

## МЕХАНИЗМЫ НАРУШЕНИЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ПАЦИЕНТОВ С ВРОЖДЕННЫМИ ПОРОКАМИ СЕРДЦА

Шевалдова О. В., Ковалева А. В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр оригинальных  
и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий»,  
Москва, Россия

**Контактная информация:**

Шевалдова Ольга Владимировна,  
ФГБНУ «ФИЦ оригинальных  
и перспективных биомедицинских  
и фармацевтических технологий»,  
ул. Балтийская, д. 8, Москва, Россия,  
125315.  
E-mail: shevaldova\_ov@academpharm.ru

Статья поступила в редакцию 12.03.2025  
и принята к печати 17.07.2025

### Резюме

В результате анализа данных литературы были изучены патогенетические механизмы нарушений variability сердечного ритма (BCP) у пациентов с врожденными пороками сердца (ВПС). Показано, что изменения BCP начинаются еще внутриутробно и определяются типом порока и гемодинамическими нарушениями. Доминирующий паттерн изменений BCP включает снижение временных показателей (SDNN, rMSSD, pNN50) и общей мощности спектра, что свидетельствует о снижении общей variability. Характерен симпато-вагусный дисбаланс с преобладанием симпатических влияний (повышение LF/HF) и снижением парасимпатического тонуса (уменьшение HF-компонента). При цианотических ВПС (СГЛС, ТФ, ТМС) наблюдается более выраженная симпатикотония ( $LF/HF > 3,0$ ) и снижение как временных показателей (SDNN, rMSSD), так и частотных параметров (общая мощность спектра, HF-компонент) до 40–60 % от нормы, тогда как при ацианотических дефектах изменения умереннее. Пациенты с легочной гипертензией демонстрируют снижение LF-компонента, а при системно-легочных шунтах возможно транзиторное повышение HF в рамках компенсаторной реакции. В редких случаях, преимущественно у пациентов с хронической перегрузкой правого желудочка, может наблюдаться повышение нелинейных показателей BCP (SampEn), что отражает дезорганизацию регуляторных процессов. Хирургическая коррекция, особенно в условиях искусственного кровообращения, вызывает дополнительное снижение BCP из-за повреждения автономных нервов и системной воспалительной реакции. Более выраженные изменения наблюдаются при открытых вмешательствах по сравнению с эндоваскулярными методами. В отдаленном послеоперационном периоде часто сохраняется вегетативный дисбаланс с преобладанием симпатических влияний, что может быть связано как с остаточными структурными изменениями, так и с последствиями хирургического повреждения автономной иннервации.

**Ключевые слова:** variability сердечного ритма, вегетативная регуляция сердца, врожденные пороки сердца, отдаленные послеоперационные последствия, симпато-вагусный дисбаланс, хирургическая коррекция пороков сердца

Для цитирования: Шевалдова О.В., Ковалева А.В. Механизмы нарушений variability сердечного ритма у пациентов с врожденными пороками сердца. Трансляционная медицина. 2025;12(4):310-329. DOI: 10.18705/2311-4495-2025-12-4-310-329. EDN: THDASV

# MAJOR CAUSES OF HEART RATE VARIABILITY DISORDERS IN PATIENTS WITH CONGENITAL HEART DEFECTS

Olga V. Shevaldova, Anastasia V. Kovaleva

Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies, Moscow, Russia

Corresponding author:

Olga V. Shevaldova,  
Federal Research Center for Innovator and  
Emerging Biomedical and Pharmaceutical  
Technologies,  
Baltiyskaya str., 8, Moscow, Russia, 125315.  
E-mail: shevaldova\_ov@academpharm.ru

Received March 12, 2025; accepted July 17, 2025

## Abstract

The analysis of literature data has studied the pathogenetic mechanisms of heart rate variability (HRV) disorders in patients with congenital heart defects (CHD). The findings demonstrate that HRV alterations begin in utero and are determined by both the type of defect and associated hemodynamic disturbances. In the preoperative period, HRV is influenced by the severity of the defect, patient age at the time of surgical intervention, psychological state, and genetic factors. Surgical correction, particularly under cardiopulmonary bypass conditions, leads to further reduction in HRV due to autonomic nerve fiber damage, systemic inflammatory response, and scar tissue formation. The type of surgery significantly affects the degree of impairment, with more pronounced changes observed in open surgical interventions compared to endovascular methods. In the postoperative period, the pattern of HRV recovery depends on the type of correction and the initial defect. Notably, even in the long-term postoperative period, autonomic regulation imbalance often persists with predominant sympathetic influences. This may be attributed to both residual structural changes and long-term consequences of surgical damage to autonomic innervation. Understanding the mechanisms of HRV disorders is crucial for developing strategies to improve long-term outcomes in CHD patients; however, further research is needed to clarify the role of specific pathogenetic mechanisms and find ways to correct autonomic dysfunction.

**Key words:** autonomic nervous system regulation, congenital heart defects, heart rate variability, long-term postoperative outcomes, surgical correction of heart defects, sympathovagal imbalance

*For citation:* Shevaldova OV, Kovaleva AV. Major causes of heart rate variability disorders in patients with congenital heart defects. *Translational Medicine*. 2025;12(4):310-329. (In Russ.) DOI: 10.18705/2311-4495-2025-12-4-310-329. EDN: THDASV

**Список сокращений:** ВНС — вегетативная нервная система, ВПС — врожденные пороки сердца, ВСР — вариабельность сердечного ритма, ДМЖП — дефект межжелудочковой перегородки, ДМПП — дефект межпредсердной перегородки, ДОС от ПЖ — двойное отхождение сосудов от правого желудочка, ЖТ — желудочковая тахикардия, ИК — искусственное кровообращение, КоА — коарктация аорты, СГЛС — синдром гипоплазии левых отделов сердца, ТМС — транспози-

ция магистральных сосудов, ТФ — тетрада Фалло, ЧСС — частота сердечных сокращений.

## Введение

Врожденные пороки сердца (ВПС) являются наиболее частыми структурными аномалиями, которые развиваются у детей в период формирования сердца в утробе матери. Глобальная распространенность ВПС при рождении составляет примерно 9,410 на 1000 живорождений [1].

Многие ВПС требуют своевременного хирургического вмешательства для коррекции анатомических дефектов и улучшения гемодинамики. На сегодняшний день около 97 % детей, рожденных с врожденным пороком сердца и вовремя прооперированных, доживают до взрослого возраста [2]. Несмотря на хорошую выживаемость в детстве, значительное количество пациентов с ВПС, достигших зрелого возраста, страдают от поздних осложнений, таких как легочная гипертензия [3] и аритмия, чаще умирают от сердечной недостаточности, внезапной остановки сердца или других кардиологических нарушений [4, 5]. Кроме того, у лиц с ВПС вероятность психологической дезадаптации, включая тревожные и депрессивные расстройства, формирование синдрома дефицита внимания и гиперактивности, значительно выше, чем у людей без ВПС [6, 7]. Дети с ВПС значимо чаще имеют задержки психического развития, психоэмоциональные нарушения, нарушения сенсомоторной координации, когнитивных функций и мотивационно-потребностной сферы [8, 9].

К сожалению, на данный момент не до конца ясно, каким образом происходит нарушение работы сердца в детстве, у каких именно пациентов в более зрелом возрасте могут возникнуть осложнения, а также каким образом можно предотвратить или обратить вспять данный процесс. Организм ребенка с возрастом тем или иным образом вынужден адаптироваться к последствиям хирургического вмешательства и изменениям гемодинамики. Одним из механизмов такой адаптации могут быть перестройки в вегетативной регуляции сердечной деятельности. Оценка вегетативной регуляции работы сердечно-сосудистой системы при помощи анализа показателей ВСР может дать представление не только о специфике адаптационных перестроек в организме, но и о будущем прогрессировании заболевания и связанных с ним осложнений, в том числе психологических нарушений. ВСР отражает соотношение симпатических и парасимпатических влияний на сердечную мышцу и узлы автоматии сердца, а также изменения вегетативной регуляции в организме в целом. Повышенное влияние со стороны симпатических центров наблюдается при ряде сердечных заболеваний и сопровождается повышенным уровнем норадреналина, вазопрессина и ренина в крови, а также нарушением барорефлекторного контроля артериального и сердечно-легочного кровообращения [10].

Повышенная симпатическая активность и уменьшение парасимпатического влияния на сердце, которое может быть вызвано множеством факторов, тесно связано с дисфункцией миокарда.

Нарушение ВСР занимает особое место в прогрессировании сердечной недостаточности и, вероятно, также играет важную роль в долгосрочных последствиях врожденных пороков сердца [11].

Во многих исследованиях отмечено, что снижение ВСР связано с повышенным риском неблагоприятных соматических, в том числе сердечно-сосудистых и психологических исходов в различных группах пациентов [12, 13]. По данным некоторых авторов, у больных со скорректированным ВПС в послеоперационном периоде наблюдается первоначальное ухудшение показателей ВСР [14], за которым следует определенная степень нормализации вариабельности ритма сердца через несколько месяцев после хирургического вмешательства (по крайней мере, у лиц с дефектом межпредсердной перегородки (ДМПП)) [15, 16]. Затем, в отдаленном послеоперационном периоде, ВСР снова снижается [17]. У взрослых пациентов с ВПС и сопутствующей депрессией отмечался повышенный уровень содержания катехоламинов в крови по сравнению с условно здоровыми сверстниками, а снижение ВСР и чувствительности барорецепторов коррелировало с развитием неблагоприятных последствий, таких как декомпенсированная сердечная недостаточность, наджелудочковая и желудочковая тахикардия [13].

Понимание основных причин нарушений ВСР важно для разработки стратегий по улучшению долгосрочных результатов у этих пациентов.

При изучении особенностей ВСР у больных с ВПС необходимо иметь в виду, что отклонения в показателях могут наблюдаться на всех этапах наблюдения: в предоперационный период, во время проведения хирургического вмешательства, а также в послеоперационный острый и отдаленный периоды.

