

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-1-59-68>  
УДК 616.61-036.12-073.43-053.2

# Эхографические предикторы хронической болезни почек у детей

О.А. Седашкина<sup>1, 2</sup>, А.В. Колсанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации (СамГМУ Минздрава России), 443099, Российская Федерация, Самара, ул. Чапаевская, 89

<sup>2</sup> Самарская областная больница имени В.Д. Середавина, 443095, Российская Федерация, Самара, ул. Ташкентская, 159

## Аннотация

**Введение.** Прогностическая диагностика хронической болезни почек (ХБП) основана на выявлении предикторов заболелания и последующей разработке информационных инструментов, помогающих в работе врачу.

**Цель исследования:** выявление предикторов ХБП по результатам эхографических исследований у детей.

**Материал и методы.** Данные получены из одноцентрового ретроспективного когортного исследования (2011–2022 гг.). В основную группу включены 128 детей с ХБП 1–4-й стадии в возрасте от 1 до 17 лет. В группу сравнения вошли 30 детей без диагностированной патологии почек в возрасте от 1 до 17 лет. Медиана возраста составила 6 (5,0–8,0) лет, длительность болезни почек у пациентов – 2 (1,0–3,0) года. Дети двух групп статистически значимо не различались по полу и возрасту. Исследовалось более 50 признаков, в том числе размеры почек, параметры структуры, изменения кровотока на разных уровнях сосудистого дерева почек. Проверены гипотезы о статистической значимости различий показателей, проведен корреляционный анализ, построены модели однофакторной логистической регрессии, выполнен их ROC-анализ. Статистическая обработка проводилась средствами языка Python 3.11. Программное обеспечение предоставлено компанией «Техдепартамент» (Москва).

**Результаты.** У детей основной группы была повышена эхогенность паренхимы почек, что не характерно для детей группы сравнения. Установлены статистически значимые прямые связи умеренной степени выраженности с результатами ультразвукового исследования (длина почки,  $r = 0,369$ ; ширина почки,  $r = 0,407$ ; толщина паренхимы,  $r = 0,367$ ), с кровотоком в сегментарных артериях в средней трети по результатам цветного доплеровского картирования (ЦДК) ( $r = 0,338$ ) у пациентов с патологией почек. Определена высокая прямая взаимосвязь между сосудистым сопротивлением на разных уровнях кровотока ( $R_i$  в стволе и  $R_i$  в сегментарных почечных артериях,  $r = 0,658$  [0,56; 0,726],  $p < 0,001$ ).

**Заключение.** Выявленные эхографические предикторы ХБП можно использовать для разработки моделей и номограмм, помогающих врачу определить детей с высоким риском формирования хронической патологии.

<b>Ключевые слова:</b>	хроническая болезнь почек у детей; предикторы; корреляционный анализ; регрессионный анализ; ROC-анализ; эхографические, доплерографические исследования; индекс резистентности; скорость кровотока.
<b>Финансирование:</b>	исследование не имело финансовой поддержки.
<b>Соответствие принципам этики:</b>	протокол исследования с этическим комитетом согласован 12.04.2023 г. (выписка из протокола заседания комитета по биоэтике при СамГМУ № 263). Включение пациентов в исследование осуществляли после подписания законным представителем пациента или детьми старше 14 лет информированного добровольного согласия на проведение обследования и обработку персональных данных.
<b>Для цитирования:</b>	Седашкина О.А., Колсанов А.В. Эхографические предикторы хронической болезни почек у детей. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины.</i> 2025;40(1):59–68. <a href="https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-1-59-68">https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-1-59-68</a> .

# Ultrasound predictors of chronic kidney disease in children

Olga A. Sedashkina<sup>1, 2</sup>, Alexander V. Kolsanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Samara State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, 89, Chapaevskaya str., Samara, 443099, Russian Federation

<sup>2</sup> Samara Regional Hospital named after V.D. Seredavin, 159, Tashkentskaya str., Samara, 443095, Russian Federation

## Abstract

**Introduction.** Prognostic diagnostics of chronic kidney disease is based on the identification of disease predictors and subsequent development of information tools that help in the work of the doctor.

**Aim:** To identify predictors of chronic kidney disease according to ultrasound results in children.

**Materials and Methods.** Data are obtained from a single-center retrospective catamnestic cohort study (2011–2022). The main group included 128 children with chronic kidney disease stages 1–4 years of age. The comparison group consisted of 30 children without diagnosed kidney pathology aged 1 to 17 years. The children of the two groups did not statistically differ significantly in gender and age. The informativeness of more than 50 features, including kidney size, structural parameters, changes in blood flow at different levels of the vascular kidney tree were evaluated. Hypotheses about statistical significance of differences in indicators were tested, correlation analysis was performed, univariate logistic regression models were built, and their ROC analysis was performed. Statistical processing was performed using Python 3.11. The software was provided by TechDepartment (Moscow).

**Results.** The children of the main group had increased echogenicity of kidney parenchyma, which is not characteristic of the children of the comparison group. Reliable direct associations of moderate severity with the results of the ultrasound study (kidney length,  $r = 0.369$ ; kidney width,  $r = 0.407$ ; parenchyma thickness,  $r = 0.367$ ), with blood flow in the segmental arteries in the middle third according to the results of color Doppler mapping ( $r = 0.338$ ) with kidney pathology were established. A high direct relationship between vascular resistance at different levels of blood flow ( $R_i$  in the trunk and  $R_i$  in the segmentary renal arteries  $r = 0.658$  [0.56; 0.726],  $p < 0.001$ ) was determined.

**Conclusion.** The identified ultrasound predictors of chronic kidney disease can be used to develop models and nomograms to help doctors identify children at high risk of developing chronic disease.

<b>Keywords:</b>	chronic kidney disease in children; predictors; correlation analysis; regression analysis; ROC analysis; ultrasound; Dopplerographic studies; resistance index; blood flow rate.
<b>Funding:</b>	the study did not have financial support.
<b>Compliance with the principles of ethics:</b>	the protocol of the study was agreed with the Ethics Committee on 04/12/2023 (extract from the minutes of the meeting of the Bioethics Committee at SamSMU No. 263). The inclusion of patients in the study was carried out after the signing by the legal representative of the patient or children over 14 years of age of an informed consent.
<b>For citation:</b>	Sedashkina O.A., Kolsanov A.V. Ultrasound predictors of chronic kidney disease in children. <i>Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2025;40(1):59–68. <a href="https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-1-59-68">https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-1-59-68</a> .

