

ISSN 1607-419X
ISSN 2411-8524 (Online)
УДК 616.12-008.33:616.61



Скорость пульсовой волны у детей и подростков с хронической болезнью почек: систематическое обзорное исследование литературы

Е. Н. Кулакова, И. В. Кондратьева, Т. Л. Настаушева
Воронежский государственный медицинский университет
им. Н. Н. Бурденко, Воронеж, Россия

Контактная информация:
Кулакова Елена Николаевна,
ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н. Н. Бурденко
Минздрава России,
ул. Студенческая, д. 10, Воронеж,
Россия, 394036.
E-mail: elena.n.kulakova@mail.ru

*Статья поступила в редакцию
01.04.24 и принята к печати 26.04.24.*

Резюме

Цель исследования — систематизация опубликованных данных для ответа на основной научно-исследовательский вопрос: у детей и подростков с хронической болезнью почек (ХБП) по сравнению с группой контроля (и/или принятыми в исследовании референтными значениями) как часто регистрируется повышение скорости пульсовой волны (СПВ)? Исследование выполнено для обоснования актуальности дальнейших научных исследований по изучаемой теме. **Материалы и методы.** Поиск литературных источников выполнялся в базе PubMed, Кокрейновской библиотеке, научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU, в специализированном журнале Pediatric Nephrology, в системе Google Scholar и в списках литературы релевантных статей. **Результаты.** Из 473 идентифицированных в результате поиска литературных источников в исследование включены 35 статей. Выявлены значительные отличия методов определения СПВ ($n = 4$), приборов ($n = 9$), методик выполнения, а также используемых референтных значений ($n = 4$). Среднее значение Z-score СПВ составило от $-0,13$ до $1,89$; при этом Z-score СПВ ≥ 1 установлено в половине исследованных групп пациентов ($5/10$; 50%). Среди детей и подростков с ХБП СПВ ≥ 95 -го перцентиля определялась от 1% до 61%; в большинстве групп ($10/14$; 71,4%) повышение СПВ регистрировалось у каждого пятого пациента и чаще. При сравнении с группой здоровых детей более высокие значения СПВ отмечались у пациентов с ХБП в половине соответствующих исследований ($14/25$; 56%). Наиболее часто повышение СПВ определялось у детей и подростков с ХБП С5 на диализной терапии, у пациентов с артериальной гипертензией, а также после трансплантации почки. **Заключение.** Большинство детей и подростков с ХБП С5 на диализной терапии имеют повышение СПВ. В отношении пациентов с ХБП С1-С4 выводы неоднозначны, учитывая значительную вариабельность результатов опубликованных исследований. Для формирования научного знания в этой области необходима стандартизация измерения СПВ у детей и подростков, достижение консенсусных решений по оценке полученных результатов с последующим выполнением многоцентровых исследований, в том числе в российской популяции.

Ключевые слова: скорость пульсовой волны, хроническая болезнь почек, дети, подростки, сердечно-сосудистые заболевания, артериальная гипертензия

Для цитирования: Кулакова Е. Н., Кондратьева И. В., Настаушева Т. Л. Скорость пульсовой волны у детей и подростков с хронической болезнью почек: систематическое обзорное исследование литературы. Артериальная гипертензия. 2024;30(5):418–440. doi:10.18705/1607-419X-2024-2428. EDN: LJYNVN

Pulse wave velocity in children and adolescents with chronic kidney disease: a scoping review

E. N. Kulakova, I. V. Kondratjeva, T. L. Nastausheva
N. N. Burdenko Voronezh State Medical University,
Voronezh, Russia

Corresponding author:
Elena N. Kulakova,
N. N. Burdenko Voronezh State Medical
University, Voronezh,
10 Studencheskaya str., Voronezh,
394036 Russia
E-mail: elena.n.kulakova@mail.ru

Received 1 April 2024;
accepted 26 April 2024.

Abstract

Objective. The purpose of the study is to systematize published data to answer the main research question: how often is there an increase in pulse wave velocity (PWV) in children and adolescents with chronic kidney disease (CKD), compared with the control group (and/or reference values adopted in the study)? The study was carried out to show the relevance of further scientific research in this field. **Design and methods.** The search included PubMed database, the Cochrane Library, the scientific electronic library eLIBRARY.RU, the specialized Pediatric Nephrology journal, the Google Scholar system and the reference lists of relevant articles. **Results.** Of the 473 identified publications, 35 articles were included in the study. Significant differences were found in the methods for determining PWV ($n = 4$), devices ($n = 9$), implementation techniques, and reference values used ($n = 4$). The mean PWV Z-score in CKD patient groups ranged from $-0,13$ to $1,89$. Among children and adolescents with CKD, the prevalence of $PWV \geq 95$ th percentile varied from 1 % to 61 % across studies. In most groups, an increase in PWV was detected in every fifth patient and more often. When compared with the group of healthy children, higher PWV values in patients with CKD were observed in half of the relevant studies (14/25; 56%). Most often, an increase in PWV was determined in children and adolescents with CKD G5 on dialysis therapy, in patients with hypertension, and after kidney transplantation. **Conclusions.** The majority of children and adolescents with CKD G5 on dialysis therapy have an increased PWV. For patients with CKD G1-G4, the conclusions are mixed, given the significant variability in the results of published studies. There is a need to standardize the measurement of PWV in children and adolescents, to achieve consensus decisions on assessing the results obtained, followed by the implementation of multicenter studies, including the Russian population.

Key words: pulse wave velocity, chronic kidney disease, children, adolescents, cardiovascular diseases, hypertension

For citation: Kulakova EN, Kondratjeva IV, Nastausheva TL. Pulse wave velocity in children and adolescents with chronic kidney disease: a scoping review. Arterial'naya Gipertenziya = Arterial Hypertension. 2024;30(5):418–440. doi:10.18705/1607-419X-2024-2428. EDN: LJYNVN

Введение

По данным глобальных международных исследований, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) остаются основной причиной не только преждевременной смертности среди взрослого населения, но и сокращения продолжительности здоровой жизни, то есть жизни, прожитой без заболеваний, нарушений трудоспособности и инвалидности [1–3]. При этом артериальная гипертензия (АГ) до настоящего времени является основным предотвратимым фактором риска и определяет наибольшее количество потерянных лет жизни из-за ССЗ [1]. По результатам статистического анализа объединенных данных, из тысячи двухсот популяционных исследований с общим числом участников более ста миллионов установлено, что число мужчин и женщин с АГ удвоилось за последние десятилетия [4]. Однако среди них более половины не знают о своем заболевании или не получают лечение при установленном диагнозе; около 20 %, несмотря на проводимую антигипертензивную терапию, не достигают контроля АГ; и только 23 % женщин и 18 % мужчин репрезентативной глобальной выборки имеют контролируемую АГ [4]. Указанные эпидемиологические данные подтверждают, что, несмотря на почти 100-летние усилия систем здравоохранения разных стран по мониторингу и контролю ССЗ [3], эффективность их остается недостаточной. Следовательно, необходимо продолжить поиск и тестирование новых стратегических решений.

Последние годы детский возраст стал рассматриваться как «окно возможностей» по профилактике ССЗ у взрослых [5]. Установлено, что наличие факторов риска в детском возрасте ассоциировано с ССЗ в последующие годы [6] и преждевременной смертью от сердечно-сосудистых (СС) причин до 60-летнего возраста [7]. По данным систематического обзора установлено, что не только АГ, но даже высокое нормальное артериальное давление (АД) в детском возрасте может стать причиной субклинического поражения сердечно-сосудистой системы (ССС) у взрослых [8].

Дети с хронической болезнью почек (ХБП) имеют наиболее высокий риск развития ССЗ в последующие годы, в том числе в молодом возрасте [9, 10]. При этом АГ является наиболее значимым фактором, ассоциированным с формированием ССЗ у детей, подростков и молодых взрослых с ХБП [11]. Необходимо отметить, что АГ и ХБП имеют двунаправленное взаимодействие. С одной стороны, АГ может являться следствием ХБП, что наиболее характерно для детской популяции, а с другой стороны, АГ способствует формированию ХБП и про-

грессированию поражения почек, что подтверждено доказательствами высокого уровня у детей, подростков и взрослых [12].

В настоящее время остается много нерешенных вопросов по контролю АД у детей и подростков с ХБП. Например, есть разногласия по показаниям к началу медикаментозной терапии, а также по определению целевого уровня АД [13]. Обсуждаются трудности диагностики скрытой (маскированной) АГ, которая характерна для детей и подростков с ХБП, а также проблемы недостаточной приверженности к выполнению рекомендаций по контролю АД [12, 14]. Таким образом, требуется совершенствование тактики ведения детей и подростков с ХБП для снижения риска развития АГ и ССЗ.

Учитывая, что АГ и ХБП тесно связаны с повреждением сосудистой стенки [9], перспективным направлением для исследований может стать раннее выявление сосудистой жесткости (ригидности артерий), основным методом определения которой является измерение скорости пульсовой волны (СПВ). Жесткость артерий как интегральное понятие отражает эластические свойства исследуемых сосудов; ее повышение приводит к уменьшению амплитуды пульсовой волны, которая формируется при выбросе крови из сердца, и повышению скорости ее распространения [15, 16].

Измерение СПВ на каротидно-фemorальном участке считается золотым стандартом определения жесткости крупных сосудов [17]. Исследование СПВ выполняется у взрослых на протяжении нескольких десятилетий и активно изучается в настоящее время у детей и подростков [18–21].

По данным систематических обзоров установлено, что повышение СПВ у взрослых является прогностическим фактором (предиктором) ССЗ [22–24], а также летальности от ССЗ [23, 25] и от всех причин [22, 25]. Следовательно, измерение СПВ позволяет выявлять пациентов, требующих более интенсивных профилактических мероприятий [24]. Среди взрослых пациентов с ХБП также подтверждена ассоциация высокой СПВ с летальностью от всех причин, включая ССЗ [26]. Причем среди всех других традиционных факторов риска установлена связь СПВ только с АГ и возрастом [27]. Есть доказательства того, что повышение жесткости артерий является важным аспектом патогенеза АГ [28], так как ее увеличение может предшествовать развитию АГ, однако не исключается и двунаправленная причинная связь сосудистой жесткости с АГ [16, 29]. По данным систематических обзоров, в детской популяции выявлена ассоциация повышения СПВ с такими патологическими состояниями, как АГ [30–32], ожирение [33, 34], метаболический синдром [32].

До настоящего времени не выполнен систематический анализ опубликованных данных об особенностях СПВ у детей и подростков с ХБП. В описательных обзорах были обобщены результаты только наиболее известных исследований [9, 15, 35–37]. Учитывая этот пробел в научном знании, выполнено систематическое обзорное исследование литературы по методологии Scoping review.

Цель исследования — систематизация опубликованных данных для ответа на основной научно-исследовательский вопрос: у детей и подростков с ХБП по сравнению с группой контроля (и/или принятыми в исследовании референтными значениями) как часто регистрируется повышение СПВ? Исследование выполнено для обоснования актуальности и поиска направлений дальнейших научных исследований.

На этапе планирования также определены следующие уточняющие вопросы:

1. Какие виды, методы и приборы использовались для определения СПВ у детей и подростков с ХБП?
2. Какие референтные значения применялись для оценки результатов измерения СПВ?
3. В каком проценте случаев среди пациентов с ХБП была определена СПВ более 95-го перцентилля при сравнении результатов с референтными значениями, принятыми в исследовании?
4. Как часто регистрировались статистически значимые отличия СПВ между группой пациентов с ХБП и здоровыми детьми и подростками?

Методы

Планирование и выполнение систематического обзорного исследования литературы осуществлялось в соответствии с методологией Scoping Review [38]. Оформление статьи выполнялось на основании публикационных рекомендаций PRISMA-ScR (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews) [39].

Протокол исследования

Протокол исследования не публиковался и не регистрировался, был разработан итеративно и использовался на всех этапах исследования.

Критерии соответствия

Для разработки критериев включения на этапе планирования использована модель РСС (популяция/участники (Population), концепция/понятие (Concept), контекст (Context):

- участники: дети и подростки;

- концепция: СПВ;
- контекст: ХБП.