Таким образом, целью данного обзора было выявление наиболее существенных факторов, влияющих на ВСР как до, так и после проведения операции по коррекции врожденных пороков сердца.

### **Предоперационная вегетативная дисфункция**

Существует множество неспецифических факторов на предоперационном этапе, которые могут повлиять на снижение ВСР у пациентов с ВПС: тип и тяжесть порока, возраст на момент операции, генетические факторы, психологическое состояние перед операцией и др. Так, было показано, что уже внутриутробно ВСР у плодов с ВПС отличается от здоровых плодов [18]. Участники гестационного возраста менее 24 недель с различными пороками (синдром гипоплазии левых отделов сердца (СГЛС), транспозиция магистральных сосудов (ТМС)

и тетрада Фалло (ТФ)) демонстрировали значимо более низкую среднюю частоту сердечных сокращений (ЧСС), значение корня квадратного из среднего квадрата разностей между последовательными RR-интервалами (rMSSD — root mean square of successive differences) и стандартного отклонения нормальных RR-интервалов (SDNN — standard deviation of NN intervals). Было обнаружено, что у плодов с ВПС снижение ЧСС коррелировало со снижением ВСР. Анализ подгрупп показал значимое снижение ВСР у плодов с СГЛС по сравнению с плодами с ТМС и ТФ. Различия были обнаружены уже на 19 неделе гестационного возраста. Авторы сообщают, что нарушения вегетативной регуляции и этиология снижения вариабельности у плодов с ВПС, вероятно, являются многофакторными. На вегетативные влияния со стороны ствола мозга могут влиять структурные изменения кровообращения, сопровождающие ВПС, включая изменения мозгового кровотока, а также лежащие в основе генетические факторы. При этом точные механизмы, определяющие различия функций вегетативной нервной системы, остаются спекулятивными [18].

Некоторые исследователи изучали педиатрических пациентов с дефектом межпредсердной перегородки (ДМПП) до операции [19, 20] и обнаружили, что ВСР во временной и частотной областях была ниже у данных лиц по сравнению с здоровыми детьми из контрольной группы. Massin и соавторы (1998) установили отрицательную корреляцию между ВСР и давлением в правом предсердии, а также между ВСР и диастолическим давлением в правом желудочке [19]. При сравнении ВСР у предоперационных пациентов с ДМПП и дефектом межжелудочковой перегородки (ДМЖП) было выявлено, что показатели мощности высокочастотного компонента (HF — high frequency) в дыхательном диапазоне частот были достоверно выше у лиц с ДМЖП, что указывает на более высокий парасимпатический тонус у данной группы больных. Значимых различий в других частотных показателях ВСР обнаружено не было [21]. Стоит отметить, что ДМПП и ДМЖП не являются сложными пороками сердца и могут оставаться незамеченными на протяжении долгого периода. В некоторых случаях люди могут не обнаруживать эти пороки и до взрослого возраста. Вероятно, поэтому возраст хирургического вмешательства может играть важную роль, поскольку продолжительность воздействия высокого давления способно оказывать влияние на вегетативную регуляцию.

Polson и соавторы (2006) обследовали новорожденных с коарктацией аорты (КоА) и сравнили показатели спонтанной барорефлекторной

чувствительности, ВСР и артериального давления (АД) с показателями здоровых новорожденных [22]. По сравнению с группой контроля у новорожденных с КоА значимо было повышено артериальное давление, снижена чувствительность барорефлекса, снижена ВСР по параметрам суммарной мощности спектра и увеличен высокочастотный компонент вариабельности артериального давления. Авторы сообщают, что полученные данные свидетельствуют о том, что у новорожденных с КоА уже наблюдаются признаки патологической перестройки автономного сердечно-сосудистого гомеостаза [22]. Стоит отметить, что при повторном обследовании этих же пациентов через пять лет после радикальной коррекции коарктации аорты вегетативная функция, по-видимому, нормализовалась [23].

В работе Özeren и соавторов (2009) были выявлены более низкие значения ВСР у лиц с ТФ по сравнению с пациентами с ДМПП до операции. Это может быть связано с тем, что цианотические ВПС (обычно более тяжелые и требующие раннего хирургического вмешательства) в сравнении с ацианотическими (могут протекать бессимптомно длительное время) характеризуются сниженным уровнем насыщения крови кислородом, что может приводить к повышению симпатической активности и снижению парасимпатических влияний [24].

Очевидно, что в процесс адаптации организма к различным порокам сердца вовлечено множество разнообразных механизмов, и ожидается, что изменения в гемодинамике и вегетативной регуляции будут специфичными для каждого отдельного типа дефекта. Это необходимо учитывать перед проведением операции для улучшения результатов хирургического вмешательства и более быстрого последующего восстановления.

Дополнительно необходимо отметить, что ВСР является чувствительным маркером не только вегетативных регуляторных процессов в организме, но и психического здоровья. В последние годы был проведен ряд исследований, которые подтвердили связь между снижением ВСР и психологическими нарушениями, включая тревожные и депрессивные расстройства [25, 26]. К сожалению, в имеющейся литературе не удалось найти исследований, направленных на изучение связи между психическим напряжением и ВСР у детей с ВПС в предоперационном периоде. При этом, согласно Araí и соавторам (2011), напряжение, возникающее у матери при проведении детской анестезии перед операцией, связано с тревожностью самого ребенка. Психический стресс влияет на вегетативную нервную систему, отражаясь на показателях ВСР. В данном исследовании была установлена

достоверная корреляция между снижением ВСР матери перед хирургическим вмешательством и состоянием ребенка в периоперационном периоде [27]. Кроме того, согласно опубликованным данным, для детей с предстоящей операцией по поводу различных заболеваний характерно наличие повышенной тревоги и стресса ввиду разлуки с родителями, страха перед неизвестным и ожиданием боли [28], что также может отразиться на параметрах ВСР. У детей с уже существующими депрессивными и тревожными расстройствами исходное значение ВСР может быть ниже, чем у здоровых детей. Сочетание психического расстройства и стресса, связанного с предстоящей операцией, может привести к более выраженному снижению вариабельности ритма сердца. Выявление и коррекция этих сопутствующих состояний имеет значение для оптимизации предоперационного психологического благополучия. Качество сна в дни, предшествующие операции, также может повлиять на ВСР у детей до вмешательства. Плохой сон, который часто наблюдается у детей перед операцией [29], может усилить тревогу и стресс, что приведет к снижению ВСР. Обеспечение достаточного количества и качества сна в предоперационный период может помочь смягчить негативное воздействие стресса на вегетативную регуляцию.

Выявление и устранение негативных психологических факторов важно для поддержания вегетативного равновесия и устойчивости к стрессу, связанному, в том числе, с операцией. Включение психологической поддержки в предоперационную подготовку может помочь оптимизировать ВСР и улучшить результаты хирургических вмешательств у детей.

### **Операция на сердце в условиях искусственного кровообращения**

Большая часть операций по коррекции ВПС проводится в условиях искусственного кровообращения (ИК). Использование ИК во время хирургического вмешательства может привести к дисбалансу вегетативной нервной системы (ВНС) ввиду повышенного высвобождения катехоламинов, а также из-за частичной денервации блуждающего нерва в результате хирургического повреждения или ишемии [30]. ИК включает в себя отвод крови от сердца и легких в искусственный контур для оксигенации. Прямое воздействие данной хирургической процедуры на сердце и окружающие ткани может нарушить вегетативную регуляцию и привести к снижению ВСР по показателям мощности низкочастотного (LF — low frequency) и очень низкочастотного (VLF — very low frequency) компонентов [31].

Временная окклюзия аорты во время искусственного кровообращения может вызвать ишемическое повреждение миокарда, что в свою очередь может привести к снижению таких статистических показателей ВСР, как rMSSD и pNN50 (доля стандартных RR-интервалов (NN), отличающихся между собой более чем на 50 мс), а также к снижению мощности спектральных показателей LF и VLF [32].

Кроме того, использование кардиоплегических растворов для остановки сердца во время операции с ИК также может вызвать изменение показателей вариабельности [33]. Операция в условиях искусственного кровообращения провоцирует системную воспалительную реакцию, вызванную контактной активацией крови искусственными поверхностями экстракорпорального контура, и может влиять на вегетативную регуляцию [34, 35].

Помимо эффектов искусственного кровообращения, сама хирургическая процедура и связанные с ней гемодинамические изменения могут вызвать значительный сердечно-сосудистый стресс, что закономерно отразится на показателях ВСР. Так, в исследовании [24] было показано, что у 29 пациентов с ВПС ( $8,08 \pm 3,8$  года) с пороками разной степени тяжести (ДМПП, ДМЖП и ТФ) после операции на открытом сердце в условиях искусственного кровообращения наблюдается значимое снижение SDNN, триангулярного индекса и соотношения мощности низкочастотного и высокочастотного компонентов (LF/HF) в первый месяц после операции по сравнению с периодом до хирургического вмешательства. Полученные данные авторы объясняют операционным стрессом и симпатической гиперактивностью в первый месяц после вмешательства. К предоперационным значениям показатели ВСР вернулись на третий месяц после операции [24].

### **Тип хирургического вмешательства**

Врожденные пороки сердца могут варьироваться по степени тяжести: от простых отверстий между верхними и/или нижними камерами сердца (ДМЖП, ДМПП) до сложных дефектов развития камер и клапанов сердца (стеноз аортального клапана, трикуспидальная недостаточность, ТФ и др.). Хирургическое вмешательство необходимо для улучшения кровотока, снижения нагрузки на сердце и предотвращения осложнений. Однако тип выполненной операции может иметь долгосрочное влияние на послеоперационную вегетативную регуляцию, что отразится на показателях ВСР.

