

11. Xiao L, Wang Q, Peng H. Tumor-associated macrophages: new insights on their metabolic regulation and their influence in cancer immunotherapy. *Front. Immunol.* 2023; 14:1157291. (in Engl)
12. Popov SV, Sturov NV, Vorob'ev NV, Hajdukov SV. Rol' T-reguljatornyh kletok v progressirovanii raka predstatel'noj zhelezy [The role of T-regulatory cells in the progression of prostate cancer]. *Medicinskaja immunologija.* 2019; 21 (4): 587-94. (in Russ).
13. Huang R, Wang S, Wang N, Zheng Y, Zhou J, Yang B, et.al. CCL5 derived from tumor-associated macrophages promotes prostate cancer stem cells and metastasis via activating β -catenin/STAT3 signaling. *Cell Death Dis.* 2020;11(4):234. (in Engl)
14. Li Y, Zhang D, Wang X, Yao X, Ye C, Zhang S, et.al. Hypoxia-inducible miR-182 enhances HIF1 α signaling via targeting PHD2 and FIH1 in prostate cancer. *Sci. Rep.* 2015; 5:12495. (in Engl)
15. El-Kenawi A, Dominguez-Viqueira W, Liu M, Awasthi S, Abraham-Miranda J, Keske A, et.al. Macrophage-Derived Cholesterol Contributes to Therapeutic Resistance in Prostate Cancer. *Cancer Res.* 2021;81(21):5477-5490. (in Engl)
16. Kridel SJ, Axelrod F, Rozenkrantz N, Smith JW. Orlistat is a novel inhibitor of fatty acid synthase with antitumor activity. *Cancer Res.* 2004;64(6):2070-5. (in Engl)
17. Balaban S, Nassar ZD, Zhang AY, Hosseini-Beheshti E, Centenera MM, Schreuder M, et.al. Extracellular Fatty Acids Are the Major Contributor to Lipid Synthesis in Prostate Cancer. *Mol. Cancer Res.* 2019;17(4):949-962. (in Engl)
18. Chen M, Zhang J, Sampieri K, Clohessy JG, Mendez L, Gonzalez-Billalabeitia E, Liu XS, et.al. An aberrant SREBP-dependent lipogenic program promotes metastatic prostate cancer. *Nat. Genet.* 2018;50(2):206-218. (in Engl)
19. Hayashi T, Fujita K, Nojima S, Hayashi Y, Nakano K, Ishizuya Y, et.al. High-Fat Diet-Induced Inflammation Accelerates Prostate Cancer Growth via IL6 Signaling. *Clin. Cancer Res.* 2018;24(17):4309-4318. (in Engl)
20. Llavrias G, Danilo C, Wang Y, Witkiewicz AK, Daumer K, Lisanti MP, et.al. A Western-type diet accelerates tumor progression in an autochthonous mouse model of prostate cancer. *Am.J. Pathol.* 2010;177(6):3180-91. (in Engl)
21. Jannagerwalla J, Howard LE, Allott EH, Vidal AC, Moreira DM, Castro-Santamaria R, et.al. Serum cholesterol and risk of high-grade prostate cancer: results from the REDUCE study. *Prostate Cancer Prostatic Dis.* 2018;21(2):252-259. (in Engl)
22. Heir T, Falk RS, Robsahm TE, Sandvik L, Erikssen J, Tretli S. Cholesterol and prostate cancer risk: a long-term prospective cohort study. *BMC Cancer.* 2016; 16:643. (in Engl)
23. Blanc-Lapierre A, Spence A, Karakiewicz PI, Aprikian A, Saad F, Parent M \acute{E} . Metabolic syndrome and prostate cancer risk in a population-based case-control study in Montreal, Canada. *BMC Public Health.* 2015; 15:913. (in Engl)
24. Keene D, Price C, Shun-Shin MJ, Francis DP. Effect on cardiovascular risk of high-density lipoprotein targeted drug treatments niacin, fibrates, and CETP inhibitors: meta-analysis of randomised controlled trials including 117,411 patients. *BMJ.* 2014;349: g4379. (in Engl)
25. YuPeng L, YuXue Z, PengFei L, Cheng C, YaShuang Z, DaPeng L, Chen D. Cholesterol Levels in Blood and the Risk of Prostate Cancer: A Meta-analysis of 14 Prospective Studies. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2015;24(7):1086-93. (in Engl)
26. Zhang Z, Zhou Q, Liu R, Liu L, Shen WJ, Azhar S, Qu YF, Guo Z, Hu Z. The adaptor protein GIPC1 stabilizes the scavenger receptor SR-B1 and increases its cholesterol uptake. *J.Biol Chem.* 2021; 296:100616. (in Engl)
27. Bull CJ, Bonilla C, Holly JM, Perks CM, Davies N, Haycock P, et.al. PRACTICAL consortium. Blood lipids and prostate cancer: a Mendelian randomization analysis. *Cancer Med.* 2016;5(6):1125-36. (in Engl)
28. Wu H, Han Y, Rodriguez Sillke Y, Deng H, Siddiqui S, Treese C, et.al. Lipid droplet-dependent fatty acid metabolism controls the immune suppressive phenotype of tumor-associated macrophages. *EMBO Mol. Med.* 2019;11(11): e10698. (in Engl)
29. Pan Y, Yu Y, Wang X, Zhang T. Tumor-Associated Macrophages in Tumor Immunity. *Front. Immunol.* 2020; 11:583084. (in Engl)
30. Kovaleva OV, Podlesnaja PA, Grachev AN. Citotoksicheskaja aktiv-nost' makrofagov i ee rol' v patogeneze opuholej [Cytotoxic activity of macrophages and its role in the pathogenesis of tumors]. *Al'manah klinicheskoy mediciny.* 2022; 50 (1): 13-20. (in Engl)
31. Grachev AN, Samojlova DV, Rashidova MA, Petrenko AA, Kovaleva OV. Makrofagi, asociirovannye s opuhol'ju: sovremennoe sostojanie issledovanij i perspektivy klinicheskogo ispol'zovanija [Tumor-associated macrophages: current state of research and prospects for clinical use]. *Uspehi molekularnoj onkologii.* 2018;5(4):20-8. (in Engl)
32. Yu Y, Cui J. Present and future of cancer immunotherapy: A tumor microenvironmental perspective. *Oncol. Lett.* 2018; 16(4):4105-13. (in Engl)
33. Vahora H, Khan MA, Alalami U, Hussain A. The Potential Role of Nitric Oxide in Halting Cancer Progression Through Chemoprevention. *J. Cancer Prev.* 2016;21(1):1-12. (in Engl)
34. Cherdyntseva N.V., Mitrofanova I.V., Buldakov M.A., Stakheeva M.N., Patysheva M.R., Zavjalova M.V., Kzhyskowska J.G. Macrophages and tumor progression: on the way to macrophage-specific therapy. *Bulletin of Siberian Medicine.* 2017;16(4):61-74. (In Russ.)

