

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-1-24-35>



УДК 615.47

Методы оценки показателей гемодинамики почек после проведения малоинвазивных методик лечения мочекаменной болезни

И. М. Холименко¹, С. П. Серегин²,
С. Н. Родионова²✉, А. В. Пугжилис²

¹ Курская областная многопрофильная клиническая больница
ул. Сумская, д. 45а, г. Курск 305007, Российская Федерация

² Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305000, Российская Федерация

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

Резюме

Цель исследования. Мочекаменная болезнь занимает ведущее место среди всех урологических заболеваний после инфекционно-воспалительных. Кроме того, она не теряет своей актуальности в связи с тем, что число пациентов с данным заболеванием неуклонно растет.

Целью исследования является изучение особенностей изменения показателей гемодинамики почек после проведения малоинвазивных методик лечения мочекаменной болезни – дистанционной ударно-волновой литотрипсии (ДЛТ) и перкутанной нефролитотрипсии (ПНЛ) для повышения качества оказания медицинской помощи урологическим больным.

Методы. В многочисленных работах подробно показана эффективность использования дистанционной ударно-волновой литотрипсии и перкутанной нефролитотрипсии в лечении мочекаменной болезни почек. Данные методы малоинвазивные, хорошо переносятся пациентами, позволяют снизить риски осложнений, но они сопровождаются травмой почек, в частности, нарушением микроциркуляции. Применение доплерографического метода исследования позволяет высокоинформативно оценить степень нарушения микроциркуляции почки для диагностики мочекаменной болезни, в том числе и для оценки гемодинамики после проведения малоинвазивных методик лечения.

Результаты. В работе показано, что при применении доплерографии сосудов почек после дистанционной ударно-волновой литотрипсии и перкутанной нефролитотрипсии в динамике отмечается нарушение гемодинамики после ДЛТ уже в первые сутки. Кроме того, сроки нормализации показателей более длительные в сравнении с гемодинамикой после ПНЛ. Также при ПНЛ отмечается постепенный рост показателей кровотока в динамике послеоперационного периода.

Заключение. В работе показано, что ультразвуковая доплерография является эффективным методом динамической оценки почечного кровотока, а индикатором ренального повреждения является индекс резистентности, преимущественно в междольковых артериях.

Ключевые слова: мочекаменная болезнь; дистанционная литотрипсия; перкутанная нефролитотрипсия; ультразвуковая доплерография.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Холименко И. М., Серегин С. П., Родионова С. Н., Пугжилис А. В., 2024

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024; 14(1): 24–35

Для цитирования: Формализованное информационное описание для медицинской экспертной системы / И. М. Холименко, С. П. Серегин, С. Н. Родионова, А. В. Пугжлиис // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 1. С. 24–35. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-1-24-35>.

Поступила в редакцию 16.01.2024

Подписана в печать 14.02.2024

Опубликована 29.03.2024

Methods for Assessing Renal Hemodynamics after Minimally Invasive Treatment of Urolithiasis

Ivan M. Kholimenko¹, Stanislav P. Seregin²,
Sofia N. Rodionova² ✉, Anastasia V. Pugzhilis²

¹ Kursk Regional Multidisciplinary Clinical Hospital
45a Sumskaya Str., Kursk 305007, Russian Federation

² Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

Abstract

The purpose of research. Urolithiasis occupies a leading place among all urological diseases after infectious and inflammatory ones. In addition, it does not lose its relevance due to the fact that the number of patients with this disease is steadily increasing. The aim of the study is to study the peculiarities of changes in renal hemodynamics after minimally invasive methods of treatment of urolithiasis - remote shock wave lithotripsy (DLT) and percutaneous nephrolithotripsy (PNL) to improve the quality of medical care for urological patients.

Methods. Numerous studies have shown in detail the effectiveness of using remote shock wave lithotripsy and percutaneous nephrolithotripsy in the treatment of kidney stones. These methods are minimally invasive, well tolerated by patients, and reduce the risks of complications, but they are accompanied by kidney injury, in particular, microcirculation disorders. The use of the Dopplerographic method of investigation allows for a highly informative assessment of the degree of impaired renal microcirculation for the diagnosis of urolithiasis, including for the assessment of hemodynamics after minimally invasive treatment methods.

Results. The work shows that when using dopplerography of renal vessels after remote shock wave lithotripsy and percutaneous nephrolithotripsy, a violation of hemodynamics after DLT is noted in dynamics already on the first day. In addition, the terms of normalization of indicators are longer in comparison with hemodynamics after PNL. Also, with PNL, there is a gradual increase in blood flow indicators in the dynamics of the postoperative period.