Таким образом, с учетом цели и вопросов исследования, а также с учетом компонентов выше представленной модели для формирования поисковых запросов определены следующие критерии включения: публикации на русском и английском языках с результатами кросс-секционных или когортных исследований; основная группа исследования представлена пациентами с ХБП детского или подросткового возраста; всем участникам определялась СПВ (измеренная или оцененная расчетным методом) без ограничений по используемому методу или прибору; полученные результаты сравнивались с СПВ группы здоровых детей и подростков или с референтными значениями, принятыми в исследовании, с представлением соответствующего Z-score.

Источники информации

Поиск литературных источников выполнялся в следующих базах: PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), Кокрейновская библиотека (The Cochrane Library, <https://www.cochranelibrary.com/advanced-search>), научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (<https://elibrary.ru/querybox.asp>). Кроме того, поиск публикаций также осуществлялся в специализированном журнале Pediatric Nephrology (<https://link.springer.com/journal/467>), в системе Google Scholar (<https://scholar.google.com/>) и в списках литературы отобранных статей.

Поиск

С учетом научно-исследовательского вопроса и критериев включения были сформулированы следующие поисковые запросы:

1. В системе PubMed: (pulse wave velocity OR arterial stiffness) chronic kidney disease (adolescents OR children). Автоматизированные ограничения, в том числе по типу и дате публикаций, не применяли.

2. В Кокрейновской библиотеке: (pulse wave velocity OR arterial stiffness) chronic kidney disease (adolescents OR children). Поиск выполнялся в полном тексте статей (опция All Text) с учетом морфологии слов (опция Search word variations).

3. В научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU: «скорость пульсовой волны» и (подростки или дети) и «хроническая болезнь почек». Поиск ключевых слов выполнялся в полном тексте публикаций с учетом морфологии слов и был ограничен только статьями в журналах и книгами. Другие ограничивающие параметры не устанавливались.

4. В специализированном журнале *Pediatric Nephrology*: “pulse wave velocity”.

5. В системе Google Scholar поиск выполнялся с использованием русских и английских ключевых слов: скорость пульсовой волны, подростки, дети, хроническая болезнь почек; pulse wave velocity, chronic kidney disease, adolescents, children.

6. Поиск релевантных публикаций по спискам литературы осуществлялся только среди отобранных полнотекстовых вариантов статей.

Поиск выполнен в ноябре 2023 года с его последним обновлением и формированием итоговой базы публикаций в январе 2024 года.

Отбор публикаций

Первый этап отбора выполнялся на основании скрининга названий и аннотаций статей, затем осуществлялся анализ их полных текстов. Учитывая, что в результате автоматизированного поиска получены в том числе и нерелевантные публикации, на этапе отбора были итеративно разработаны критерии исключения.

Из общего количества статей, полученных в результате поиска, были исключены следующие публикации: обзоры всех типов, редакционные статьи, консенсусные документы, рекомендации профессиональных медицинских организаций, тезисы докладов конференций; исследования, среди участников которых не было пациентов с ХБП; если не выполнялось определение СПВ; если не было сравнения результатов измерения СПВ с группой здоровых детей или с референтными значениями, принятыми в исследовании; если участниками исследования были не только пациенты с ХБП, но и с другой патологией без разделения участников на подгруппы; если средний возраст группы исследования был более 18 лет; если артериальная жесткость определялась другими методами без измерения СПВ; если в статье не указаны числовые данные измерения СПВ, а только их графическое представление. Исключались также публикации при отсутствии доступа к их полному тексту.

Если в нескольких публикациях анализировалась одна и та же база (когорта) пациентов с одинаковым набором данных, в исследование для анализа включалась только одна статья в соответствии со следующим правилом: если база дополнялась, то включалась последняя публикация с максимальным количеством пациентов или наиболее полным набором искомых данных; если дополнений в базе пациентов не было, то включалась первая оригинальная публикация. Если на базе одного когортного исследования проводился анализ разных подгрупп,

включались все публикации при соответствии их критериям включения.

В результате отбора была сформирована итоговая база публикаций с искомыми сравнительными исследованиями.

Отдельно для ответа на второй уточняющий вопрос из списков литературы публикаций, вошедших в итоговую базу, были отобраны статьи с референтными значениями СПВ, которые использовались в соответствующем исследовании.

Извлечение данных

Структурированная форма для извлечения искомых данных была разработана в программе Microsoft Excel и итеративно адаптирована в процессе пилотного извлечения информации из первых источников.

Данные

Из отобранных публикаций в структурированную форму извлечены следующие данные: название, авторы, год публикации, страна, дизайн научного исследования, особенности определения СПВ, включая метод, прибор, расстояние между исследуемыми точками для расчета СПВ, количество повторных измерений при одном исследовании, характеристика группы исследований (возраст, стадия ХБП, СПВ), характеристика группы контроля (возраст, СПВ), уровень статистической значимости различий СПВ между группами (p).

Разновидность измеренной СПВ (каротидно-фemorальная, каротидно-плечевая, аортальная) определялась в соответствии с участком, на котором выполнялось измерение, вне зависимости от определения, которое использовали авторы. Например, если авторы указывали, что определяли аортальную СПВ, но измерение выполнялось на каротидно-фemorальном участке, то для целей данного систематического исследования СПВ относилась к каротидно-фemorальной.

Методы измерения СПВ (аппланационная тонометрия, осциллометрия, механотрансдукция, ультразвуковая доплерография), а также метод ее расчетной оценки (по данным осциллометрии на плечевой артерии) определялись на основании названия прибора, указанного в публикации, в соответствии с терминологией российских и международных рекомендаций [40, 41].

Повышение СПВ определялось как СПВ $\geq$ 95-го перцентиля [42].

Критическая оценка

Оценка качества отобранных исследований не выполнялась.

Анализ данных и синтез результатов

Для анализа данных применялся рекомендуемый описательно-аналитический подход [39]. Синтез извлеченной информации осуществлялся путем формирования групп, дифференцированных в соответствии с уточняющими вопросами. Итоговые результаты представлены в виде таблиц и текста.

Дополнительно для ответа на второй уточняющий вопрос проводился расчет 95-го перцентиля референтных баз, если перцентильные таблицы СПВ авторами не были опубликованы, а только представлены данные для определения перцентилей LMS методом. Этот расчет выполнялся в программе Microsoft Excel по следующей формуле [43]:

$$95\text{-й перцентиль}(t) = M(t) \times (1 + L(t) \times S(t) \times 1.645)^{(1/L(t))},$$

где $L(t)$ — параметр преобразования Бокса-Кокса (λ), который используется для устранения асимметричности распределения исследуемой величины и приближения ее распределения к нормальному, $M(t)$ — медиана (μ), $S(t)$ — коэффициент вариации (σ). Значения $L(t)$, $M(t)$ и $S(t)$, соответствующие определенному возрасту (t) или росту (t) базы

здоровых детей, были установлены авторами анализируемых публикаций и представлены в табличном виде в тексте статей или приложениях к ним.

Определялись медианы анализируемых значений 95-го перцентиля, а также выполнялся статистический анализ различий значений 95-го перцентиля разных референтных таблиц для разных приборов и методов определения СПВ. Для проверки статистической значимости различий использован непараметрический критерий Фридмана. Статистическая обработка результатов выполнена в программе IBM SPSS Statistics. Статистическая значимость различий определялась при $p < 0,05$.

Результаты

Отбор публикаций

На рисунке 1 представлена блок-схема отбора публикаций со сравнительными исследованиями по изучению СПВ у детей и подростков с ХБП.

Кроме 35 статей, представленных на рисунке 1, дополнительно из их списков литературы отобраны 4 статьи с перцентильными таблицами референтных значений СПВ у детей и подростков или таблицами, содержащими параметры LMS для расчета 95-го перцентиля [43–46].

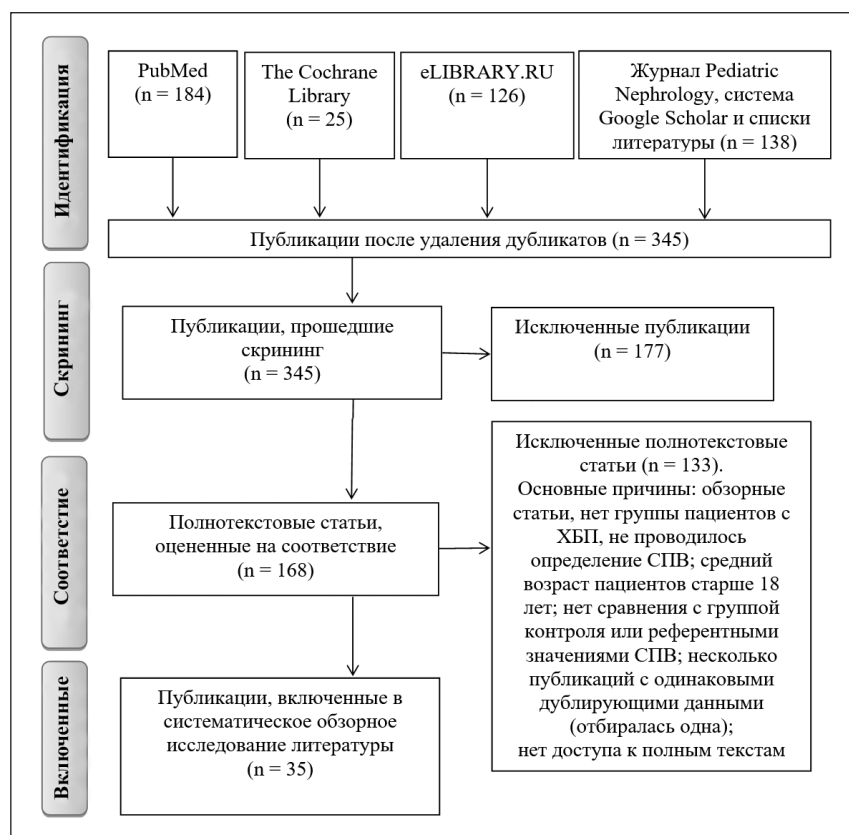


Рисунок 1. Блок-схема поиска и отбора публикаций

Примечание: СПВ — скорость пульсовой волны; ХБП — хроническая болезнь почек.

Характеристика публикаций

Все отобранные публикации были на английском языке. Русских статей, соответствующих критериям включения, идентифицировано не было. Большинство авторов отобранных публикаций было из европейских стран (Табл. 1).

В шести статьях были представлены результаты международных научно-исследовательских проектов [48, 53, 65, 71, 74, 80]. Повышение публикационной активности по этой теме отмечено с 2016 года.

Виды, методы и приборы для определения СПВ

У детей и подростков с ХБП наиболее часто выполнялось непосредственное измерение СПВ, то есть определение времени задержки пульсовой волны при ее исследовании в двух точках с последующим делением расстояния между точками на измеренное время. Посредством измерения определялась одна из трех разновидностей СПВ: каротидно-

феморальная, каротидно-плечевая или аортальная (таблица 2). Только в 2 статьях [73, 75] определялась расчетная СПВ на основании анализа пульсовой волны в одной точке, а именно на плечевой артерии.

Для измерения или расчета СПВ были использованы 9 приборов: SphygmoCor, SphygmoCor XCEL, PulsePen, Complior, Vicorder, PowerVision, SPC-301, Philips, Mobil-O-Graph. Принцип работы перечисленных приборов основан на 4 разных методах определения СПВ: аппланационная тонометрия, механотрансдукция, ультразвуковая доплерография, осциллометрия. Наиболее часто использовались 2 прибора: SphygmoCor (12/35; 34,3%) и Vicorder (11/35; 31,4%).