## Введение

Нами уже опубликована статья, посвященная потенциальным предикторам хронической болезни почек (ХБП) у детей, среди которых большое значение имеют генетические полиморфизмы, особенности беременности и родов, пренатальные и клинико-диагностические признаки, в том числе мочевые маркеры.

В настоящей статье будут представлены эхографические признаки у детей с ХБП. С помощью методов машинного обучения будет установлено, какие признаки могут являться потенциальными предикторами ХБП, позволяющими более широко использовать их в клинической практике.

Современную медицину невозможно представить без эхографической диагностики. В своей статье

И.В. Дворяковский и соавт. (2022) описывают историю становления ультразвука в медицине [1]. В 1880 г. Пьер и Жак Кюри впервые описали пьезоэлектрический эффект, от которого зависит генерация ультразвукового сигнала (звуковых волн частотой выше 20 000 Гц). Затем П. Ланжевен и К. Шиловский в 1916 г. разработали метод импульсивного эхо, который был применен для обнаружения подводных лодок во время Первой мировой войны. Этот метод является основным в работе прибора SONAR (от англ. «sound navigation and ranging» — звуковая навигация и определение дальности) — гидролокатор. В 1928 г. С.Н. Соколов применил ультразвук для определения внутренних дефектов в металлических изделиях, метод был назван ультразвуковой дефектоскопией, а аппарат — дефектоскопом. История приме-

нения ультразвукового метода в медицине начинается в далеких 1950–1960 гг., когда стали создаваться ультразвуковые аппараты, и с их помощью была продемонстрирована возможность визуализации тканей. Первым врачом, применившим ультразвук в медицинских целях, был психиатр и невропатолог К. Dussik (Австрия), который в 1942 г. описал трансмиссионную технику оценки желудочков мозга.

С 1970-х гг. эхографические исследования стали использоваться в НИИ педиатрии АМН СССР, где заняли достойное место среди других диагностических методов. Эхографическая диагностика бурно развивалась. Были разработаны методики эхографических исследований различных органов, установлены их нормальные возрастные характеристики, доказаны возможности в диагностике многих форм патологии, определены критерии их дифференциальной диагностики [2].

Существует несколько режимов работы для ультразвукового исследования (УЗИ): А, В, М и В-скан. В настоящее время диагностические системы работают в режиме реального времени и позволяют динамически отражать последовательные изображения В-сканирования. В-режим (brightness mode; двумерная эхография) основан на принципе сканирования объекта ультразвуковым лучом, во время которого он движется по поверхности исследуемой области, а отраженные от акустически неоднородных структур сигналы на экране дисплея преобразуются в светящиеся точки, формируя пространственное двумерное изображение. При этом яркость каждой точки соответствует величинам амплитуд возвратных сигналов, создавая на экране так называемое бистабильное изображение, при котором регистрируются только два цвета: черный и белый.

В 1842 г. австрийский физик и математик К. Допплер определил, что при относительном движении источника и приемника излучения регистрируемая частота излучения зависит от скорости их движения. Впервые этот эффект был подтвержден экспериментально в акустическом диапазоне волн в 1845 г. и был назван в честь исследователя. Первые сообщения об использовании эффекта Допплера в медицине относятся к 1956 г., когда был проведен анализ скорости кровотока на основе отражения звуковых волн от эритроцитов. Затем были разработаны доплеровские импульсные системы и визуализация, дуплексные системы эхо-импульсного типа и цветное доплеровское картирование (ЦДК) в режиме реального времени [1, 3].

Новые разработки в механике и электронике датчиков позволили широко использовать в клинической практике надежное сканирующее оборудование с высоким уровнем разрешения по амплитуде эхо-сигналов, отображающее получаемое изображение в серой шкале. Эхографическая диагностика продолжает развиваться, к новым эхографическим методам относятся трех- и четырехмерная эхография, ультразвуковая томография, панорамные, контрастные и внутриорганные исследования, пульсовая инверсионная гармоника, количественная оценка паренхимы органов, эластография, различные варианты доплеровских (в том числе внутрисосудистых) методов.

Применение эхографической диагностики в педиатрии стало важным условием ранней диагностики заболеваний и контроля эффективности лечения. Высокая информативность, безболезненность и безопасность

эхографических методов позволяют использовать метод в любом объеме и с необходимой врачу частотой [4]. Совершенствование ультразвуковых систем, внедрение новых информационных технологий значительно увеличили диапазон диагностических поисков. Например, изучение почечного кровотока доплеровским методом дало возможность расширить оценочные характеристики этого органа при остром и хроническом гломерулонефрите, остром тубулоинтерстициальном нефрите, почечной недостаточности, пиелонефрите, объемных заболеваниях почек, обструктивных уропатиях и многих других патологиях [5].

Допплерографическое исследование почек позволяет визуализировать деформации сосудов (изгибы, извитости, петли), которые могут иметь как врожденный, так и приобретенный характер в случае экстравазального воздействия, например, в результате рубцевания почечной паренхимы при вторичном сморщивании почки. При рубцевании паренхимы почек сосудистые деформации имеют множественный характер. В деформированных сосудах кровотока приобретает турбулентный характер, и в зависимости от формы и выраженности деформации в таких артериях происходят различные изменения кровотока [4, 5]. При исследовании последовательно сканируются почечные артерии в области почечного синуса, на уровне междолевого (проходят в мозговом веществе вдоль пирамид), сегментарной (область центрального эхо-комплекса почки) и дуговой артерий (огивают основания пирамид на границе коркового и мозгового вещества), определяются основные характеристики сосудов и кровотока.

Важными клиническими характеристиками патологии почек являются количественные показатели кровотока, которые рассчитываются с помощью компьютерной программы для сосудистых исследований [1, 4, 5]. Индекс резистентности (Ri) и пульсовой индекс (Pi) позволяют косвенно судить о величине периферического сопротивления. Тестирование кровотока проводится в режиме реального времени (real-time imaging), при этом возможно оценить функциональное состояние нефрона. При ЦДК, которое является результатом совмещения двумерной эхографии и традиционной импульсной доплерометрии и обеспечивает отображение доплеровского сигнала кровотока различными цветами в режиме реального времени, в режиме энергетического и/или скоростного кодирования оценивается структура артериального рисунка, его равномерность, наличие участков обеднения или разрежения. Ультразвуковые сигналы, представляющие собой серию временных сдвигов, усиливаются и суммируются. В результате этого процесса рассчитывается средняя скорость движущихся объектов (эритроцитов), и соответственно этому определяется средняя частота доплеровского частотного сдвига, которая кодируется цветом в зависимости от направления движения. При ЦДК оцениваются три параметра кровотока одновременно: направление, скорость и характер (однородность и турбулентность) [4, 5].