Conclusion. The work shows that ultrasound Dopplerography is an effective method of dynamic assessment of renal blood flow, and the indicator of renal damage is the resistance index, mainly in the interlobular arteries.

Keywords: urolithiasis; remote lithotripsy; percutaneous nephrolithotripsy; ultrasound dopplerography.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Kholimenko I. M., Seregin S. P., Rodionova S. N., Pugzhilis A. V. Methods for Assessing Renal Hemodynamics after Minimally Invasive Treatment of Urolithiasis. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2024; 14(1): 24–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-1-24-35>.

Received 16.01.2024

Accepted 14.02.2024

Published 29.03.2024

Введение

Мочекаменная болезнь (МКБ) – полиэтиологическое, полипатогномичное заболевание обмена веществ, характеризующееся образованием камней в почках. Заболевание занимает ведущее место среди всех урологических заболеваний после инфекционно-воспалительных. Проблема МКБ сохраняет свою актуальность в связи с неуклонным ростом заболеваемости. По данным разных авторов, пациенты с МКБ составляют от 30% до 45% пациентов урологических стационаров и до 60% пациентов урологических отделений [1]. Чаще всего заболевание возникает в трудоспособном возрасте, а также имеет тенденцию к рецидивированию. По данным Минздрава России, за последние десятилетия отмечается увеличение заболеваемости МКБ, прирост заболеваемости с 2005 по 2019 гг. составил 35,45% [2]. Стоит отметить, что летальность среди пациентов с МКБ за последнее время существенно снизилась благодаря внедрению малоинвазивных методов диагностики и лечения [3]. Такими методиками являются дистанционная ударно-волновая литотрипсия (ДЛТ) [4] и перкутанная нефролитотрипсия (ПНЛ) [5]. Эти технологии хорошо переносятся пациентами, позволяют избежать открытых операций, а также добиться ускорения реабилитации. ПНЛ позволяет уменьшить площадь повреждения почечной паренхимы [6], сохранить ее функциональные способности, сократить сроки госпитального периода, снизить риски интра- и послеоперационных осложнений [7].

Однако проведение ДЛТ всегда сопровождается травмой почки [8]. Сразу же после проведения сеансов ДЛТ возникает гломерулярное кровотечение с

последующей атрофией и некрозом канальцев, а также разрывы дуговых сосудов [9]. Имеют место формирования в остром периоде субкапсулярных и интрапаренхиматозных гематом, диффузные кровоизлияния, некроз канальцев, в дальнейшем формируются зоны фиброзной ткани капсулы и паренхимы почки [10]. По данным авторов, типичными изменениями после ДЛТ являются нарушения микроциркуляции [11], а в отдаленном периоде – снижение функции почки и артериальная гипертензия [12]. Оценить степень нарушения кровообращения в почке после применения ударно-волновой литотрипсии позволяет доплерография [13]. Данный метод диагностики является высокоинформативным, безопасным и неинвазивным [14]. Он позволяет оценить нарушения микроциркуляции почки для диагностики МКБ, в том числе и для оценки гемодинамики после проведения малоинвазивных методик лечения [15].

Целью исследования является выявление особенности гемодинамики почек у пациентов с нефролитиазом после проведения ДЛТ и ПНЛ.

Материалы и методы

Исследование проводилось на основании обследования 45 пациентов с МКБ, находящихся на лечении в урологическом отделении ОБУЗ КОМКБ в 2022–2023 гг., которым проведены ДЛТ и ПНЛ. Критерием исключения пациента из проводимого исследования являлось наличие установленного диагноза «сахарный диабет». Ультразвуковое исследование выполнялось на аппарате Logiq S8 с использованием конвексного датчика C1-5-D в положении пациентов на боку и на спине, с

соблюдением полипозиционности для получения достоверной оценки в В-режиме паренхимы, чашечно-лоханочной системы, расположения почечных сосудов, состояния паранефральной клетчатки [16].

Доплерографические показатели кровотока регистрировались на уровне проксимального отдела почечных артерий, сегментарных, дуговых и междольковых артерий, оценивались такие показатели, как индекс резистентности (IR), систоло-диастолическое соотношение (S/D), пиковые систолические скорости кровотока (PSV) [17].

Пациенты были разделены на три группы, в зависимости от оперативного вмешательства. Пациентам из первой группы (25 больных с конкрементами

чашечно-лоханочной системы) была выполнена ДЛТ, второй – ПНЛ (20 больных с конкрементами чашечно-лоханочной системы), третью группу (группа сравнения) составили пациенты, не страдающие мочекаменной болезнью (25 человек).