В большинстве статей (14/35, 40%) указано, что при обследовании ребенка измерение СПВ выполнялось один раз, или количество измерений не было отмечено, что приравнивалось к однократному измерению [47, 51, 53, 58, 60–62, 66–68, 72, 78, 79, 81]. В 7 публикациях описано, что в период одного обследования было выполнено как минимум 2

Таблица 1

**ОБОБЩЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТОБРАННЫХ ПУБЛИКАЦИЙ
СО СРАВНИТЕЛЬНЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ**

Характеристика	Количество, абс. (%)	Ссылки
Годы публикаций		
2006–2010	6 (17,1%)	[47–52]
2011–2015	6 (17,1%)	[53–58]
2016–2020	15 (42,9%)	[59–73]
2021–01.2024	8 (22,9%)	[74–81]
Страна первого автора		
Турция	6 (17,1%)	[52, 54, 70–72, 81]
Германия	5 (14,3%)	[47, 59, 65, 77, 80]
Венгрия	4 (11,4%)	[49, 50, 55, 74]
Великобритания	4 (11,4%)	[51, 57, 63, 78]
США	3 (8,6%)	[58, 64, 66]
Польша	3 (8,6%)	[56, 67, 68]
Румыния	2 (5,7%)	[48, 76]
Франция	2 (5,7%)	[60, 61]
Греция	2 (5,7%)	[62, 69]
Бразилия	2 (5,7%)	[73, 75]
Канада	1 (2,9%)	[53]
Словения	1 (2,9%)	[79]
Всего	35 (100%)	

Таблица 2

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ ПОЧЕК ПО ДАННЫМ ОПУБЛИКОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

СПВ (измеренная / расчетная)	Метод	Прибор	Количество статей	Ссылки
Каротидно-фemorальная	Аппланационная тонометрия	SphygmoCor	10	[47, 48, 56, 60, 61, 63, 64, 67, 68, 79]
		PulsePen	4	[49, 50, 55, 74]
	Механотрансдукция	Complior	1	[62]
	Ультразвуковая доплерография	PowerVision	1	[52]
	Осциллометрия (объемная)	Vicorder	10	[54, 57, 59, 65, 70–72, 77, 78, 80]
	Аппланационная тонометрия + Осциллометрия	SphygmoCor XCEL	1	[69]
Каротидно-плечевая	Аппланационная тонометрия	SphygmoCor	2	[58, 66]
		SPC-301	1	[51]
	Осциллометрия (объемная)	Vicorder	1	[81]
Аортальная	Ультразвуковая доплерография	Philips	1	[76]
		н/д	1	[53]
Расчетная	Осциллометрия (плечевая манжета)	Mobil-O-Graph	2	[73, 75]

Примечание: н/д — нет данных; СПВ — скорость пульсовой волны.

измерения СПВ [48–50, 55, 59, 69, 75], в 13 — сделано трехкратное измерение [52, 54, 56, 57, 63–65, 70, 71, 73, 74, 77, 80], авторы одной публикации указали 5-кратное измерение СПВ [76]. При неоднократном измерении рассчитывалось среднее арифметическое, которое использовалось в дальнейшем анализе.

В отобранных публикациях указано 7 способов определения расстояния между исследуемыми точками при измерении каротидно-фemorальной СПВ:

- А = (расстояние от яремной ямки до бедренной артерии) минус (расстояние от яремной ямки до сонной артерии) (n = 7) [48, 56, 64, 67, 68, 74, 77];
- В = (расстояние от сонной артерии до бедренной артерии), умноженное на 0,8 (n = 2) [62, 69];
- С = (расстояние от яремной ямки до пупочной области) плюс (расстояние от пупочной области до манжеты на бедре) минус (расстояние от яремной ямки до сонной артерии) (n = 4) [59, 65, 71, 80];
- D = (расстояние от яремной ямки до сонной артерии) плюс (расстояние от яремной ямки до бедренной артерии) (n = 4) [47, 49, 50, 55];

- E = расстояние от сонной артерии до бедренной артерии (n = 1) [52];

- F = расстояние от яремной ямки до бедренной артерии (n = 2) [57, 70].

В 7 статьях способ определения расстояния между исследуемыми точками при измерении каротидно-фemorальной СПВ указан не был [54, 60, 61, 63, 72, 78, 79].

Референтные значения для оценки результатов измерения СПВ

В 23 статьях при оценке СПВ у детей и подростков с ХБП использованы референтные значения, на основании которых определялся перцентиль и/или Z-score для каждого участника. В остальных публикациях (n = 12) было выполнено только сравнение абсолютных значений СПВ с группой контроля.

В таблице 3 представлены 4 статьи с перцентильными таблицами и/или графиками, которые были использованы в качестве референтных авторами отобранных публикаций.

Референтные значения G. S. Reusz и соавторов (2010) были использованы в исследованиях,

Таблица 3
ХАРАКТЕРИСТИКА ПУБЛИКАЦИЙ С РЕФЕРЕНТНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ СКОРОСТИ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ ДЛЯ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

Авторы, ссылка	Год	Этап разработки			Итоговые перцентили		Количество статей, в которых использованы, абс. (%); n = 23
		СПВ	Прибор	Количество участников	По возрасту (годы)	По росту (см)	
G. S. Reusz и соавт. [43]	2010	Каротидно-феморальная	PulsePen	1008	7–19	М: 120–195 Ж: 115–180	14* (60,9%)
D. Thurn и соавт. [46]	2015	Каротидно-феморальная	Vicorder	1003	6–18	М: 120–190 Ж: 120–180	7 (30,4%)
I. Voges и соавт. [45]	2012	Аортальная МРТ	Philips Achieva	71	0–30	н/д	1 (4,3%)
J. Elmenhorst и соавт. [44]	2015	Расчетная	Mobil-O-Graph	1445	8–21	М: 123–195 Ж: 112–181	1 (4,3%)

Примечание: СПВ — скорость пульсовой волны; н/д — нет данных; М — мужской пол; Ж — женский пол; * — включены публикации [49, 50], в которых указана предварительная версия референтных значений G. S. Reusz и соавт. (2010).

в которых СПВ измерялась приборами PulsePen [49, 50, 55, 74], SphygmoCor [60, 61, 63, 64, 66, 67], SphygmoCor XCEL [69] и Complior [62]; D. Thurn и соавторов (2015) — при измерении приборами Vicorder [59, 65, 71, 77, 78, 80] и SphygmoCor [68]; J. Elmenhorst и соавторов (2015) — при расчетной оценке с использованием прибора Mobil-O-Graph [75]; I. Voges и соавторов (2012) — только при определении СПВ на основании ультразвуковой доплерографии [76]. Однако были исследования, в которых измерение СПВ выполнялось прибором Vicorder, но были использованы несоответствующие референтные значения G. S. Reusz и соавторов (2010) [54, 70].

В большинстве исследований среди тех, в которых оценка СПВ осуществлялась на основании референтных значений, использовались перцентильные таблицы по росту 14/23 (60,9%); в трех — по возрасту [49, 50, 76], включая авторские модификации; в одном — по росту и отдельно по возрасту [64]. Однако в 5 (21,7%) статьях [55, 60, 62, 63, 68] либо не указано, какие именно использовались перцентильные таблицы (по росту или возрасту), или отмечено, что использовались таблицы и по росту, и по возрасту без указания, какие именно. Такие уточнения являются необходимыми, так как до настоящего времени комбинированные таблицы, содержащие перцентили и по росту, и по возрасту, для оценки СПВ не разработаны.

В большинстве публикаций 95-й перцентиль определялся как критерий повышения СПВ. В таблицах 4 и 5 представлены значения 95-го перцентиля референтных данных, полученных разными методами. Показатель указан в зависимости от возраста или роста, отдельно для девочек и мальчиков. Кроме того, отмечены различия между значениями 95-го перцентиля разных референтных таблиц.

Наибольшие референтные значения СПВ были определены при использовании прибора PulsePen. Выявлены статистически значимые различия в обеих половых группах при сравнении значений 95-го перцентиля СПВ для разных приборов ($p < 0,001$). Наибольшая медиана различий была между референтными данными G. S. Reusz и соавторов (2010) [43] (прибор PulsePen) и J. Elmenhorst и соавторов (2015) [44] (прибор Mobil-O-Graph), наименьшая — между G. S. Reusz и соавторов (2010) [43] (прибор PulsePen) и D. Thurn и соавторов (2015) [46] (прибор Vicorder), как среди лиц мужского, так и среди лиц женского пола.

СПВ у детей и подростков с ХБП

В 15 исследованиях (в 16 группах, учитывая, что в одном исследовании было 2 группы пациен-

Таблица 4

**ЗНАЧЕНИЯ 95-ГО ПЕРЦЕНТИЛЯ СКОРОСТИ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ (М/С) ДЛЯ МАЛЬЧИКОВ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА ИЛИ РОСТА С УКАЗАНИЕМ РАЗЛИЧИЙ МЕЖДУ МЕТОДАМИ**

Ссылка	[43] А	[45] В	[46] С	[44] D	р-значение	Различия между		
Метод	Тонометрия, PulsePen	Магнито-резонансная томография	Осциллометрия, Vicorder	Осциллометрия, Mobil-O-Graph		А и В	А и С	А и D
Возраст, годы	СПВ, м/с				< 0,001	Различия СПВ, м/с		
8	5,5	4,8	5,2	4,5		0,7	0,3	1,0
9	5,5	4,8	5,3	4,6		0,7	0,2	0,9
10	5,6	4,8	5,4	4,7		0,8	0,2	0,9
11	5,8	4,8	5,6	4,8		0,9	0,2	0,9
12	5,9	4,9	5,7	5,0		1,0	0,2	1,0
13	6,1	4,9	5,8	5,1		1,2	0,3	1,0
14	6,3	4,9	5,9	5,3		1,3	0,3	1,0
15	6,5	5,0	6,1	5,5		1,5	0,4	1,0
16	6,7	5,0	6,2	5,6		1,7	0,4	1,1
17	6,9	5,0	6,4	5,7		1,9	0,5	1,2
18	7,1	5,1	6,6	5,8		2,0	0,5	1,3
Me СПВ 8–18 лет	6,1	4,9	5,8	5,1		1,2	0,3	1,0
Рост, см	СПВ, м/с				< 0,001	Различия СПВ, м/с		
125	5,3	—	5,0	4,5		—	0,3	0,8
130	5,4	—	5,1	4,6		—	0,3	0,8
135	5,5	—	5,3	4,7		—	0,2	0,8
140	5,6	—	5,4	4,7		—	0,2	0,9
145	5,7	—	5,5	4,8		—	0,2	0,9
150	5,9	—	5,6	4,9		—	0,3	1,0
155	6,2	—	5,8	5,0		—	0,4	1,2
160	6,4	—	5,9	5,1		—	0,5	1,3
165	6,6	—	6,0	5,3		—	0,6	1,3
170	6,8	—	6,2	5,4		—	0,6	1,4

Ссылка	[43] A	[45] B	[46] C	[44] D	p-значение	Различия между		
Метод	Тонометрия, PulsePen	Магнито-резонансная томография	Осциллометрия, Vicorder	Осциллометрия, Mobil-O-Graph		A и B	A и C	A и D
175	6,9	—	6,3	5,6	< 0,001	—	0,6	1,4
180	7,0	—	6,4	5,7		—	0,6	1,3
185	7,1	—	6,5	5,8		—	0,6	1,3
190	7,1	—	6,7	5,9		—	0,5	1,2
Me СПВ 125–190 см	6,3	—	5,9	5,1		—	0,4	1,2

Примечание: в таблице указаны не все значения 95-го перцентиля, представленные в публикациях, а только сопоставимые между группами; значения округлены до десятых долей; Me — медиана; p — уровень статистической значимости различий между 4 группами значений 95-го перцентиля (критерий Фридмана).

тов) СПВ определялась только у пациентов с ХБП без группы контроля. В этих исследованиях оценка полученных результатов выполнялась на основании выбранных авторами референтных значений. В таблице 6 представлены следующие данные: основная информация об этих исследованиях, характеристика их участников, результаты измерения/расчета СПВ в виде абсолютного значения (м/с) и Z-score, а также процент пациентов в каждой группе исследования со значением СПВ $\geq$ 95-го перцентиля.

В большинстве исследований (12/15; 80%) среди участников были дети и подростки с ХБП C5, часть из которых была на диализной терапии, и/или пациенты после трансплантации почки. В 14 анализируемых группах (из 13 исследований) указан процент участников, имеющих повышение СПВ $\geq$ 95-го перцентиля. В 2 исследованиях представлено только среднее значение Z-score СПВ.

