



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Оригинальная статья

УДК 616.61-072.7

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2024-4-41-54>

Прогностическая значимость диффузионно-взвешенных изображений и ASL-перфузии почек в оценке прогрессирования хронической почечной недостаточности

Юлия Юрьевна Шкуратова¹, Татьяна Геннадьевна Морозова²,
Татьяна Давыдовна Гельт³

^{1,2,3} ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава
России, Смоленск, Россия

¹juliyamilosh@yandex.ru, [http:// ORCID.org/0009-0000-0153-6040](http://ORCID.org/0009-0000-0153-6040)

²t.g.morozova@yandex.ru, [http:// ORCID.org/0000-0003-4983-5300](http://ORCID.org/0000-0003-4983-5300)

³tanjageltik@gmail.com, [http:// ORCID.org/0000-0003-3661-3370](http://ORCID.org/0000-0003-3661-3370)

Автор, ответственный за переписку: Юлия Юрьевна Шкуратова, juliyamilosh@yandex.ru

Аннотация

Цель исследования. Определить значимость диффузионно-взвешенных изображений и ASL-перфузии в оценке прогрессирования хронической болезни почек.

Материалы и методы. Обследовано 77 пациентов с хронической болезнью почек: 34 (44, 2%) мужчины и 43 (55,8 %) женщины. Всем больным проведена МРТ почек с включением в протокол исследования диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) и ASL (arterial spinal label) -перфузии. Полученные результаты позволили разделить пациентов на три группы. Группа сравнения включала 61 здорового добровольца.

Результаты. Установлена достоверная разница в данных ДВИ, ASL-перфузии у пациентов с ХБП и группой сравнения. Для группы сравнения характерны следующие показатели: нет ограничения диффузии, ИКД $4,8 \pm 0,1 \times 10^{-3}$ мм²/с, ASL-перфузия 482–496 мл/100 г/мин. Группа I: нет ограничения диффузии, ИКД $1 - 4 \times 10^{-3}$ мм²/с, ASL-перфузия 390 – 436 мл/100 г/мин, группа II – ИКД более 4×10^{-3} мм²/с, нет ограничения диффузии, ASL-перфузия 294–402 мл/100 г/мин. Для группы III характерно ограничение диффузии при вариабельных ИКД и ASL.

Заключение. Отсутствие ограничения диффузии, ИКД $1 - 4 \times 10^{-3}$ мм²/с, ASL-перфузия 390–436 мл/100г/мин, свидетельствуют о начале повреждения интактных нефронов, стадии гиперфильтрации ($r = 0,973$). Отсутствие ограничения диффузии, ИКД более 4×10^{-3} мм²/с, ASL-перфузию 294–402 мл/100 г/мин следует рассматривать как риск развития метаболических последствий ХБП ($r = 0,981$). Независимо от значений ИКД, ASL-перфузии почек, но при имеющемся ограничении диффузии, отмечена высокая корреляционная

© Шкуратова Ю. Ю., Морозова Т. Г., Гельт Т. Д., 2024

связь с 3б стадией ХБП ($r = 0,923$) и гипокалиемией ($r = 0,988$). ДВИ и ASL-перфузию почек необходимо включать в алгоритм обследования пациентов с ХБП для составления персонализированного лечебно-диагностического алгоритма.

Ключевые слова: диффузионно-взвешенные изображения, ASL-перфузия, магнитно-резонансная томография

Для цитирования: Шкуратова Ю. Ю., Морозова Т. Г., Гельт Т. Д. Прогностическая значимость диффузионно-взвешенных изображений и ASL-перфузии почек в оценке прогрессирования хронической почечной недостаточности // Радиология — практика. 2024;4:41-54. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2024-4-41-54>

Источники финансирования

Исследование не финансировалось какими-либо источниками.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE.

Морозова Т. Г., доктор медицинских наук, доцент, является членом редакционного совета журнала «Радиология — практика». Авторам не известно о каких-либо других потенциальных конфликтах интересов, связанных с этой рукописью.

Соответствие принципам этики

Работа соответствует этическим нормам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2008 года и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003.

ORIGINAL RESEARCH

Original research

Prognostic Significance of Diffusion-Weighted Imaging and ASL-Perfusion in Evaluation the Progression of Chronic Kidney Disease

Yuliya Yu. Shkuratova¹, Tat'jana G. Morozova², Tat'jana D. Gel't³

^{1,2,3} Smolensk State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russia, Smolensk, Russia

¹ juliyamilosh@yandex.ru, <http://ORCID.org/0009-0000-0153-6040>

² t.g.morozova@yandex.ru, <http://ORCID.org/0000-0003-4983-5300>

³ tanjageltik@gmail.com, <http://ORCID.org/0000-0003-3661-3370>

Corresponding author: Yuliya Yu. Shkuratova, juliyamilosh@yandex.ru

Abstract

Objective. To determinate the significance of diffusion-weighted imaging and ASL-perfusion in evaluation the progression of chronic kidney disease.

Materials and methods. The study included 77 patients with chronic kidney disease: 34 (44.2 %) men and 43 (55.8 %) women. All subjects underwent Magnetic Resonance Imaging of the kidneys, with the inclusion of diffusion-weighted imaging (DWI) and ASL (arterial spinal label) perfusion in the research protocol. These results helped divide the patients into three groups. The comparison group included 61 healthy people.

Results. There is statistically significant difference data in DWI and ASL perfusion between patients with CKD and the comparison group. The comparison group has the next counts: no diffusion restriction, ADC is $4.8 \pm 0.1 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, ASL-perfusion is 482–496 ml/100 g/min. The first group has no diffusion restriction, ADC is $1-4 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, ASL-perfusion is 390–436 ml/100 g/min, the second group has no diffusion restriction, ADC is more than $4 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ and ASL-perfusion 294–402 ml/100 g/min. The third group has diffusion restriction with different ADC and ASL-perfusion.