Результаты и их обсуждение

На дооперационном этапе у всех обследованных больных индекс резистентности составлял $0,60 \pm 0,09$, систоло-диастолическое отношение $3,10 \pm 0,003$, пиковые систолические скорости кровотока $63,0 \pm 0,19$ см/с. После сеанса ДЛТ и проведения ПНЛ почечный кровоток оценивался на 1, 3, 5, 7 сутки. Результаты исследования представлены ниже (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Показатели динамики изменения почечного кровотока после ДЛТ

Table 1. Indicators of the dynamics of changes in renal blood flow after remote shock wave lithotripsy

Показатель	I группа (ДЛТ, 25 больных)			
	проксимальный отдел почечной артерии	сегментарная артерия	дуговая артерия	междольковая артерия
Норма	IR $0,61 \pm 0,01$ S/D $2,90 \pm 0,03$ PSV $67 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,60 \pm 0,02$ S/D $2,70 \pm 0,04$ PSV $47 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,60 \pm 0,02$ S/D $2,70 \pm 0,04$ PSV $25 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,60 \pm 0,02$ S/D $2,70 \pm 0,04$ PSV $19,0 \text{ см/с} \pm 0,01$
До сеанса ДЛТ	IR $0,66 \pm 0,01$ S/D $2,90 \pm 0,03$ PSV $71 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,60 \pm 0,02$ S/D $2,70 \pm 0,04$ PSV $44 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,54 \pm 0,01$ S/D $1,90 \pm 0,03$ PSV $24,2 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,66 \pm 0,01$ S/D $2,90 \pm 0,03$ PSV $22,6 \text{ см/с} \pm 0,01$
1 сутки	IR $0,69 \pm 0,01$ S/D $3,20 \pm 0,03$ PSV $77 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,71 \pm 0,01$ S/D $3,10 \pm 0,03$ PSV $45,01 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,69 \pm 0,01$ S/D $3,30 \pm 0,03$ PSV $26,1 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,68 \pm 0,01$ S/D $3,60 \pm 0,03$ PSV $22,6 \text{ см/с} \pm 0,01$
3 сутки	IR $0,78 \pm 0,01$ S/D $3,90 \pm 0,03$ PSV $79 \text{ см/с} \pm 0,02$	IR $0,72 \pm 0,01$ S/D $3,70 \pm 0,03$ PSV $47,03 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,75 \pm 0,01$ S/D $3,50 \pm 0,01$ PSV $25,1 \text{ см/с} \pm 0,06$	IR $0,77 \pm 0,01$ S/D $3,70 \pm 0,02$ PSV $33,1 \text{ см/с} \pm 0,002$
5 сутки	IR $0,77 \pm 0,01$ S/D $3,90 \pm 0,03$ PSV $81 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,85 \pm 0,01$ S/D $3,87 \pm 0,03$ PSV $49,11 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,71 \pm 0,01$ S/D $3,6 \pm 0,03$ PSV $27,9 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,81 \pm 0,03$ S/D $3,30 \pm 0,03$ PSV $36,6 \text{ см/с} \pm 0,01$
7 сутки	IR $0,70 \pm 0,01$ S/D $2,70 \pm 0,03$ PSV $78,97 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,73 \pm 0,01$ S/D $2,90 \pm 0,03$ PSV $43,6 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,66 \pm 0,01$ S/D $2,83 \pm 0,03$ PSV $27,76 \text{ см/с} \pm 0,01$	IR $0,74 \pm 0,01$ S/D $2,90 \pm 0,03$ PSV $34,03 \text{ см/с} \pm 0,01$

Таблица 2. Показатели динамики изменения почечного кровотока после ПНЛ**Table 2.** Indicators of the dynamics of changes in renal blood flow after percutaneous nephrolithotripsy