УДК 616.611

© Коллектив авторов, 2024

Т.С. Докаева¹, Э.С. Кафаров¹, И.У. Вагабов¹,
Л.А. Удочкина², Б.Т. Куртусунов², С.В. Федоров³
**СОВРЕМЕННЫЕ ДАННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
БОЛЬНЫХ С АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКИМ СТЕНОЗОМ ПОЧЕЧНЫХ АРТЕРИЙ
С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИНТЕРВЕНЦИОННОГО ЛЕЧЕНИЯ**

¹ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», г. Грозный

²ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет»

Минздрава России, г. Астрахань

³ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»

Минздрава России, г. Уфа

Атеросклеротический стеноз почечных артерий (АСПА) – это состояние, при котором почечные артерии сужаются вследствие атеросклероза, что приводит к снижению притока крови к почкам и различным почечным осложнениям. Эффективность интервенционных методов лечения, таких как ангиопластика почечных артерий и стентирование, остается предметом дискуссий, что затрудняет отбор пациентов для этих процедур.

Данный обзор посвящен диагностике и лечению АСПА с особым акцентом на потенциальную роль функциональной магнитно-резонансной томографии (МРТ) в оценке функции почек и механизмов ее развития. Обобщая современные подходы к диагностике и результатам интервенционного лечения, в обзоре подчеркивается важность принятия обоснованных клинических решений при ведении пациентов с АСПА. Функциональная МРТ становится многообещающим неинвазивным инструментом для оценки функции почек, помогающим в стратификации пациентов и планировании лечения.

Заключение. Эффективность интервенционных методов лечения АСПА требует дальнейшего изучения и тщательного отбора пациентов. Функциональная МРТ является перспективным неинвазивным методом оценки функции почек и механизмов, которые могут стать основой для принятия клинических решений при лечении АСПА. Развитие исследований в области методов диагностики, в частности функциональной МРТ, может расширить наше понимание и улучшить результаты лечения АСПА.

Ключевые слова: сосуды, почка, стеноз почечных артерий, МРТ.

T.S. Dokaeva, E.S. Kafarov, I.U. Vagabov,
L.A. Udochkina, B.T. Kurtusunov, S.V. Fedorov

CONTEMPORARY DATA AND PROSPECTS OF RESEARCH OF PATIENTS WITH ATHEROSCLEROTIC STENOSIS OF RENAL ARTERIES FROM THE POINT OF VIEW OF INTERVENTIONAL TREATMENT

Atherosclerotic renal artery stenosis (ARAS) is a condition in which the renal arteries narrow due to atherosclerosis, which leads to a decrease in blood flow to the kidneys and various renal complications. The effectiveness of interventional treatments such as renal artery angioplasty and stenting remains a matter of debate, making it difficult to select patients for these procedures.

This review is devoted to the diagnosis and treatment of ARAS with special emphasis on the potential role of functional magnetic resonance imaging (MRI) in the assessment of renal function and the mechanisms of its development. Summarizing modern approaches to diagnosis and the results of interventional treatment, the review emphasizes the importance of making informed clinical decisions in the management of ARAS. Functional MRI is becoming a promising non-invasive tool for assessing kidney function, helping in patient stratification and treatment planning.

Main conclusions: The effectiveness of interventional methods of treatment of ARAS requires further study and careful selection of patients. Functional MRI is a promising non-invasive method for assessing kidney function and mechanisms that can become the basis for making more effective clinical decisions in the treatment of ARAS. Further research in the field of diagnostic methods, in particular functional MRI, can expand our understanding and improve the results of treatment of ARAS.

Key words: blood vessels, kidney, renal artery stenosis, MRI.

Атеросклеротический стеноз почечных артерий (АСПА) определяется как образование почечных атеросклеротических бляшек, приводящих к сужению магистральных почечных артерий или их ветвей [1]. АСПА является основной причиной стеноза почечных артерий (СПА). Распространенность данного заболевания составляет примерно 7% среди пожилых людей в возрасте 65 лет и старше и до 20% среди лиц с сахарным диабетом и вторичной артериальной гипертензией [2]. Тяжелый СПА проявляется снижением кровотока с последующей активацией ренин-ангиотензиновой системы, снижением скорости клубочковой фильтрации, тубулоинтерстициальным фиброзом, что приводит к серьезным осложнениям, таким как вторичная артериальная гипертензия, ишемическая нефропатия, дисфункция левого желудочка, отек легких и церебросердечно-сосудистые осложнения [3]. Анатомически устранение сужения почечных артерий, восстановление притока крови к почкам и ингибирование активированной ренин-ангиотензиновой системы позволило бы контролировать артериальную гипертензию, улучшить функцию почек и снизить риск сердечно-сосудистых осложнений [4,5]. Однако среди клиницистов сохраняются разногласия относительно улучшения функции почек и антигипертензивного эффекта после стентирования почечной артерии по поводу СПА [6,7]. Три крупных рандомизированных контролируемых исследования (сердечно-сосудистые исходы при стенозе почечной артерии [CORAL], реваскуляризация в сравнении с медикаментозной терапией при стенозе почечной артерии

[ASTRAL], установка стента пациентам с атеросклеротическим стенозом почечной артерии и нарушением функции почек [STAR]) продемонстрировали, что ангиопластика почечной артерии не показала эффективности с точки зрения контроля состояния сосудов по сравнению с медикаментозной терапией [8-10]. Вышеуказанные результаты были поставлены под сомнение из-за неравномерного распределения (несколько случаев с выраженным стенозом) пациентов, что исключало пациентов, которым потенциально могла бы помочь интервенционная терапия [11]. Многочисленные небольшие исследования показали, что пациенты с АСПА с серьезными осложнениями, такими как резистентная артериальная гипертензия и быстрое снижение функции почек, с большей вероятностью получают пользу от интервенционного лечения [12-15].

Таким образом, клиническая задача заключается в отборе пациентов с потенциальной пользой для разработки клинически оптимизированных вариантов лечения СПА. Методы визуализации, такие как магнитно-резонансная ангиография (МРТ), компьютерная томография-ангиография (КТА) или ультразвуковая доплерография, имеют решающее значение в диагностике СПА [16].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) отличается неинвазивностью, отсутствием радиационной нагрузки и многопараметрическим подходом, обладающим потенциалом для будущих функциональных применений [17]. Традиционно МРТ с контрастным усилением может улучшить контрастность изображения, но ее применение у пациентов с СПА ограниче-

но из-за риска развития фиброза почек, вызванного контрастными веществами [18].

В данной статье будет представлен обзор современной диагностики АСПА и функциональной оценки почек с помощью МРТ, а также освещены перспективы дальнейших исследований.

Диагностическая ценность МРТ при СПА

Дооперационная оценка степени СПА важна для определения вариантов лечения [17]. В настоящее время компьютерная томография-ангиография (КТА) является высокочувствительным скрининговым инструментом для предоперационной ангиографии почек [19]. Однако КТА сопряжена с риском радиационного облучения, требует применения экзогенных контрастных веществ, которые потенциально нефротоксичны, и не может быть выполнена у пациентов с аллергией на йодистые контрастные вещества [20]. Напротив, МРТ обладает такими преимуществами, как отсутствие ионизирующего излучения, высокая повторяемость и низкая частота побочных реакций на гадолиниевые контрастные вещества [20].