Доля пациентов (%) с повышением СПВ $\geq$ 95-го перцентиля составила от 1% (в исследовании описан только 1 ребенок с повышением СПВ) до 61,5%. Наибольший процент (61,5%) был в исследовании, в котором применялся прибор Complior. Это было единственное исследование с таким прибором. Повышение СПВ у 40% участников и бо-

лее установлено среди пациентов на гемодиализе (50%) и у детей с АГ на фоне ХБП (48%). Наименьшее количество детей и подростков с повышением СПВ было среди пациентов с нормальным уровнем АД на фоне ХБП разных стадий (1% и 12,1%) [64, 71] и у детей и подростков с ХБП C1-C3, среди которых большинство имели нормальную СКФ (среднее значение СКФ — 109,29 мл/мин/1,73 м²) (11,3%) [68]. В большинстве групп (10/14; 71,4%) повышение СПВ $\geq$ 95-го перцентиля регистрировалось у каждого пятого пациента и чаще.

Среднее значение Z-score указано в 10 анализируемых группах (9 исследований). Среднее значение Z-score $\geq$ 1 было установлено в 5 исследованиях (5/10; 50%), участниками которых были дети и подростки на диализной терапии, пациенты с ХБП C4-C5 (часть из которых была на диализной терапии), с АГ на фоне ХБП, а также дети и подростки после трансплантации почки. Среднее значение Z-score < 1 , но $\geq 0,5$ определено в одном исследовании, участниками которого были дети и подростки после трансплантации почки. Наименьшие значения Z-score (–0,1 и –0,13), которые соответствуют среднему уровню здоровых детей, были установле-

Таблица 5

**ЗНАЧЕНИЯ 95-ГО ПЕРЦЕНТИЛЯ СКОРОСТИ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ (М/С) ДЛЯ ДЕВОЧЕК
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА ИЛИ РОСТА С УКАЗАНИЕМ РАЗЛИЧИЙ МЕЖДУ МЕТОДАМИ**

Ссылка	[43] A	[45] B	[46] C	[44] D		Различия между		
Метод	Тонометрия, PulsePen	Магнито-резонансная томография	Осциллометрия, Vicorder	Осциллометрия, Mobil-O-Graph	р-значение	A и B	A и C	A и D
Возраст, годы	СПВ, м/с				< 0,001	Различия СПВ, м/с		
8	5,4	4,1	5,1	4,6		1,3	0,3	0,8
9	5,5	4,2	5,2	4,7		1,4	0,4	0,9
10	5,7	4,2	5,2	4,8		1,5	0,5	0,9
11	5,8	4,3	5,3	4,9		1,6	0,5	0,9
12	5,9	4,3	5,4	5,0		1,6	0,5	0,9
13	6,0	4,4	5,6	5,1		1,7	0,4	1,0
14	6,1	4,4	5,7	5,1		1,7	0,4	1,0
15	6,2	4,4	5,9	5,1		1,8	0,3	1,1
16	6,3	4,5	6,0	5,2		1,8	0,3	1,2
17	6,5	4,5	6,1	5,2		1,9	0,4	1,3
18	6,7	4,6	6,2	5,2		2,1	0,4	1,4
Me СПВ 8–18 лет	6,0	4,4	5,6	5,1		1,7	0,4	1,0
Рост, см	СПВ, м/с				< 0,001	Различия СПВ, м/с		
120	5,2	—	4,9	4,5		—	0,3	0,7
125	5,3	—	5,0	4,5		—	0,3	0,8
130	5,4	—	5,1	4,6		—	0,4	0,8
135	5,6	—	5,2	4,7		—	0,4	0,9
140	5,7	—	5,3	4,7		—	0,4	1,0
145	5,9	—	5,4	4,8		—	0,5	1,1
150	6,0	—	5,5	4,9		—	0,6	1,1
155	6,2	—	5,6	5,0		—	0,6	1,2
160	6,3	—	5,7	5,1		—	0,6	1,2
165	6,5	—	5,8	5,2		—	0,6	1,3

Ссылка	[43] A	[45] B	[46] C	[44] D		Различия между		
Метод	Тонометрия, PulsePen	Магнито-резонансная томография	Осциллометрия, Vicorder	Осциллометрия, Mobil-O-Graph	р-значение	А и В	А и С	А и D
170	6,7	—	6,0	5,2		—	0,7	1,4
175	6,8	—	6,1	5,3		—	0,8	1,5
180	7,0	—	6,2	5,4		—	0,9	1,6
Me СПВ 120–180 см	6,0	—	5,5	4,9		—	0,56	1,13

Примечание: в таблице указаны не все значения 95-го перцентиля, представленные в публикациях, а только сопоставимые между группами; значения округлены до десятых долей; Me — медиана; p — уровень статистической значимости различий между 4 группами значений 95-го перцентиля (критерий Фридмана).

ны в 2 исследованиях, участниками которых были дети и подростки с нормальным уровнем АД на фоне разных стадий ХБП [64, 71].

В 20 исследованиях было выполнено сравнение СПВ между пациентами с ХБП и группой здоровых детей и подростков; в 19 из этих исследований определялась статистическая значимость различий (таблица 7). В 8 публикациях сравнение выполнялось не только по абсолютным значениям, но и по Z-score. Участники 4 исследований были разделены на подгруппы для дополнительного анализа. Таким образом, выполнено сравнение 25 групп исследования с 20 группами контроля. В 17 групп были включены дети с ХБП С5, в том числе на диализной терапии, и/или пациенты после трансплантации почки. Только в 8 группах не было вышеуказанных категорий пациентов.

Более чем в половине случаев 14/25 (56%) установлены статистически значимые различия СПВ между группой пациентов с ХБП и группой здоровых детей. У большинства пациентов на диализной терапии (7/8; 87,5%) СПВ статистически значимо превышала СПВ в группе контроля, за исключением одного исследования, в котором СПВ у подгруппы пациентов на перитонеальном диализе не отличалась от здоровых детей [72]. Среди пациентов после

трансплантации почки повышение СПВ по сравнению со здоровыми детьми было в половине исследований (2/4; 50%). В исследованиях, в которых участниками были пациенты с разными стадиями ХБП, но без ХБП С5, статистически значимые отличия СПВ от группы контроля также установлены в 50% случаев (4/8; 50%).

Крупное европейское когортное исследование (n = 230) с кросс-секционным описанием базовой характеристики участников не выявило клинически значимых отличий СПВ между группой пациентов с ХБП С3–С5 и группой контроля ни по абсолютному значению СПВ, ни по Z-score (медиана СПВ = 4,71 и 4,59 м/с; медиана Z-score = 0,07 и –0,28 соответственно [80]; статистическая значимость различий авторами не определялась).

Авторы другого крупного европейского исследования (n = 188) сравнили СПВ у пациентов с ХБП С1–С5 с группой контроля, сопоставимой по уровню АД, и также не выявили различий [57].

В двух исследованиях [67, 74] авторы не выявили различий между группой исследования и здоровыми детьми по абсолютному значению СПВ, но определили статистически значимые различия Z-score СПВ по росту.

Таблица 6

**КРОСС-СЕКЦИОННЫЕ И КОГОРТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ СКОРОСТИ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ
У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ ПОЧЕК И ЕЕ ОЦЕНКОЙ В СООТВЕТСТВИИ С РЕФЕРЕНТНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ**

Авторы, ссылка	Год	Прибор СПВ	Характеристика группы исследования			Результаты		Доля (%) пациен- тов с СПВ ≥ 95 -го перцентиля
			Стадия ХБП; заболевание	n	Возраст*, годы	СПВ*, м/с	Z-score*	
E. Kis и соавт. [50]	2009	PulsePen	ХБП C5Д	11	13,8	5,8 $\pm$ 0,94	1,89 $\pm$ 1,36	н/д
O. Cseprekál и соавт. [55]	2014	PulsePen	ХБП C1Т-C3Т	47	15,5	5,69 $\pm$ 0,95	1,15 $\pm$ 1,65	н/д
F. Schaefer и соавт. [65]	2017	Vicorder	ХБП C3-C5	688	12,2	4,9 $\pm$ 0,83	0,33 $\pm$ 1,66	20,1
B. Borchert-Mörlins и соавт. [59]	2017	Vicorder	ХБП C1Т-C5Т	109	13,1	5,0 $\pm$ 0,8	0,5 $\pm$ 1,5	22
J.D. Savant и соавт. [64]	2017	SphygmoCor	ХБП C1-C4	95	15,1	5,0 $\pm$ 0,8	-0,1 $\pm$ 1,1	1#
V. Karava и соавт. [61]	2018	SphygmoCor	ХБП C5Д (ГД)	19	15,2 (Me)	н/д	н/д	26,3
V. Karava и соавт. [62]	2019	Complior	ХБП C2-C5	26	14 (Me)	н/д	н/д	61,5
V. Karava и соавт. [60]	2018	SphygmoCor	АДПБ ХБП C1	21	12 (Me)	н/д	н/д	19
Sh. Shah и соавт. [66]	2019	SphygmoCor	ХБП C5 ГД	22	17	6,9 $\pm$ 1,7	н/д	50
P. Skrzypczuk и соавт. [68]	2019	SphygmoCor	ХБП C1-C3***	80	11,3	4,9 $\pm$ 0,75	0,44 $\pm$ 1,57	11,3
A. Džizova и соавт. [71]	2019	Vicorder	ХБП C3-C5; АГ	62	11,8 (Me)	5,21 (1,0) (Me)	1,38 $\pm$ 1,94	48,4
			ХБП C3-C5; норма АД	223	12,6 (Me)	4,67 (1,0) (Me)	-0,13 $\pm$ 1,54	12,1
A. P. Brecheret и соавт. [75]	2022	Mobil-O-Graph	ХБП C2-C5, включая ХБП C5Д	57	11,9 (Me)	от 4,44 $\pm$ 0,52 до 4,64 $\pm$ 0,49**	н/д	21,1
C. Filip и соавт. [76]	2022	Philips	ХБП C5Д	42	14 (Me)	4,05 (3,61–4,75) (Me) ##	н/д	31
A. D. Lalayiannis и соавт. [78]	2022	Vicorder	ХБП C4-C5, включая ХБП C5Д	100	13,8 (Me)	н/д	1,45 (Me) (-0,16; 2,57)	37
L. Kohlmeier и соавт. [77]	2024	Vicorder	ХБП C1Т-C4Т	48	13,5	5,6 $\pm$ 0,7	1,15 $\pm$ 1,12	33

Примечание: н/д — нет данных или данные представлены в статье только графически; * — значения представлены в виде среднего или среднего $\pm$ стандартное отклонение, если не указано иное; (Me) — значения представлены в виде медианы или медианы с третьим квартильным размахом; СПВ — скорость пульсовой волны; ХБП — хроническая болезнь почек; АГ — артериальная гипертензия; C1-C5 — категории СКФ (стадии ХБП); ХБП C5Д — ХБП C5 на диализной терапии; ХБП C1Т-C5Т — ХБП C1-C5 после трансплантации почки; ГД — гемодиализ; АДПБ — аутоосомно-доминантная поликистозная болезнь; ** — указаны значения для стадии ХБП C1 и C5 (у пациентов с ХБП C2-C4 были промежуточные значения, между указанными); *** — группа представлена только гломерулярными заболеваниями; # — в статье отмечен только один ребенок со значительным повышением СПВ; ## — указана СПВ только нисходящей аорты.