Показатель	II группа (ПНЛ, 20 больных)			
	проксимальный отдел почечной артерии	сегментарная артерия	дуговая артерия	междольковая артерия
Норма	IR 0,61±0,01 S/D 2,90±0,03 PSV 67 см/с±0,01	IR 0,60±0,02 S/D 2,70±0,04 PSV 47 см/с±0,01	IR 0,60±0,02 S/D 2,70±0,04 PSV 25 см/с±0,01	IR 0,60±0,02 S/D 2,70±0,04 PSV 19,0 см/с±0,01
До ПНЛ	IR 0,64 ±0,01 S/D 2,90±0,03 PSV 66,04±0,04 см/с	IR 0,62 ±0,01 S/D 2,90±0,03 PSV 42,03±0,04 см/с	IR 0,59 ±0,01 S/D 2,90±0,03 PSV 27,07±0,04 см/с	IR 0,64 ±0,01 S/D 2,90±0,03 PSV 21,04±0,04 см/с
1 сутки	IR 0,66±0,06 S/D 2,90±0,04 PSV 68,2 см/с±0,01	IR 0,70±0,01 S/D 3,19±0,06 PSV 43,01 см/с±0,04	IR 0,69±0,02 S/D 2,99±0,06 PSV 31,2 см/с±0,01	IR 0,69±0,01 S/D 2,71±0,001 PSV 26,6 см/с±0,05
3 сутки	IR 0,69±0,01 S/D 3,02±0,03 PSV 73,04 см/с±0,01	IR 0,71±0,01 S/D 3,27±0,03 PSV 47,03 см/с±0,01	IR 0,70±0,01 S/D 3,0±0,03 PSV 34,1 см/с±0,01	IR 0,71±0,01 S/D 2,93±0,03 PSV 25,09 см/с±0,01
5 сутки	IR 0,71±0,03 S/D 3,43±0,03 PSV 69,11 см/с±0,01	IR 0,70±0,01 S/D 3,31±0,03 PSV 45,0 см/с±0,01	IR 0,72±0,01 S/D 2,99±0,03 PSV 29,02 см/с±0,01	IR 0,73±0,01 S/D 2,90±0,03 PSV 24,85 см/с±0,01
7 сутки	IR 0,68±0,01 S/D 2,90±0,03 PSV 68,09 см/с±0,01	IR 0,66±0,01 S/D 2,99±0,03 PSV 44,0 см/с±0,01	IR 0,69±0,01 S/D 2,91±0,03 PSV 28,05 см/с±0,01	IR 0,68±0,01 S/D 2,90±0,03 PSV 20,6 см/с±0,01

При выполнении доплерографии на 1 сутки после ДЛТ у пациентов 1-й группы отмечалось незначительное повышение IR преимущественно в паренхиматозных артериях, а также постепенный рост PSV в дуговых и паренхиматозных артериях. Максимальное повышение IR и PSV регистрировалось на 3 и 5 сутки, причем в проксимальном отделе артерии IR на 3 и 5 сутки были на одном уровне, в то время как самое высокое значение IR регистрировалось в сегментарной и междольковой артерии, достигая наибольшего значения IR в междольковой артерии на 5 сутки. На 7 сутки отмечается незначительное улучшение показателей кровотока, IR в

проксимальном отделе артерии существенно понизился в сравнении с 3 сутками, однако в междольковой артерии IR на 3 и на 7 сутки находился примерно на одном уровне (0,77 и 0,74 соответственно). Также стоит отметить, что на 3 и на 7 сутки PSV в междольковой артерии практически не менялась (79,0 см/с и 78,97 см/с соответственно). Тем не менее после проведения сеанса ДЛТ в динамике отмечается стойкое повышение показателей почечного кровотока, главным образом в междольковых артериях, IR до ДЛТ составлял 0,61, на 7 сутки – 0,74, а PSV составила до 22,6 см/с, на 7 сутки показатель достиг 34,03 см/с. Это может быть связано с нарушением

процессов микроциркуляции на фоне ударно-волнового воздействия.

У пациентов 2 группы на 1 сутки после ПНЛ отмечается незначительное повышение гемодинамических показателей на всех уровнях артерий, но величина PSV на уровне дуговых артерий регистрировалась выше, чем до ПНЛ (27,07 см/с и 31,2 см/с соответственно). На 3 сутки отмечается снижение PSV в междольковой артерии (25,09 см/с), но величина IR существенно повысилась в сегментарной, дуговой и паренхиматозной артериях (0,71, 0,70, 0,71 соответственно). В 5 сутки отмечалось снижение PSV в сегментарной и междольковой артериях в сравнении с 3 сутками (47,03 см/с и 25,09 см/с против 45,0 см/с и 24,85 см/с соответственно). IR достигал максимума на 5 сутки на всех уровнях артерий. К 7 суткам отмечалось плавное снижение величины IR на всех уровнях, но незначительное его снижение наблюдалось в дуговой артерии (0,72 на 5 сутки и 0,69 на 7 сутки). Значения PSV в проксимальном отделе, сегментарной и дуговой артериях соответствовали показателям до ПНЛ, но на уровне междольковой артерии этот показатель отмечался ниже, чем до ПНЛ (21,04 см/с и 20,6 соответственно).