МРТ почечных артерий подразделяется на МРТ с контрастированием и МРТ без контрастирования (NCE-MRA). Однако сканирование с контрастированием не рекомендуется пациентам с почечной недостаточностью, поскольку оно может привести к нефрогенному фиброзу, что ограничивает его применение [18]. В крупнейшем на сегодняшний день исследовании, в которое были включены для анализа 400 почечных артерий от 201 пациента, соответствие между NCE-MRA и МРТ с контрастным усилением для выявления СПА было высоким ($p < 0,001$) [22]. Результаты исследования предполагают, что NCE-MRA является альтернативным методом оценки СПА. МРТ без контрастирования (NCE-MRA) все чаще используется для оценки состояния почечных сосудов. В настоящее время для визуализации почечных артерий широко используется стационарная МРТ без прецессии, обладающая превосходным соотношением сигнал/шум и пространственным разрешением. Согласно ее принципу, контрастность ткани зависит от соотношения сигналов T2/T1 [23]. Мягкие ткани демонстрируют гипоинтенсивность из-за близости значений T2 и T1, в то время как жидкость кажется гиперинтенсивной из-за длительного T2 и более высокого соотношения T2/T1. Таким образом, наблюдается хороший контраст между кровью и мягкими тканями [23]. Предыдущее исследование продемонстрировало, что этот метод обладает

высокой диагностической ценностью при СПА, его чувствительность и специфичность варьируют от 72 до 98% [24].

Артериальная спиновая маркировка для оценки функции почек

При артериальной спиновой маркировке (ASL) используются протоны водорода в артериальной крови в качестве эндогенного контрастного вещества, а сигнал T1 в исследуемой области ткани до и после маркировки вычитается для получения перфузионного контраста, тем самым получая значение красного кровотока (RBF) для оценки почечной перфузии [30]. Преимущество заключается в том, что этот метод маркировки позволяет неинвазивно оценивать количественную перфузию тканей без использования экзогенных контрастных веществ. Артериальную спиновую маркировку (ASL) подразделяют на импульсную артериальную спиновую маркировку, непрерывную артериальную спиновую маркировку и псевдонепрерывную артериальную спиновую маркировку [31]. В 2020 году опубликован консенсус по почечной ASL, который показал, что псевдонепрерывная маркировка артериального вращения в сочетании с последовательностью подавления фоновой инверсии обладает хорошей повторяемостью и высоким отношением сигнал/шум изображения, что делает ее применимой для клинических исследований [29]. В настоящее время ASL предварительно применяется для диагностики острого и хронического повреждений почек [16], обструктивного гидронефроза [33], опухоли почки [34], почечного аллотрансплантата [35] и СПА [36]. Значения кортикального RBF были ниже у пациентов с хронической болезнью почек, чем у здоровых добровольцев ($p < 0,01$), и эти значения RBF положительно коррелировали с расчетной скоростью клубочковой фильтрации [35]. Показатели RBF почек были заметно ниже у пациентов с тяжелым СПА (145 ± 59 мл/100 г/мин) и значительно отличались от пациентов без СПА или с легкой (240 ± 33 мл/100 г/мин), умеренной (216 ± 61 мл/100 г/мин) СПА и почечной недостаточностью. Кроме того, были выявлены значимая отрицательная корреляция между уровнем перфузии и степенью стеноза и значимая положительная корреляция с показателями перфузии, измеренными с помощью однофотонной эмиссионной компьютерной томографии [40].

Визуализация, зависящая от уровня оксигенации крови для оценки функции почек

Магнитно-резонансная томография, зависящая от уровня оксигенации крови (BOLD-

МРІ), – это быстрый метод визуализации, который без использования контрастных веществ позволяет неинвазивно контролировать оксигенацию тканей и может использоваться повторно в течение короткого промежутка времени [41]. Магнитно-резонансная томография, зависящая от уровня оксигенации крови, использует для визуализации изменения небольшого магнитного поля в локальных тканях, вызванных парамагнитным дезоксигемоглобином в крови, и количественно оценивает концентрацию дезоксигемоглобина в ткани с кажущейся скоростью спин-спиновой релаксации ($R2^*$, $R2^* = 1/T2^*$) [31]. Величина $R2^*$ прямо пропорциональна концентрации дезоксигемоглобина в ткани и обратно пропорциональна концентрации оксигемоглобина [32]. Поскольку концентрации зависят от парциального давления кислорода, парциальное давление кислорода в тканях может быть косвенно оценено путем измерения изменения значений $R2^*$ [33].

В одном из исследований [34] было обнаружено, что значения $R2^*$ в корковом и мозговом веществе почек хорошо коррелируют с парциальным давлением кислорода в тканях и наоборот. BOLD-MPT может определить повреждение кортикомедуллярной системы почек при СПА путем измерения значений $R2^*$. В экспериментальном исследовании на животных [35] наблюдалось резкое увеличение значений почечного кортикомедуллярного $R2^*$ после отсечения почечной артерии, однако уровень $R2^*$ снизился после 4-х недель отсечения. Это связано с полной атрофией и потерей функции почки после длительного пережатия почечной артерии, что препятствует точному измерению значений $R2^*$. Таким образом, был сделан вывод, что BOLD-MPT нельзя использовать для диагностики пациентов с завершённой почечной атрофией. Когда RBF и eGRF снижались у пациентов с СПА, изменение значений почечного кортикомедуллярного $R2^*$ не было очевидным у пациентов с СПА легкой и умеренной степени тяжести, и значения $R2^*$ оставались прежними при повторном измерении через 3 месяца. Однако значения почечного кортикомедуллярного $R2^*$ были значительно выше у пациентов с тяжелым СПА (более чем у 60%) [36]. Это говорит о том, что содержание кислорода в почках может оставаться стабильным, когда СПА не является тяжелым, тогда как тяжелый стеноз вызывает сильную гипоксию в корковом и мозговом веществе, что приводит к снижению функции почек [17]. В 2022 году Lal H. и соавт. [27] применили BOLD-MPT для сравне-

ния значений $R2^*$ в почках с постстенозом, с контралатеральными почками, с почками пациентов с эссенциальной гипертензией и почками здоровых людей. В исследование были включены четыре группы почек, в том числе 92 почки с СПА, 37 контралатеральных почек от пациентов с односторонним СПА, 62 почки от пациентов с эссенциальной гипертензией и 40 почек из контрольной группы здоровых людей. Были рассчитаны и сравнены изменения $R2^*$ до и после приема фуросемида в разных группах. Результаты не выявили различий в исходных значениях кортикального $R2^*$ между группами. Реакция почек со стенозом на фуросемид была снижена по сравнению с таковой в группе пациентов с эссенциальной гипертензией и в контрольной группе здоровых людей ($p < 0,001$). В подгруппе с уменьшенным объемом почек более высокие средние значения кортикального $R2^*$ наблюдались в почках на стороне стеноза почечной артерии. В исследовании был сделан вывод о том, что значения $R2^*$ на BOLD-MPT заметно различались между почками с СПА и без него, и было высказано предположение, что BOLD-MPT имеет прогностическую ценность для реваскуляризации [26].

Li X. и соавт. [28] провели проспективное исследование трансплантированных почек с целью измерения изменений перфузии и оксигенации в трансплантированной почке с помощью ASL и BOLD-MPT соответственно. В ходе исследования были проведены ASL и BOLD-MPT у 7 реципиентов с СПА и у 7 реципиентов нормальной почки, соответствующих по возрасту и полу. В группе реципиентов с СПА кортикальная перфузия была значительно ниже с точки зрения ASL по сравнению с контрольной группой ($129,9 \pm 46,6$ мл/100 г против $202,4 \pm 47,7$ мл/100 г, $p = 0,01$) [39]. Интересно, что при проведении BOLD-MPT не было выявлено статистически значимой разницы. Однако объем выборки в этом исследовании был небольшим, и выводы исследования нуждаются в дополнительном подтверждении. Таким образом, BOLD-MPT представляет собой неинвазивный метод оценки состояния оксигенации почек у пациентов с СПА и почечной недостаточностью. В настоящее время лишь в ограниченном числе исследований BOLD-MPT использовалась для оценки состояния оксигенации при неопухолевых заболеваниях почек. Однако на стабильность результатов BOLD-MPT влияют режим питья, потребление натрия и повышенная неоднородность магнитного поля из-за артефактов движения брюшной полости (дыхание, перистальтика

желудочно-кишечного тракта, пульсация магистральных сосудов и т.д.) и газов в пищеварительном тракте [20]. Таким образом, применение BOLD-MRI у пациентов с СПА имеет ограничения.