Białkowski и соавторы (2023) проводили сравнительный анализ ВСР у детей с ДМПП после хирургической операции на открытом сердце и при чрескожном катетерном закрытии с использованием

окклюдерного устройства. Были обследованы 19 детей в возрасте от 2,5 до 14 лет с бессимптомным течением ДМПП, которых разделили на две группы: 11 детям была проведена имплантация окклюдера, тогда как остальным 8 детям была выполнена операция на открытом сердце. Анализировались временные параметры ВСР.

До операции вариабельность ритма сердца пациентов обеих групп была сопоставима: в группе с имплантированным окклюдером SDNN и rMSSD имели схожие значения с аналогичными показателями группы хирургической операции [36]. Далее, в период от одного до трех месяцев после имплантации окклюдера, авторы отмечают увеличение показателей ВСР. В частности, показатели SDNN и rMSSD продемонстрировали положительную динамику через месяц и еще большее увеличение через три месяца. Разница была статистически значимой в динамике по SDNN через месяц и по всем параметрам ВСР через три месяца. При этом в группе с хирургической операцией на открытом сердце наблюдалось значительное снижение всех показателей ВСР по сравнению с исходными, а также через месяц после вмешательства. Через три месяца после операции параметры ВСР достоверно увеличились по сравнению с показателями месячной давности, но не достигли значений эндоваскулярной группы. Параметры SDNN и rMSSD через месяц были значительно снижены, а через три месяца показатели увеличились, но оставались ниже, чем в группе с окклюдером. В отличие от хирургического метода, при катетерном закрытии ДМПП все параметры ВСР продемонстрировали значительное раннее увеличение в послеоперационном периоде. Такие результаты могут быть обусловлены менее инвазивным вмешательством, чем при хирургическом закрытии ДМПП [37]. У пациентов с ДМЖП через месяц после операции сердечно-легочного шунтирования отмечается снижение показателя HF ВСР и чувствительности барорецепторов. Однако через год после вмешательства эти показатели возвращаются к дооперационным значениям [38].

Сравнительный анализ ВСР у 45 взрослых пациентов ( $35,2 \pm 9,2$  года), переживших в детстве операции по поводу цианотических ВПС (ТМС, ТФ, отхождение сосудов от правого желудочка, общий артериальный ствол, атрезия легочной артерии с дефектом межжелудочковой перегородки, атрезия трехстворчатого клапана, одножелудочковое сердце), продемонстрировал, что показатели ВСР у лиц с ТМС в отдаленном послеоперационном периоде были значительно выше, чем у больных, перенесших другие виды хирургических вмешательств по поводу цианотических ВПС [39]. Были

продемонстрированы достоверно более высокие значения SDNN у лиц с ТМС по сравнению с пациентами с другими аномалиями конотрункуса. При сопоставлении пациентов с ТМС после операции Мастарда и Сеннинга со всеми другими людьми, перенесшими хирургические вмешательства по поводу ВПС, были обнаружены значимо более высокие показатели rMSSD и SDNN после переключения предсердий. При этом достоверно более высокое значение параметра SDNN было зарегистрировано после операций Мастарда и Сеннинга, чем после операций Растелли при коррекции ТМС [39]. Стоит отметить, что у пациентов, перенесших операцию артериального переключения (ASO — *arterial switch operation*) при ТМС, в отдаленном послеоперационном периоде парасимпатическая функция, оцениваемая по чувствительности барорецепторов, не отличалась от таковой у условно здоровых сверстников [40].

Авторы предполагают, что хирургические вмешательства, включая корректирующие процедуры, такие как операции артериального переключения или предсердий (операции Мастарда и Сеннинга), способствуют улучшению регуляторных процессов, тогда как операция Растелли или радикальная коррекция ТФ могут еще больше нарушить вегетативную регуляцию. Например, во время оперативных вмешательств симпатические нервные волокна вдоль магистральных сосудов могут быть повреждены, что приводит к снижению симпатической модуляции вариабельности сердечного ритма. Кроме того, образование рубцовой ткани в результате хирургических процедур (разрезов) может изменить проводящие пути и нарушить вегетативную функцию, что еще больше повлияет на ВСР [39].

Основная причина осложненного течения отдаленного периода после коррекции ТФ — дисфункция правого желудочка из-за длительно существующей выраженной регургитации на клапане легочной артерии [41]. Это является одним из ведущих факторов, влияющих на существенное снижение ВСР в данной группе пациентов [42, 43]. Другим аспектом, обуславливающим нарушение ВСР при ТФ, является возникновение желудочковых аритмий после хирургической операции, которые могут развиваться на фоне длительного искусственного кровообращения, пережатия аорты, увеличенной длительности QRS-комплекса (от 100 мс) и других факторов [44]. Так, у пациентов, оперированных по поводу ТФ, показатели rMSSD, pNN50 и HF были достоверно ниже в группе с аритмией, чем у больных без аритмии [44].

Таким образом, степень нарушения ВСР может быть связана со сложностью хирургического

вмешательства: более обширные процедуры могут привести к большей вегетативной дисфункции. Дополнительно следует отметить, что на снижение ВСР во время операции могут влиять препараты, используемые для общей анестезии [45, 46], при этом продолжительность и интенсивность анестезии также могут менять ВСР, причем более длительное время анестезии потенциально способно привести к более тяжелым нарушениям ВСР [47].

#### Послеоперационный период и восстановление

Течение послеоперационного периода и процесс восстановления после коррекции ВПС также могут сопровождаться различными особенностями ВСР у пациентов. Было показано, что более низкие значения показателей ВСР коррелируют с более длительной госпитализацией после неонатальной кардиохирургии у детей с ВПС [48].

Karunanithi и соавторы (2022) зафиксировали отклонения в показателях ВСР у 85 больных после коррекции ДМПП и у 105 пациентов после коррекции ДМЖП в возрасте от 0 до 18 лет во время послеоперационной госпитализации. У лиц с ВПС были выявлены достоверно более низкие значения временных и спектральных показателей ВСР по сравнению с группой нормы, не подвергавшейся кардиохирургическому вмешательству. При этом соотношение LF/HF было статистически значимо ниже у пациентов с ДМПП и выше у лиц с ДМЖП по сравнению с группой сравнения. В ряде случаев было зафиксировано значимое увеличение нелинейного параметра — выборочной энтропии (SampEn — sample entropy) в группе пациентов после коррекции врожденных пороков сердца по сравнению с нормой [49].

Авторы сообщают, что значимость данного наблюдения остается неясной, однако предполагают его связь с интраоперационной частичной ваготомией — плановым пересечением ветвей блуждающего нерва, выполняемым в ходе хирургической коррекции врожденного порока сердца. Данная манипуляция, выполняемая для облегчения наложения зажима и создания оптимальных хирургических условий при закрытии внутрисердечного дефекта, может выступать потенциальным фактором, требующим дальнейшего изучения.

Со и коллеги (2021) демонстрируют, что послеоперационная боль сама по себе активирует симпатическую реакцию на стресс и может привести к нарушениям ВСР, что в свою очередь повышает риски возникновения тахикардии и гипертонии и в итоге увеличивает потребность миокарда в кислороде, повышая риск кардиологических осложнений в послеоперационном периоде [47]. Применение

обезболивающих препаратов [50] и специальных лекарственных средств для восстановления функций сердца после операции, включая бета-блокаторы, наоборот, улучшает показатели вариабельности в ранний послеоперационный период [51].

В исследовании, включающем 60 новорожденных, перенесших операцию по поводу сложных ВПС, проводился 24-часовой холтеровский мониторинг ритма сердца до операции, затем в раннем послеоперационном периоде и через 3–6 месяцев после вмешательства. У пациентов с одножелудочковой физиологией в раннем послеоперационном периоде наблюдалось более низкое значение мощности низкочастотного компонента спектра (LF) по сравнению с пациентами с двухжелудочковой физиологией ( $p = 0,040$ ). Для всей когорты отмечалось увеличение мощности LF ( $p = 0,004$ ) и высокочастотного компонента (HF) ( $p < 0,001$ ) в течение трех временных точек наблюдения. Соотношение LF/HF существенно не изменилось ( $p = 0,119$ ) [48].

Alstrup и соавторы (2021) изучали особенности ВСР у взрослых пациентов в отдаленном периоде после коррекции ДМПП. Исследование включило 53 человека: 17 пациентов после хирургического закрытия ДМПП, 18 — после транскатетерного закрытия и 18 здоровых добровольцев контрольной группы. Средний возраст участников составил  $32 \pm 9$ ,  $28 \pm 7$  и  $32 \pm 10$  лет соответственно, при этом время после коррекции порока составило  $19 \pm 8$  лет в хирургической группе и  $15 \pm 5$  лет в группе транскатетерного закрытия [17].

На основании 48-часового холтеровского мониторингирования с оценкой временных показателей ВСР было выявлено их значимое снижение у пациентов после хирургической коррекции по сравнению с контрольной группой, в то время как в группе транскатетерного закрытия были снижены только SDNN и RMSSD.

Авторы объясняют нарушения ВСР в отдаленном периоде изменением напряжения стенки правого предсердия, поскольку в норме синусовая аритмия регулируется напряжением правого предсердия при венозном возврате во время вдоха. У пациентов с ДМПП этот механизм нарушается из-за измененной геометрии предсердий, и даже после коррекции у части больных сохраняется увеличение предсердий и повышенное давление наполнения. Также растяжение правого предсердия стимулирует выработку предсердного натрийуретического пептида, влияющего на вагусную регуляцию барорецепторов и снижающего симпатическую передачу в ганглиях. При хирургической коррекции происходит дополнительное повреждение вегетативных нервных

волокон, особенно правого блуждающего нерва, иннервирующего синусовый узел, что объясняет более выраженные нарушения ВСП в группе хирургической коррекции.