Можно сделать вывод, что данные доплерографии в динамике нормализуются в обеих группах, однако при проведении сеанса ДЛТ отмечается нарушение гемодинамики уже в первые сутки, в то время как при ПНЛ происходит постепенный рост показателей кровотока.

Также при ПНЛ отмечаются более короткие сроки восстановления нормализации показателей, при ДЛТ сроки нормализации более длительные.

У пациентов первой группы нарушения гемодинамики были более выраженные, причем рост показателей отмечался на уровне сегментарных и паренхиматозных артерий. Во второй же группе гемодинамические показатели возрастали равномерно, IR был максимальным на 5 сутки.

Таким образом, использование ультразвуковой доплерографии является информативным методом оценки почечного кровотока в динамике лечения МКБ неинвазивными методиками. При ПНЛ отмечается минимальные изменения показателей почечного кровотока в режиме ЦДК, в то время как при ДЛТ изменения гемодинамических показателей отмечаются уже на 1 сутки после сеанса и постепенно нарастают вплоть до 7 суток, что позволяет сделать вывод, что ударная волна вызывает выраженные нарушения почечной микроциркуляции.

Дальнейшее применение технологий обработки медико-биологической информации [18], разработанных на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного университета [19], позволит автоматизировать методику оценки показателей гемодинамики почек после проведения малоинвазивных методик лечения мочекаменной болезни за счет нечеткого математического моделирования и синтеза соответствующих решающих правил [20]. Данное

решение позволит поднять на новый качественный уровень оказание медицинской помощи урологическим больным [21].

Выводы

В работе показано, что ультразвуковая доплерография является достоверным, доступным и неинвазивным методом динамической оценки почечного

кровотока, при этом наиболее информативным индикатором ренального повреждения является IR, преимущественно в междольковых артериях. Кроме того, произведен качественный анализ малоинвазивных методик лечения мочекаменной болезни, в результате чего было показано, что при ДЛТ отмечаются более выраженные нарушения почечной гемодинамики, чем при ПНЛ.

Список литературы

1. Прогнозирование результатов дистанционной ударно-волновой литотрипсии у больных нефролитиазом / Д. А. Бобылев, М. Л. Чехонацкая, М. А. Осадчук, А. Н. Россоловский, Е. Б. Илясова, О. В. Основин, Н. В. Киреева, И. А. Крючков, И. А. Чехонацкий // Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2018. Т. 8, № 2. С. 110–115.
2. Заболеваемость мочекаменной болезнью в Российской Федерации с 2005 по 2020 гг. / А. Д. Каприн, О. И. Аполихин, А. В. Сивков, Н. В. Анохин, Н. К. Гаджиев, В. А. Малхасян, Г. Н. Акопян, М. Ю. Просянкин // Экспериментальная и клиническая урология, 2022. Т. 15, № 2. С. 10–17.
3. Шевырин А. А. Результативность дистанционной ударно-волновой литотрипсии мочевых конкрементов у пациентов с мочекаменной болезнью // Урологические ведомости. 2017. Т. 7, № S. С. 125–126.
4. Анализ эффективности различных методов нефролитотрипсии / С. В. Попов, И. Н. Орлов, Н. К. Гаджиев, М. В. Борычев, С. М. Басок, С. М. Малевич // Урологические ведомости. 2016. Т. 6, № 5. С. 86–87.
5. Лазерная ультраминиперкутанная нефролитотрипсия в лечении камней почек / А. Г. Мартов, С. В. Дутов, А. С. Андронов, Р. А. Тахаев // Московская медицина. 2016. Т. S1, № 12. С. 149–150.
6. Сравнительный анализ ультра-мини перкутанной нефролитотрипсии и ретроградной нефролитотрипсии / С. В. Попов, О. Н. Скрябин, И. Н. Орлов, М. В. Борычев, С. М. Малевич, С. М. Басок // Уральский медицинский журнал. 2016. Т. 6, № 139. С. 42–46.
7. Перкутанная нефролитотрипсия: сравнение стандартных и миниинвазивных технологий / В. В. Рогачиков, А. В. Кудряшов, Ю. Ф. Брук, Д. Н. Игнатьев // Экспериментальная и клиническая урология. 2019. № 2. С. 60–69.

8. Чернега М. С. Диагностика закрытых травм почек на основе нечеткой логики принятия решений // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13, № 1. С. 78–79.

9. Динамическая оценка состояния почечной паренхимы у больных после дистанционной ударно-волновой литотрипсии камней почек / А. Н. Россоловский, М. Л. Чехонацкая, Н. Б. Захарова, О. Л. Березинец, Н. В. Емельянова // Вестник урологии. 2014. № 2. С. 3–12.