Таблица 7

**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ СКОРОСТИ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ
У ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ ПОЧЕК И В ГРУППЕ КОНТРОЛЯ**

Автор, ссылка	Год	Прибор СПВ	Группа исследования					Группа контроля			р-зна- чение
			Стадия ХБП, заболевание	n	Возраст*, годы	СПВ*, м/с	n	Возраст*, годы	СПВ*, м/с		
A. Covic [48]	2006	SphygmoCor	ХБП C5Д	18	14,1	6,6 ± 1,0	15	12,7	5,4 ± 0,6	0,0001	
R.C. Shroff [51]	2007	SPC-301	ХБП C5Д (ГД; ПД)	85	12,6 (ГД) 13,5 (ПД)	8,89 ± 1,9	40	13,2	5,1 ± 1,0	0,03	
S. Briesse [47]	2008	SphygmoCor	ХБП C2Т**	36	14,0	5,43 ± 0,9	49	13,27	4,68 ± 0,7	< 0,01	
O. Cseprekal [49]	2009	PulsePen	ХБП C1Т-C3Т	25	15,1	5,46 (5,12–5,8) ДИ	25#	15,03	4,88 (4,57–5,19) ДИ	< 0,05	
						Z 1,01 (0,51–1,52) ДИ			Z 0,07 (–0,168–0,31) ДИ	< 0,05	
I. Dursun [52]	2009	Power Vision	ХБП C5Д	37	14,6	9,41 ± 3,01	18	12,1	6,29 ± 1,39	< 0,05	
			ХБП C3-C5	33	10,8	7,69 ± 2,31				> 0,05	
H. Tawadrous [58]	2012	SphygmoCor	ХБП C5Д	15	14,8	9,7 ± 3,0	15	15,9	7,7 ± 0,8	0,004	
			ХБП C1Т-C2Т	14	16	8,1 ± 1,0				0,6	
M. Alghamdi [53]	2013	н/д	ХБП C2-C5	24	13,9 (Me)	3,58 (Me, P) (2,48–5,6)	48	14,0 (Me)	3,44 (Me, P) (2,6–5,8)	0,76	
I. Makulska ## [56]	2013	SphygmoCor	ХБП C5 ПД	20	14,3	5,51 ± 0,68	26	14,5	4,85 ± 0,62	< 0,05	
			ХБП C5 ГД	20	15,0	6,07 ± 0,86				< 0,05	
			ХБП C2-C4	36	14,9	5,53 ± 0,69				< 0,05	
C. Candan [54]	2014	Vicorder	СРНС ХБПС1	37	13,9	5,35 ± 0,65 Z 0,64 ± 0,88	22	13,3	4,81 ± 0,44 Z –0,35 ± 0,51	0,001 < 0,001	
M.D. Sinha [57]	2015	Vicorder	ХБП C1-C5	188	11,9	5,3 ± 0,9	38	11,5	5,3 ± 0,8	0,48	
M. Taşdemir [70]	2016	Vicorder	ХБП C2	25	11,8	5,01 ± 0,75 Z 0,48 ± 0,97	28	11,0	4,43 ± 1,01 Z –0,26 ± 0,69	0,017 0,002	

Автор, ссылка	Год	Прибор СПВ	Группа исследования				Группа контроля			Р-значение
			Стадия ХБП, заболевание	n	Возраст*, годы	СПВ*, м/с	n	Возраст*, годы	СПВ*, м/с	
K. Özdemir [72]	2017	Vicorder	ХБП С5 ГД	10	12,8	5,9 ± 0,9	20	11,9	5,12 ± 0,85	0,02
			ХБП С5 ПД	10	11,4	5,25 ± 0,6				0,72
P. Skrzypczak [67]	2019	SphygmoCor	ХБП С2-С5	38	12,23	4,56 ± 0,86	38	11,79	4,25 ± 0,6	0,109
						Z -0,37 ± 1,27				0,02
M. Marlais [63]	2019	SphygmoCor	АДПБ ХБП С1-С3	47	11 (Me)	5,74 ± 1,0	49	12 (Me)	5,57 ± 0,9	0,46
						Z 1,21 ± 1				0,07
C. Alves [73]	2020	Mobil-O-Graph	НС ХБП С1-С2	38	12,1	4,52 ± 0,28	37	13,3	4,53 ± 0,33	0,919
S. Stabouli [69]	2020	SphygmoCor XCEL	ХБП С1-С5	33	13 (Me)	6,93 ± 1,11	24	12 (Me)	5,96 ± 1,24	< 0,05
						Z 2,62 ± 1,92				< 0,005
S.C. Tunçay [81]	2021	Vicorder	ХБП С2-С4	50	12,59	7,31 ± 4,34	30	13,21	3,42 ± 3,01	0,03
R.I. Sugianto [80]	2022	Vicorder	ХБП С3-С5	230	12 (Me)	4,71 (Me) (4,17-5,25)	307	9 (Me)	4,59 (Me) (4,31-4,87)	н/д
						Z 0,07 (Me) (-0,95; 1,17)				
A. Bárczi [74]	2022	PulsePen	ХБП С1Т-С4Т	42	14	5,28 ± 0,71	39	13,7	5,11 ± 0,77	0,55
						Z 0,6 ± 1,09				0,01
M. Močnik [79]	2023	SphygmoCor	ХБП С1-С4	46	16 (Me)	6,1 (Me) (1,6)	33	14 (Me)	6,0 (Me) (1,2)	0,868

Примечание: * — значения представлены в виде среднего или среднего ± стандартное отклонение, если не указано иное; (Me) — значения представлены в виде медианы или медианы с первым и третьим квартилем или медианы с интерквартильным размахом; (Me, P) — значения представлены в виде медианы и размаха данных; ДИ — 95% доверительные интервалы; ХБП — хроническая болезнь почек; СПВ — скорость пульсовой волны; АГ — артериальная гипертензия; АД — артериальное давление; С1-С5 — категории СКФ (стадии ХБП); ХБП С5Д — ХБП С5 на диализной терапии; ХБП С1Т-С4Т — ХБП С1-С4 после трансплантации почки; ГД — гемодиализ; ПД — перитонеальный диализ; АДПБ — аутоосомно-доминантная поликистозная болезнь; НС — нефротический синдром; Z — Z-score СПВ; ** — участниками были пациенты после трансплантации почки со средней СКФ — 75,15 мл/мин/1,73 м² (категория СКФ авторами не указана); # — учитывалась только группа, сопоставимая по возрасту и росту; ## — все значения СПВ в исследовании индексированы в соответствии с ростом (СПВ/рост); p — уровень статистической значимости различий СПВ между группами, указанный авторами в соответствующей публикации.

Обсуждение

Резюме основных результатов

Идентифицировано 35 исследований, в которых выполнено определение СПВ у детей и подростков с ХБП и сравнение полученных результатов с группой контроля или с референтными значениями. Не было ни одной публикации на русском языке, соответствующей критериям включения. Выявлены значительные отличия в используемых методах ($n = 4$), приборах ($n = 9$), методике выполнения, а также используемых референтных значениях ($n = 4$). Установлены статистически значимые различия между данными разных перцентильных таблиц. Среднее значение Z -score СПВ ≥ 1 установлено в половине групп пациентов с ХБП, в которых определялся этот показатель. В большинстве групп (10/14; 71,4%) повышение СПВ ≥ 95 -го перцентиля регистрировалось у каждого пятого пациента и чаще. При сравнении с группой здоровых детей более высокие значения СПВ отмечались у пациентов с ХБП в половине соответствующих исследований (14/25; 56%). Наиболее часто повышение СПВ определялось у детей и подростков с ХБП С5, преимущественно на диализной терапии, у пациентов с АГ, а также после трансплантации почки. Но были публикации, в которых статистической значимости различий между группами по СПВ не выявлено, повышение СПВ ≥ 95 -го перцентиля отмечено только у единичных пациентов, и среднее значение Z -score СПВ у детей и подростков с ХБП соответствовало уровню здоровых детей.

Ограничения исследования

Не выполнялись: публикация протокола и оценка качества включенных исследований. Оба ограничения являются допустимыми в соответствии с рекомендациями по выполнению и публикации результатов систематических обзорных исследований литературы (scoping review) [38, 39].

Обсуждение

Последние годы значительно увеличилось количество приборов для измерения СПВ, а также их модификаций [15]. Шире стали использоваться приборы с определением не только каротидно-феморальной, но и плече-лодыжечной СПВ [82]. При этом валидацию новых приборов предлагается проводить на приборах с той же методикой выполнения [83]. Нет тенденции к стандартизации измерений и однообразию оценок [15]. Проанализированные 4 вида перцентильных таблиц [43–46], разработанных с применением разных приборов, имеют статистически значимые различия между значениями 95-го перцентиля. Использование таких

таблиц не позволяет полноценно обобщать результаты выполненных исследований.

В большинстве проанализированных статей, в которых оценка СПВ выполнялась в соответствии с референтными значениями, использовался Z -score СПВ по росту, однако были исследования, в которых оценка выполнялась в соответствии с возрастом вне зависимости от роста пациентов. Учитывая, что СПВ увеличивается с возрастом [32, 76], является ли рациональным сопоставление СПВ у пациентов с ХБП и низким физическим развитием с нормами для более младших детей, которые имеют тот же рост [76]. Например, если пациент 15 лет имеет рост, соответствующий возрасту 12–13 лет, должен ли он также иметь СПВ на возраст 12–13 лет? По-видимому, рациональна разработка новых таблиц, аналогичных перцентильным таблицам для оценки уровня АД, которые учитывают как рост, так и возраст. То есть для определения повышения СПВ использовать 95-й перцентиль в соответствии с возрастом и перцентилем роста. А до внедрения таких таблиц у пациентов со средним физическим развитием рационально использовать референтные значения по возрасту; при низком — учитывать половое развитие и при задержке полового развития оценивать СПВ по росту. Требуются оригинальные научные исследования для тестирования такого подхода.

Ни в одном исследовании не была указана стадия полового развития у участников исследования. При задержке физического развития и пубертата у пациентов с ХБП формирование групп контроля, сопоставимых по росту, будет рациональным. Но задержка роста при соответствующем возрасте половом развитии будет приводить к получению завышенных результатов у пациентов с ХБП по сравнению группой контроля, если последняя будет сопоставимой по росту без учета стадии пубертата. У подростков с 5-й стадией полового развития по Tanner оценку СПВ, по-видимому, допустимо выполнять только в соответствии с возрастом, учитывая в том числе нормативы для взрослых. На важность оценки полового развития обращено внимание в систематическом обзоре по изучению СПВ у детей и подростков с ожирением [34].

Отсутствие отличий СПВ между пациентами с ХБП и здоровыми детьми в структуре крупных исследований в странах с высоким доходом, возможно, отражает эффективную профилактику ССЗ и рациональную антигипертензивную терапию с достижением целевого уровня АД. В исследовании SKiD [64] пациенты имели нормальную СПВ, однако 78% из них находились на антигипертензивной терапии, с достижением целевого уровня АД,

который соответствовал 50-му перцентилю АД по полу, возрасту и перцентилю роста.

Указанные данные могут свидетельствовать о возможности первичной профилактики повышения СПВ, а также об обратимости изменений сосудистой стенки при адекватном ведении, мониторинге и контроле АД у детей и подростков с ХБП [84].

Российские и международные рекомендации об измерении СПВ в клинической практике

В Российских национальных рекомендациях «Кардиоваскулярная профилактика 2022» отмечено, что для рутинного измерения СПВ в клинической практике необходимо получить доказательства клинической ценности этого метода, что требует проведения рандомизированных контролируемых исследований с использованием СПВ в качестве фактора, определяющего тактику ведения пациентов [17].

В российских клинических рекомендациях по ведению взрослых пациентов с АГ (2020 год) отмечено, что каротидно-фemorальная СПВ > 10 м/с характеризует бессимптомное поражение органов-мишеней и является показателем аортальной жесткости и артериосклероза. А измерение СПВ рекомендовано в качестве дополнительного метода обследования, если полученный результат повлияет на терапевтическую тактику [85].

Эксперты международной организации по изучению АГ у взрослых в рекомендациях 2020 года не предлагают выполнять измерение СПВ в рутинной клинической практике, однако отмечают возможность применения метода у отдельных пациентов по индивидуальным показаниям [86]. В последних европейских рекомендациях 2023 года [87] определение СПВ рекомендовано для выявления поражения органов-мишеней, ассоциированных с АГ, однако как необязательное исследование и только при его доступности.

В педиатрии СПВ как возможный критерий поражения органов-мишеней при АГ у детей и подростков впервые отмечена в рекомендациях Европейского общества АГ в 2016 году [42]. В тех же рекомендациях 95-й перцентиль по возрасту и полу указан как уровень повышения СПВ со ссылками на 3 разных варианта перцентильных таблиц. При этом до получения дополнительной информации измерение СПВ рекомендовалось только при выполнении научных исследований [42]. В актуальных американских рекомендациях по диагностике и лечению АГ у детей 2017 года отмечено, что рутинное исследование структуры и функции сосудистой стенки в настоящее время не может быть рекомендовано для внедрения в рутинную клиническую практику,

учитывая отсутствие доказательств высокого уровня и ограничения выполненных исследований [14]. Аналогичная информация представлена и в российских рекомендациях 2020 года, в которых также обращено внимание на отсутствие общепринятых референтных данных [88]. В 2023 году европейские рекомендации по ведению детей с АГ были обновлены и вошли отдельным разделом в единые европейские рекомендации [87]. Этот раздел включает основные аспекты тактики ведения детей и подростков с АГ, но не содержит информацию об измерении СПВ у педиатрических пациентов [87].