В исследовании, включавшем 45 взрослых пациентов ( $35,2 \pm 9,2$  года) с различными цианотическими ВПС, были изучены особенности ВСП в отдаленном послеоперационном периоде. Наибольшую группу составили больные с ТМС (18 человек), далее следовали лица с ТФ (11), двойным отхождением магистральных сосудов от правого желудочка (ДОС от ПЖ) (5) и другими более редкими пороками [39]. Результаты показали значительные различия в показателях ВСП в зависимости от типа порока и метода хирургической коррекции. Примечательно, что пациенты с предсердными аритмиями в анамнезе демонстрировали значительно более низкие значения SDNN, чем лица без аритмий. Авторы объясняют нарушения ВСП в отдаленном послеоперационном периоде комплексным взаимодействием нескольких механизмов. Структурные изменения, связанные как с самим пороком (аномальное расположение крупных сосудов и структур сердца напрямую влияет на вегетативную иннервацию), так и с последствиями хирургического вмешательства (рубцовая ткань нарушает проводящие пути и вегетативную функцию), играют первостепенную роль. Существенный вклад вносят интраоперационные повреждения вегетативной иннервации, особенно при манипуляциях в области крупных сосудов. Например, при артериальном переключении возможно повреждение симпатических структур в области основания магистральных сосудов.

Дополнительное влияние оказывают сопутствующие состояния — легочная гипертензия увеличивает нагрузку на правый желудочек, что ведет к симпатической гиперактивности, а аритмии усугубляют вегетативную дисфункцию. Важную роль играют также длительность и степень предоперационного цианоза. Все эти факторы приводят к существенным нарушениям физиологических механизмов регуляции сердечного ритма: нарушается баланс между симпатической и парасимпатической системами, снижается парасимпатический тонус, развивается преобладание симпатической активности. В результате снижаются адаптационные возможности сердечно-сосудистой системы, что отражается на изменении показателей ВСП [48].

В настоящее время наблюдается интенсивное развитие комплексных программ кардиореабилитации для пациентов с ВПС. Эти программы включают медикаментозное лечение, психологическую реабилитацию, сестринский уход, физиотерапию, трудотерапию, логопедию и диетотерапию [52].

Однако исследования, оценивающие влияние реабилитационных программ на вегетативную регуляцию кровообращения и ВСП у пациентов с ВПС, остаются немногочисленными, что подчеркивает необходимость дальнейшего изучения адаптационно-компенсаторных механизмов при различных типах ВПС.

Курганова и соавторы (2017) продемонстрировали эффективность комплексного санаторно-курортного лечения с применением электросна у 43 детей с неоперированными дефектами межпредсердной и межжелудочковой перегородок. Результаты показали значительное снижение (в 3,1 раза) частоты асимпатикотонического типа вегетативной реактивности, что свидетельствует о повышении адаптационно-компенсаторных возможностей [53].

Исследование Fritz и коллег (2021), охватившее 222 взрослых пациента с различными ВПС в отдаленном послеоперационном периоде, выявило связь между повышением ВСП и улучшением физической работоспособности. Авторы предполагают, что умеренные тренировки на выносливость (ходьба, бег, плавание) могут способствовать улучшению вегетативной регуляции кровообращения и параметров ВСП у пациентов с ВПС [54].

Систематический обзор Durpen и соавторов (2013), проанализировавший 31 исследование с участием детей и молодых взрослых с ВПС, показал, что физические тренировки способствуют снижению чрезмерной симпатической активности и улучшению барорефлекторной чувствительности [55]. Эти положительные эффекты могут быть обусловлены подавлением активности ренин-ангиотензин-альдостероновой системы и увеличением биодоступности оксида азота [56, 57].

Недавнее исследование показало улучшение показателей дыхательной функции, физической работоспособности и качества жизни пациентов с ВПС на фоне респираторной физиотерапии и аэробных тренировок, что, вероятно, могло сопровождаться благоприятными изменениями в вегетативной регуляции [58].

В целом, обзор литературы свидетельствует о сложных изменениях вегетативной регуляции в послеоперационном периоде у пациентов с различными ВПС. Наблюдается этапность восстановления вегетативной функции: непосредственно после операции происходит снижение показателей ВСП, затем, в зависимости от типа порока и характера хирургического вмешательства, может наблюдаться частичное восстановление или сохранение вегетативной дисфункции. Малоинвазивные методы коррекции демонстрируют более благоприятный профиль восстановления, в то время как

обширные реконструктивные вмешательства часто приводят к долгосрочному нарушению вегетативного баланса. Персонализированный подход к реабилитации, включающий физические тренировки, психологическую поддержку и, при необходимости, медикаментозную коррекцию, представляется наиболее перспективным направлением для оптимизации долгосрочных последствий и предупреждения осложнений, связанных с вегетативной дисфункцией.

Обобщение основных исследований ВСР у пациентов с ВПС представлено в таблице 1.

### Заключение

Анализ упомянутых в обзоре исследований ВСР у пациентов с ВПС выявляет как значительные достижения в понимании проблемы, так и существенные методологические ограничения. Размеры выборок варьируют от малых (8 участников) до средних (190 участников), что характерно для исследований редких патологий, но ограничивает статистическую мощность результатов. Возрастной диапазон участников охватывает период от внутриутробного развития до зрелого возраста (58 лет), с преобладанием педиатрических групп. При этом внутри одного исследования нередко объединялись пациенты различных возрастных периодов. Например, в работе Неган и соавторов (1999) возраст участников варьировался от 2 недель до 16 лет, что затрудняет интерпретацию результатов ввиду наличия возрастных особенностей в вегетативной регуляции [14]. Следует отметить дефицит исследований с участием взрослых пациентов в отдаленном послеоперационном периоде — лишь единичные работы, такие как Alstrup и соавторов (2021) и Pieringer и коллег (2024), включали наблюдения спустя 15–20 лет после коррекции ВПС [17, 39]. Существенным методологическим ограничением является объединение в одну исследовательскую группу пациентов с пороками различной степени тяжести: например, в работе Özeren и соавторов (2009) совместно анализировались данные пациентов с ДМПП, ДМЖП и ТФ, несмотря на принципиальные различия в патофизиологии этих состояний [24].

В большинстве исследований использовался холтеровский мониторинг длительностью более 20 часов, что соответствует современным клиническим рекомендациям по анализу ВСР, однако наблюдается недостаточный учет влияния медикаментозной терапии на параметры вегетативной регуляции. Многие работы либо не приводят данные о получаемых препаратах, либо ограничиваются указанием на исключение пациентов, принимающих антиаритмические средства, не учитывая при этом влияние других классов лекарственных средств на ВСР.

Недостаточно изучены такие аспекты, как влияние психологических факторов на ВСР при ВПС, прогностическая значимость показателей ВСР для оценки риска осложнений, а также эффективность методов коррекции вегетативных нарушений.

Что касается количественной оценки ВСР, то большинство исследований включали как временные (SDNN, RMSSD, pNN50), так и частотные показатели (LF, HF, LF/HF). Некоторые работы дополнительно использовали нелинейные методы анализа (SD1, SD2, SampEn). Однако отсутствие единого набора показателей создает препятствия для проведения метаанализа и формулирования обобщенных выводов.

Тем не менее, в целом можно утверждать, что у пациентов с ВПС наблюдается снижение ВСР по сравнению со здоровыми людьми, причем степень этих нарушений зависит от типа порока и особенностей хирургического вмешательства. Малоинвазивные вмешательства демонстрируют более благоприятный профиль влияния на вегетативную регуляцию по сравнению с открытыми операциями.

Для дальнейшего развития данного направления исследований представляется целесообразной разработка общих подходов к анализу ВСР, проведение исследований на больших и более однородных выборках пациентов с включением контрольных групп здоровых участников, изучение психологических аспектов вегетативной дисрегуляции при ВПС, а также разработка методов коррекции нарушений ВСР. Особое внимание следует уделить исследованию прогностической значимости показателей ВСР для оценки риска осложнений и долгосрочных исходов у пациентов с ВПС.

### Выводы

1. Нарушения ВСР у пациентов с ВПС характеризуются сложным многофакторным патогенезом, включающим как первичные изменения, связанные с самим пороком, так и вторичные — обусловленные хирургическим вмешательством и послеоперационными адаптационными процессами.

2. Ведущими изменениями ВСР при ВПС являются снижение общей вариабельности (уменьшение SDNN, SDANN, триангулярного индекса), нарушение симпатовагусного баланса с преобладанием симпатических влияний (повышение LF/HF, снижение rMSSD, pNN50, HF). При цианотических пороках (СГЛС, ТФ) наблюдается более выраженное снижение всех показателей ВСР, при легочной гипертензии — симпатикотония, а при системно-легочных шунтах — относительное повышение вагусного тонуса с транзиторным увеличением HF компонента.