В детском возрасте в структуре ХБП преобладает обструктивный пиелонефрит, развивающийся при врожденных аномалиях органов мочеполовой системы (АОМС) [6]. АОМС может включать не только изменение структуры почек и мочевых путей, но и нарушение формирования сосудов, при котором особенно страдает микроциркуляторное русло [7].

С другой стороны, в генезе формирования нарушения структуры сосудистой стенки имеет значение дисплазия соединительной ткани, проявляющаяся нарушением опорного соединительнотканного каркаса в эмбриональном и постнатальном периодах вследствие измененного фибриллогенеза внеклеточного матрикса, снижением содержания отдельных видов коллагена или нарушением их соотношения [8, 9]. Изменение структуры сосудистой стенки с нарушением перфузии питательных веществ приводит к ишемии и трофическим нарушениям в органе. При дисплазии соединительной ткани претерпевают изменения сосуды разного уровня: от функционального состояния сосудов среднего и мелкого калибра, до органического, обусловленного аневризмами и стенозами почечных сосудов, и от этого зависит клиническая картина и темпы прогрессирования заболевания [10]. Дисплазия соединительной ткани с высокой частотой выявляется у детей с почечной патологией [11, 12]. Современная нефрология активно развивается благодаря достижениям техники и улучшению диагностического качества визуализирующих методик.

Мы занимаемся разработкой информационных моделей ХБП у детей и информационных систем для оценки индивидуального риска развития этого заболевания. Для этого необходимо оценить информативность каждого из потенциальных предикторов, в том числе и результаты эхографического исследования.

Цель исследования: выявление предикторов ХБП по результатам эхографических исследований у детей.

## Материал и методы

Работа выполнена на кафедре факультетской педиатрии Самарского государственного медицинского университета и на базе ГБУЗ «Самарская областная клиническая больница имени В.Д. Середавина» (главный врач – профессор С.Ю. Пушкин). До формирования материалов исследования проведен расчет достаточного количества детей в выборке больных ХБП по методике N. Fox (2007)<sup>1</sup>, которая составила 88 человек.

В исследование включены 158 детей. В основную группу вошли 128 детей в возрасте от 1 до 17 лет, 88 девочек (68,8%) и 40 мальчиков (31,2%) с установленным нозологическим диагнозом поражения почек на различных стадиях ХБП. Группа сравнения представлена 30 детьми в возрасте от 1 до 17 лет, 18 девочек (60,0%) и 12 мальчиков (40,0%) без диагностированной ХБП. Медиана возраста в основной группе составила 6 [5,0; 8,0] лет, в контрольной группе – 5 [5,0; 6,75] лет,  $p = 0,148$ . Длительность болезни почек у пациентов – 2 (1,0–3,0) года. Отслеживание результатов проводилось один раз в 6 мес. или чаще при обращении за медицинской помощью. Дети статистически значимо не различались по полу и возрасту, группы являлись репрезентативными.

Пациенты с ХБП были распределены на две подгруппы: пациенты с неиммунными болезнями (разными формами пиелонефрита, тубулоинтерстициальным нефритом, в том числе в исходе гемолитико-уремического синдрома, с АОМС, поликистозной болезнью почек и с иммуноопосредованными заболеваниями почек (первичный нефротический синдром, Ig A-нефропатия, системная красная волчанка с волчаночным нефритом, рис. 1).

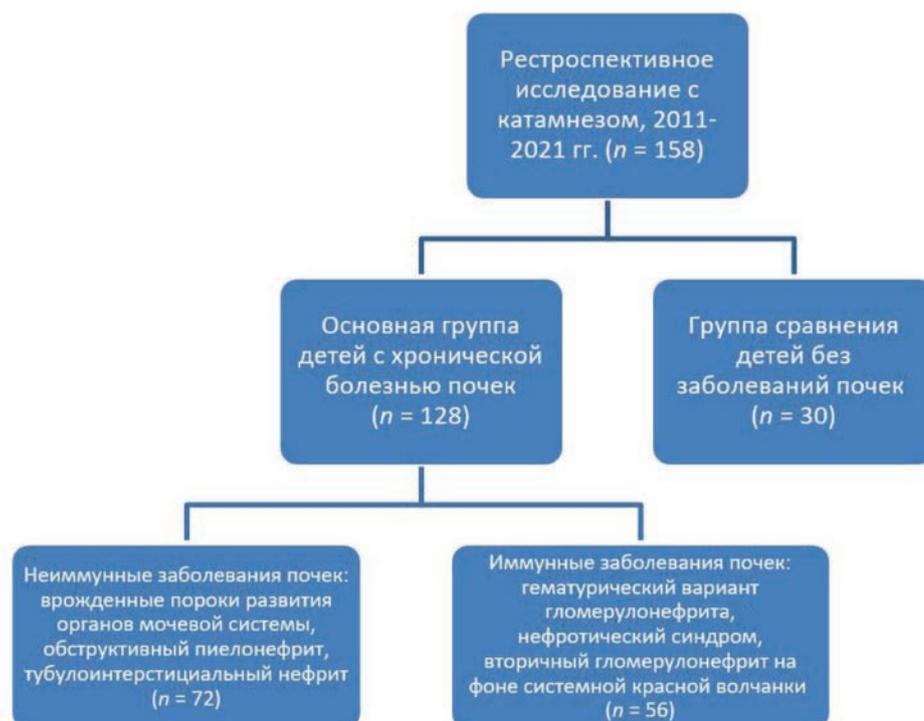


Рис. 1. Формирование исследуемых групп  
Fig. 1. Studied groups formation

<sup>1</sup> Fox N., Hunn A., Mathers N. Sampling and sample size calculation. – Yorkshire & the Humber: The NIHR RDS for the East Midlands. 2007:41.