Большинство клинических рекомендаций по ведению пациентов с ХБП, в том числе международные практические рекомендации KDIGO по контролю АД у пациентов с ХБП [89], а также российские клинические рекомендации по ведению ХБП у взрослых [90], не содержат данных о целесообразности определения СПВ у пациентов с ХБП. В российских клинических рекомендациях по ведению ХБП у детей отмечена патогенетическая связь АГ, ХБП и СПВ, но также не представлена информация об измерении СПВ в клинической практике [11].

Но изучение данной темы с разработкой новых рекомендательных документов продолжается. В 2024 году опубликованы рекомендации по валидации устройств для неинвазивного измерения артериальной СПВ [83]. В 2022 году опубликован консенсус экспертов по клиническому применению исследования СПВ в Азии [82]. Выполненные в 2023 году систематический обзор и метаанализ 167 исследований позволили установить референтные значения СПВ международного уровня для использования в разных странах мира [84].

Направления для последующих научных исследований

Остается открытым вопрос о диагностической и прогностической значимости измерения СПВ у детей и подростков с ХБП. Кросс-секционные исследования с ограниченным числом участников не могут дать объективного ответа. Требуются крупные проспективные когортные и рандомизированные контролируемые исследования. Наиболее известные когортные исследования, в том числе по изучению факторов СС риска у детей и подростков с ХБП, проводятся в Европе (4C) и США (CKiD). Опубликованы предварительные их результаты [64, 80].

Представляет интерес мониторинг состояния сосудистой стенки у пациентов с повышением СПВ при нормальном уровне АД, а также эффективность немедикаментозных вмешательств у этой категории пациентов по профилактике развития АГ и ССЗ, что особенно актуально для пациентов с ХБП.

Рационально определять не просто среднее значение СПВ в группах или среднее значение Z-score, а выявлять конкретных детей и подростков с повышением СПВ и представлять их характеристики для поиска факторов, ассоциированных или связанных с повышением этого показателя (например, на основании эпидемиологических наблюдательных исследований типа случай-контроль, с последующим подтверждением результатами когортных исследований).

Если у большинства детей с ХБП С5 отмечается повышение СПВ, а прямой зависимости СПВ от СКФ нет [15, 57], следовательно, множество факторов могут влиять на функциональное состояние сосудистой стенки. Идентификация этих факторов остается приоритетной задачей научных исследований.

Перспективным направлением является дальнейшее изучение ассоциации СПВ с АД у детей и подростков с ХБП [57, 64, 71], в том числе влияние антигипертензивных препаратов на СПВ. Получение доказательств того, что пациенты с ХБП и контролируемой АГ имеют СПВ сопоставимую с СПВ у здоровых детей и подростков [71], открывает дополнительные возможности для мониторинга эффективности антигипертензивной терапии, контроля приверженности к терапии, определения целевого уровня АД, прогнозирования течения АГ, диагностики скрытой (маскированной), в том числе неконтролируемой, АГ. Все перечисленные направления также требуют дальнейших исследований.

Необходимо выполнение российских многоцентровых научно-исследовательских проектов. Такая потребность стала более актуальной после публикации систематического обзора, в котором указано, что в России выявлены наиболее высокие значения СПВ по сравнению с другими странами [84]. Отечественные приборы, в том числе система для объемной сфигмографии BPLab Angio [91], могут стать полноценной альтернативой приборам, которые применяются в зарубежных исследованиях. Использование отечественного оборудования может стать основой для внедрения данного метода в клиническую практику, в том числе для комплексного обследования детей и подростков с ХБП.

Заключение

Выполненное систематическое обзорное исследование литературы позволило обобщить опубликованные данные об особенностях измерения и оценки СПВ у детей и подростков с ХБП. Выявлены значительные различия в методах, приборах, использованных референтных значениях, а также в подборе групп сравнения, что привело к значи-

тельной вариабельности результатов. Большинство детей и подростков с ХБП С5 на диализной терапии имеют повышение СПВ. В отношении пациентов с ХБП С1-С4 выводы неоднозначны. Для формирования научного знания в этой области необходима стандартизация измерения СПВ у детей и подростков, достижение консенсусных решений по оценке полученных результатов с последующим выполнением многоцентровых исследований, в том числе в российской популяции. Несмотря на все ограничения метода, измерение СПВ может стать дополнительной возможностью для оптимизации ведения детей и подростков с ХБП за счет улучшения профилактики и контроля АГ и снижения риска ССЗ в последующие годы, что требует дальнейших научных исследований.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Список литературы / References

1. Mensah GA, Fuster V, Murray CJL, Roth GA, Abate YH, Abbasian M et al. Global burden of cardiovascular diseases and risks, 1990–2022. *J Am Coll Cardiol.* 2023;82(25):2350–2473. doi:10.1016/j.jacc.2023.11.007
2. Vos T, Lim SS, Abbafati C, Abbas KM, Abbasi M, Abbasi-fard M et al. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet.* 2020; 396(10258):1204–1222. doi:10.1016/S0140-6736(20)30925-9
3. Martin SS, Aday AW, Almarzooq ZI, Anderson CAM, Arora P, Avery CL et al. 2024 Heart disease and stroke statistics: a report of US and Global Data from the American Heart Association. *Circulation.* Published online January 24, 2024. doi:10.1161/CIR.0000000000001209
4. Zhou B, Carrillo-Larco RM, Danaei G, Riley LM, Paciorek CJ, Stevens GA et al. Worldwide trends in hypertension prevalence and progress in treatment and control from 1990 to 2019: a pooled analysis of 1201 population-representative studies with 104 million participants. *The Lancet.* 2021;398(10304):957–980. doi:10.1016/S0140-6736(21)01330-1
5. Schipper HS, de Ferranti S. Cardiovascular risk assessment and management for pediatricians. *Pediatrics.* 2022; 150(6). doi:10.1542/peds.2022-057957
6. Flynn JT. What level of blood pressure is concerning in childhood? *Circ Res.* 2022;130(5):800–808. doi:10.1161/CIRCRESAHA.121.319819
7. Jacobs DR, Woo JG, Sinaiko AR, Daniels SR, Ikonen J, Juonala M et al. Childhood Cardiovascular risk factors and adult cardiovascular events. *New Engl J Med.* 2022;386(20):1877–1888. doi:10.1056/nejmoa2109191
8. Yang L, Magnussen CG, Yang L, Bovet P, Xi B. Elevated blood pressure in childhood or adolescence and cardiovascular outcomes in adulthood: a systematic review. *Hypertension.* 2020;75(4):948–955. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.14168
9. Querfeld U. Cardiovascular disease in childhood and adolescence: Lessons from children with chronic kidney disease. *Acta Paediatrica, Int J Paediatrics.* 2021;110(4):1125–1131. doi:10.1111/apa.15630

10. Панкратенко Т. Е., Балашова Н. В., Майорова Е. М., Абасеева Т. Ю., Эмирова Х. М. Кардиоваскулярная болезнь и эндотелиальная дисфункция у детей с хронической болезнью почек. *Клиническая нефрология*. 2017;(2):22–27. Март 20, 2024. Доступно: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29425742> [Pankratenko TE, Balashova NV, Mayorova EM, Abaseyeva TYu, Emirova Kh M. Cardiovascular disease and endothelial dysfunction in children with chronic kidney disease. *Klinicheskaya Nefrologiya*. 2017;(2):22–27. March 20, 2024. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29425742>. In Russian].
11. Союз педиатров России, Творческое объединение детских нефрологов, Российское трансплантологическое общество. Клинические рекомендации «Хроническая болезнь почек». Кодирование по МКБ-10: N18.1, N18.2, N18.3, N18.4, N18.5, N18.9. Возрастная категория: дети; 2022. Март 20, 2024. Доступно: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/713_1 [The Union of Pediatricians of Russia, Creative Association of Pediatric Nephrologists, Russian Transplant Society. Clinical guidelines “Chronic kidney disease”. ICD-10: N18.1, N18.2, N18.3, N18.4, N18.5, N18.9. Age category: Children; 2022. March 20, 2024. Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/713_1. In Russian].
12. Flynn JT, Ingelfinger JR, Tammy MB. *Pediatric hypertension*. Fifth Edition.; 2023. doi:10.1007/978-3-031-06231-5
13. Кулакова Е. Н., Настаушева Т. Л. Проблемы определения целевого уровня артериального давления у детей и подростков с хронической болезнью почек. Сборник тезисов XXIV Конгресса педиатров России с международным участием «Актуальные проблемы педиатрии»; 2023:109. Март 20, 2024. Доступно: https://pediatr-russia.ru/information/events/tezisi_2023.pdf [Kulakova EN, Nastausheva TL. Problems in determining target blood pressure levels in children and adolescents with chronic kidney disease. Collection of Abstracts of the XXIV Congress of Pediatricians of Russia with International Participation “Current Problems of Pediatrics” 2023:109. March 20, 2024. Available from: https://pediatr-russia.ru/information/events/tezisi_2023.pdf. In Russian].
14. Flynn JT, Kaelber DC, Baker-Smith CM, Blowey D, Carroll AE, Daniels SR, et al. Clinical practice guideline for screening and management of high blood pressure in children and adolescents. *Pediatrics*. 2017;140(3). doi:10.1542/PEDS. 2017-1904/38358
15. Azukaitis K, Jankauskiene A, Schaefer F, Shroff R. Pathophysiology and consequences of arterial stiffness in children with chronic kidney disease. *Pediatric Nephrology*. 2021;36(7):1683–1695. doi:10.1007/s00467-020-04732-y
16. Salvi P. Pulse Waves: How Vascular Hemodynamics Affects Blood Pressure.; 2017. doi:10.1007/978-3-319-40501-8
17. Бойцов С. А., Погосова Н. В., Аншелес А. А., Бадтиева В. А., Балахонова Т. В., Барбараш О. Л. и др. Кардиоваскулярная профилактика 2022. Российские национальные рекомендации. Российский кардиологический журнал. 2023;28(5):119–249. doi:10.15829/1560-4071-2023-5452 [Boytsov SA, Pogosova NV, Ansheles AA, Badtieva VA, Balakhonova TV, Barbarash OL et al. Cardiovascular prevention 2022. Russian national guidelines. *Russian Journal of Cardiology*. 2023;28(5):119–249. doi:10.15829/1560-4071-2023-5452. In Russian].
18. Лаптев Д. Н. Повышение ригидности артериальной стенки у детей и подростков с сахарным диабетом 1-го типа и автономной дисфункцией. Сахарный диабет. 2015;18(1):94–100. doi:10.14341/DM2015194-100 [Laptev DN. Arterial stiffness and cardiovascular autonomic neuropathy relationship in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus. *Diabetes mellitus*. 2015;18(1):94–100. doi:10.14341/DM2015194-100. In Russian].
19. Галимова Л. Ф., Садыкова Д. И., Слестникова Е. С., Марапов Д. И., Гусева Н. Э., Халиуллина Ч. Д. Артериальная жесткость при семейной гиперхолестеринемии: есть ли риски в детском возрасте? Педиатрия им. Г. Н. Сперанского. 2022;101(2):44–49. doi:10.24110/0031-403X-2022-101-2-44-49 [Galimova LF, Sadykova DI, Slastnikova ES, Marapov DI, Guseva NE, Haliullina ChD. Arterial stiffness in familial hypercholesterolemia: are there any risks in childhood? *Pediatrics n.a. G.N. Speransky*. 2022; 101(2):44–49. doi:10.24110/0031-403X-2022-101-2-44-49. In Russian].
20. Леонтьева И. В., Ковалев И. А., Школьников М. А., Исаева Ю. С., Путинцев А. Н., Дудинская Е. Н. и др. Ранняя диагностика повышенной жесткости магистральных сосудов у подростков с функциональной патологией вегетативного генеза. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2021;66(3):52–61. doi:10.21508/1027-4065-2021-66-3-52-61 [Leontyeva IV, Kovalev IA, Shkolnikova MA, Isayeva YuS, Putintsev AN, Dudinskaya EN, et al. Early diagnosis of increased stiffness of great vessels in adolescents with functional pathology of vegetative genesis. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2021;66(3):52–61. doi:10.21508/1027-4065-2021-66-3-52-61. In Russian].
21. Полунина Д. А., Строкова Т. В., Багаева М. Э., Матинян И. А., Васильев П. А., Семенова Н. А. Маркеры-предикторы развития сердечно-сосудистых осложнений у детей с семейной гиперхолестеринемией. Вопросы диетологии. 2022;12(3):28–37. doi:10.20953/2224-5448-2022-3-28-37 [Polunina DA, Strokova TV, Bagaeva ME, Matinyan IA, Vasiluev PA, Semenova NA. Predictive markers of cardiovascular diseases in children with familial hypercholesterolemia. *Voprosy dietologii = Nutrition*. 2022; 12(3):28–37. doi:10.20953/2224-5448-2022-3-28-37. In Russian].
22. Vlachopoulos C, Aznaouridis K, Stefanadis C. Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with arterial stiffness. a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol*. 2010;55(13):1318–1327. doi:10.1016/j.jacc.2009.10.061
23. Zhong Q, Hu MJ, Cui YJ, Liang L, Zhou MM, Yang YW et al. Carotid-femoral pulse wave velocity in the prediction of cardiovascular events and mortality: an updated systematic review and meta-analysis. *Angiology*. 2018;69(7):617–629. doi:10.1177/0003319717742544
24. Ben-Shlomo Y, Spears M, Boustred C, May M, Anderson SG, Benjamin EJ et al. Aortic pulse wave velocity improves cardiovascular event prediction: An individual participant meta-analysis of prospective observational data from 17,635 subjects. *J Am Coll Cardiol*. 2014;63(7):636–646. doi:10.1016/j.jacc.2013.09.063
25. Sequí-Domínguez I, Cavero-Redondo I, Álvarez-Bueno C, Pozuelo-Carrascosa DP, de Arenas-Arroyo SN, Martínez-Vizcaíno V. Accuracy of pulse wave velocity predicting cardiovascular and all-cause mortality. A systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*. 2020;9(7):1–13. doi:10.3390/jcm9072080
26. Kouis P, Kousios A, Kanari A, Kleopa D, Papatheodorou SI, Panayiotou AG. Association of non-invasive measures of subclinical atherosclerosis and arterial stiffness with mortality and major cardiovascular events in chronic kidney disease: systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Clin Kidney J*. 2020;13(5):842–854. doi:10.1093/CKJ/SFZ095
27. Cecelja M, Chowienczyk P. Dissociation of aortic pulse wave velocity with risk factors for cardiovascular disease other than hypertension: A systematic review. *Hypertension*. 2009;54(6):1328–1336. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.109.137653
28. Liu J, Wu J. The pathogenesis and impact of arterial stiffening in hypertension: The 2023 John H. Laragh research award. *Am J Hypertens*. Published online January 12, 2024. doi:10.1093/ajh/hpae006