Таблица 1. Описание основных исследований, включенных в анализ механизмов нарушений ВСП у пациентов с ВПС

Table 1. Description of the main studies included in the analysis of causes of heart rate variability disorders in patients with congenital heart defects

| Авторы, год                     | Выборка                                                                                                                                                                                                                                                           | Методы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Медикаментозная терапия                                                                               | Основные выводы авторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hetagu N. P., Scott W. A., 1999 | Группа ВПС: n = 36, возраст от 2 недель до 16 лет, n = 19 с ацианотическими пороками, n = 17 с цианотическими пороками.<br>Группа сравнения: n = 45, здоровые дети соответствующего возраста.<br>Соотношение по полу не указано.                                  | ЭКГ (3-канальный амбулаторный монитор Zymed). Средняя длительность записи 21,1 ч. Исключались записи с >5 % аритмий/артефактов или <14 ч. данных.<br>Временные показатели: SDNN, SDANN, SDNN/RR. Частотные показатели: общая мощность, LF, HF, LF/HF.                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Исключались пациенты, принимающие антиаритмические препараты, диуретики или кардиоактивные препараты. | 1) До операции у детей с ВПС снижены общая мощность и HF компонент.<br>2) После операции ВСП снижается у всех пациентов.<br>3) Более длительная послеоперационная госпитализация связана с большим снижением ВСП.                                                                                                                                                            |
| Polson J. W. и др., 2006        | Группа КоА: n = 8 новорожденных с КоА, медиана возраста 42,3 [39,6–46,4] недели.<br>Группа сравнения: n = 13 здоровых новорожденных, медиана возраста 40,3 [39,3–41,1] недели.<br>Соотношение по полу не указано.                                                 | Непрерывное измерение АД (Portapres) и запись ЭКГ в течение 4-минутных интервалов, общая длительность процедуры 30–40 мин.<br>Временные показатели: SDNN, RMSSD, rNN50. Частотные показатели: общая мощность, LF (0,04–0,15 Гц), HF (0,15–1,1 Гц), измерение спонтанной барорефлекторной чувствительности.                                                                                                                                                                                                                                  | Некоторые пациенты получали простагландин E2 (n = 4), фуросемид (n = 4) и спиронолактон (n = 2).      | 1) У новорожденных с КоА повышено АД и снижена барорефлекторная чувствительность.<br>2) Показатели ВСП (общая мощность спектра, LF и HF) значимо ниже в группе с КоА.<br>3) Отмечено увеличение высокочастотного компонента вариабельности АД в группе с КоА.<br>4) У новорожденных с КоА наблюдается ранняя патологическая перестройка автономной регуляции кровообращения. |
| Nata T. и др., 2007             | Группа ДМПП: n = 43, пациенты с ДМПП (средний размер $2,27 \pm 0,98$ мм), средний возраст $4,6 \pm 3,6$ года.<br>Группа ДМЖП: n = 40, пациенты с ДМЖП (средний размер $1,97 \pm 0,86$ мм), средний возраст $4,1 \pm 6,4$ года.<br>Соотношение по полу не указано. | ЭКГ и запись дыхательных движений проводились во время доплерографии. Измерялось соотношение легочного и системного кровотока (Qp/Qs).<br>Анализ за 120-секундные интервалы.<br>Частотные показатели: LF (0,036–0,146 Гц), HF (0,146–0,390 Гц), дыхательная синусовая аритмия (RSA — respiratory sinus arrhythmia), суммарная мощность спектра (TF — total frequency) (0,036–2,0 Гц), отношения LF/HF, LF/ RSA (низкочастотный компонент/дыхательная синусовая аритмия), RSA/TF (дыхательная синусовая аритмия/суммарная мощность спектра). | Данных нет.                                                                                           | 1) В обеих группах наблюдалась слабая положительная корреляция LF/HF с Qp/Qs.<br>2) В группе с ДМПП отмечена положительная корреляция LF/RSA с Qp/Qs, в группе с ДМЖП — отрицательная.<br>3) RSA/TF отрицательно коррелировал с Qp/Qs при ДМПП и положительно при ДМЖП.<br>4) Выявлены различия во влиянии дыхательной вазусной активности на ВСП при ДМПП и ДМЖП.           |

| Авторы, год           | Выборка                                                                                                                                                                                                                                                                           | Методы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Медикаментозная терапия                                                                                                                                                                                | Основные выводы авторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kenly D. и др., 2009  | Группа KoA: n = 6, средний возраст $5,3 \pm 0,3$ года.<br>Группа сравнения: n = 7 здоровых детей, средний возраст $5,5 \pm 0,2$ года. Соотношение по полу не указано.<br>Повторное обследование детей из когорты Polson J. W., 2006, через 5 лет после операции.                  | Непрерывная запись ЭКГ и АД (Portapres Systems) в положении лежа. Также измерение АД на правой руке осциллометрическим методом (Dunapar PRO 300) в положении сидя после периода отдыха.<br>Спонтанная барорефлекторная чувствительность (BRS — baroreflex sensitivity), временные и частотные показатели BCP и вариабельности АД. | Пациенты не получали медикаментозной терапии.                                                                                                                                                          | 1) В группе сравнения отмечено снижение BRS с возрастом, тогда как в группе KoA этот показатель не изменился.<br>2) В обеих группах отмечено возрастное увеличение показателей BCP и вариабельности АД.<br>4) Ранняя хирургическая коррекция KoA приводит к нормализации показателей автономной регуляции к 5-летнему возрасту.                                                                |
| Özegen M. и др., 2009 | Группа ВПС: n = 29 (13 девочек), средний возраст $8,08 \pm 3,8$ года, из них 27 пациентов с ацианотическими пороками (15 ДМЖП, 12 ДМПП), 2 — с цианотическими пороками (ТФ). Сравнение параметров BCP до и после операции.                                                        | Запись ЭКГ в положении лежа, анализ 200 сердечных сокращений с помощью PC-ECG 1200. Оценка до операции, через 1 мес. и 3 мес. после операции. Временные показатели: SDNN, RMSSD, триангулярный индекс. Частотные показатели: LF, HF, LF/HF.                                                                                       | Исключались пациенты, получавшие препараты, влияющие на деятельность сердечно-сосудистой системы до и после операции. Семь пациентов получали низкие дозы допамина в раннем послеоперационном периоде. | 1) SDNN и триангулярный индекс были значительно ниже через 1 мес. после операции по сравнению с дооперационными значениями.<br>2) В первый месяц после операции отмечалось повышение соотношения LF/HF.<br>3) Через 3 мес. после операции показатели BCP вернулись к дооперационным значениям.<br>4) Снижение BCP является неспецифическим маркером кардиоваскулярного стресса после операции. |
| Cansel M. и др., 2011 | Группа ДМПП: n = 30 (26 женщин) со вторичным ДМПП (диаметр > 20 мм и/или QP/QS > 1,5), средний возраст $34 \pm 13$ лет.<br>Группа сравнения: n = 30 (24 женщины), здоровые добровольцы без патологии сердечно-сосудистой системы соответствующего пола и возраста $29 \pm 6$ лет. | 6-канальное 24-часовое холтеровское мониторирование с ЭКГ (DMS 300-7 HolterReader). Записи до и через 6 мес. после транскатетерного закрытия ДМПП. Анализ записей $\geq 23$ ч. Временные показатели: SDNN, SDANN, SDNN index, rMSSD, sNN50, pNN50.                                                                                | Исключались пациенты, принимающие антиаритмические препараты. Аспирин (3–5 мг/кг) за 24 ч. до операции и 6 мес. после.                                                                                 | 1) До операции значения SDNN, SDANN и SDNN index были значительно ниже, чем в контрольной группе.<br>2) Через 6 мес. после транскатетерного закрытия ДМПП показатели BCP нормализовались и не отличались от показателей контрольной группы.<br>3) Транскатетерное закрытие ДМПП оказывает положительное влияние на BCP и может способствовать снижению смертности и заболеваемости.            |

| Авторы, год             | Выборка                                                                                                                                                                                                                                                                  | Методы                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Медикаментозная терапия                                       | Основные выводы авторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bakari S. и др., 2013   | Группа ДМПП: n = 28 (13 девочек) с ДМПП (средний размер 14,5 ± 5,7 мм, диапазон 5–28 мм), средний возраст 6,6 ± 2,1 года.<br>Группа сравнения: n = 32 (15 девочек), здоровые дети соответствующего пола и возраста 6,4 ± 2,2 года.                                       | 3-канальное 24-часовое холтеровское мониторирование (Del Mar Avionics Strata Scan model 563). Средняя длительность мониторирования 21,7 ч. в группе ДМПП и 22,2 ч. в контроле.<br>Временные показатели: SDNN, SDANN, rMSSD, SD, SDNN index, pNN50, mean RR. Частотные показатели: VLF, LF, HF, LF/HF. | Исключались пациенты, принимающие антиаритмические препараты. | 1) В группе с ДМПП значительное снижение всех временных показателей ВСП по сравнению с контролем.<br>2) Выявлено повышение соотношения LF/HF и снижение HF компонента.<br>3) Изменения ВСП указывают на снижение парасимпатической активности и преобладание симпатической.<br>4) Нарушение автономной регуляции сердечного ритма может быть связано с растяжением правого предсердия.                                      |
| Özyilmaz İ. и др., 2015 | Группа ДМПП: n = 47 (28 девочек), со вторичным ДМПП (диаметр > 12 мм). 41 пациент с одиночным ДМПП, 6 — с множественными, средний возраст 9,61 ± 4,72 года.<br>Группа сравнения: n = 30 (21 девочка), здоровые дети соответствующего пола и возраста: 10,43 ± 5,31 года. | 3-канальное 24-часовое холтеровское мониторирование до, через день и через 6 мес. после закрытия ДМПП. Длительность записи ≥ 23 ч.<br>Временные показатели: SDNN, SDANN, rMSSD, NN, pNN50, SDNN index. Частотные показатели: VLF, LF, HF, VHF, LF/HF.                                                 | Данных нет.                                                   | 1) До операции показатели ВСП были ниже, чем в контрольной группе.<br>2) Через день после операции отмечалось небольшое улучшение показателей.<br>3) Через 6 мес. после операции все показатели ВСП нормализовались и достигли уровня контрольной группы.<br>4) Для полного восстановления ВСП у детей после транскатетерного закрытия ДМПП требуется около 6 мес.                                                          |
| Siddiqui S. и др., 2015 | Группа ВПС: n = 51, плоды с ВПС (19 — СГЛС, 12 — ТМС, 20 — ТФ).<br>Группа сравнения: n = 41, здоровые плоды с нормальной структурой сердца. Исследование проводилось в гестационном возрасте: 19–27 недель (F1), 28–33 недели (F2), 34–38 недель (F3).                   | Фетальная ЭКГ (Mopica AN24). Три периода: F1 19–27 недель, F2 28–33 недели, F3 34–38 недель. Запись 50 мин. Средняя ЧСС и вариабельность: межкуартальный размах, SDNN, RMSSD.                                                                                                                         | Данных нет.                                                   | 1) У плодов с ВПС наблюдаются отличия в автономной регуляции от контрольной группы, начиная с 19 недель гестации.<br>2) Плоды с СГЛС демонстрируют значительно более низкую среднюю ЧСС в периоды F1 и F2.<br>3) В период F3 у плодов с СГЛС отмечается более низкая вариабельность сердечного ритма.<br>4) Другие подгруппы ВПС показали аналогичную, хотя и статистически незначимую тенденцию к снижению вариабельности. |