Conclusion. Absence of diffusion restriction, ADC is $1-4 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, ASL-perfusion is 390–436 ml/100 g/min is indication of the beginning of injury to intact nephrons, the stage of hyperfiltration ($r = 0,973$). Absence of diffusion restriction, ADC is more than $4 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ and ASL-perfusion 294–402 ml/100 g/min is risk of metabolic disorders in CKD ($r = 0,981$). If it has diffusion restriction with different ADC and ASL-perfusion, there is high correlation with CKD stage 3b ($r = 0.923$) and hypokalemia ($r = 0.988$). DWI and ASL perfusion must be included in the examination algorithm for patients with CKD to create a personalized diagnostic and treatment algorithm.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging, diffusion-weighted imaging, ASL-perfusion

For citation: Shkuratova Yu. Yu., Morozova T. G., Gelt T. D. Prognostic significance of diffusion-weighted images and ASL renal perfusion in assessing the progression of chronic renal failure. *Radiology — Practice*. 2024;4:41-54. (In Russ.). <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2024-4-41-54>

Funding

The study was not funded by any sources.

Conflicts of Interest

The authors state that this work, its topic, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the authors of the manuscript. The authors confirm the compliance of their authorship with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Morozova T. G., M. D. Med., associate professor, is a member of the Editorial Board of «Radiology — Practice». The authors are not aware of any other potential conflict of interest relating to this manuscript.

Compliance with Ethical Standards

The work complies with the ethical standards of the Helsinki Declaration of the World Medical Association «Ethical Principles of conducting scientific medical research with human participation» as amended in 2008 and the «Rules of Clinical Practice in the Russian Federation» approved by the Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated 06/19/2003.

Актуальность

Хроническая болезнь почек представляет собой клинический синдром,

обусловленный необратимым, обычно прогрессирующим повреждением почки вследствие различных патологиче-

ских состояний [3, 6, 9]. При данной патологии происходит постепенное замещение нормальной ткани рубцовым компонентом [2, 5]. Вариабельные степени ХБП сопровождаются достаточным количеством разнообразных симптомов и изменениями лабораторных показателей в виде повышения креатинина и азота мочевины крови из-за падения скорости клубочковой фильтрации (СКФ) [2, 5, 6, 7]. Существует достаточно много причин развития ХБП: диабет, гипертония, гломерулонефрит, интерстициальный нефрит, кистозная болезнь почек и неизвестные причины. Представленные выше заболевания вначале вовлекают в патологический процесс только один специфический сегмент нефрона совместно с кровеносными сосудами, клубочками, канальцами или интерстицием [5, 6, 9]. При прогрессировании патологического процесса происходит снижение СКФ, вовлекается нефрон с последующей утратой нормальной архитектоники почки, замещением коллагеном, уменьшением почки в размере. Когда ряд нефронов становится афункциональным, другие продолжают функционировать на более высоком уровне, поддерживая гомеостаз до того момента, пока у пациента не развивается уремия. В течение недели или месяцев после этого может наступить смерть, если не будут проведены диализ или пересадка почки. ХБП часто прогрессирует, даже если причина, которая ее вызвала, будет устранена. Скорость прогрессирования неодинакова: развитие терминальной стадии за год, а может за 10 лет [6]. К основным методам диагностики ХБП относятся: сбор анамнеза, биохимический анализ крови с определением уровня калия, натрия, креатинина с последующим подсчетом скорости клубочковой фильтрации (СКФ), общий анализ крови и мочи, ультразвуковое исследование почек. Для оценки

СКФ в широкой клинической практике применяют значения этого показателя на основании расчетных формул, включающих пол, возраст пациента и концентрацию креатинина в сыворотке крови [7]. На этапе развития новых технологий в медицине целесообразно рассматривать в структуре лучевой диагностики поиск таких методик, которые бы позволили лечащему врачу получить от врача лучевой диагностики исчерпывающую информацию, включающую оценку риска прогрессирования ХБП уже на начальном этапе повреждения интактных нефронов и возможность определения наличия метаболических последствий почечной недостаточности [5].

Цель: определить прогностическую значимость диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) и ASL-перфузии почек в оценке прогрессирования хронической почечной недостаточности.

Материалы и методы

На базе ОГБУЗ «Клиническая больница № 1» г. Смоленска обследовано 77 пациентов с ХБП, которые находились на стационарном лечении и отделении реанимации, среди них 34 (44,2 %) мужчины и 43 (55,8 %) женщины. Структура клинических форм представлена в табл. 1.

Всем больным проведено УЗИ почек с оценкой кровотока по основным почечным сосудам, данные за ослабление кровотока по корковому слою почек получены у 45 (58,4 %) больных. Всем больным проведена МРТ почек с включением в протокол исследования диффузионно-взвешенных изображений (ДВИ) и ASL (arterial spinal label) -перфузии (рис. 1).