Математическая модель для диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии (DW-MPT) почек

Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография (DW-MPT) – это неинвазивный метод визуализации, который облегчает обнаружение нерегулярного броуновского движения молекул воды в живых тканях [12]. Значение коэффициента диффузии (ADC) в направлении градиентов диффузии часто используется для измерения диффузионной способности молекул воды в живых организмах в физиологических условиях, причем чем выше значение ADC, тем свободнее диффузия молекул воды и тем больше диапазон их движения [33]. Печка с ее высоким содержанием воды, активной молекулярной диффузией и обильным кровоснабжением является идеальным органом для применения диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии (DWI) [24]. Функции клубочковой фильтрации, реабсорбции и секреции тесно связаны с транспортировкой молекул воды. В результате почки являются одним из идеальных органов для применения DWI. Теоретическая основа традиционной модели ADC заключается в предположении о том, что движение молекул воды в организме человека нормально распределено, в то время как на самом деле большинство тканей демонстрируют сложное поведение из-за межклеточной структуры, степени внутри- и внеклеточных ограничений, проницаемости клеточной мембраны и различий в физико-химических свойствах свободной и связанной воды. При этом происходит фактическое ослабление сигнала с отклонением от линейного распределения при $b > 1000 \text{ с/мм}^2$ [22]. Дополнительной моделью является внутри-воксельное некогерентное движение (IVIM), еще одно математическое представление для DWI [55]. IVIM является дополнением к традиционному DWI, поскольку позволяет отделить микроциркуляторную перфузию от диффузии молекул воды с помощью метода DWI, использующего множественные значения b и биекспоненциальную подгонку кривых ослабления сигнала для получения истинного коэффициента диффузии (D), псевдодиффузионного коэффициента (D^*) и доли перфузии (f) [35], где D – значение параметра, измеряющее истинную диффузию молекул воды, а

D^* – значение параметра, связанное с микроциркуляторной перфузией в пределах вокселя, f – это отношение микроциркуляторной перфузии в пределах воксельного потока жидкости в канальцах к общему эффекту диффузии [25].

Основными патологическими проявлениями атеросклеротической нефропатии являются гломерулосклероз и тубулоинтерстициальный фиброз [26,27]. Эти гистологические изменения могут привести к диффузии молекул воды в почках и изменению перфузии крови, и IVIM способен чувствительно выявлять эти аномальные изменения. Что касается функциональной визуализации СПА, IVIM был изучен в меньшей степени, поскольку большинство ранних исследований проводилось на животных [37,38], а научно обоснованных исследований по его использованию при СПА недостаточно. Однако IVIM был изучен при диабетической нефропатии и остром повреждении почек. Согласно Feng Y.Z. и соавт. [35], у пациентов с сахарным диабетом с нормальным отношением альбумина к креатинину в моче были значительно снижены значения D в кортикострулярном отделе почек и значительно повышены значения f и D^* в корковом веществе. Это открытие позволяет предположить, что почка имела ограниченную диффузию молекул воды и находилась в состоянии гиперперфузии до того момента, когда клинически была обнаружена аномальная альбуминурия. По мере прогрессирования заболевания до стадии микроальбуминурии значения D в корковом веществе почек, так и значения f в медулярном веществе снижаются, в то время как значения f в корковом веществе продолжает увеличиваться, что указывает на то, что кора почек обладает определенным резервом на случай повреждения. Deng Y. и соавт. [30] предположили, что значения f и D являются визуализирующими показателями для оценки раннего диабетического заболевания почек. Снижение значения D может быть связано с уменьшением внеклеточного пространства, вызванным такими изменениями, как утолщение базальной мембраны клубочков, набухание клеток канальцевого эпителия и пролиферация мезангиальных клеток и т. д. В то время как ранние патологические изменения, такие как увеличение скорости клубочковой фильтрации, канальцевого и внутриклубочкового оттока жидкости, могут вызывать увеличение в значениях f ; разница в этом исследовании заключается в том, что нет статистической разницы в значениях D^* . Причины этого в том, что изменения плотности почечных капилляров не

очевидны на ранних стадиях заболевания. Необходимо увеличить повторяемость измерений D^* . Приведенные выше результаты показывают, что IVIM может неинвазивно и количественно отражать информацию о функции и микроструктуре почек. В будущем необходимы многоцентровые исследования с оптимизированными параметрами и большими объемами выборок, чтобы подтвердить ценность DW-MPT при заболеваниях почек.

Радиомика МРТ и глубокое обучение – это новейший метод компьютерной постобработки изображений и интеллектуального анализа больших объемов данных. Благодаря достижениям в области распознавания образов и методов обработки изображений, радиомика предоставляет доступ к более объективным и количественным признакам, которые трудно идентифицировать невооруженным глазом по сравнению с традиционными фенотипическими признаками при визуализации [31,32]. Хроническая болезнь почек представляет собой группу разнородных заболеваний, которые приводят к изменениям функции почек. Эти изменения приводят к различным сигналам в различных областях почек и сигналы меняются в ответ на изменения функции почек [33]. Применение методов искусственного интеллекта (ИИ) для функциональной визуализации поможет улучшить диагностику заболеваний и определить ее эффективность, что улучшит оценку прогноза [34]. В 2021 году Liang F. и соавт. [31] провели контролируемое исследование здоровых новозеландских кроликов и новозеландских кроликов с перерезанными почечными артериями, извлекая параметры анализа текстуры функциональной визуализации МРТ для оценки раннего почечного ишемически-реперфузионного повреждения. Это исследование подтвердило, что показатель обратной дифференцировки $T2WI_S$ (3,-3) наиболее сильно коррелирует с разрушением щеточной каймы, отеком эпителия почечных канальцев, гипоксией и некрозом ($r = 0,56, -0,58, 0,62$ и

$0,69$ соответственно; все значения $p < 0,001$). Корреляция (4, -4) показала наиболее сильную зависимость от инфильтраций интерстициальных воспалительных клеток ($r = 0,63, p < 0,001$). Показатель SWI_S (4,4) $Difference_Entropy$ наиболее сильно коррелировал с плотностью микрососудов ($r = 0,61, p < 0,001$). В вышеупомянутом исследовании в основном использовался текстурный анализ, но отсутствовала многоцентровая группа валидации и было меньше параметров для анализа текстуры [31].

Цифровая субтракционная ангиография является золотым стандартом диагностики и может использоваться в качестве инструмента реваскуляризации в ходе лечения [25].

Ультразвуковая доплерография является одним из распространенных методов скрининга СПА с количественными параметрами [36].