| Авторы, год               | Выборка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Методы                                                                                                                                                                                                                                                                        | Медикаментозная терапия                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Основные выводы авторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alstrup M. и др., 2021    | Группа с хирургическим лечением: n = 17 (12 женщин), со вторичным ДМПП (размер $22 \pm 4$ мм), средний возраст $32 \pm 9$ лет.<br>Группа с транскатетерным лечением: n = 18 (11 женщин), со вторичным ДМПП (размер $12 \pm 4$ мм), средний возраст $28 \pm 7$ лет.<br>Группа сравнения: n = 18 (10 женщин), здоровые добровольцы, средний возраст $32 \pm 10$ лет.                                                                                                                                                  | 2-канальное 48-часовое холтеровское мониторирование (Lifescard CF). Время после коррекции: $19 \pm 8$ лет — группа с хирургическим лечением, $15 \pm 5$ лет — группа с транскатетерным лечением.<br>Временные показатели: SDNN, SDANN, SDNNi, RMSSD, pNN50, triangular index. | Исключались пациенты, получающие медикаментозную терапию по поводу гипертензии.                                                                                                                                                                                                                                                             | 1) В отдаленном периоде ( $> 15$ лет) после коррекции ДМПП сохраняется снижение ВСР.<br>2) Более выраженные нарушения ВСР наблюдаются в группе хирургического лечения.<br>3) В группе с хирургическим лечением снижены все параметры ВСР.<br>4) В группе с транскатетерным лечением снижены только 3 из 6 параметров.                                                                                                                                         |
| Bialkowski J. и др., 2003 | Группа с хирургическим лечением: n = 8, возраст 3,1–13,6 года.<br>Группа с транскатетерным лечением (окклюдер Amplatzer): n = 11, возраст 2,5–14 лет.<br>Вторичный ДМПП с гемодинамически значимым сбросом ( $Qp/Qs \geq 1,5$ ) в обеих группах. Сравнение по полу не указано. Сравнение параметров ВСР до и после операции.                                                                                                                                                                                        | 24-часовая холтеровская запись ЭКГ. Оценка до операции, через 1 мес. и 3 мес. после коррекции.<br>Временные показатели: SDNN, SDANN, SDNNi, gMSSD, pNN50.                                                                                                                     | В группе с транскатетерным лечением — аспирин 3–5 мг/кг/сут.                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1) До операции ВСР была снижена в обеих группах.<br>2) Через 1 мес. после операции в группе с хирургическим лечением отмечалось дальнейшее снижение всех показателей ВСР, тогда как в группе с транскатетерным лечением наблюдалось улучшение.<br>3) Через 3 мес. показатели ВСР улучшились в обеих группах, но в группе с транскатетерным лечением были достоверно выше.                                                                                     |
| Pieringer F. и др., 2024  | Группа ВПС: n = 45 (18 женщин), средний возраст $35,2 \pm 9,2$ года, из них: 18 пациентов с ТМС, 11 — с ТФ, 5 — с ДЮС от ПЖ, 2 — с общим артериальным стволком, 2 — с атрезией легочной артерии с ДМЖП, 1 пациент с атрезией трехстворчатого клапана, 2 — с атрезией клапана легочной артерии, 2 — с двуприоточным желудочком сердца, 1 пациент с единственным желудочком и 1 пациент с атрезией легочной артерии с интактной МЖП. Сравнение параметров ВСР между разными типами пороков и хирургических коррекций. | Непрерывная холтеровская запись ЭКГ с помощью датчика Bitium Faros 180. Время после коррекции порока от 13 до 52 лет.<br>Средняя длительность записи $25,2 \pm 2,1$ ч.<br>Временные показатели: SDNN, RMSSD.                                                                  | Пациенты получали бета-блокаторы (n = 17), из них: лица с ТМС (n = 8), с ДМЖП (n = 3), с ТФ (n = 2), с двуприоточным желудочком (n = 1), с атрезией легочной артерии и ДМЖП (n = 1), с общим артериальным стволком (n = 1), с атрезией трехстворчатого клапана (n = 1). Дозировка, кратность приема и продолжительность терапии не указаны. | 1) У пациентов с ТМС значительно более высокие значения SDNN по сравнению с другими конотрункальными аномалиями.<br>2) После операции Мастарда и Сеннинга показатели ВСР были выше по сравнению с другими операциями.<br>3) После операции Растрелли значения SDNN были значительно ниже, чем после предсердного переклощения или артериального переклощения.<br>4) У пациентов с ТМС и предсердными аритмиями в анамнезе значения SDNN были достоверно ниже. |

| Авторы, год              | Выборка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Методы                                                                                                                                                                                                                                                                      | Медикаментозная терапия                                                                | Основные выводы авторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| McLeod K. A. и др., 1999 | Группа ТФ: n = 28 (10 женщин), после коррекции ТФ (транскатетерная пластика через вентрикулотомию не менее 10 лет назад), средний возраст $19,5 \pm 5,43$ года.<br>Группа сравнения: n = 28 (14 женщин), здоровых добровольцев, сопоставимых по полу и возрасту, средний возраст $19,9$ года.                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 24-часовое холтеровское мониторирование ЭКГ, ЭхоКГ, радионуклидная вентрикулография, стандартная ЭКГ в 12 отведениях. Временной показатель rNN50.                                                                                                                           | Пациенты не получали антиаритмическую терапию или другие препараты, влияющие на ВСР.   | 1) У 12 из 28 пациентов (43 %) ВСР была снижена по сравнению с контрольной группой.<br>2) Снижение ВСР ассоциировалось с увеличением возраста, увеличением размеров и давления в правом желудочке, а также с расширением комплекса QRS.<br>3) Нарушение вегетативной регуляции сердца может быть одним из механизмов внезапной смерти у пациентов после коррекции ТФ.                                                                                       |
| Butera G. и др., 2004    | Группа ТФ: n = 23 (16 девочек), после коррекции ТФ (транскатетерная пластика через вентрикулотомию в отдаленном периоде ( $10,6 \pm 5,2$ года), средний возраст $14 \pm 6,6$ года, из них 7 пациентов с неустойчивой желудочковой тахикардией (ЖТ).<br>Группа сравнения: n = 18 (7 девочек), пациенты после коррекции других ВПС: ДМЖП (n = 10), ДМПП (n = 6), стеноз клапана легочной артерии (n = 2), средний возраст $11,1 \pm 2,5$ года, время после операции $11,2 \pm 5,4$ года.<br>Группа контроля: n = 18 (9 девочек) здоровых детей, средний возраст $11,2 \pm 4,9$ года. | 24-часовое холтеровское мониторирование ЭКГ.<br>Анализировались записи длительностью > 18 ч.<br>Временные показатели: среднее RR, SDNN, rMSSD, rNN50. Частотные показатели: общая мощность спектра, LF, HF, LF/HF. Также оценивались ЭхоКГ параметры и ЭКГ в 12 отведениях. | Пациенты не получали антиаритмические препараты или другие лекарства, влияющие на ВСР. | 1) У пациентов с ТФ отмечалось значительное снижение всех показателей ВСР по сравнению с контрольной группой и группой сравнения.<br>2) У пациентов с неустойчивой ЖТ показатели ВСР были достоверно ниже по сравнению с пациентами без аритмий.<br>3) Мультивариантный анализ показал, что rNN50, возраст на момент операции, степень регургитации на клапане легочной артерии и увеличенное соотношение ПЖ/ЛЖ были независимыми предикторами развития ЖТ. |

| Авторы, год                   | Выборка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Методы                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Медикаментозная терапия                                                                                                                                                                                     | Основные выводы авторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kaltman J. R.<br>и др., 2006  | Группа с односторонней физиологией: n = 27 (10 девочек) новорожденных после операции с пересечением магистральных артерий (1 этап паллиативной коррекции) (n = 22), без пересечения магистральных артерий (системно-легочный анастомоз) (n = 5), средний возраст $3,59 \pm 1,42$ дня. Группа с двухжелудочковой физиологией: n = 33 (18 девочек) новорожденных после операции с пересечением магистральных артерий (артериальное переклечение, операция Damus-Kaye-Stansel с кондуитом из правого желудочка в легочную артерию, операция Ross) (n = 17), без пересечения магистральных артерий (n = 16), средний возраст $5,97 \pm 3,94$ дня. Исключались недоношенные < 32 недель, масса < 2 кг, гетеротаксия, интубация до операции. Сравнение между группами с единственным и двумя желудочками, а также между группами с пересечением и без пересечения магистральных сосудов во время операции. | 24-часовое холтеровское мониторирование в 3 точках: до операции, перед выпиской и через 3–6 мес. после операции. Запись не менее 15 ч. Анализ проводился на эпохах 1024 сек. с < 5 % интерполированных QRS. Частотные показатели: LF (0,02–0,15 Гц), HF (0,15–0,50 Гц), отношение LF/HF.                    | Инотропная поддержка (милринон, допамин). Перед регистрацией в послеоперационном периоде все внутривенные препараты были отменены за 18 ч.                                                                  | 1) У лиц с единственным желудочком в раннем послеоперационном периоде отмечалось значимое снижение LF по сравнению с группой пациентов с двумя желудочками.<br>2) Пересечение магистральных сосудов во время операции не влияло на ВСР.<br>3) Для всей когорты отмечалось увеличение LF и HF и снижение ЧСС в течение периода наблюдения.<br>4) Низкое отношение LF/HF в послеоперационном периоде коррелировало с большей длительностью госпитализации.                               |
| Karunanithi Z.<br>и др., 2022 | Группа ДМПП: n = 85 (49 девочек) после хирургической коррекции ДМПП, медиана возраста 4,8 [3,87–6,8] года. Группа ДМЖП: n = 105 (63 девочки) после коррекции ДМЖП, медиана возраста 0,5 [0,4–0,8] года. Группы сравнения: n = 142 (85 девочек) после хирургических вмешательств вне грудной полости (например, травматологические операции, переломы, краниотомии, тонзиллэктомии, аденоидэктомии, аппендэктомии и т. д.), медиана возраста 0,9 [0,4–5] года.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Непрерывная регистрация ЭКГ в послеоперационном периоде в ОРИТ. Анализировались последние 4 ч. до выписки из ОРИТ, данные разделены на 4 часовых интервала. Временные показатели: SDNN, RMSSD, pNN50. Частотные показатели: общая мощность спектра, LF, HF, LF/HF. Нелинейные показатели: SD1, SD2, SampEn. | Пациенты получали медикаментозную терапию в зависимости от их клинического состояния в обеих группах: наркотические анальгетики (морфин, гидроморфон, фентанил), седативные (бензодиазепин, дексметомидин). | 1) У пациентов с ДМПП и ДМЖП значительно снижены показатели ВСР во временной (SDNN) и частотной области (HF, LF) по сравнению с контролем.<br>2) У пациентов с ДМПП отмечается более низкое отношение LF/HF, а у пациентов с ДМЖП — более высокое по сравнению с контролем.<br>3) Выявленные нарушения ВСР соответствуют описанным у взрослых пациентов с ДМПП и ДМЖП.<br>4) Нарушения ВСР указывают на снижение парасимпатической активности и преобладание симпатической активности. |