10. Анализ показателей периферической ренальной гемодинамики у пациентов с хроническими заболеваниями почек / Н. С. Борзунова, Т. В. Жданова, И. В. Борзунов, М. М. Тутунина // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2014. Т. 1, № 47. С. 36–37.

11. Линдина М. Л., Шишкин А. Н., Воловникова В. А. Особенности внутривисочечной гемодинамики у пациентов с метаболическим синдромом // Нефрология. 2015. Т. 19, № 4. С. 82–88.

12. Борзунова Н. С. Ультразвуковая доплерография как метод диагностики нарушений почечной гемодинамики при хронической болезни почек и артериальной гипертензии // Уральский медицинский журнал. 2013. Т. 7, № 112. С. 142–149.

13. Шипилова Д. А., Нагибович О. А., Щукина Н. А. Возможности доплерографии в оценке внутривисочечной гемодинамики у больных сахарным диабетом 2-го типа и хронической болезнью почек // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2020. Т. 3, № 71. С. 99–102.

14. Автоматические классификаторы сложноструктурируемых изображений на основе мультиметодных технологий многокритериального выбора / М. В. Дюдин, И. В. Зуев, С. А. Филист, С. М. Чудинов // Вопросы радиоэлектроники. 2015. № 1. С. 130–141.

15. Капустин С. В., Оуен Р., Пиманов С. И. Ультразвуковое исследование в урологии и нефрологии. 2-е изд., испр. М.: Умный доктор, 2018. 176 с.

16. Метод классификации сложноструктурируемых изображений на основе самоорганизующихся нейросетевых структур / С. А. Филист, Р. А. Томакова, О. В. Шаталова, А. А. Кузьмин, К. Д. Али Кассим // Радиопромышленность. 2016. № 4. С. 57–65.

17. Формирование признакового пространства для задач классификации сложноструктурируемых изображений на основе спектральных окон и нейросетевых структур / С. А. Филист, К. Д. Али Кассим, А. А. Кузьмин, О. В. Шаталова, Е. А. Алябьев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. Т. 4, № 67. С. 56–68.

18. Biotechnical system of differential diagnostics of serous and purulent pyelonephritis in pregnant women based on fuzzy logic for decision-making / N. A. Korenevskiy, S. P. Seregin, S. N. Rodionova, R. T. Al-Kasasbeh, G. V. Sipliviy, A. A. Alqaralleh, I. M. Kholimenko,

M. S. Alshamasin, M. U. Ilyash // *Critical Reviews in Biomedical Engineering*. 2021. Vol. 49, N 1. P. 67–75.

19. Корневский Н. А., Разумова К. В. Синтез нечетких классификационных правил в многомерном пространстве признаков для медицинских приложений // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2012. Т. 2, № 1. С. 223–227.

20. Использование показателей, характеризующих адаптационные механизмы для оценки уровня защиты организма от воздействия внешних факторов риска / Р. И. Сафронов, С. Н. Родионова, Е. В. Крикунова, Л. В. Стародубцева, С. С. Сергеева, А. В. Титова // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2021. Т. 11, № 4. С. 163–179.

21. Developing a biotechnical scheme using fuzzy logic model for classification of severity of pyelonephritis / N. Korenevskiy, S. S. Petrovich, R. T. Al-Kasasbeh, A. A. Alqaralleh, S. N. Rodionova, A. A. Shaqadan, I. M. Yurievich, M. S. Alshamasin // *International Journal of Medical Engineering and Informatics*. 2021. Vol. 1. P. 1.

References

1. Bobylev D. A., Chekhonackaya M. L., Osadchuk M. A., Rossolovskij A. N., Ilyasova E. B., Osnovin O. V., Kireeva N. V., Kryuchkov I. A., Chekhonackij I. A. Prognostirovanie rezul'tatov distancionnoj udarno-volnovoj litotripsii u bol'nyh nefrolitiazom [Forecasting the results of remote shock wave lithotripsy in patients with nephrolithiasis]. *Rossijskij elektronnyj zhurnal luchevoj diagnostiki = Russian Electronic Journal of Radiation Diagnostics*, 2018, vol. 8, no. 2, pp. 110–115.

2. Kaprin A. D., Apolihin O. I., Sivkov A. V., Anohin N. V., Gadzhiev N. K., Malhasyan V. A., Akopyan G. N., Prosyannikov M. Yu. Zaboлеваemost' mochekamennoj bolezni'yu v Rossijskoj Federacii s 2005 po 2020 gg. [The incidence of urolithiasis in the Russian Federation from 2005 to 2020]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya urologiya = Experimental and Clinical Urology*, 2022, vol. 15, no. 2, pp. 10–17.