До настоящего времени было проведено ограниченное количество исследований, посвященных использованию нескольких методов или нескольких параметров для оценки результатов лечения пациентов. Возможности использования разных методов визуализации почек с исследованием функции органа может помочь в повышении эффективности лечения.

Заключение

Интервенционное лечение атеросклеротического стеноза почечных артерий (АСПА) является спорным. В будущем мы планируем проводить выборочный скрининг пациентов, наиболее подходящих для последующих исследований, чтобы помочь в разработке клинически оптимизированных вариантов лечения пациентов с СПА для защиты функции почек. Функциональная магнитно-резонансная томография добилась значительных успехов в исследованиях почечной ткани. С развитием больших объемов данных в медицине функциональная МРТ в сочетании с искусственным интеллектом имеет хорошие перспективы применения при диагностике атеросклеротической нефропатии и в интервенционном лечении АСПА.

Сведения об авторах статьи:

Докаева Танса Султановна – к.м.н., ассистент кафедры нормальной и топографической анатомии с оперативной хирургией ФГБОУ ВО «ЧГУ им. А.А. Кадырова». Адрес: 364024, г. Грозный, ул. А. Шерипова, 32. E-mail: yourtai@ya.ru.

Кафаров Эдгар Сабирович – д.м.н., профессор, зав. кафедрой нормальной и топографической анатомии с оперативной хирургией ФГБОУ ВО «ЧГУ им. А.А. Кадырова». Адрес: 364024, г. Грозный, ул. А. Шерипова, 32. E-mail: edgar.kafaroff@yandex.ru.

Вагабов Ислам Узгенбайевич – к.м.н., ст. преподаватель кафедры нормальной и топографической анатомии с оперативной хирургией ФГБОУ ВО «ЧГУ им. А.А. Кадырова». Адрес: 364024, г. Грозный, ул. А. Шерипова, 32. E-mail: malsi_85@mail.ru.

Удочкина Лариса Альбертовна – д.м.н., профессор, зав. кафедрой анатомии ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России. Адрес: 414024, г. Астрахань, ул. Бакинская, 121. E-mail: udochkin-lk@mail.ru.

Куртусунов Баговдин Толегенович – д.м.н., профессор, зав. кафедрой патологической анатомии ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России. Адрес: 414024, г. Астрахань, ул. Бакинская, 121. E-mail: багаага@mail.ru.