В клинической практике ранние стадии ХБП диагностируется редко, что связано с отсутствием или неспецифичностью симптомов при манифестации заболевания: хроническая интоксикация (60%), рецидивирующие боли в животе (53,8%), микционные нарушения (46,3%), мышечная слабость (28,8%), реже – положительный симптом Пастернацкого (25%), повышение артериального давления (12,5%), пастозность век по утрам (6%). Нередко диагностируется ХБП в поздней стадии, когда ведущее место в клинической картине занимают осложнения (анемия, нарушение фосфорно-кальциевого обмена, деформация скелета, низкий рост). У 52% детей с ХБП отмечается астеническое телосложение, часто наблюдаются интоксикация (85,9%), общая слабость (94,1%), нарушение пищеварения (84,7%) и боли в животе (57,6%).

Диагноз ХБП верифицировался по диагностическим критериям современной классификации, согласно клиническим рекомендациям KDIGO 2003, 2012, 2020 [6], рекомендациям Союза педиатров России, утвержденным МЗ РФ в 2012 и 2021 гг., Международной статистической классификации болезней X пересмотра.

Проанализирована медицинская документация детей за 2011–2021 гг. – истории развития новорожденных (форма 097/у), истории болезни детей (форма № 003/у), амбулаторные карты (форма № 112). Всем детям проведено комплексное нефрологическое и урологическое обследование, выполнены клинические, биохимические исследования крови и мочи, инструментальные исследования: эхографическое, доплерографическое, рентгенологическое, включая экскреторную урографию и микционную цистографию.

В базу данных основной группы детей и группы сравнения включены результаты эхографического исследования, в том числе доплерографического исследования сосудов почек. Ультразвуковая диагностика в серошкальном В-режиме проводилась на аппарате «Logiq E9» (General Electric, США) с помощью трех видов датчиков: М5S, М6С, 9L. Исследовалось более 50 признаков, в том

числе размеры почек, параметры структуры, изменения кровотока на разных уровнях сосудистого дерева почек.

Первичное формирование базы данных и визуализация полученных результатов осуществлялись в электронных таблицах Excel (Microsoft Office 365). Для проверки нормальности распределений количественных показателей применялся критерий Шапиро – Уилка. Поскольку распределение большинства признаков не соответствовало нормальному, для их описания использовались медиана и квартили ( $Me [Q1; Q3]$ ). Для проверки гипотез о различиях количественных показателей в двух независимых группах применялся U-критерий Манна – Уитни. Сравнение номинальных данных в двух независимых группах проводилось при помощи критерия  $\chi^2$  Пирсона или точного критерия Фишера. Для определения количественной меры эффекта категориальных признаков использовался показатель отношения шансов (ОШ) с 95% доверительным интервалом (ДИ). Для определения связи между количественными признаками применялся коэффициент ранговой корреляции Спирмена ( $r$ ) с 95% ДИ. Для выявления количественных предикторов ХБП использовались однофакторные модели логистической регрессии. Для оценки диагностической эффективности и операционных характеристик выявленных предикторов применялся ROC-анализ с определением «точек отсечения» для количественных показателей по критерию Юдена. Критический уровень статистической значимости при проверке гипотез составлял 0,05.

Статистическая обработка проводилась средствами языка Python 3.11, программное обеспечение представлено компанией «Техдепартамент» (Москва).

## Результаты

В таблице 1 приведены результаты сравнения качественных переменных у детей двух групп. У детей с ХБП была повышена экзогенность паренхимы почек, что не характерно для детей группы сравнения.

Таблица 1. Сравнение качественных переменных у детей двух групп

Table 1. Comparison of qualitative variables in children of two groups

Переменные	Основная группа, n (%)	Группа сравнения, n (%)	p	ОШ [ДИ]
Пол	–	–	0,392	0,68 [0,3; 1,54]
девочки	88 (68,8)	18 (60,0)	–	–
мальчики	40 (31,2)	12 (40,0)	–	–
УЗИ почек				
Повышенная экзогенность паренхимы почки:	42 (32,8)	0 (0)	0,001	–
Умеренно повышена	26 (20,3)	0 (0)		
Сильно повышена	16 (12,5)	0 (0)		

В таблице 2 представлены значения количественных признаков в двух группах детей и результаты проверки гипотезы об их статистических различиях. Эхографическое исследование почек выполнялось в острый период заболевания или при обострении воспалительного процесса и отеке ткани почек у детей с ХБП, поэтому наблюдалось увеличение размеров обеих почек и толщины паренхимы. В более поздние сроки у части детей с ХБП регистрировалось уменьшение толщины или неравномерность толщины паренхимы пораженной почки. Кроме этого, выявлялось нарушение гемодинамики в виде снижения скорости кровотока по сегментарным почечным артериям,

чаще в верхней трети почки и с тенденцией к снижению скорости кровотока в средней и нижней трети почки.

Следующим этапом исследования стал корреляционный анализ ХБП и эхографических признаков (табл. 3). Оценка статистических взаимосвязей патологии почек с инструментальными данными (см. табл. 3) показала достоверные прямые связи умеренной степени выраженности с результатами ультразвукового исследования (длина почки,  $r = 0,369$ ; ширина почки,  $r = 0,407$ ; толщина паренхимы,  $r = 0,367$ ), с кровотоком в сегментарных артериях в средней трети, согласно результатам ЦДК ( $r = 0,338$ ). Причем определена высокая прямая взаимосвязь между

**Таблица 2.** Сравнение структурных и доплерографических (количественных) переменных по результату эхографического исследования у детей двух групп

**Table 2.** Comparison of structural and Dopplerographic (quantitative) variables by findings in children of the two groups

