Ultrasound Examination of the Skin High Frequency Transducers. *Radiology - Practice*. 2021;6:22–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2021-6-22-30>
25. Jain D, Torres R, Celli R, Koelmel J, Charkoftaki G, Vasiliou V. Evolution of the liver biopsy and its future. *Transl Gastroenterol Hepatol*. 2021 Apr 5;6:20. <https://doi.org/10.21037/tgh.2020.04.01>
26. Zhirkov II, Gordienko AV, Pavlovich IM, Chumak BA, Yakovlev VV. Diagnosis of liver fibrosis: an emphasis on elastography. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2021;10(194):72–81. (In Russ.). <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-194-10-72-81>
27. Bavrina AP. Modern rules for the use of descriptive statistics methods in biomedical research. *Medical Almanac*. 2020;2(63):95–105. (In Russ.).
28. Lenasi H, Potočník N, Petrishchev N, Papp M, Egorkina A, Girina M, Skedina M, Kovaleva A. The measurement of cutaneous blood flow in healthy volunteers subjected to physical exercise with ultrasound Doppler imaging and laser Doppler flowmetry. *Clin Hemorheol Microcirc*. 2017;65(4):373–381. <https://doi.org/10.3233/ch-16204>

Информация об авторах:

Шестакова Дарья Юрьевна ✉ – к.м.н., старший научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии» ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Смоленск, Российская Федерация

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5497-1476>, SPIN: 8489-0188, AuthorID: 937544, Scopus Author ID: 58199203500, ResearcherID: ABG-7839-2021

Борсуков Алексей Васильевич – д.м.н., профессор, директор Проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии» ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Смоленск, Российская Федерация

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4047-7252>, SPIN: 9412-4149, AuthorID: 525146, Scopus Author ID: 7801311680, ResearcherID: AAG-1693-2019

Information about authors:

Daria Yu. Shestakova ✉ – Cand. Sci (Medicine), Senior Researcher of the Problem Scientific Research Laboratory "Diagnostic Research and Minimally Invasive Technologies", Smolensk State Medical University, Smolensk, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5497-1476>, SPIN: 8489-0188, AuthorID: 937544, Scopus Author ID: 58199203500, ResearcherID: ABG-7839-2021

Alexey V. Borsukov – Dr. Sci (Medicine), Professor, Head of the Problem Scientific Research Laboratory "Diagnostic Research and Minimally Invasive Technologies", Smolensk State Medical University, Smolensk, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4047-7252>, SPIN: 9412-4149, AuthorID: 525146, Scopus Author ID: 7801311680, ResearcherID: AAG-1693-2019

Участие авторов:

Шестакова Д. Ю. – проведение исследования, написание исходного текста, итоговые выводы;

Борсуков А. В. – научное руководство, концепция исследования.

Contribution of the authors:

Shestakova D. Yu. – conducting the research, writing the original text, final conclusions.

Borsukov A. V. – scientific supervision, research concept.