Федоров Сергей Владимирович – д.м.н., профессор кафедры хирургии и эндоскопии ИРО ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: fedorov707@mail.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dobrek L. An outline of renal artery stenosis pathophysiology-a narrative review. // *Life* – 2021. – 11(3) – P. 208.
2. Mishima E. Selection of patients for angioplasty for treatment of atherosclerotic renovascular disease: pre- dicting responsive patients./ Mishima E., Suzuki T., Ito S.// *Am J Hypertens* – 2020. – 33(5) – P.391–401.
3. Triantis G. Renal artery revascularization is a controversial treatment strategy for renal artery stenosis: a case series and a brief review of the current literature. /Triantis G., Chalikias G.K., Ioannidis E., Dagre A., Tziakas D.N. // *Hellenic J Cardiol* – 2022. – 65 – P. 42-8.
4. Schoepe R. Atherosclerotic renal artery stenosis./ Schoepe R., McQuillan S., Valsan D., Teehan G., [et al.] // *Adv Exp Med Biol*. – 2017. – 956 – P. 2609–13.
5. Prince M. When and how should we revascularize patients with atherosclerotic renal artery stenosis?/ Prince M., Tafur J.D., White C.J. // *JACC Cardiovasc Interv*– 2019. –12(6) – P. 505–17.
6. Reinhard M. Renal artery stenting in consecutive high risk patients with atherosclerotic renovascular disease: a prospective 2-center cohort study./ Reinhard M., Schousboe K., Andersen UB., Buus N.H., Rantanen J.M., Bech. J.N., [et al.] // *J Am Heart Assoc*. – 2022. – 11(7). – P. 421.
7. Bhalla V. Revascularization for renovascular disease: a scientific statement from the American Heart Association./ Bhalla V., Textor S.C., Beckman J.A., Casanegra A.I., Cooper C.J., Kim E.S.H., et al. // *Hypertension*. 2022. –79(8) – P. 128–43.
8. Kablak-Ziembicka A. Simple clinical scores to predict blood pressure and renal function response to renal artery stenting for atherosclerotic renal artery stenosis./ Kablak-Ziembicka A., Roslawiecka A., Badacz R., Sokołowski A., Rzeźnik D., Trystuła M., [et al.] // *Pol Arch Intern Med*. – 2020. –130(11) – P. 953–9.
9. Badacz R. The maintained glycemic target goal and renal function are associated with cardiovascular and renal outcomes in diabetic patients following stent-supported angioplasty for renovascular atherosclerotic disease./ Badacz R., Kablak-Ziembicka A., Roslawiecka A., Rzeźnik D., Baran J., Trystuła M., [et al.] // *J Pers Med*. – 2022. – 12(4) – P. 537.
10. Mao W. Capability of arterial spin labeling and intravoxel incoherent motion diffusion weighted imaging to detect early kidney injury in chronic kidney disease. / Mao W., Ding Y., Ding X., Fu C., Cao B., Kuehn B., [et al.] // *Eur Radiol*. – 2023. – 33(5) – P. 3286–94.
11. Park B.K. Gray-scale, color Doppler, spectral Doppler, and contrast-enhanced renal artery ultrasound: imaging techniques and features.// *J Clin Med*. – 2022. –11(14) – P. 3961.
12. Aguet J. Contrast-enhanced body magnetic resonance angiography: how we do it. / Aguet J., Gill N., Tassos V.P., Chavhan G.B., Lam C.Z. // *Pediatr Radiol*. – 2022. – 52(2) – P. 262–70.
13. Orman G. Diagnostic sensitivity and specificity of CT angiography for renal artery stenosis in children. / Orman G., Masand P.M., Kukreja KU., Acosta A.A., Guillerman R.P., Jadhav S.P. // *Pediatr Radiol*. – 2021. – 51(3) – P. 419–26.
14. Guo X. Renal artery assessment with non-enhanced MR angiography versus digital subtraction angiography: comparison between 1.5 and 3.0 T./ Guo X., Gong Y., Wu Z., Yan F, Ding X., Xu X. // *Eur Radiol*. – 2020. –30(3) – P.1747–54.
15. Lal H. Non-contrast MR angiography versus contrast enhanced MR angiography for detection of renal artery stenosis: a comparative analysis in 400 renal arteries./ Lal H., Singh R.K.R., Yadav P., Yadav A., Bhaduria D., Singh A. // *Abdom Radiol*. – 2021.–46(5) – P. 2064–71.
16. Morita K. Non contrast renal MRA using multishot gradient echo EPI at 3T MRI/ Morita K., Nakaura T., Yoneyama M., Nagayama Y., Kidoh M., Uetani H., [et al.] // *Eur Radiol*. – 2021. – 31(8) – P. 5959–66.
17. Eirin A. Emerging paradigms in chronic kidney ischemia. / Eirin A., Textor S.C., Lerman L.O.// *Hypertension*. – 2018.–72(5) – P.1023–30.
18. Lin Z. Prediction of split renal function improvement after renal artery stenting by blood oxygen level-dependent magnetic resonance imaging./ Lin Z., Zhang B., Lin L., Wang R., Niu G., Yan Z., [et al.] // *Front Cardiovasc Med*. –2022. –9 – P.793-777.
19. Nery F. Consensus-based technical recommendations for clinical translation of renal ASL MRI./ Nery F., Buchanan C.E., Hartevelde A.A., Odudu A., Bane O., Cox E.F., [et al.] // *Magma*. – 2020. – 33(1) – P.141–61.
20. Kishida T. Editorial Comment to Magnetic resonance imaging of in vitro urine flow in single and tandem stented ureters subject to extrinsic ureteral obstruction.// *Int J Urol*. –2022. –29(10) – P.1227.
21. Zhang H.M. Arterial spin labeling MRI for predicting microvascular invasion of T1 staging renal clear cell carcinoma preoperatively./ Zhang H.M., Wen D.G., Wang Y., Bao Y.G., Yuan Y., Chen Y.T., [et al.] // *Front Oncol*. – 2021. –№11 – P. 644-975.
22. Chhabra J. The role of arterial spin labeling functional MRI in assessing perfusion impairment of renal allografts: a systematic review./ Chhabra J., Karwarker G.V., Rajamanuri M., Maligireddy A.R., Dai E., Chahal M., [et al.] // *Cureus*. – 2022. – 14(5) – P. 254-28.
23. Romero C.A. Noninvasive measurement of renal blood flow by magnetic resonance imaging in rats./ Romero C.A., Cabral G., Knight R.A., Ding G., Peterson E.L., Carretero O.A. // *Am J Physiol Ren Physiol*. – 2018. –314(1) – P. 99–106.
24. Yin L. The value of magnetic resonance blood oxygen level-dependent imaging in evaluating the efficacy of advanced cervical cancer combined with radiotherapy and chemotherapy./ Yin L., Zhuang X., Li J.L.// *Acta Radiol*. –2022. – №4 – P. 284-302.
25. Magawa S. Evaluation of placental oxygenation index using blood oxygen level-dependent magnetic resonance imaging (BOLD-MRI) during normal late pregnancy./ Magawa S., Nii M., Ishida M., Takase S., Nakayama R., Enomoto N., [et al.] // *J Matern Fetal Neonatal Med*. – 2022.–35(25) – P. 5274–81.
26. You W. Hemodynamic responses of the placenta and brain to maternal hyperoxia in fetuses with congenital heart disease by using blood oxygen-level dependent MRI/ You W., Andescavage N.N., Kapse K., Donofrio M.T., Jacobs M., Limperopoulos C. // *Radiology*. – 2020. – 294(1) – P.141–8.
27. Lal H. Role of blood oxygen level dependent magnetic resonance imaging in studying renal oxygenation changes in renal artery stenosis./ Lal H., Singh P., Ponmalai K, Prasad R., Singh S.P., Yadav P., [et al.] // *Abdom Radiol*. – 2022. – 47(3) – P.1112–23.
28. Li X. Perfusion and oxygenation in allografts with transplant renal artery stenosis: evaluation with functional magnetic resonance imaging./ Li X., Wang W., Cheng D., Yu Y., Wu Q., Ni X., [et al.] // *Clin Transpl*. – 2022. –36(11)– P. 4806.
29. Fu J. Diffusion kurtosis imaging in the pre diction of poor responses of locally advanced gastric cancer to neoadjuvant chemotherapy./ Fu J., Tang L., Li Z.Y., Li X.T., Zhu H.F., Sun Y.S., et al. // *Eur J Radiol*. – 2020. –128–p.108-974.
30. Le Bihan D. What can we see with IVIM MRI?// *Neuroimage*. – 2019. –187– P. 56–67.
31. Liang P. Noninvasive assessment of kidney dysfunction in children by using blood oxygenation level-dependent MRI and intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging./ Liang P., Chen Y., Li S., Xu C., Yuan G., Hu D., [et al.] // *Insights Imaging*. –2021.– 21;12(1): – P.146.
32. L.E. Bihan. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders./ L.E. Bihan D, Breton E., Lallemand D., Grenier. P, Cabanis E., Laval-Jeantet M. // *Radiology*. –1986. –161(2) – P. 401–7.
33. Herrmann S.M. Renovascular hypertension./ Herrmann S.M., Textor S.C. // *Endocrinol Metab Clin North Am*. – 2019. – 48(4) – P. 765–78.
34. Milani B. Image acquisition for intravoxel incoherent motion imaging of kidneys should be triggered at the instant of maximum blood velocity: evidence obtained with simulations and in vivo experiments./ Milani B., Ledoux J.B., Rotzinger D.C., Kanemitsu M., Vallée J.P., Burnier M., [et al.] // *Magn Reson Med*. –2019. –81(1) – P. 583–93.
35. Feng Y.Z. Intravoxel incoherent motion (IVIM) at 3.0 T: evaluation of early renal function changes in type 2 diabetic patients./ Feng Y.Z., Chen X.Q., Yu J., Liu X.L., Cheng Z.Y., Ren W.W., [et al.] // *Abdom Radiol*. – 2018. – 43(10). – P. 2764–73.
36. Ge X.Y. Diagnostic accuracy of ultrasoundbased multimodal radiomics modeling for fibrosis detection in chronic kidney disease./ Ge X.Y., Lan Z.K., Lan Q.Q., Lin H.S., Wang G.D., Chen J. // *Eur Radiol*. –2023. –33(4) – P. 2386–98.
37. Feng C. Artificial intelligence in renal pathology: current status and future. / Feng C., Liu F. // *Bosn J Basic Med Sci*. –2022. –14. – P. 26-34.

38. Alfieri F. External validation of a deep-learning model to predict severe acute kidney injury based on urine output changes in critically ill patients./ Alfieri F., Ancona A., Tripepi G., Randazzo V., Paviglianiti A., Pasero E, et al. // *J Nephrol.* –2022. – 35(8) – P. 2047–56.
39. Pan L. Evaluation of renal ischemia-reperfusion injury by magnetic resonance imaging texture analysis: an experimental study./ Pan L., Chen J., Zha T., Zou L., Zhang J., Jin P., [et al.] // *Magn Reson Med.* – 2021. –85(1) – P. 346–56.
40. Liang F. Using angiographic para- metric imaging-derived radiomics features to predict complications and embolization outcomes of intracranial aneurysms treated by pipeline embolization devices./ Liang F., Ma C., Zhu H., Liu L., Liang S., Jiang P., [et al.] // *J Neurointerv Surg.* –2022. –14(8) – P. 826–31.