Переменные	Основная группа, n = 128	Группа сравнения, n = 30	p
Возраст, лет	6,0 [5,0; 8,0]	5,0 [5,0; 6,75]	0,148
УЗ-исследование			
Длина правой почки, мм	84,0 [76,75; 111,0]	79,0 [76,25; 83,0]	0,078
Длина левой почки, мм	86,0 [76,75; 97,25]	83,5 [77,0; 87,0]	0,044
Ширина правой почки, мм	44,0 [39,0; 50,0]	42,5 [3,0; 49,25]	0,775
Ширина левой почки, мм	44,0 [36,0; 51,0]	37,5 [33,62; 45,5]	0,028
Толщина паренхимы правой почки, мм	15,5 [13,0; 18,0]	14,5 [12,25; 1,0]	0,037
Толщина паренхимы левой почки, мм	17,0 [13,0; 18,0]	15,0 [12,0; 17,0]	0,037
ЦДК сосудов почек			
Скорость кровотока в стволе (воротах) почечной артерии, мм/с	0,9 [0,76; 1,0]	0,78 [0,69; 1,15]	0,224
Скорость кровотока по сегментарным почечным артериям в верхней трети, мм/с	0,45 [0,44; 0,56]	0,54 [0,45; 0,66]	0,007
Скорость кровотока по сегментарным почечным артериям в средней трети, мм/с	0,41 [0,33; 0,47]	0,4 [0,3; 0,42]	0,062
Скорость кровотока по сегментарным почечным артериям в нижней трети, мм/с	0,5 [0,34; 0,58]	0,54 [0,36; 0,58]	0,906
Скорость кровотока в междолевых артериях, мм/с	0,4 [0,31; 0,42]	0,41 [0,32; 0,43]	0,574
Ri в стволе (воротах) почечной артерии	0,63 [0,57; 0,82]	0,59 [0,56; 0,78]	0,290
Ri по сегментарным почечным артериям в верхней трети	0,56 [0,47; 0,63]	0,56 [0,47; 0,6]	0,805
Ri по сегментарным почечным артериям в средней трети	0,54 [0,48; 0,6]	0,54 [0,48; 0,6]	0,897
Ri по сегментарным почечным артериям в нижней трети	0,54 [0,5; 0,59]	0,56 [0,49; 0,6]	0,761
Ri в междолевых артериях	0,59 [0,5; 0,6]	0,59 [0,5; 0,6]	0,973

Примечание: ЦДК – цветное доплеровское картирование.

**Таблица 3.** Оценка корреляционных связей эхографических предикторов с хронической болезнью почек

**Table 3.** Evaluation of correlations of ultrasound predictors with CKD

Предикторы	Коэффициент корреляции [ДИ]	p
Длина почки	0,369 [0,259; 0,505]	< 0,01
Ширина почки	0,407 [0,292; 0,495]	< 0,01
Толщина паренхимы	0,367 [0,241; 0,462]	< 0,01
Кровоток в сегментарных артериях в верхней трети	0,221 [0,081; 0,339]	0,005
Кровоток в сегментарных артериях в средней трети	0,338 [0,209; 0,438]	< 0,01

сосудистым сопротивлением на разных уровнях кровотока (Ri в стволе и Ri в сегментарных почечных артериях,  $r = 0,658$  [0,56; 0,726],  $p < 0,001$ ), что может свидетельствовать о внутриорганном повышении давления.

Затем мы проверили гипотезу о том, могут ли какие-либо эхографические предикторы развития ХБП иметь самостоятельное значение в диагностике этого заболевания (табл. 4). Согласно результатам ROC-анализа, увеличение размеров, структура паренхимы почек, скорость кровотока по сегментарным артериям не имеют столь

выраженного диагностического значения (AUC от 0,618 до 0,656).

В динамике структурных изменений почки при прогрессировании ХБП заслуживает внимания толщина паренхимы почки, которая может быть самостоятельным предиктором ХБП. Обе группы статистически значимо различались по данной переменной ( $p = 0,04$ ), точка отсечения равна 16 мм. В основной группе почти у половины детей выявлено уменьшение паренхимы почек  $\leq 16$  мм (63 (49,22%), ОШ = 2,41 [1,03; 5,66],  $p = 0,04$ ).

**Таблица 4.** Результаты ROC-анализа разделяющих переменных

**Table 4.** Results of ROC- analysis of separating variables

Переменная	ROC-AUC	Чувствительность, %	Специфичность, %
Длина почки	0,618 [0,539; 0,704]	53,9 [46,6; 61,8]	66,7 [51,7; 81,0]
Ширина почки	0,629 [0,533; 0,708]	55,5 [48,1; 62,8]	66,7 [52,0; 80,0]
Паренхима почки	0,622 [0,527; 0,704]	50,8 [43,3; 58,1]	70,0 [55,6; 83,3]
Скорость кровотока по сегментарным артериям (в верхней трети)	0,656 [0,572; 0,742]	60,0 [44,4; 75,0]	61,7 [54,3; 69,2]

На рисунке 2 представлены графики оценки качества предиктора на примере толщины паренхимы левой почки (SR-паренхима).

Далее для подтверждения ценности предикторов ХБП был проведен анализ с применением однофакторной логистической регрессии (табл. 5). Статистически значимый

коэффициент детерминации определен для таких признаков, как размеры и структура почек по результатам УЗИ.

Многофакторный регрессионный анализ показал, что факторами риска ХБП при совместной регистрации является скорость кровотока по сегментарным артериям в

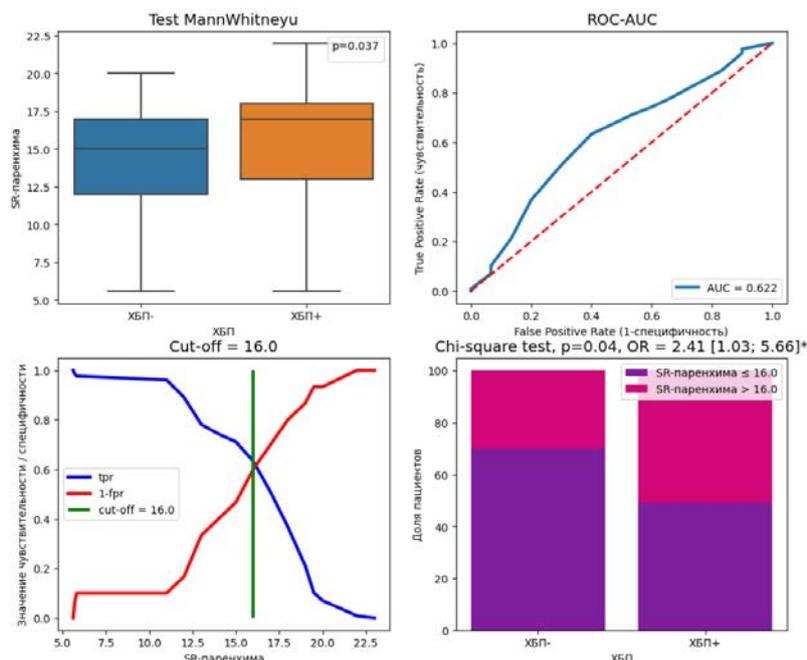


Рис. 2. Графики оценки качества предиктора «паренхима почки» на примере толщины паренхимы левой почки (SR-паренхима), где «ХБП–» группа контроля, «ХБП+» основная группа, точка отсечения (cut-off) равна 16 мм  
Fig. 2. Graphs of quality assessment of the predictor “renal parenchyma” on the example of left renal parenchyma thickness (SR-parenchyma), where “CKD–” control group, “CKD+” main group, cut-off point is 16 mm

верхней трети почки ( $B = 2,926$ ). В таблице 6 представлены результаты комплексного анализа эхографических предикторов ХБП разными статистическими методами. Сравнение групп предикторов указывает на среднюю роль эхографических предикторов в прогнозировании ХБП.