МРТ проведено на 1,5 Тл аппарате (Toshiba, Vantage Titan) при использовании 16-канальной абдоминальной катушки. При проведении ДВИ почек оценивали b-фактор 1000, при проведении ASL-перфузии поле обзора охва-

Таблица 1

**Структура клинических форм в зависимости от причинных факторов
ХБП (n = 54)**

Клинические причины ХБП	Пол		Всего, абс., %	Возраст
	Муж., абс., %	Жен., абс., %		
Сахарный диабет	9 (37,5)	15 (62,5)	24 (20,3)	59 ± 9,5
Гипертоническая болезнь	7 (35)	13 (65)	20 (12,9)	
Гломерулонефрит	8 (72,7)	3 (27,3)	11 (7,4)	
Кистозная болезнь почек	6 (37,5)	10 (62,5)	16 (27,8)	
Интерстициальный нефрит	4 (66,7)	2 (33,3)	6 (27,8)	
Всего	34 (44,2)	43 (55,8)	77 (100)	



Рис. 1. МР-протокол исследования почек с включением последовательностей ДВИ и ASL-перфузии: *а* — положение пациента в МР-томографе, *б* — МР-протокол с включением ДВИ и ASL-перфузии почек

тивало зону обеих почек. Проводилась постпроцессинговая обработка результатов МР-последовательностей с оценкой качественных и количественных показателей ДВИ почек и построением серошкальных и количественных карт ASL-перфузии. Референтным методом являлась оценка скорости клубочковой фильтрации для всех больных при поступлении в стационар, в условиях реанимационного отделения, затем на этапе стационарного наблюдения; аутопсийный материал исследовался у 39 больных; прижизненная биопсия почки (анализ данных историй болезни) у 4 че-

ловек. Группа сравнения была представлена здоровыми лицами ($n = 61$) с целью определения нормальных почечных критериев по данным ДВИ и ASL-перфузии. Статистическая обработка результатов осуществлялась с использованием пакета Statistica 8.0 (официальный сайт разработчиков www.statsoft.com). Для подтверждения достоверности различий нечисловых параметров использовался критерий согласия Пирсона (χ^2) или точный критерий Фишера, оценивался независимый t-критерий, в качестве вероятности ошибки применялась величина $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

В группе здоровых добровольцев получены следующие показатели: по ДВИ качественно — нет ограничения диффузии, ИКД более $4,8 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$, по ASL-перфузии — более 470 мл/100 г/мин. Проводился анализ результатов лабораторных данных, клинической картины с последующим сопоставлением с показателями МР-исследования почек. Всем пациентам параллельно с лабораторными данными проведена МРТ почек с включением в протокол ДВИ и ASL-перфузии, что позволило разделить больных на три группы на основании полученных показателей. В группу I вошли пациенты с установленным диагнозом ХБП, у которых при проведении МРТ почек отмечалось снижение показателей ИКД и ASL-перфузии в сравнении с группой контроля. Во II группу включены пациенты, у которых отмечались высокие показатели ИКД при сниженных показателях ASL-перфузии, в III группу были отнесены пациенты с различными показателями ИКД и ASL-перфузии, но

с имеющимся ограничением диффузии по данным ДВИ (табл. 2).

Таким образом, было установлено, что имеется достоверная разница в данных измеряемого коэффициента диффузии (ИКД), количественных показателях ASL-перфузии у пациентов с ХБП и группой сравнения. В течение 6 месяцев летальный исход наступил у 4 (9,1 %) больных в связи с быстро прогрессирующей ХБП, развитием терминальной стадии. Результаты ДВИ и ASL-перфузии почек (рис. 2) были сопоставлены с данными аутопсийного материала (рис. 3), где установлены гиалиноз и склероз клубочков, гипертрофия единичных клубочков, гибель канальцев, в интерстиции почечной ткани множественные очаги склероза.

У 2 (4,5 %) пациентов были предоставлены результаты биопсии почек, которая была проведена в связи с необходимостью диагностики злокачественного новообразования и реноваскулярной гипертензии. Перед забором биопсийного материала пациентам проводилась МРТ органов забрюшин-

Таблица 2

Результаты ДВИ и ASL-перфузии почек в I группе в зависимости от причины ХБП (n = 44)

I группа (n = 44)			
Причина ХБП	ДВИ		ASL-перфузия, мл/100 г/мин
	Количественная оценка (ИКД)	Качественная оценка	
Сахарный диабет	$1,3 \pm 0,3 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}^*$	Нет ограничения диффузии	$400,1 \pm 9,5 \text{ мл/100 г/мин}^{**}$
Гипертоническая болезнь	$3,9 \pm 0,1 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}^*$		$411,3 \pm 5,8 \text{ мл/100 г/мин}^{**}$
Гломерулонефрит	$2,4 \pm 0,2 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}^*$		$421,1 \pm 4,2 \text{ мл/100 г/мин}^{**}$
Кистозная болезнь почек	$3,0 \pm 1,2 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}^*$		$401,5 \pm 7,2 \text{ мл/100 г/мин}^{**}$
Интерстициальный нефрит	$3,5 \pm 0,1 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}^*$		$400,1 \pm 2,1 \text{ мл/100 г/мин}^{**}$
Группа сравнения (n = 61)	$4,8 \pm 0,1 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}^*$		$496,2 \pm 13,7 \text{ мл/100 г/мин}^{**}$

Примечание: * – $p < 0,01$; ** – $p < 0,001$.