3. Shevyrin A. A. Rezul'tativnost' distancionnoj udarno-volnovoj litotripsii mochevyh konkrementov u pacientov s mochekamennoj bolezni'yu [Comprehensively developed shock-wave lithotripsy of urinary connectors in powerlifters with urolithiasis]. *Urologicheskie vedomosti = Urological Report*, 2017, vol. 7, no. 5, pp. 125–126.

4. Popov S. V., Orlov I. N., Gadzhiev N. K., Borychev M. V., Basok S. M., Malevich S. M. Analiz effektivnosti razlichnyh metodov nefrolitotripsii [Analysis of the effectiveness of various methods of nephrolithotripsy]. *Urologicheskie vedomosti = Urologic Vedomosti*, 2016, vol. 6, no. 5, pp. 86–87.

5. Martov A. G., Dutov S. V., Andronov A. S., Tahaev R. A. Laser implantation nephrolithotherapy in the treatment of a stone point. *Moskovskaya medicina = Moscow Medicine*, 2016, vol. S1, no. 12, pp. 149–150.

6. Popov S.V., Skryabin O.N., Orlov I.N., Borychev M.V., Malevich S.M., Basok S.M. Sravnitel'nyj analiz ul'tra-mini perkutannoj nefrolitotripsii i retrogradnoj nefrolitotripsii [Comparative analysis of ultra-mini percutaneous nephrolithotripsy and retrograde nephrolithotripsy]. *Ural'skij medicinskij zhurnal = Ural Medical Journal*, 2016, vol. 6, no. 139, pp. 42–46.

7. Rogachikov V. V., Kudryashov A. V., Bruk Yu. F., Ignat'ev D. N. Perkutannaya nefrolitotripsiya: sravnenie standartnyh i miniinvazivnyh tekhnologij [Percutaneous nephrolithotripsy: comparison of standard and minimally invasive technologies]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya urologiya = Experimental and Clinical Urology*, 2019, no. 2, pp. 60–69.

8. Chernega M. S. Diagnostika zakrytyh travm pochk na osnove nechetkoj logiki prinyatiya reshenij [Diagnostics of closed kidney injuries based on fuzzy logic of decision-making]. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2014, vol. 13, no. 1, pp. 78–79.

9. Rossolovskij A. N., Chekhonackaya M. L., Zaharova N. B., Berezinec O. L., Emel'yanova N. V. Dinamicheskaya ocenka sostoyaniya pochechnoj parenhimy u bol'nyh posle distancionnoj udarno-volnovoj litotripsii kamnej pochk [Dynamic assessment of the state of renal parenchyma in patients after di-station shock wave lithotripsy of kidney stones]. *Vestnik urologii = Bulletin of Urology*, 2014, no. 2, pp. 3–12.

10. Borzunova N. S., Zhdanova T. V., Borzunov I. V., Tutunina M. M. Analiz pokazatelej perifericheskoy renal'noj gemodinamiki u pacientov s hronicheskimi zabolevaniyami pochk [Analysis of peripheral renal hemodynamics in patients with chronic kidney diseases]. *Vestnik Ural'skoj medicinskoj akademicheskoy nauki = Bulletin of the Ural Medical Academic Science*, 2014, vol. 1, no. 47, pp. 36–37.

11. Lindina M. L., Shishkin A. N., Volovnikova V. A. Osobennosti vnutripochechnoj gemodinamiki u pacientov s metabolicheskim sindromom [Features of intracranial hemodynamics in patients with metabolic syndrome]. *Nefrologiya = Nephrology*, 2015, vol. 19, no. 4, pp. 82–88.

12. Borzunova N. S. Ul'trazvukovaya dopplerografiya kak metod diagnostiki narushenij pochechnoj gemodinamiki pri hronicheskoy bolezni pochk i arterial'noj gipertenzii [Ultrasound dopplerography as a method of diagnosing renal hemodynamic disorders in chronic kidney disease and arterial hypertension]. *Ural'skij medicinskij zhurnal = Ural Medical Journal*, 2013, vol. 7, no. 112, pp. 142–149.