### Обсуждение

Проведя анализ важности эхографических признаков в качестве предикторов ХБП у детей, нужно отметить их среднюю значимость как факторов, прогнозирующих ХБП. Вероятно, это связано с тем, что эхографические признаки не являются ранними и появляются уже при длительно текущем хроническом процессе в почках.

Авторы сообщают об обеднении кровотока, когда он не прослеживался до капсулы почки, при ХБП у детей. Это свидетельствует о значительной ишемии коркового слоя и отражает тяжелые сосудистые изменения в виде склероза, гиалиноза мелких артерий с сужением их просвета [13–15]. На рисунке 3 (а, б) представлены результаты ЦДК и эхографии ребенка после операции по коррекции мегауретера, которую провели 6 мес. назад. На фото почка уменьшена в размере, прослеживается нечеткость и истончение паренхимы, нечеткость корково-мозговой дифференцировки, кровотоков в пораженной почке резко обеднен (3а); для сравнения представлены фото коллатеральной почки (3б).

Таблица 5. Результаты анализа с применением однофакторной логистической регрессии

Table 5. Results of the analysis using one-factor logistic regression

Факторы	B	Exp (B) [95% ДИ]	R <sup>2</sup>	p
Длина почки	0,029	1,029 [1,006; 1,053]	0,041	0,014
Ширина почки	0,046	1,047 [1,005; 1,091]	0,032	0,030
Паренхима почки	0,12	1,127 [1,012; 1,256]	0,030	0,03
Скорость кровотока по сегментарным артериям в верхней трети почки	2,926	18,653 [0,603; 577,031]	0,018	0,095

Таблица 6. Результаты комплексного анализа эхографических предикторов хронической болезни почек

Table 6. Results of complex analysis of ultrasound predictors of CKD

Предикторы	Результат проверки гипотезы о различии	Результат корреляционного анализа	Результат ROC-анализа	Результат однофакторного регрессионного анализа
Размеры почки	++	++	++	++
Толщина паренхимы почки	++	++	++	++
Повышенная эхогенность паренхимы почки	++			
Скорость кровотока по сегментарным почечным артериям в верхней трети	++	++	++	+

Примечание: [++] – средняя обоснованность предикторного фактора,  $p < 0,01$  или ROC-AUC от 0,7 до 0,8; [+] – слабая обоснованность предикторного фактора,  $p < 0,05$ .

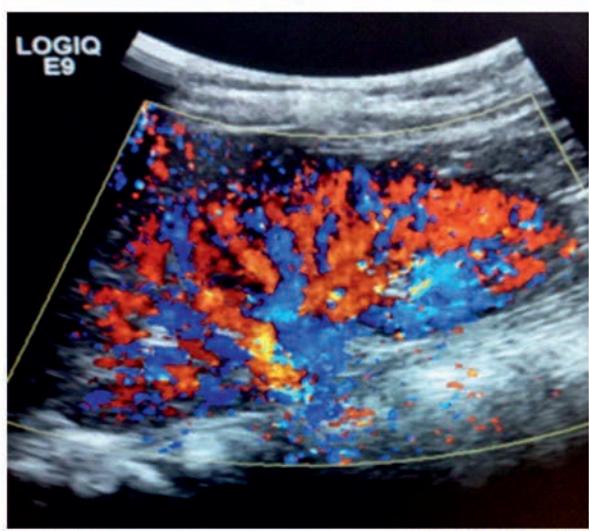
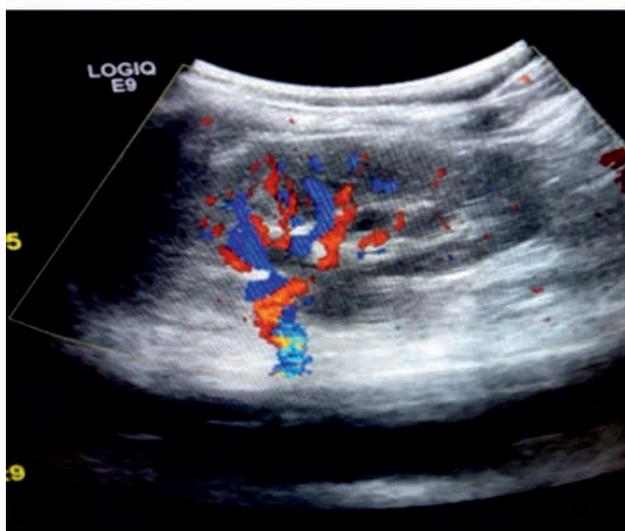
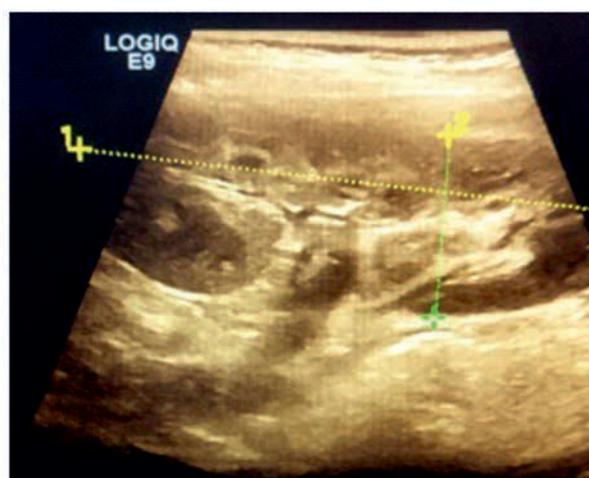


Рис. 3а. На стороне поражения визуализируется уменьшение размеров почки, размытость кортико-мозгового слоя, дилатация чашечно-лоханочной системы. При ЦДК сосудов почки резкое обеднение рисунка  
Fig. 3a. On the side of the lesion there is a decrease in the kidney size, blurring of the cortico-cerebral layer, dilatation of the calycho-lochanous system. In Doppler of renal vessels, there is a sharp depletion of the pattern

Рис. 3б. Эхографические данные коллатеральной почки (представлены для сравнения, фото из собственного архива)  
Fig. 3b. Echographic data of the collateral kidney (presented for comparison, photo from own archive)

Эхографическими предикторами ХБП у детей являются маркеры, выявляемые при ультразвуковом и доплерографическом исследовании почек. Исследование позволяет визуализировать сосуды с оценкой их архитектоники, провести морфометрию, диагностировать локальные и диффузные нарушения внутривисочечной гемодинамики. ЦДК позволяет оценить три параметра кровотока одновременно: направление, скорость и характер (однородность и турбулентность). При этом исключается возможность «наслаивания» друг на друга близлежащих сосудов, имеющих различные типы кровотока [16].