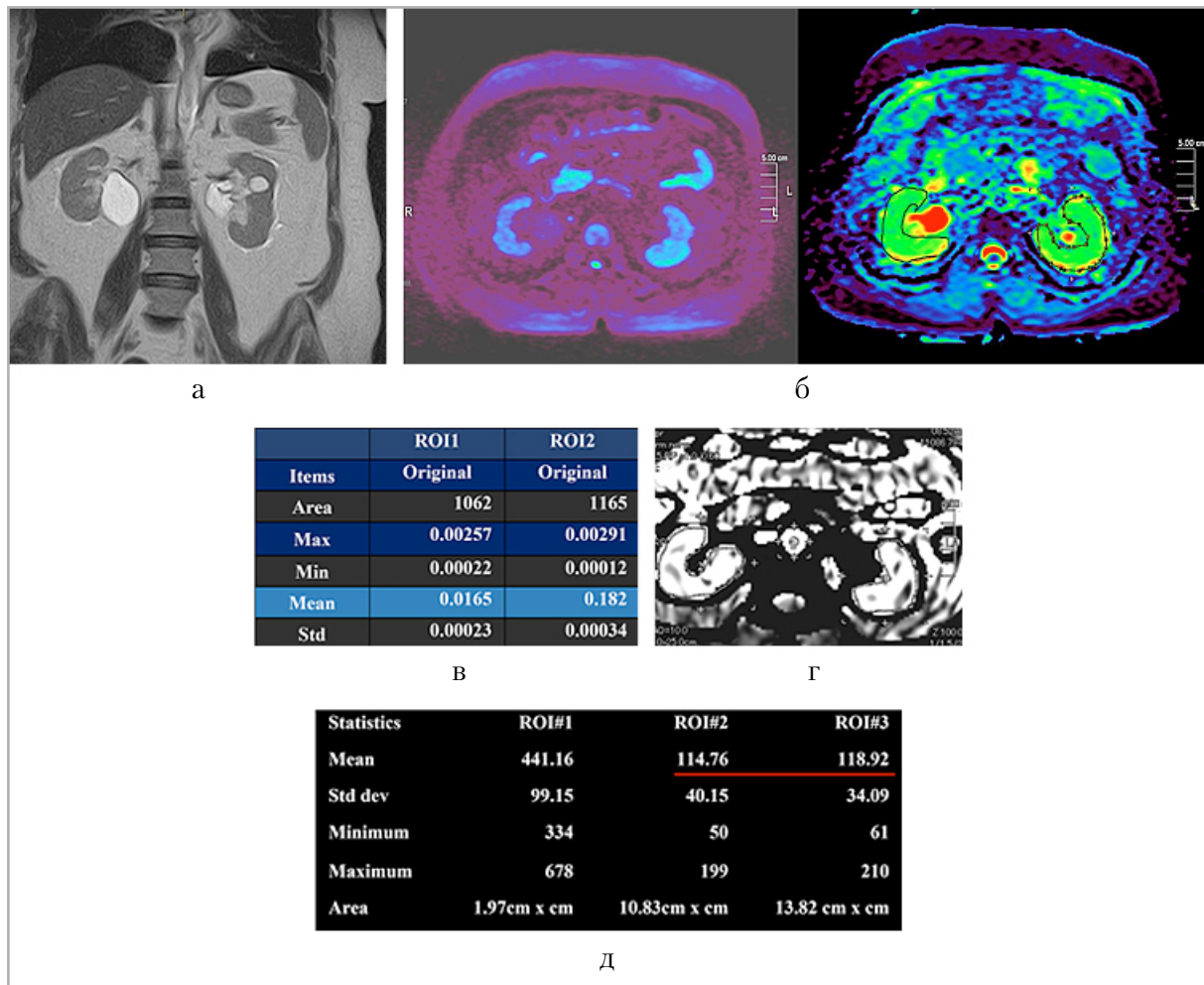


Рис. 2. МР-томограммы почек пациента 53 лет с терминальной стадией ХБП: а — корональная проекция, режим Т2-ВИ; б — качественные показатели ДВИ почек; в — количественные показатели ДВИ почек: ROI1 — правая почка, ROI2 — левая почка; г — серошкальная карта ASL-перфузии почек; д — количественная карта ASL-перфузии почек: ROI#1 — аорта, ROI#2 — правая почка, ROI#3 — левая почка

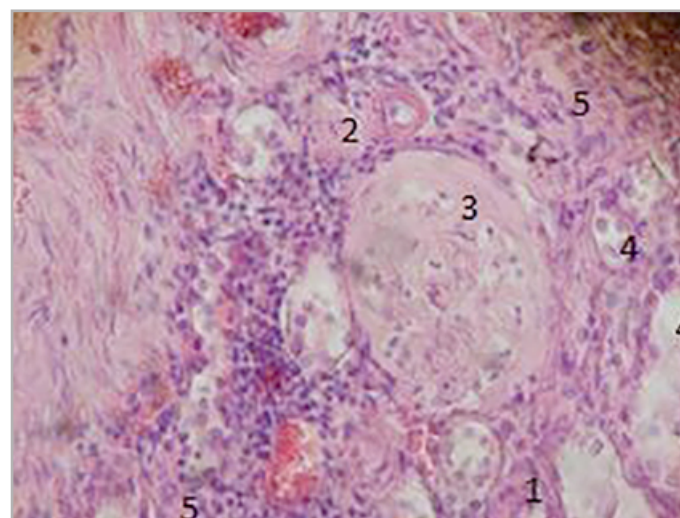


Рис. 3. Аутопсийный материал среза почки пациента 53 лет с ХБП терминальной стадии, окраска г.-э., $\times 200$: гиалиноз (1) и склероз клубочков (2), гипертрофия единичных клубочков (3), гибель канальцев (4), в интерстиции почечной ткани множественные очаги склероза (5)

ного пространства, полученные данные одного из пациентов представлены на рис. 4.

По данным гистологического исследования в биопсийном материале почки обнаружены гипертрофия множественных клубочков, единичные очаги склероза (рис. 5).

Исходя из полученных данных был сделан вывод, что при отсутствии ограничения диффузии в паренхиме почек, ИКД от 1 до 4×10^{-3} мм²/с, показателях ASL-перфузии от 390 до 436 мл/100 г/мин, следует говорить о начале повреждения интактных нефронов, стадии гиперфильтрации и о необходимости незамедлительного назначения препаратов,

которые снижают гидростатическое давление в клубочках (ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента) ($r = 0,973$).