REFERENCES

- Dobrek L. An outline of renal artery stenosis pathophysiology-a narrative review. // *Life* – 2021. – 11(3) – P. 208.(in Engl)
- Mishima E. Selection of patients for angioplasty for treatment of atherosclerotic renovascular disease: pre- dicting responsive patients./ Mishima E., Suzuki T., Ito S.// *Am J Hypertens* – 2020. – 33(5) – P.391–401.(in Engl)
- Triantis G. Renal artery revascularization is a controversial treatment strategy for renal artery stenosis: a case series and a brief review of the current literature. /Triantis G., Chalikiak G.K., Ioannidis E., Dagre A., Tziakas D.N. //Hellenic J Cardiol – 2022. – 65– P. 42-8.(in Engl)
- Schoepe R. Atherosclerotic renal artery stenosis./ Schoepe R., McQuillan S., Valsan D., Teehan G., et al. // *Adv Exp Med Biol.* – 2017. – 956. – P. 2609–13.(in Engl)
- Prince M. When and how should we revascularize patients with atherosclerotic renal artery stenosis?/ Prince M., Tafur J.D., White C.J. // *JACC Cardiovasc Interv*– 2019. –12(6) – P. 505–17.(in Engl)
- Reinhard M. Renal artery stenting in consecutive high risk patients with atherosclerotic renovascular disease: a prospective 2-center cohort study./ Reinhard M., Schousboe K., Andersen UB., Buus N.H., Rantanen J.M., Bech. J.N., [et al.] // *J Am Heart Assoc.* – 2022. – 11(7). – P. 421.(in Engl)
- Bhalla V. Revascularization for renovascular disease: a scientific statement from the American Heart Association./ Bhalla V., Textor S.C., Beckman J.A., Casanegra A.I., Cooper C.J., Kim E.S.H., et al. // *Hypertension.* 2022. – 79(8) – P. 128–43.(in Engl)
- Kablak-Ziembicka A. Simple clinical scores to predict blood pressure and renal function response to renal artery stenting for atherosclerotic renal artery stenosis./ Kablak-Ziembicka A., Roslawiecka A., Badacz R., Sokołowski A., Rzeźnik D., Trystuła M., [et al.] // *Pol Arch Intern Med.* – 2020. –130(11) – P. 953–9.(in Engl)
- Badacz R. The maintained glycemic target goal and renal function are associated with cardiovascular and renal outcomes in diabetic patients following stent-supported angioplasty for renovascular atherosclerotic disease./ Badacz R., Kablak-Ziembicka A., Roslawiecka A., Rzeźnik D., Baran J., Trystuła M., [et al.] // *J Pers Med.* – 2022. – 12(4) – P. 537.(in Engl)
- Mao W. Capability of arterial spin labeling and intravoxel incoherent motion diffusion weighted imaging to detect early kidney injury in chronic kidney disease. / Mao W., Ding Y., Ding X., Fu C., Cao B., Kuehn B., [et al.] // *Eur Radiol.* – 2023. – 33(5) – P. 3286–94.(in Engl)
- Park B.K. Gray-scale, color Doppler, spectral Doppler, and contrast-enhanced renal artery ultrasound: imaging techniques and features.// *J Clin Med.* – 2022. – 11(14) – P. 3961.(in Engl)
- Aguet J. Contrast-enhanced body magnetic resonance angiography: how we do it. / Aguet J., Gill N., Tassos V.P., Chavhan G.B., Lam C.Z. // *Pediatr Radiol.* – 2022. – 52(2) – P. 262–70.(in Engl)
- Orman G. Diagnostic sensitivity and specificity of CT angiography for renal artery stenosis in children. / Orman G., Masand P.M., Kukreja K.U., Acosta A.A., Guillerman R.P., Jadhav S.P. // *Pediatr Radiol.* – 2021. – 51(3) – P. 419–26 (in Engl).
- Guo X. Renal artery assessment with non-enhanced MR angiography versus digital subtraction angiography: comparison between 1.5 and 3.0 T./ Guo X., Gong Y., Wu Z., Yan F., Ding X., Xu X. // *Eur Radiol.* – 2020. –30(3) – P.1747–54 (in Engl).
- Lal H. Non-contrast MR angiography versus contrast enhanced MR angiography for detection of renal artery stenosis: a comparative analysis in 400 renal arteries./ Lal H., Singh R.K.R., Yadav P., Yadav A., Bhadauria D., Singh A. // *Abdom Radiol.* – 2021.–46(5) – P. 2064–71 (in Engl).
- Morita K. Non contrast renal MRA using multishot gradient echo EPI at 3T MRI/ Morita K., Nakaura T., Yoneyama M., Nagayama Y., Kidoh M., Uetani H., [et al.] // *Eur Radiol.* – 2021. – 31(8) – P. 5959–66.(in Engl)
- Eirin A.. Emerging paradigms in chronic kidney ischemia. / Eirin A., Textor S.C., Lerman L.O.// *Hypertension.* – 2018.–72(5) – P.1023–30 (in Engl).
- Lin Z. Prediction of split renal function improvement after renal artery stenting by blood oxygen level-dependent magnetic resonance imaging./ Lin Z., Zhang B., Lin L., Wang R., Niu G., Yan Z., et al. // *Front Cardiovasc Med.* – 2022. –9 – P.793-777 (in Engl).
- Nery F. Consensus-based technical recommendations for clinical translation of renal ASL MRI./ Nery F., Buchanan C.E., Hartevelde A.A., Odudu A., Bane O., Cox E.F., [et al.]// *Magma.* – 2020. – 33(1) – P.141–61 (in Engl).
- Kishida T. Editorial Comment to Magnetic resonance imaging of in vitro urine flow in single and tandem stented ureters subject to extrinsic ureteral obstruction.// *Int J Urol.* –2022. – 29(10) – P.1227 (in Engl).
- Zhang H.M. Arterial spin labeling MRI for predicting microvascular invasion of T1 staging renal clear cell carcinoma preoperatively./ Zhang H.M., Wen D.G., Wang Y., Bao Y.G., Yuan Y., Chen Y.T., et al. // *Front Oncol.* – 2021. – №11 – P. 644-975 (in Engl).
- Chhabra J. The role of arterial spin labeling functional MRI in assessing perfusion impairment of renal allografts: a systematic review./ Chhabra J., Karwarker G.V., Rajamanuri M., Maligireddy A.R., Dai E., Chahal M., [et al.] // *Cureus.* – 2022.– 14(5) – P. 254-28 (in Engl).
- Romero C.A. Noninvasive measurement of renal blood flow by magnetic resonance imaging in rats./ Romero C.A., Cabral G., Knight R.A., Ding G., Peterson E.L., Carretero O.A. // *Am J Physiol Ren Physiol.* – 2018. –314(1) – P. 99–106 (in Engl).
- Yin L. The value of magnetic resonance blood oxygen level-dependent imaging in evaluating the efficacy of advanced cervical cancer combined with radiotherapy and chemotherapy./ Yin L., Zhuang X., Li J.L.// *Acta Radiol.* –2022. – №4 – P. 284-302 (in Engl).
- Magawa S. Evaluation of placental oxygenation index using blood oxygen level-dependent magnetic resonance imaging (BOLD-MRI) during normal late pregnancy./ Magawa S., Nii M., Ishida M., Takase S., Nakayama R., Enomoto N., [et al.] // *J Matern Fetal Neonatal Med.* – 2022.–35(25) – P. 5274-81 (in Engl).
- You W. Hemodynamic responses of the placenta and brain to maternal hyperoxia in fetuses with congenital heart disease by using blood oxygen-level dependent MRI./ You W., Andescavage N.N., Kapse K., Donofrio M.T., Jacobs M., Limperopoulos C. // *Radiology.* – 2020. –294(1) – P.141–8 (in Engl).
- Lal H. Role of blood oxygen level dependent magnetic resonance imaging in studying renal oxygenation changes in renal artery stenosis./ Lal H., Singh P., Ponmalai K, Prasad R., Singh S.P., Yadav P., [et al.] // *Abdom Radiol.* – 2022. –47(3) – P.1112–23.(in Engl)
- Li X. Perfusion and oxygenation in allografts with transplant renal artery stenosis: evaluation with functional magnetic resonance imaging./ Li X., Wang W., Cheng D., Yu Y., Wu Q., Ni X., [et al.] // *Clin Transpl.* – 2022. – 36(11). – P. 4806.(in Engl)
- Fu J. Diffusion kurtosis imaging in the prediction of poor responses of locally advanced gastric cancer to neoadjuvant chemotherapy./ Fu J., Tang L., Li Z.Y., Li X.T., Zhu H.F., Sun Y.S., [et al.]// *Eur J Radiol.* – 2020. –128–p.108-974.
- Le Bihan D. What can we see with IVIM MRI?// *Neuroimage.* – 2019.–187– P. 56-67 (in Engl)
- Liang P. Noninvasive assessment of kidney dysfunction in children by using blood oxygenation level-dependent MRI and intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging./ Liang P., Chen Y., Li S., Xu C., Yuan G., Hu D., [et al.]// *Insights Imaging.* –2021– 21;12(1): – P.146.(in Engl)
- L.E. Bihan. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders./ L.E. Bihan D., Breton E., Lallemand D., Grenier. P, Cabanis E., Laval-Jeantet M. // *Radiology.* –1986. –161(2) – P. 401–7.(in Engl)
- Herrmann S.M. Renovascular hypertension./ Herrmann S.M., Textor S.C. // *Endocrinol Metab Clin North Am.* – 2019. –48(4) – P. 765–78.(in Engl)