29. Cecelja M, Keehn L, Ye L, Spector TD, Hughes AD, Chowienicz P. Genetic aetiology of blood pressure relates to aortic stiffness with bi-directional causality: Evidence from heritability, blood pressure polymorphisms, and Mendelian randomization. *Eur Heart J*. 2020;41(35). doi:10.1093/eurheartj/ehaa238
30. Li Y, Haseler E, McNally R, Sinha MD, Chowienicz PJ. A meta-analysis of the haemodynamics of primary hypertension in children and adults. *J Hypertens*. 2023;41(2):212–219. doi:10.1097/HJH.0000000000003326
31. Chung J, Robinson CH, Yu A, Bamhraz AA, Ewusie JE, Sanger S et al. Risk of target organ damage in children with primary ambulatory hypertension: a systematic review and meta-analysis. *Hypertension*. 2023;80(6):1183–1196. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.122.20190
32. Stoner L, Kucharska-Newton A, Meyer ML. Cardio-metabolic health and carotid-femoral pulse wave velocity in children: a systematic review and meta-regression. *J Pediatrics*. 2020;218:98–105.e3. doi:10.1016/j.jpeds.2019.10.065
33. Cote AT, Phillips AA, Harris KC, Sandor GGS, Panagiotopoulos C, Devlin AM. Obesity and arterial stiffness in children: Systematic review and meta-analysis. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 2015;35(4):1038–1044. doi:10.1161/ATVBAHA.114.305062
34. Hudson LD, Rapala A, Khan T, Williams B, Viner RM. Evidence for contemporary arterial stiffening in obese children and adolescents using pulse wave velocity: a systematic review and meta-analysis. *Atherosclerosis*. 2015;241(2):376–386. doi:10.1016/j.atherosclerosis.2015.05.014
35. Vidi SR. Role of hypertension in progression of chronic kidney disease in children. *Curr Opin Pediatr*. 2018;30(2):247–251. doi:10.1097/MOP.0000000000000595
36. Shroff R. Reducing the burden of cardiovascular disease in children with chronic kidney disease: prevention vs. damage limitation. *Pediatric Nephrology*. 2021;36:2537–2544. doi:10.1007/s00467-021-05102-y/Published
37. Wilson AC, Flynn JT. Blood pressure in children with chronic kidney disease: lessons learned from the Chronic Kidney Disease in Children Cohort Study. *Pediatric Nephrology*. 2020;35:1203–1209. doi:10.1007/s00467-019-04288-6
38. Кулакова Е. Н., Настаушева Т. Л., Кондратьева И. В. Систематическое обзорное исследование литературы по методологии scoping review: история, теория и практика. Вопросы современной педиатрии. 2021;20(3):210–222. doi:10.15690/VSP.V20i3/2271 [Kulakova EN, Nastaushcheva TL, Kondratjeva IV. Scoping Review Methodology: History, Theory and Practice. *Voprosy Sovremennoi Pediatrii* = Current Pediatrics. 2021;20(3):210–222. doi: 10.15690/vsp.v20i3/2271. In Russian].
39. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Ann Intern Med*. 2018;169(7):467–473. doi:10.7326/M18-0850
40. Townsend RR, Wilkinson IB, Schiffrin EL, Avolio AP, Chirinos JA, Cockcroft JR et al. Recommendations for improving and standardizing vascular research on arterial stiffness: a scientific statement from the American Heart Association. *Hypertension*. 2015;66(3):698–722. doi:10.1161/HYP.0000000000000333/-/DC1
41. Васюк Ю. А., Иванова С. В., Школьник Е. Л., Котовская Ю. В., Милиагин В. А., Олейников В. Э. и др. Согласованное мнение российских экспертов по оценке артериальной жесткости в клинической практике. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2016;15(2):4–19. doi:10.15829/1728-8800-2016-2-4-19 [Vasyuk YuA, Ivanova SV, Shkolnik EL, Kotovskaya YuV, Milyagin VA, Oleynikov VE, et al. Consensus of Russian experts on the evaluation of arterial stiffness in clinical practice. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2016;15(2):4–19. doi:10.15829/1728-8800-2016-2-4-19. In Russian].
42. Lurbe E, Agabiti-Rosei E, Cruickshank JK, Dominiczak A, Erdine S, Hirth A et al. 2016 European Society of Hypertension guidelines for the management of high blood pressure in children and adolescents. *J Hypertens*. 2016;34(10):1887–1920. doi:10.1097/HJH.0000000000001039
43. Reusz GS, Cseprekal O, Temmar M, Kis E, Cherif AB, Thaleb A et al. Reference values of pulse wave velocity in healthy children and teenagers. *Hypertension*. 2010;56(2):217–224. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.110.152686
44. Elmenhorst J, Hulpke-Wette M, Barta C, Dalla Pozza R, Springer S, Oberhoffer R. Percentiles for central blood pressure and pulse wave velocity in children and adolescents recorded with an oscillometric device. *Atherosclerosis*. 2015;238(1):9–16. doi:10.1016/j.atherosclerosis.2014.11.005
45. Voges I, Jerosch-Herold M, Hedderich J, Pardun E, Hart C, Gabbert DD et al. Normal values of aortic dimensions, distensibility, and pulse wave velocity in children and young adults: a cross-sectional study. *J Cardiovasc Magn Res*. 2012;14(1):41. doi:10.1186/1532-429X-14-77
46. Thurn D, Doyon A, Sözeri B, Bayazit AK, Canpolat N, Duzova A et al. Aortic pulse wave velocity in healthy children and adolescents: reference values for the Vicorder device and modifying factors. *Am J Hypertens*. 2015;28(12):1480–1488. doi:10.1093/ajh/hpv048
47. Briese S, Claus M, Quersfeld U. Arterial stiffness in children after renal transplantation. *Pediatric Nephrol*. 2008;23(12):2241–2245. doi:10.1007/s00467-008-0894-y
48. Covic A, Mardare N, Gusbeth-Tatomir P, Brumaru O, Gavrilovici C, Munteanu M et al. Increased arterial stiffness in children on haemodialysis. *Nephrol Dialys Transplant*. 2006;21(3):729–735. doi:10.1093/ndt/gfi196
49. Cseprekál O, Kis É, Schäffer P, Othmane TEH, Fekete morozova.ravilya@yandex.ru BC, Vannay Á et al. Pulse wave velocity in children following renal transplantation. *Nephrol Dialys Transplant*. 2009;24(1):309–315. doi:10.1093/ndt/gfn494
50. Kis É, Cseprekál O, Bíró E, Kelen K, Ferenczi D, Kerti A, et al. Effects of bone and mineral metabolism on arterial elasticity in chronic renal failure. *Pediatric Nephrol*. 2009;24(12):2413–2420. doi:10.1007/s00467-009-1292-9
51. Shroff RC, Donald AE, Hiorns MP, Watson A, Feather S, Milford D et al. Mineral metabolism and vascular damage in children on dialysis. *J Am Soc Nephrol*. 2007;18(11):2996–3003. doi:10.1681/ASN.2006121397
52. Dursun I, Poyrazoglu HM, Gunduz Z, Ulger H, Yýkylmaz A, Dusunsal R et al. The relationship between circulating endothelial microparticles and arterial stiffness and atherosclerosis in children with chronic kidney disease. *Nephrol Dialys Transplant*. 2009;24(8):2511–2518. doi:10.1093/ndt/gfp066
53. Alghamdi M, De Souza AM, White CT, Potts MT, Warady BA, Furth SL et al. Echo-doppler assessment of the biophysical properties of the aorta in children with chronic kidney disease. *Pediatr Cardiol*. 2013;34(5):1218–1225. doi:10.1007/s00246-013-0632-5
54. Candan C, Canpolat N, Gökalp S, Yildiz N, Turhan P, Taşdemir M et al. Subclinical cardiovascular disease and its association with risk factors in children with steroid-resistant nephrotic syndrome. *Pediatric Nephrol*. 2014;29(1):95–102. doi:10.1007/s00467-013-2608-3
55. Cseprekál O, Kis E, Dégi AA, Kerti A, Szabó AJ, Reusz GS. Bone metabolism and arterial stiffness after renal transplantation. *Kidney Blood Press Res*. 2014;39(6):507–515. doi:10.1159/000368461
56. Makulka I, Szczepańska M, Drozd D, Polak-Jonkisz D, Zwolińska D. Skin autofluorescence as a marker of cardiovascular risk in children with chronic kidney disease. *Pediatric Nephrol*. 2013;28(1):121–128. doi:10.1007/s00467-012-2280-z