Во второй группе пациентов ($n = 27$) не было отмечено ограничения диффузии, но значительно был повышен ИКД и наблюдалось снижение показателей ASL-перфузии почек (табл. 3).

Было установлено, что имеется достоверная разница в данных ИКД, количественных показателях ASL-перфузии у пациентов II группы с ХБП, с группой сравнения и I группой пациентов с ХБП ($p < 0,01$). У 19 (70,4 %) пациентов представленной группы клинически ХБП не проявлялась, но спустя 6–12 месяцев

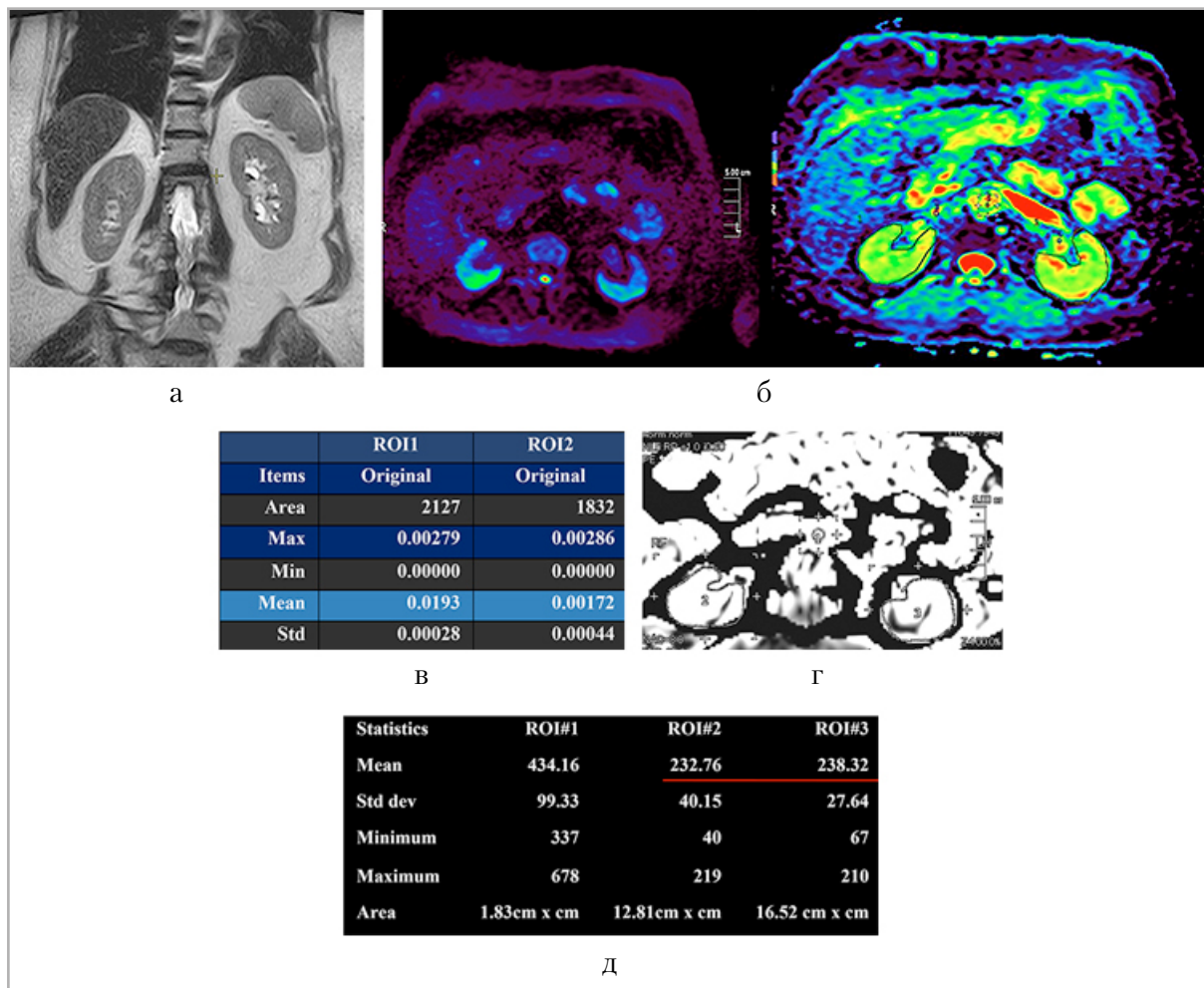


Рис. 4. МР-томограммы почек пациентки 59 лет: а — корональная проекция, режим Т2-ВИ; б — качественные показатели ДВИ почек; в — количественные показатели ДВИ почек: ROI1 — правая почка, ROI2 — левая почка; г — серошкальная карта ASL-перфузии почек; д — количественная карта ASL-перфузии почек: ROI#1 — аорта, ROI#2 — правая почка, ROI#3 — левая почка

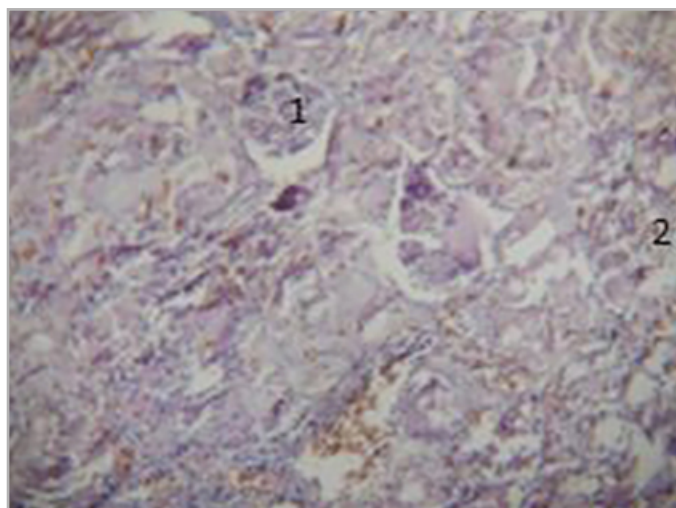


Рис. 5. Микропрепарат прижизненного гистологического материала среза почки пациентки 59 лет, окраска г.-э., $\times 200$: 1 — гипертрофия множественных клубочков, 2 — единичные очаги склероза