Мы выявили, что в режиме доплерографии наиболее важными характеристиками внутривисочечной гемодинамики являются линейные показатели скорости кровотока (систолическая и диастолическая скорости кровотока), позволяющие косвенно судить о состоянии и величине периферического сосудистого сопротивления, что согласуется с литературными данными [15, 16]. Важными потенциальными маркерами ХБП у детей являются изменения длины, ширины и толщины паренхимы почки

на стороне поражения. Данный признак появляется при формировании склероза паренхимы почек, позже доплерографических переменных. Эхографические методы диагностики дают возможность оценить не только структурные, но и функциональные характеристики почек, в том числе и у больных без явных клинических проявлений ХБП, что позволяет использовать данный метод для ранней диагностики, прогнозирования и оценки прогрессирования заболевания [16].

Таким образом, в данном исследовании установлен ряд признаков, полученных при эхографическом исследовании в качестве предикторов ХБП. В последующих материалах мы сделаем акцент на прогнозировании, опираясь на информативные предикторы ХБП, выявленные в данной работе. Разработка и внедрение в систему здравоохранения информационных средств поддержки принятия врачебных решений [17–19] позволит улучшить отбор детей с риском развития прогрессирующего течения заболевания почек и своевременно направить их к нефрологу.

## Литература / References

1. Дворяковский И.В., Труханов А.И., Дворяковская Г.М., Смирнов И.Е. Ультразвуковая диагностика в педиатрии: история и достижения. *Российский педиатрический журнал*. 2022;25(1):66–72. <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2022-25-1-66-72>.
2. Dvoryakovskiy I.V., Trukhanov A.I., Dvoryakovskaya G.M., Smirnov I.E. Ultrasound diagnostics in pediatrics: history and achievements. *Russian Pediatric Journal*. 2022;25(1):66–72. (In Russ.). <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2022-25-1-66-72>.
3. Wang S., Hossack J.A., Klibanov A.L. From anatomy to functional and molecular biomarker imaging and therapy: ultrasound is safe, ultrafast, portable, and inexpensive. *Invest. Radiol*. 2020;55(9):559–572. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000675>.
4. Zhang Y., Demosthenous A. Integrated circuits for medical ultrasound applications: imaging and beyond. *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst*. 2021;15(5):838–858. <https://doi.org/10.1109/TBCAS.2021.3120886>.
5. Пыков М.И., Гуревич А.И., Ватолин К.В., Быкова О.К., Озерская И.А. Измерения в детской ультразвуковой диагностике. Справочник. М: ВИДАР; 2018:96. ISBN 978-5-88429-240-6.
6. Rykov M.I., Gurevich A.I., Vatolin K.V., Bykova O.K., Ozerskaya I.A. Measurements in pediatric ultrasonography. Reference book. M: VIDAR; 2018:96. (In Russ.). ISBN 978-5-88429-240-6.
7. Папаян А.В., Савенкова Н.Д. Клиническая нефрология детского возраста. СПб: СОТИС; 1997:718. ISBN 5-85503-115-2.
8. Parayan A.V., Savenkova N.D. Clinical nephrology of pediatric age. St. Petersburg: SOTIS; 1997:718. (In Russ.). ISBN 5-85503-115-2.
9. Mallamaci F., Tripepi G. Risk factors of chronic kidney disease progression: between old and new concepts. *J. Clin. Med*. 2024;13(3):678. <https://doi.org/10.3390/jcm13030678>.
10. Chen T.K., Knicely D.H., Grams M.E. chronic kidney disease diagnosis and management: a review. *JAMA*. 2019;322(13):1294–1304. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.14745>.
11. Кутырло И.Э., Савенкова Н.Д. САКУТ – синдром у детей. *Нефрология*. 2017;21(3):18–24. <https://doi.org/10.24884/1561-6274-2017-3-18-24>.
12. Kutyrla I.E., Savenkova N.D. CAKUT – syndrome in children. *Nephrology*. 2017;21(3):18–24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24884/1561-6274-2017-3-18-24>.
13. Игнатова М.С., Маковецкая Г.А., Мазур Л.И. Болезни органов мочевой системы у детей. Самара: Асгард; 2017:224.
14. Ignatova M.S., Makovetskaya G.A., Mazur L.I. Urinary tract diseases in children. Samara: Asgard; 2017:224. (In Russ.).
15. Иванова И.И., Коваль Н.Ю. Хронический пиелонефрит у детей с разными диспластическими фенотипами. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2022;67(5):68–71. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2022-67-5-68-71>.
16. Ivanova I.I., Koval N.Yu. Chronic pyelonephritis in children with different dysplastic phenotypes. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2022;67(5):68–71. (In Russ.). <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2022-67-5-68-71>.
17. Вафоева Н.А. Влияние заболеваний почек на показатели центральной гемодинамики. *Scientific progress*. 2021;2(2):121–127. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-zabolevaniy-pochek-na-pokazateli-tsentralnoy-gemodinamiki> (25.02.2025).
18. Vafoeva N.A. Influence of kidney diseases on indicators of central hemodynamics. *Scientific progress*. 2021;2(2):121–127. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-zabolevaniy-pochek-na-pokazateli-tsentralnoy-gemodinamiki> (25.02.2025).
19. Lameire N.H., Levin A., Kellum J.A., Cheung M., Jadoul M., Winkelmayer W.C. et al. Harmonizing acute and chronic kidney disease definition and classification: report of a Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Consensus Conference. *Kidney Int*. 2021;100(3):516–526. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2021.06.028>.
20. Черкасов Н.С., Давыдова О.В., Дербенева Л.И., Луценко Ю.А. Ренокардиальный синдром у ребенка с ненаследственной дисплазией соединительной ткани. *PMЖ. Мать и дитя*. 2021;4(2):184–188. <https://doi.org/10.32364/2618-8430-2021-4-2-184-188>.
21. Cherkasov N.S., Davydova O.V., Dербенева L.I., Lutsenko Yu.A. Renocardiac syndrome in a child with non-inherited connective tissue disease. *Russian Journal of Woman and Child Health*. 2021;4(2):184–188. (In Russ.). <https://doi.org/10.32364/2618-8430-2021-4-2-184-188>.
22. Walawender L., Becknell B., Matsell D.G. Congenital anomalies of the kidney and urinary tract: defining risk factors of disease progression and determinants of outcomes. *Pediatr. Nephrol*. 2023;38(12):3963–3973. <https://doi.org/10.1007/s00467-023-05899-w>.
23. Седашкина О.А., Порецкова Г.Ю., Маковецкая Г.А. Полиморфизмы генов ренин-ангиотензиновой системы: значение в прогрессировании хронической болезни почек у детей. *Российский педиатрический журнал*. 2023;23(2):89–94. <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2023-26-2-89-94>.
24. Sedashkina O.A., Poretskova G.Yu., Makovetskaya G.A. Polymorphisms of genes of the renin-angiotensin system: significance in the progression of chronic kidney disease in children. *Russian Pediatric Journal*. 2023;23(2):89–94. (In Russ.). <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2023-26-2-89-94>.
25. Ольхова Е.Б. Эхографические аспекты нефросклероза детей. *Ультразвуковая диагностика в акушерстве, гинекологии и педиатрии*. 2000;2:136–142. eLIBRARY ID: 10476.
26. Olkhoa E. B. Ekhograficheskiye aspekty nefroskleroza detey. *Ultrazvukovaya diagnostika v akusherstve, ginekologii i pediatrii*. 2000;2:136–142. (In Russ.). eLIBRARY ID: 10476.
27. Колсанов А.В., Авдеева Е.В. Нейрокомпьютерный интерфейс: фундаментальные и клинические аспекты развития и применения технологии. *Наука и инновации в медицине*. 2017;2(4):6–12.
28. Kolsanov A.V., Avdeeva E.V. Brain-computer interface: fundamental and clinical aspects of development and implication of the technology. *Science and Innovations in Medicine*. 2017; 2(4): 6–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.35693/2500-1388-2017-0-4-6-12>.
29. Захаров А.В., Пятин В.Ф., Колсанов А.В., Повереннова И.Е., Сергеева М.С., и др. Использование виртуальной реальности в качестве средства ускорения двигательной реабилитации пациентов после перенесенного острого нарушения мозгового кровообращения. *Наука и инновации в медицине*. 2016; 1(3): 62–66.
30. Zakharov A.V., Pyatin V.F., Kolsanov A.V., Poverennova I.E., Sergeeva M.S., et al. Using virtual reality as a method of accelerated rehabilitation among the patients after stroke. *Science and Innovations in Medicine*. 2016; 1(3): 62–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.35693/2500-1388-2016-0-3-62-66>.
31. Колсанов А.В., Седашкина О.А., Постников М.А., Маковецкая Г.А., Ромаданова Е.М., Копосова Е.В. и др. Скрининг хронической болезни почек у детей с помощью алгоритмов машинного обучения. *Менеджер здравоохранения*. 2024;5:75–83. <http://dx.doi.org/10.21045/1811-0185-2024-5-75-84>.
32. Kolsanov A.V., Sedashkina O.A., Postnikov M.A., Makovetskaya G.A., Romadanova E.M., Kuposova E.V. et al. Screening chronic kidney disease in children with machine learning algorithms. *Menedzher zdavoohraneniya*. 2024;5:75–83. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.21045/1811-0185-2024-5-75-84>.