57. Sinha MD, Keehn L, Milne L, Sofocleous P, Chowienzyk PJ. Decreased arterial elasticity in children with nondialysis chronic kidney disease is related to blood pressure and not to glomerular filtration rate. *Hypertension*. 2015;66(4):809–815. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.115.05516
58. Tawadrous H, Kamran H, Saliccioli L, Schoeneman MJ, Lazar J. Evaluation of arterial structure and function in pediatric patients with end-stage renal disease on dialysis and after renal transplantation. *Pediatr Transplant*. 2012;16(5):480–485. doi:10.1111/j.1399-3046.2012.01721.x
59. Borchert-Mörlins B, Thurn D, Schmidt BMW, Büscher AK, Oh J, Kier T et al. Factors associated with cardiovascular target organ damage in children after renal transplantation. *Pediatric Nephrol*. 2017;32(11):2143–2154. doi:10.1007/s00467-017-3771-8
60. Karava V, Benzouid C, Hogan J, Dossier C, Denjean AP, Deschênes G. Early cardiovascular manifestations in children and adolescents with autosomal dominant polycystic kidney disease: a single center study. *Pediatric Nephrol*. 2018;33(9):1513–1521. doi:10.1007/s00467-018-3964-9
61. Karava V, Benzouid C, Kwon T, Macher MA, Deschênes G, Hogan J. Interdialytic weight gain and vasculopathy in children on hemodialysis: a single center study. *Pediatric Nephrol*. 2018;33(12):2329–2336. doi:10.1007/s00467-018-4026-z
62. Karava V, Printza N, Dotis J, Demertzi D, Antza C, Kotsis V et al. Body composition and arterial stiffness in pediatric patients with chronic kidney disease. *Pediatric Nephrol*. Published online 2019. doi:10.1007/s00467-019-04224-8
63. Marlais M, Rajalingam S, Gu H, Savis A, Sinha MD, Winyard PJ. Central blood pressure and measures of early vascular disease in children with ADPKD. *Pediatric Nephrol*. 2019;34:1791–1797. doi:10.1007/s00467-019-04287-7/Published
64. Savant JD, Betoko A, Meyers KEC, Mitsnifes M, Flynn JT, Townsend RR et al. Vascular stiffness in children with chronic kidney disease. *Hypertension*. 2017;69(5):863–869. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.116.07653
65. Schaefer F, Doyon A, Azukaitis K, Bayazit A, Canpolat N, Duzova A et al. Cardiovascular phenotypes in children with CKD: The 4C study. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2017;12(1):19–28. doi:10.2215/CJN.01090216
66. Shah S, Swartz S, Campbell J, Srivaths PR. Ambulatory blood pressures and central blood pressures are associated with cardiovascular morbidity in adolescent and young adult patients receiving chronic hemodialysis. *Pediatric Nephrol*. 2019;34(7):1261–1268. doi:10.1007/s00467-019-04208-8
67. Skrzypczyk P, Okarska-Napierała M, Stelmaszczyk-Emmel A, Górka E, Pańczyk-Tomaszewska M. Renalase in children with chronic kidney disease. *Biomarkers*. 2019;24(7):638–644. doi:10.1080/1354750X.2019.1642957
68. Skrzypczyk P, Przychodzień J, Mizerska-Wasiak M, Kuźma-Mroczkowska E, Stelmaszczyk-Emmel A, Górka E, et al. Asymmetric dimethylarginine is not a marker of arterial damage in children with glomerular kidney diseases. *Central Eur J Immunol*. 2019;44(4):370–379. doi:10.5114/ceji.2019.92788
69. Stabouli S, Kotsis V, Maliachova O, Printza N, Chainoglou A, Christoforidis A, et al. Matrix metalloproteinase –2, –9 and arterial stiffness in children and adolescents: The role of chronic kidney disease, diabetes, and hypertension. *Int J Cardiol Hypertens*. 2020;4. doi:10.1016/j.ijchy.2020.100025
70. Taşdemir M, Eroğlu AG, Canpolat N, Konukoğlu D, Ağbaş A, Sevim MD, et al. Cardiovascular alterations do exist in children with stage-2 chronic kidney disease. *Clin Exp Nephrol*. 2016;20(6):926–933. doi:10.1007/s10157-016-1234-3
71. Düzo A, Karabay Bayazit A, Canpolat N, Niemirska A, Kaplan Bulut I, Azukaitis K et al. Isolated nocturnal and isolated daytime hypertension associate with altered cardiovascular morphology and function in children with chronic kidney disease: Findings from the Cardiovascular Comorbidity in Children with Chronic Kidney Disease study. *J Hypertens*. 2019;37(11):2247–2255. doi:10.1097/HJH.0000000000002160
72. Ozdemir K, Yilmaz E, Dincel N, Bozabali S, Apaydin S, Gun ZH et al. Association of clearance of middle- and large-molecular-weight substance with arterial stiffness and left ventricular mass in children receiving renal replacement therapy. *Minerva Pediatr*. 2017;69(6):495–502. doi:10.23736/S0026-4946.16.04253-5
73. Alves C, Pinho JF, dos Santos LM, Magalhães G, da Silva JM, Fontes FL et al. Augmentation index, a predictor of cardiovascular events, is increased in children and adolescents with primary nephrotic syndrome. *Pediatric Nephrol*. 2020;35(5):815–827. doi:10.1007/s00467-019-04434-0
74. Bárczi A, Lakatos BK, Szilágyi M, Kis É, Cseprekál O, Fábrián A, et al. Subclinical cardiac dysfunction in pediatric kidney transplant recipients identified by speckle-tracking echocardiography. *Pediatric Nephrol*. Published online 2022. doi:10.1007/s00467-022-05422-7
75. Brecheret AP, Abreu ALCS, Lopes R, Fonseca FAH, Solé D, Andrade MC de. Evaluation of pulse wave velocity and central systolic blood pressure in children and adolescents with chronic kidney disease. *Einstein (Sao Paulo)*. 2022;20:eAO6758. doi:10.31744/einstein_journal/2022AO6758
76. Filip C, Cirstoveanu C, Bizubac M, Berghea EC, Căpitănescu A, Bălgrădean M et al. Pulse (ESRD). *Diagnostics*. 2022;12(1). doi:10.3390/diagnostics12010071
77. Kohlmeier L, von der Born J, Lehmann E, Fröde K, Grabitz C, Greiner AS et al. Physical activity and its impact on cardiovascular health in pediatric kidney transplant recipients. *Pediatric Nephrol*. Published online 2023. doi:10.1007/s00467-023-06248-7
78. Lalayiannis AD, Ferro CJ, Wheeler DC, Duncan ND, Smith C, Popoola J, et al. The burden of subclinical cardiovascular disease in children and young adults with chronic kidney disease and on dialysis. *Clin Kidney J*. 2022;15(2):287–294. doi:10.1093/cjk/sfab168
79. Močnik M, Golob Jančič S, Marčun Varda N. Liver and kidney ultrasound elastography in children and young adults with hypertension or chronic kidney disease. *Pediatric Nephrol*. 2023;38(10):3379–3387. doi:10.1007/s00467-023-05984-0
80. Sugianto RI, Memaran N, Schmidt BMW, Doyon A, Thurn-Valsassina D, Alpay H et al. Findings from 4C-T Study demonstrate an increased cardiovascular burden in girls with end stage kidney disease and kidney transplantation. *Kidney Int*. 2022;101(3):585–596. doi:10.1016/j.kint.2021.11.032
81. Tunçay S, Doğan E, Hakverdi G, Tutar Z, Mir S. Interleukin-8 is increased in chronic kidney disease in children, but not related to cardiovascular disease. *Braz J Nephrol*. 2021;43(3):359–364. doi:10.1590/2175-8239-JBN-2020-0225
82. Park JB, Sharman JE, Li Y, Munakata M, Shirai K, Chen CH et al. Expert consensus on the clinical use of pulse wave velocity in Asia. *Pulse*. 2022;10(1–4):1–18. doi:10.1159/000528208
83. Spronck B, Terentes-Printzios D, Avolio AP, Boutouyrie P, Guala A, Jerončič A et al. 2024 Recommendations for validation of noninvasive arterial pulse wave velocity measurement devices. *Hypertension*. 2024;81(1):183–192. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.123.21618
84. Lu Y, Kiechl SJ, Wang J, Xu Q, Kiechl S, Pechlaner R et al. Global distributions of age- and sex-related arterial stiffness: systematic review and meta-analysis of 167 studies with 509,743 participants. *EBioMedicine*. 2023;92. doi:10.1016/j.ebiom.2023.104619
85. Общероссийская общественная организация «Российское кардиологическое общество». Клинические рекомендации «Артериальная гипертензия у взрослых». Кодирование

по МКБ-10: I10, I11, I12, I13, I15; 2020. Март 20, 2024. Доступно: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/62_2 [The all-Russian non-governmental organization “Russian Society of Cardiology”. Clinical guidelines “Arterial Hypertension in Adults”. ICD-10: I10, I11, I12, I13, I15; 2020. March 20, 2024. Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/62_2 In Russian].

86. Unger T, Borghi C, Charchar F, Khan NA, Poulter NR, Prabhakaran D et al. 2020 International Society of Hypertension Global Hypertension Practice Guidelines. *Hypertension*. 2020;75(6):1334–1357. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.15026

87. Mancia G, Kreutz R, Brunström M, Burnier M, Grassi G, Januszewicz A et al. 2023 ESH Guidelines for the management of arterial hypertension The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension. *J Hypertens*. 2023;41(12). doi:10.1097/hjh.0000000000003480

88. Александров А. А., Кисляк О. А., Леонтьева И. В. Российское медицинское общество по артериальной гипертонии «Ассоциация детских кардиологов России». Клинические рекомендации «Диагностика, лечение и профилактика артериальной гипертензии у детей и подростков». Системные гипертензии. 2020;17(2):7–35. doi:10.26442/2075082X.2020.2.200126 [Aleksandrov AA, Kisliak OA, Leontyeva IV. Clinical guidelines on arterial hypertension diagnosis, treatment and prevention in children and adolescents. *Systemic Hypertension*. 2020;17(2):7–35. doi:10.26442/2075082X.2020.2.200126. In Russian].

89. Cheung AK, Chang TI, Cushman WC, Furth SL, Hou FF, Ix JH, et al. KDIGO 2021 Clinical Practice Guideline for the management of blood pressure in chronic kidney disease. *Kidney Int*. 2021;99(3): S1–S87. doi:10.1016/J.KINT.2020.11.003/ATTACHMENT/F431878B-95B5-4839-B871-E9587652AE0A/MMC1.PDF

90. Ассоциация нефрологов. Клинические рекомендации «Хроническая болезнь почек (ХБП)». Кодирование по МКБ-10 N8.1, N8.2, N8.3, N8.4, N8.5, N8.9. Возрастная группа: взрослые; 2021. Март 20, 2024. Доступно: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/469_2 [Nephrology association. Clinical guidelines “Chronic kidney disease (CKD)”. ICD-10: N8.1, N8.2, N8.3, N8.4, N8.5, N8.9. Age category: Adults; 2021. March 20, 2024. Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/469_2. In Russian].

91. Патент на промышленный образец № 129824 Российская Федерация. Система для объемной сфигмографии BPLab angio. № 2021504511. заявл. 08.09.2021. опубл. 15.03.2022. П. В. Телегин; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Петр Телегин». Март 20, 2024. Доступно: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48139822> [Industrial design patent No. 129824 Russian Federation. System for volumetric sphygmography BPLab angio. No. 2021504511. application. 08.09.2021. publ. 15.03.2022. PV Telegin; applicant Limited Liability Company “Petr Telegin”. March 20, 2024. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48139822>. In Russian].

Информация об авторах

Кулакова Елена Николаевна — кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры госпитальной педиатрии ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н. Н. Бурденко Минздрава России; ORCID: 0000-0001-9880-1188, e-mail: elena.n.kulakova@mail.ru;

Кондратьева Инна Владиславовна — кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной педиатрии ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н. Н. Бурденко Минздрава России; ORCID: 0000-0002-7564-0382, e-mail: innakondrateva6121@gmail.com;

Настаушева Татьяна Леонидовна — доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой госпитальной педиатрии ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н. Н. Бурденко Минздрава России; ORCID: 0000-0001-6096-1784, e-mail: nastat53@mail.ru.

Author information

Elena N. Kulakova, MD, PhD, Associate Professor, Department of Hospital Pediatrics, N. N. Burdenko Voronezh State Medical University; ORCID: 0000-0001-9880-1188, e-mail: elena.n.kulakova@mail.ru;

Inna V. Kondratjeva, MD, PhD, Associate Professor, Department of Hospital Pediatrics, N. N. Burdenko Voronezh State Medical University; ORCID: 0000-0002-7564-0382, e-mail: innakondrateva6121@gmail.com;

Tatjana L. Nastaushcheva, MD, PhD, DSc, Professor, Head, Department of Hospital Pediatrics, N. N. Burdenko Voronezh State Medical University; ORCID: 0000-0001-6096-1784, e-mail: nastat53@mail.ru.