Таблица 3

Результаты ДВИ и ASL-перфузии почек во II группе в зависимости от причины ХБП (n = 27)

II группа (n = 27)			
Причина ХБП	ДВИ		ASL-перфузия, мл/100 г/мин
	Количественная оценка (ИКД)	Качественная оценка	
Сахарный диабет	$6,1 \pm 1,2 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}^*$	Нет ограничения диффузии	$302,1 \pm 5,1 \text{ мл/100 г/мин}^{**}$
Гипертоническая болезнь	$7,9 \pm 2,3 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}^*$		$287,5 \pm 4,1 \text{ мл/100 г/мин}^{**}$
Гломерулонефрит	$15,3 \pm 0,5 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}^*$		$321,7 \pm 3,1 \text{ мл/100 г/мин}^{**}$
Кистозная болезнь почек	$14,0 \pm 2,7 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}^*$		$299,4 \pm 5,3 \text{ мл/100 г/мин}^{**}$
Интерстициальный нефрит	$16,8 \pm 3,2 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}^*$		$400,1 \pm 2,1 \text{ мл/100 г/мин}^{**}$
Группа сравнения (n = 61)	$4,8 \pm 0,1 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}^*$		$496,2 \pm 13,7 \text{ мл/100 г/мин}^{**}$

Примечание: * – $p < 0,01$; ** – $p < 0,001$.

больные указали на следующие жалобы: чувствительность к погодным условиям, общее плохое самочувствие, плохо корригируемый уровень глюкозы и артериального давления, развитие анемии. Лечащим врачом проведены мероприятия по коррекции указанных выше модифицируемых факторов прогрессирования ХБП. Через 1,5 года летальный

исход наступил у 2 (7,4 %) больных в связи с развитием терминальной стадии ХБП. Результаты ДВИ и ASL-перфузии почек были сопоставлены с результатами СКФ. У 25 (92,6 %) больных СКФ соответствовала 2-й стадии (n = 13), 3а стадии (n = 5), 3б стадии (n = 4), 4-й стадии (n = 3). У 10 (37 %) больных из этой группы через 1 месяц наблюдения

зафиксированы гиперкалиемия и гипонатриемия, что свидетельствовало о метаболических последствиях почечной недостаточности, у 8 (29,6 %) больных представленные изменения были отмечены через 6 месяцев, у 3 (11,1 %) — через 12 месяцев, у 4 (14,8 %) — через 1,5 года. У 2 (7,4 %) пациентов СКФ на протяжении 1,5 лет активно снижалась, последние показатели составили 9–10 мл/мин. Пациенты наблюдались и проходили лечение в условиях реанимации, зафиксирован летальный исход в связи с развившейся терминальной стадией. По данным аутопсийного материала почек двух (7,4 %) пациентов выявлен гиалиноз и склероз клубочков, гибель канальцев, в интерстиции почечной ткани множественные очаги склероза. Исходя из полученных данных был сделан вывод, что при отсутствии ограничения диффузии в паренхиме почек, ИКД более 4×10^{-3} мм²/с, показателях ASL-перфузии от 294 до 402 мл/100 г/мин, следует прогнозировать развитие метаболических последствий почечной недостаточности, поэтому данной категории пациентов следует составлять персонифицированный лечебно-диагностический алгоритм, предусматривающий изменения сроков и

кратности наблюдения ($r = 0,981$). В III группе пациентов ($n = 6$) было отмечено, что независимо от значений ИКД, ASL-перфузии почек, но при имеющемся ограничении диффузии представленные маркеры визуализации в 100 % случаев коррелировали с СКФ от 30 до 44 мл/мин/1,73 м², т. е. с 3б стадией ХБП ($r = 0,923$) и гипокалиемией ($r = 0,988$), что требовало незамедлительной коррекции лечебного алгоритма (табл. 4).

Авторы Ахмедова Н. Ш., Равшанов С. (2022) в своей работе предлагают в амбулаторных условиях прогнозировать прогрессирование ХБП по данным результатов анкетирования с целью обозначения риска развития ХБП у населения, с последующим анализом частоты встречаемости микроальбуминурии [1]. Но этот способ направлен на вероятный фактор развития почечной недостаточности, не всегда пациент может адекватно ответить на представляемые ему вопросы анкеты, что может привести к ложноположительному или ложноотрицательному результату. При этом клинические данные ASL-перфузии могут быть классифицированы по отдельным паттернам на основе признаков гипоперфузии либо гиперперфузии и в совокупности с клинико-анамне-

Таблица 4

Результаты ДВИ и ASL-перфузии почек в III группе в зависимости от причины ХБП (n = 6)

III группа (n = 6)			
Причина ХБП	ДВИ		ASL-перфузия, мл/100 г/мин
	Количественная оценка (ИКД)	Качественная оценка	
Сахарный диабет	$4,2 \pm 2,2 \times 10^{-3}$ мм ² /с*	Нет ограничения диффузии	$256,1 \pm 4,8$ мл/100 г/мин**
Гипертоническая болезнь	$3,2 \pm 2,3 \times 10^{-3}$ мм ² /с*		$318,4 \pm 5,1$ мл/100 г/мин**
Гломерулонефрит	$4,3 \pm 0,5 \times 10^{-3}$ мм ² /с*		$406,2 \pm 3,7$ мл/100 г/мин**
Группа сравнения (n = 61)	$4,8 \pm 0,1 \times 10^{-3}$ мм ² /с*		$496,2 \pm 13,7$ мл/100 г/мин**

Примечание: * – $p < 0,01$; ** – $p < 0,001$.