| Авторы, год             | Выборка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Методы                                                                                                                                                                                                                                           | Медикаментозная терапия                                                                                                         | Основные выводы авторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Toyofuku A. и др., 2024 | <p>Группа ВСП: n = 46 (19 девочек), из них 8 пациентов с одножелудочковой физиологией, 38 — с двухжелудочковой физиологией, средний возраст <math>13,22 \pm 1,05</math> года, возраст на момент операции <math>2,7 \pm 3,1</math> мес.</p> <p>Группа сравнения: n = 64 (35 девочек) здоровых детей, средний возраст <math>12,50 \pm 1,51</math> года.</p> | <p>Фотоплетизмография во время МРТ-сканирования в покое (6–7 мин.).</p> <p>Анализ ВСП: RMSSD, pNN50, HF, LF, RSA. Нейропсихологическое тестирование: IQ, управляющие функции (рабочая память, торможение, гибкость, беглость, планирование).</p> | <p>58,7 % пациентов с ВПС принимали сердечно-сосудистые препараты на момент обследования (конкретные препараты не указаны).</p> | <p>1) Подростки с ВПС имеют значительно более низкую ВСП по сравнению с группой сравнения.</p> <p>2) Низкая ВСП (особенно HF) коррелирует с более низким IQ и худшими управляющими функциями.</p> <p>3) Связь между ВСП и IQ значительно сильнее в группе ВПС, чем в группе сравнения.</p> <p>4) Длительность пребывания в отделении интенсивной терапии во младенчестве отрицательно коррелирует со всеми параметрами ВСП.</p> |

3. Основными факторами, влияющими на степень выраженности нарушения ВСР у пациентов с ВПС являются следующие: тяжесть самого порока, наличие цианоза, вид хирургического вмешательства, проведение операции в условиях ИК, наличие предоперационной вегетативной дисфункции и послеоперационных осложнений.

4. Изменения вегетативной регуляции начинаются еще внутриутробно, что подтверждается различиями в показателях ВСР у плодов с ВПС по сравнению со здоровыми плодами уже на 19 неделе гестации. В дальнейшем эти нарушения усугубляются под влиянием гемодинамических изменений, характерных для конкретного порока.

5. Хирургическая коррекция, особенно в условиях искусственного кровообращения, вносит дополнительный вклад в нарушение вегетативного баланса через несколько механизмов: повреждение автономных нервных волокон при хирургических манипуляциях, воздействие кардиopleгии, системная воспалительная реакция и формирование рубцовой ткани, нарушающей проводящие пути. При этом степень нарушений зависит от типа операции — более выраженные изменения наблюдаются при открытых хирургических вмешательствах по сравнению с эндоваскулярными методами.

6. Особого внимания заслуживает тот факт, что даже в отдаленном послеоперационном периоде сохраняется дисбаланс вегетативной регуляции с преобладанием симпатических влияний и снижением парасимпатического тонуса. Это может быть связано как с остаточными структурными изменениями (увеличение предсердий, повышенное давление наполнения), так и с долгосрочными последствиями хирургического повреждения автономной иннервации.

7. Полученные данные имеют важное значение для понимания физиологических механизмов адаптации сердечно-сосудистой системы после коррекции ВПС и могут быть использованы для разработки новых подходов к оценке рисков и профилактике осложнений у данной категории пациентов. Требуются дальнейшие исследования для уточнения роли отдельных патогенетических механизмов и поиска способов коррекции вегетативной дисфункции.

#### Конфликт интересов / Conflict of interest

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

#### Финансирование / Funding

Исследование выполнено в рамках темы НИР «Исследование системных физиологических ме-

ханизмов формирования психоэмоционального стресса и болевых реакций» (ЕГИСУ НИОКТР: 122040500027-7). / The study was supported by the state research project “Study of Systemic Physiological Mechanisms Underlying Psychoemotional Stress and Pain Responses” (EGISU NIOKTR: 122040500027-7).

#### Список литературы / References

1. Liu Y, Chen S, Zühlke L, et al. Global birth prevalence of congenital heart defects 1970–2017: updated systematic review and meta-analysis of 260 studies. *International journal of epidemiology*. 2019;48(2):455–463. <https://doi.org/10.1093/ije/dyz009>
2. Dellborg M, Giang KW, Eriksson P, et al. Adults with congenital heart disease: trends in event-free survival past middle age. *Circulation*. 2023;147(12):930–938. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.122.060834>
3. Patsiou V, Arvanitaki A, Farmakis IT, et al. Survival prospects of pulmonary arterial hypertension associated with congenital heart disease: Insights from the HOPE registry. *International Journal of Cardiology*. 2025;421:132894. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2024.132894>
4. Müller MJ, Norozi K, Caroline J, et al. Morbidity and mortality in adults with congenital heart defects in the third and fourth life decade. *Clinical Research in Cardiology*. 2022;111(8):900–911. <https://doi.org/10.1007/s00392-022-01989-1>
5. Diller GP, Kempny A, Alonso-Gonzalez R, et al. Survival prospects and circumstances of death in contemporary adult congenital heart disease patients under follow-up at a large tertiary centre. *Circulation*. 2015;132(22):2118–2125. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.017202>
6. Gonzalez VJ, Kimbro RT, Cutitta KE, et al. Mental health disorders in children with congenital heart disease. *Pediatrics*. 2021;147(2):e20201693. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-1693>
7. Gonzalez VJ, Kimbro RT, Cutitta KE, et al. Mental health disorders in children with congenital heart disease. *Pediatrics*. 2021;147(2):e20201693. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-1693>
8. Moons P, Luyckx K, Thomet C, et al. Physical functioning, mental health, and quality of life in different congenital heart defects: comparative analysis in 3538 patients from 15 countries. *Canadian Journal of Cardiology*. 2021;37(2):215–223. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2020.03.044>
9. Sood E, Newburger JW, Anixt JS, et al. Neurodevelopmental outcomes for individuals with congenital heart disease: updates in neuroprotection, risk-stratification, evaluation, and management: a scientific statement from the american heart association. *Circulation*. 2024;149(13):997–1022. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001211>
10. Cassidy A, Wray J, Qadir AA, et al. Behavioral and emotional outcomes in children with congenital heart