34. Milani B. Image acquisition for intravoxel incoherent motion imaging of kidneys should be triggered at the instant of maximum blood velocity: evidence obtained with simulations and in vivo experiments./ Milani B., Ledoux J.B., Rotzinger D.C., Kanemitsu M., Vallée J.P., Burnier M., [et al.] // Magn Reson Med. –2019. –81(1) – P. 583-93 (in Engl).
35. Feng Y.Z. Intravoxel incoherent motion (IVIM) at 3.0 T: evaluation of early renal function changes in type 2 diabetic patients./ Feng Y.Z., Chen X.Q., Yu J., Liu X.L., Cheng Z.Y., Ren W.W., [et al.] // Abdom Radiol. –2018. –43(10) – P. 2764-73 (in Engl).
36. Ge X.Y. Diagnostic accuracy of ultrasoundbased multimodal radiomics modeling for fibrosis detection in chronic kidney disease./ Ge X.Y., Lan Z.K., Lan Q.Q., Lin H.S., Wang G.D., Chen J. // Eur Radiol. – 2023. –33(4) – P. 2386-98 (in Engl).
37. Feng C. Artificial intelligence in renal pathology: current status and future. / Feng C., Liu F. // Bosn J Basic Med Sci. –2022. –14. – P. 26-34 (in Engl).
38. Alfieri F. External validation of a deep-learning model to predict severe acute kidney injury based on urine output changes in critically ill patients./ Alfieri F., Ancona A., Tripepi G., Randazzo V., Paviglianiti A., Pasero E, [et al.] // J Nephrol. –2022. –35(8) – P. 2047-56 (in Engl).
39. Pan L. Evaluation of renal ischemia- reperfusion injury by magnetic resonance imaging texture analysis: an experimental study./ Pan L., Chen J., Zha T., Zou L., Zhang J., Jin P., et al. // Magn Reson Med. – 2021. –85(1) – P. 346-56 (in Engl).
40. Liang F. Using angiographic para- metric imaging-derived radiomics features to predict complications and embolization outcomes of intracranial aneurysms treated by pipeline embolization devices./ Liang F., Ma C., Zhu H., Liu L., Liang S., Jiang P., [et al.] // J Neurointerv Surg. –2022. –14(8) – P. 826-31 (in Engl).

УДК 616.62-008.222-089-055.2.

© Коллектив авторов, 2024

А.Г. Вардикян¹, Р.А. Казихинуров¹, И.М. Насибуллин¹,
А.О. Папоян^{1,2}, А.Д. Аллафуза¹, Д.Р. Хабирова¹, В.Н. Павлов¹
**ГИБРИДНЫЕ СЛИНГИ В ЛЕЧЕНИИ СТРЕССОВОГО НЕДЕРЖАНИЯ МОЧИ
У ЖЕНЩИН В ЭПОХУ ОСЛОЖНЕНИЙ СЕТЧАТЫХ ИМПЛАНТОВ**

¹ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»

Минздрава России, г. Уфа

²Клиника ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»

Минздрава России, г. Уфа

Стрессовое недержание мочи (СНМ) является распространенным заболеванием, существенно ухудшающим качество жизни женщин. Существующие методы хирургического лечения, включающие использование сетчатых имплантов, эффективны, однако их применение связано с риском осложнений, таких как перфорация органов, инфекционные осложнения и эрозия тканей, что способствовало падению их популярности в последнее время. В связи с этим возрос интерес к использованию альтернативных методов, например аутологичным фасциальным slingам, несмотря на то, что они требуют дополнительной хирургической процедуры и подвергают пациента рискам осложнений на донорском участке трансплантата.

В последние годы гибридные slingи, представляющие собой комбинацию традиционных и современных технологий, стали предметом активного изучения их эффективности. Модификация slingов заключающаяся в применении комбинации синтетических материалов и природных трансплантатов для улучшения результатов оперативного лечения СНМ. Данная обзорная статья посвящена анализу современных данных о применении гибридных slingов в лечении стрессового недержания мочи у женщин, с акцентом на их преимущества и недостатки в сравнении с классическими сетчатыми имплантатами. Рассматриваются механизмы их влияния на анатомические и функциональные результаты операций, а также потенциальные риски и осложнения, связанные с их использованием.

Ключевые слова: стрессовое недержание мочи, гибридный sling, аутологичный фасциальный sling, эрозия влагалища, эрозия уретры, среднеуретральный sling.

A.G. Vardikian, R.A. Kazikhinurov, I.M. Nasibullin,
A.O. Papoian, A.D. Allafouza, D.R. Khabirova, V.N. Pavlov
**HYBRID SLINGS IN THE TREATMENT
OF STRESS URINARY INCONTINENCE IN WOMEN
DURING THE PERIOD OF COMPLICATIONS RELATED TO MESH IMPLANTS**

Stress urinary incontinence (SUI) is a common condition that significantly impairs the quality of life of women. Existing surgical treatments, including the use of mesh implants, have been shown to be effective, but their use is associated with risks of complications such as organ perforation, infections, and tissue erosion. This has contributed to a decline in their popularity in recent years. As a result, there has been increased interest in alternative methods, such as autologous fascial slings, although these require an additional surgical procedure and carry risks of complications at the donor site of the graft.

Recently, hybrid slings combining traditional and modern technologies have been the subject of active research regarding their effectiveness. The modification of slings by using a combination of synthetic materials and natural grafts aims to improve the outcomes of surgical treatment for SUI.

This review article analyzes current data on the use of hybrid slings in treating stress urinary incontinence in women, highlighting their advantages and disadvantages compared to classical mesh implants. It also reviews the mechanisms by which they influence anatomical and functional surgical outcomes, as well as the potential risks and complications associated with their use.

Key words: stress urinary incontinence, hybrid sling, autologous fascial sling, vaginal erosion, urethral erosion, midurethral slings.

Стрессовое недержание мочи (СНМ) характеризуется непроизвольной потерей мочи при любом повышении внутрибрюшного давления: физической нагрузке, занятии спор-

том, а также при чихании или кашле [1,2]. Данное заболевание является одной из серьезных проблем, снижающих качество жизни, от которых страдает большое количество