стическими данными и данными других исследований позволят поставить точный диагноз в короткие сроки [4, 10, 11]. Использование ДВИ в настоящее время является одним из наиболее многообещающих инструментов в оценке фиброза почек при ХБП. По данным Carol et al., использование ДВИ в оценке прогрессирования ХБП позволит сократить количество биопсий почки для верификации диагноза [4, 6]. В нашем исследовании представлены результаты ДВИ и ASL-перфузии почек уже с установленной ХБП, и применяемые последовательности в полной мере позволяют прогнозировать прогрессирование процесса, возможность оценки метаболических последствий почечной недостаточности, т. е. благодаря этому врач может получить максимальную информацию, которая позволит персонифицировать тактику ведения больных.

Выводы

1. Отсутствие ограничения диффузии в паренхиме почек, ИКД от 1 до 4×10^{-3} мм²/с, показатели ASL-перфузии от 390 до 436 мл/100 г/мин, свидетельствуют о начале повреждения интактных нефронов, стадии гиперфильтрации ($r = 0,973$).
2. Отсутствие ограничения диффузии в паренхиме почек, ИКД более 4×10^{-3} мм²/с, показатели ASL-перфузии от 294 до 402 мл/100 г/мин, следует рассматривать как риск развития метаболических последствий почечной недостаточности ($r = 0,981$).
3. Независимо от значений ИКД, ASL-перфузии почек, но при имеющемся ограничении диффузии отмечена высокая корреляционная связь с 3б стадией ХБП ($r = 0,923$) и с гипокалиемией ($r = 0,988$).
4. Проведение ДВИ и ASL-перфузии почек необходимо включать в алгоритм обследования пациентов с ХБП, так как это позволяет состав-

лять персонифицированный лечебно-диагностический алгоритм, предусматривающий изменения сроков кратности наблюдения.

Список источников

1. Ахмедова Н. Ш., Равшанов С. Аспекты прогнозирования хронической болезни почек в амбулаторных условиях // Биология и интегративная медицина. 2022. Т. 55, № 2. С. 113–120.
2. Иванов А. О., Шишкин А. Н. Современное представление об участии метаболических нарушений в кардиоренальных взаимоотношениях // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2018. Т. 13, № 3. С. 224–236. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2018.301>
3. Кинванлун И. Г., Сабиров И. С., Умурзаков Ш. Э., Юсупов А. Ф., Юлдашев А. А. Дисфункция почек у коморбидных пациентов с хронической обструктивной болезнью легких: факторы риска и двунаправленное действие системных эффектов. The Scientific Heritage. 2021;58:59-64.
4. Труфанов Г. Е., Фокин В. А., Асатурян Е. Г., Ефимцев А. Ю., Чегина Д. С., Шмедык Н. Ю., Машенко И. А., Алдатов Р. Х. Методика артериального спинного маркирования: клиническое применение // Russian Electronic J. of Radiology. 2019. Т. 9, № 4. С. 129–147. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-4-129-147>
5. Шанин В. Ю. Патопфизиология критических состояний. 3-е изд. СПб.: ИП Маков М. Ю., 2021. 440 с.
6. Шилов Е. М., Смирнов А. В., Козловская Н. Л. Нефрология. Клинические рекомендации. М.: ГЭОТАР-Медиа., 2020. 856 с.
7. Шилов Е. М. Формулы оценки скорости клубочковой фильтрации: правильное и неправильное применение // Клиническая нефрология. 2023. Т. 15, № 3. С. 69–71. <https://doi.org/10.18565/nephrology.2023.3.69-71>