## Информация о вкладе авторов

Седашкина О.А. – обзор публикаций по теме, проведение исследования, статистическая обработка полученных данных, написание статьи.

Колсанов А.В. – разработка дизайна статьи, выбор тематики, литературное редактирование.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Information on author contributions

Sedashkina O.A. – review of publications on the topic, conducting research, statistical processing of the obtained data, writing the article.

Kolsanov A.V. – article design development, choice of topic, literary editing.

**Conflict of interest:** the authors do not declare a conflict of interest.

## Сведения об авторах

**Седашкина Ольга Александровна**, канд. мед. наук, доцент, кафедра факультетской педиатрии, СамГМУ Минздрава России; врач-нефролог, Самарская областная больница им. В.Д. Середавина, Самара, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-2864-6885>.

E-mail: [sedashkina@inbox.ru](mailto:sedashkina@inbox.ru).

**Колсанов Александр Владимирович**, д-р мед. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор РАН, ректор СамГМУ Минздрава России, заведующий кафедрой оперативной хирургии и клинической анатомии с курсом медицинских информационных технологий, СамГМУ Минздрава России, Самара, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-4144-7090>.

E-mail: [a.v.kolsanov@samsmu.ru](mailto:a.v.kolsanov@samsmu.ru).



**Седашкина Ольга Александровна**,

e-mail: [sedashkina@inbox.ru](mailto:sedashkina@inbox.ru).

Поступила 05.07.2024;  
рецензия получена 19.02.2025;  
принята к публикации 26.02.2025.

## Information about the authors

**Olga A. Sedashkina**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Faculty Pediatrics, Samara State Medical University; Doctor - Nephrologist, Samara Regional Hospital named after V.D. Seredavin. V.D., Samara, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-2864-6885>.

E-mail: [sedashkina@inbox.ru](mailto:sedashkina@inbox.ru).

**Alexander V. Kolsanov**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Rector, Samara State Medical University, Head of the Department of Operative Surgery and Clinical Anatomy with the Course of Medical Information Technologies, Samara, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-4144-7090>.

E-mail: [a.v.kolsanov@samsmu.ru](mailto:a.v.kolsanov@samsmu.ru).



**Olga A. Sedashkina**, e-mail: [o.a.sedashkina@samsmu.ru](mailto:o.a.sedashkina@samsmu.ru).

Received 05.07.2024;  
review received 19.02.2025;  
-accepted for publication 26.02.2025.