13. Shipilova D. A., Nagibovich O. A., Shchukina N. A. Vozmozhnosti dopplerografii v ocenke vnutripochechnoj gemodinamiki u bol'nyh saharnym diabetom 2-go tipa i hronicheskoy boleznyu pochk [The possibilities of dopplerography in the assessment of intrarenal

hemodynamics in patients with type 2 diabetes mellitus and chronic kidney disease]. *Vestnik Rossijskoj Voenno-meditsinskoj akademii = Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 2020, vol. 3, no. 71, pp. 99–102.

14. Dyudin M. V., Zuev I. V., Filist S. A., Chudinov S. M. Avtomaticheskie klassifikatory slozhno strukturiruemih izobrazhenij na osnove mul'timetodnyh tekhnologij mnogokriterial'nogo vybora [Automatic classifiers of complex structured images based on multi-method technologies of multicriteria selection]. *Voprosy radioelektroniki = Questions of Radioelectronics*, 2015, no. 1, pp. 130–141.

15. Kapustin S. V., OuenR., Pimanov S. I. Ul'trazvukovoe issledovanie v urologii i nefrologii [Ultrasound examination in pathology and nephrology]. 2nd ed. Moscow, Umnyj doctor Publ., 2018. 176 p.

16. Filist S. A., Tomakova R. A., Shatalova O. V., Kuz'min A. A., Ali Kassim K. D. Metod klassifikacii slozhnostrukturiruemih izobrazhenij na osnove samoorganizuyushchihsia nejrosetevyh struktur [The method of classification of complex structured images based on self-organizing neural network structures]. *Radiopromyshlennost' = Radio Industry*, 2016, no. 4, pp. 57–65.

17. Filist S. A., Ali Kassim K. D., Kuz'min A. A., Shatalova O. V., Alyab'ev E. A. Formirovanie priznakovogo prostranstva dlya zadach klassifikacii slozhnostrukturiruemih izobrazhenij na osnove spektral'nyh okon i nejrosetevyh struktur [Formation of a feature space for classification problems of complex structured images based on spectral windows and neural network structures]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2016, vol. 4, no. 67, pp. 56–68.

18. Korenevsky N. A., Seregin S. P., Rodionova S. N., Al-Kasasbeh R. T., Siplyj G. V., Alcaralleh A. A., Holimenko I. M., Alshamasin M. S., Ilyash M. U. Biotechnical system of differential diagnosis of serous and purulent pyelonephritis in pregnant women based on fuzzy logic for decision-making. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 2021, vol. 49, no. 1, pp. 67–75.

19. Korenevskij N. A., Razumova K. V. Sintez nechetkih klassifikacionnyh pravil v mnogomernom prostranstve priznakov dlya medicinskih prilozhenij [Synthesis of fuzzy classification rules in a multidimensional feature space for medical applications]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2012, vol. 2, no. 1, pp. 223–227.

20. Safronov R. I., Rodionova S. N., Krikunova E. V., Starodubceva L. V., Sergeeva S. S., Titova A. V. Ispol'zovanie pokazatelej, harakterizuyushchih adaptacionnye mekhanizmy dlya ocenki urovnya zashchity organizma ot vozdejstviya vneshnih faktorov riska [The use of indicators characterizing adaptive mechanisms to assess the level of protection of

the body from the effects of external risk factors]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 163–179.

21. Korenevsky N. A., Petrovich S. S., Al-Kasasbeh R. T., Alcaralleh A. A., Rodionova S. N., Shakadan A. A., Yurievich I. M., Alshamasin M. S. Development of a biotechnical scheme using a fuzzy logic model for classifying the severity of pyelonephritis. *International Journal of Medical Engineering and Computer Science*, 2021, vol. 1, p. 1.

Информация об авторах / Information about the Authors

Холименко Иван Михайлович, кандидат медицинских наук, врач-уролог, Курская областная многопрофильная клиническая больница, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Ivan M. Kholimenko, Candidate of Sciences (Medical), Urologist, Kursk Regional Multidisciplinary Clinical Hospital, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Серегин Станислав Петрович, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: seregin.stanislaw2011@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-4477-3975, Scopus ID: 57195455825, WOS ID: Q-1060-2017

Stanislav P. Seregin, Doctor of Sciences (Medical), Head of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: seregin.stanislaw2011@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9001-8420, Scopus ID: 55924198800, WOS ID: Q-9368-2015

Родионова Софья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: knsofia@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4477-3975, Scopus ID: 57195455825, WOS ID: Q-1060-2017

Sofia N. Rodionova, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: knsofia@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4477-3975, Scopus ID: 57195455825, WOS ID: Q-1060-2017

Пугжилис Анастасия Владимировна, аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: akela1301@yandex.ru

Anastasia V. Pugzhilis, Post-Graduate Student of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: akela1301@yandex.ru