8. Шутов А. М. Хроническая болезнь почек — глобальная проблема XXI века // Клиническая медицина. 2014. № 5. С. 5–10. — Текст: электронный // Образовательная платформа cyberleninka [https://cyberleninka.ru/]. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/hronicheskaya-bolezn-pochek-globalnaya-problema-xxi-veka (дата обращения: 18.12.2023).
9. Carol A., Shneider M., Friedli I., Ljimaani A., De Seigneux S., Boor P., Gullapudi L., Kazmi I., Mendichovszky I. A., Notohamiprodjo M., Shelby N. M., Thoeny H. C., Grenier N., Vallee J-P. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging to assess diffuse renal pathology: a systematic review and statement paper. *Nephrol Dial Transplant*. 2018;33:29-40. https://doi: 10.1093/ndt/gfy163
10. Franklin S., Bones I. K., Harteveld A. A., Hirschler L., Van Stralen M., Qin Q., De Boer A., Hoogduin J. M., Bos C., Van Osch M. J. P., Schmid S. Multi-organ comparison of flow-based arterial spin labeling techniques: Spatially non-selective labeling for cerebral and renal perfusion imaging. *Nephrology Dialysis Transplantation*. 2010;25(4):1126-1133. https://doi.org/10.1093/ndt/gfp639
11. Taso M., Aramendía-Vidaurreta V., Englund E. K., Francis S., Franklin S., Madhuranthakam A. J., Martirosian P., Nayak K. S., Qin Q., Shao X., Thomas D. L., Zun Z., Fernández-Seara M. A. Update on state-of-the-art for arterial spin labeling (ASL) human perfusion imaging outside of the brain. *Magnetic resonance in medicine*. 2023;89(5):1754-1776. https://doi.org/10.1002/mrm.29609
1. Akhmedova N. Sh., Ravshanov S. Aspects of predicting chronic kidney disease in outpatient settings. *Biology and Integrative Medicine*. 2022;55(2):113-120. (In Russ).
2. Ivanov A. O., Shishkin A. N. Modern idea of the participation of metabolic disorders in cardiorenal relationships. *Bulletin of St. Petersburg University. Medicine*. 2018;13(3):224-236. (In Russ). https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2018.301
3. Kinvanlun I. G., Sabirov I. S., Umurzakov Sh. E., Yusupov A. F., Yuldashev A. A. Kidney dysfunction by comorbid patients with chronic obstructive pulmonary disease: risk factors and bidirectional systemic effects. *The Scientific Heritage*. 2021;58:59-64. (In Russ).
4. Trufanov G. E., Fokin V. A., Asaturyan E. G., Efimtsev A. Yu., Chegina D. S., Shmedyk N. Yu., Mashchenko I. A., Aldatov R. Kh. Arterial spin labeling technique: clinical application. *Russian Electronic J. of Radiology*. 2019;9(4):129-147. (In Russ). https://doi:10.21569/2222-7415-2019-9-4-129-147.
5. Shanin V. Yu. Pathophysiology of critical conditions. 3rd edit. St. Peterburg: IE Makov M.Yu., 2021. 440 p. (In Russ).
6. Shilov E. M., Smirnov A. V., Kozlovskaya N. L. Nephrology. Clinical references Moscow: GOETAR-Media, 2020. 856 p. (In Russ).
7. Shilov E. M. Formulas for estimating glomerular filtration rate: correct and incorrect use. *Clinical nephrology*. 2023;(15)3:69-71. (In Russ). https://doi: 10.18565/nephrology.2023.3.69-71
8. Shutov A. M. Chronic kidney disease — a global problem in the XXI century // Clinical medicine. 2014;5:5-10. (In Russ.). Text: electronic // Transformational platform cyberleninka [https://cyberleninka.ru/]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/hronicheskaya-bolezn-pochek-globalnaya-problema-xxi-veka (date of application: 18.12.2023).
9. Carol A., Shneider M., Friedli I., Ljimaani A., De Seigneux S., Boor P., Gullapudi L., Kazmi I., Mendichovszky I. A., Notohamiprodjo M., Shelby N. M., Thoeny H. C., Grenier N., Vallee J-P. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging to assess diffuse renal pathology: a systematic review and statement paper.

References

- Nephrol Dial Transplant.* 2018;33:29-40. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfy163>
10. Franklin S., Bones I. K., Hartevelde A. A., Hirschler L., Van Stralen M., Qin Q., De Boer A., Hoogduin J. M., Bos C., Van Osch M. J. P., Schmid S. Multi-organ comparison of flow-based arterial spin labeling techniques: Spatially non-selective labeling for cerebral and renal perfusion imaging. *Nephrology Dialysis Transplantation.* 2010;25(4):1126-1133. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfp639>
11. Taso M., Aramendía-Vidaurreta V., Englund E. K., Francis S., Franklin S., Madhuranthakam A. J., Martirosian P., Nayak K. S., Qin Q., Shao X., Thomas D. L., Zun Z., Fernández-Seara M. A. Update on state-of-the-art for arterial spin labeling (ASL) human perfusion imaging outside of the brain. *Magnetic resonance in medicine.* 2023;89(5):1754-1776. <https://doi.org/10.1002/mrm.29609>

Сведения об авторах / Information about the authors

Морозова Татьяна Геннадьевна, доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом ДПО ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Смоленск, Россия.

214019, г. Смоленск, ул. Крупской, д. 28.

+7 (481) 255-34-09

Вклад автора: формирование идеи, цели и написание текста, утверждение окончательного варианта статьи – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Morozova Tat'jana Gennad'evna, M.D. Med., associate professor Head of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy with a course of additional professional education of Smolensk State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russia, Smolensk, Russia.

28, Krupskoj st., Smolensk, 214019, Russia.

+7 (481) 255-34-09

Author's contribution: formation of an idea, goals and writing a text, approval of the final version of the publication – taking responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version.

Шкуратова Юлия Юрьевна, аспирант кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом ДПО ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Смоленск, Россия.

214019, г. Смоленск, ул. Крупской, д. 28.

+7 (481) 255-34-09

Вклад автора: существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение данных и их анализ и интерпретацию.

Shkuratova Yuliya Yur'evna, Postgraduate student of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy with a course of additional professional education of Smolensk State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russia, Smolensk, Russia.

28, Krupskoj st., Smolensk, 214019, Russia.

+7 (481) 255-34-09.

Author's contribution: significant contribution to the concept and design of the study, data acquisition or analysis and interpretation.

Гельт Татьяна Давыдовна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом ДПО ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Смоленск, Россия.

214019, г. Смоленск, ул. Крупской, д. 28.

+7 (481) 255-34-09

Вклад автора: участие в обработке материала и обсчете статистических показателей.

Gel't Tat'jana Davydovna, Ph. D. Med., associate professor of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy with a course of additional professional education of Smolensk State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russia, Smolensk, Russia.

28, Krupskoj st., Smolensk, 214019, Russia.

+7 (481) 255-34-09

Author's contribution: participation in the processing of the material and calculation of statistical indicators.

Статья поступила в редакцию 17.04.2024;
одобрена после рецензирования 13.06.2024;
принята к публикации 13.06.2024.

The article was submitted 17.04.2024;
approved after reviewing 13.06.2024;
accepted for publication 13.06.2024.