- disease: effects of disease severity, family life stress, disease-related chronic stress, and psychosocial adaptation. *The Journal of pediatrics*. 2023;259:113450. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2023.113450>
11. Grassi G, Drager LF. Sympathetic overactivity, hypertension and cardiovascular disease: state of the art. *Current medical research and opinion* 2024;40(1):5–13. <https://doi.org/10.1080/03007995.2024.2305248>
  12. Toyofuku A, Ehrler M, Naef N, et al. Heart rate variability and cognitive functions in adolescents with complex congenital heart disease. *Pediatric Research*. 2025; 97(3):1103–1113. <https://doi.org/10.1038/s41390-024-03432-9>
  13. Aftyka J, Staszewski J, Dębiec A, et al. Heart rate variability as a predictor of stroke course, functional outcome, and medical complications: A systematic review. *Frontiers in Physiology*. 2023;14:1115164. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1115164>
  14. Watanabe DK, Jarczok MN, Williams DP, et al. Evaluation of low vagally-mediated heart rate variability as an early marker of depression risk. *Journal of Affective Disorders* 2024;365:146–154. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2024.08.051>
  15. Heragu NP, Scott WA. Heart rate variability in healthy children and in those with congenital heart disease both before and after operation. *The American journal of cardiology*. 1999;83(12):1654–1657. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(99\)00173-3](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(99)00173-3)
  16. Cansel M, Yagmur J, Ermis N, et al. Effects of transcatheter closure of atrial septal defects on heart rate variability. *Journal of International Medical Research*. 2011;39(2):654–661. <https://doi.org/10.1177/147323001103900235>
  17. Özyılmaz İ, Ergül Y, Tola HT, et al. Heart rate variability improvement in children using transcatheter atrial septal defect closure. *Anatolian Journal of Cardiology*. 2016;16(4):290–295. <https://doi.org/10.5152/akd.2015.5922>
  18. Alstrup M, Karunanithi Z, Maagaard MØ, et al. Sympathovagal imbalance decades after atrial septal defect repair: a long-term follow-up study. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2021;61(1):83–89. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezab235>
  19. Siddiqui S, Wilpers A, Myers M, et al. Autonomic regulation in fetuses with congenital heart disease. *Early human development*. 2015;91(3):195–198. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2014.12.016>
  20. Massin MM, Derkenne B, von Bernuth G. Heart rate behavior in children with atrial septal defect. *Cardiology*. 1998;90(4):269–273. <https://doi.org/10.1159/000006857>
  21. Bakari S, Koca B, Oztunç F, et al. Heart rate variability in patients with atrial septal defect and healthy children. *Journal of cardiology*. 2013;61(6):436–439. <https://doi.org/10.1016/j.jcc.2013.01.014>
  22. Hata T, Mano S, Kusuki M, et al. Difference in autonomic nervous control between ventricular septal defect and atrial septal defect based on heart rate variability. *Pacing and clinical electrophysiology*. 2007;30(1):212–214. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2007.00640.x>
  23. Polson JW, McCallion N, Waki H, et al. Evidence for cardiovascular autonomic dysfunction in neonates with coarctation of the aorta. *Circulation*. 2006;113(24):2844–2850. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.602748>
  24. Kenny D, Polson JW, Martin RP, et al. Normalization of autonomic function in children with coarctation of the aorta after surgical correction in infancy. *Hypertension*. 2009;54(3):21–22. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.109.136481>
  25. Özeren M, Lu OH, Makharoblidze K, et al. Heart rate variability in children with congenital heart disease before and after open heart surgery. *Journal of the Hong Kong College of Cardiology*. 2009;17(2):3. <https://doi.org/10.55503/2790-6744.1091>
  26. Sharma RK, Balhara YP, Sagar R, et al. Heart rate variability study of childhood anxiety disorders. *Journal of cardiovascular disease research*. 2011;2(2):115–122. <https://doi.org/10.4103/0975-3583.83040>
  27. Chen W, Zhong Q, Chen H, et al. Heart rate variability in children and adolescents with major depressive disorder: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Affective Disorders*. 2023;335:204–215. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2023.05.022>
  28. Arai YC, Ueda W, Ito H, et al. Maternal heart rate variability just before surgery significantly correlated with emergence behavior of children undergoing general anesthesia. *Pediatric Anesthesia*. 2008;18(2):167–171. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9592.2007.02363.x>
  29. Ahmed MI, Farrell MA, Parrish K, et al. Preoperative anxiety in children risk factors and non-pharmacological management. *Middle East Journal of Anaesthesiology*. 2011;21(2):153–164.
  30. Lin D, Huang X, Sun Y, et al. Perioperative Sleep Disorder: A Review. *Frontiers in Medicine*. 2021;8:640416. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.640416>
  31. Ebied NI, El-Atafy EAEM, El-Shehaby WA, et al. Evaluation of heart rate variability in children with congenital heart diseases before and after surgical repair. *Asian Journal of Pediatric Research*. 2022;10(4):1–8. <https://doi.org/10.9734/ajpr/2022/v10i4200>
  32. Souza Neto EP, Loufouat J, Saroul C, et al. Blood pressure and heart rate variability changes during cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Fundamental & clinical pharmacology*. 2004;18(3):387–396. <https://doi.org/10.1111/j.1472-8206.2004.00244.x>
  33. Demirel S, Akkaya V, Oflaz H, et al. Heart rate variability after coronary artery bypass graft surgery: a prospective 3-year follow-up study. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*. 2002;7(3):247–250. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474x.2002.tb00171.x>
  34. Birand A, Kudaiberdieva GZ, Topcuoglu MS, et al. Serial changes of heart rate variability after coronary artery

bypass surgery. *Journal of Clinical and Basic Cardiology*. 1999;2(1):69–72.

35. Cremer J, Martin M, Redl H, et al. Systemic inflammatory response syndrome after cardiac operations. *The Annals of thoracic surgery*. 1996;61(6):1714–1720. [https://doi.org/10.1016/0003-4975\(96\)00055-0](https://doi.org/10.1016/0003-4975(96)00055-0)

36. Paparella D, Yau TM, Young E. Cardiopulmonary bypass induced inflammation: pathophysiology and treatment. An update. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2002;21(2):232–244. [https://doi.org/10.1016/s1010-7940\(01\)01099-5](https://doi.org/10.1016/s1010-7940(01)01099-5)

37. Białkowski J, Karwot B, Szkutnik M, et al. Comparison of heart rate variability between surgical and interventional closure of atrial septal defect in children. *The American journal of cardiology*. 2003;92(3):356–358. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(03\)00648-9](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(03)00648-9)

38. Shvartz VA, Kiselev AR, Bockeria OL. Heart rate variability in atrial septal defect both before and after operation. *Cor et Vasa*. 2019;61(1):42–47. <https://doi.org/10.1016/j.crvasa.2018.08.001>

39. Ohuchi H, Suzuki H, Toyohara K, et al. Abnormal cardiac autonomic nervous activity after right ventricular outflow tract reconstruction. *Circulation*. 2000;102(22):2732–2738. <https://doi.org/10.1161/01.cir.102.22.2732>

40. Pieringer F, Suleiman MN, Kaemmerer-Suleiman AS, et al. Continuous long-term assessment of heart rate variability in adults with cyanotic congenital heart disease after surgical repair. *Journal of Clinical Medicine*. 2024;13(7):2062. <https://doi.org/10.3390/jcm13072062>

41. Falkenberg C, Östman-Smith I, Gilljam T, et al. Cardiac autonomic function in adolescents operated by arterial switch surgery. *International journal of cardiology*. 2013;168(3):1887–1893. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.12.063>

42. Bove T, Vandekerckhove K, Devos D, et al. Functional analysis of the anatomical right ventricular components: should assessment of right ventricular function after repair of tetralogy of Fallot be refined? *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2014;45(2):6–12. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezt505>

43. McLeod KA, Hillis WS, Houston AB, et al. Reduced heart rate variability following repair of tetralogy of Fallot. *Heart*. 1999;81(6):656–660. <https://doi.org/10.1136/hrt.81.6.656>

44. Butera G, Bonnet D, Sidi D, et al. Patients operated for tetralogy of fallot and with non-sustained ventricular tachycardia have reduced heart rate variability. *Herz*. 2004;29(3):304–309. <https://doi.org/10.1007/s00059-004-2501-8>

45. Бокерия Л. А., Голухова Е. З., Ким А. И. и др. Препикторы развития нарушений ритма у детей раннего возраста в ранние сроки после операции радикальной коррекции тетрады Фалло. *Анналы аритмологии*. 2006;3(5):66–74.

Bokeriya LA, Golukhova EZ, Kim AI, et al. Predictors of the development of rhythm disturbances in young children in the early stages after radical correction of tetralogy of Fallot. *Annals of Arrhythmology*. 2006;3(5):66–74. (In Russ.)

46. Galletly DC, Westenberg AM, Robinson BJ, et al. Effect of halothane, isoflurane and fentanyl on spectral components of heart rate variability. *British Journal of Anaesthesia*. 1994;72(2):177–180. <https://doi.org/10.1093/bja/72.2.177>

47. Nakatsuka I, Ochiai R, Takeda J. Changes in heart rate variability in sevoflurane and nitrous oxide anesthesia: effects of respiration and depth of anesthesia. *Journal of clinical anesthesia*. 2002;14(3):196–200. [https://doi.org/10.1016/s0952-8180\(01\)00384-1](https://doi.org/10.1016/s0952-8180(01)00384-1)

48. So V, Balanaser M, Klar G, et al. Scoping review of the association between postsurgical pain and heart rate variability parameters. *Pain Reports*. 2021;6(4):977. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000000977>

49. Kaltman JR, Hanna BD, Gallagher PR, et al. Heart rate variability following neonatal heart surgery for complex congenital heart disease. *Pacing and clinical electrophysiology*. 2006;29(5):471–478. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2006.00378.x>

50. Karunanithi Z, Jegatheeswaran A, Goodfellow SD, et al. Heart rate variability is markedly abnormal following surgical repair of atrial and ventricular septal defects in pediatric patients. *International Journal of Cardiology Congenital Heart Disease*. 2022;7:100333. <https://doi.org/10.1016/J.IJCHD.2022.100333>

51. Fujiwara Y, Kurokawa S, Shibata Y, et al. Sympathovagal effects of spinal anaesthesia with intrathecal or intravenous fentanyl assessed by heart rate variability. *Acta anaesthesiologica scandinavica*. 2009;53(4):476–482. <https://doi.org/10.1111/j.1399-6576.2008.01800.x>

52. Aronson D, Burger AJ. Effect of beta-blockade on heart rate variability in decompensated heart failure. *International journal of cardiology*. 2001;79(1):31–39. [https://doi.org/10.1016/s0167-5273\(01\)00401-6](https://doi.org/10.1016/s0167-5273(01)00401-6)

53. Ubeda Tikkanen A, Vova J, Holman L, et al. Core components of a rehabilitation program in pediatric cardiac disease. *Frontiers in Pediatrics*. 2023;11:1104794. <https://doi.org/10.3389/fped.2023.1104794>

54. Курганова А. В., Елисеева Л. В., Татаурова В. П. и др. Санаторно-курортная реабилитация детей с неоперированными врожденными пороками сердца. *Вестник физиотерапии и курортологии*. 2017;23(3):109.

Kurganova AV, Eliseeva LV, Tataurova VP, et al. Sanatorium-resort rehabilitation of children with unoperated congenital heart defects. *Bulletin of Physiotherapy and Balneology*. 2017;23(3):109. (In Russ.)

55. Fritz C, Hock J, Oberhoffer R, et al. Reduced parasympathetic activity in patients with different types of congenital heart disease and associations to exercise capacity.

ity. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*. 2021;41(1):35–39. <https://doi.org/10.1097/HCR.0000000000000511>

56. Duppen N, Takken T, Hopman MT, et al. Systematic review of the effects of physical exercise training programmes in children and young adults with congenital heart disease. *International journal of cardiology*. 2013;168(3):1779–17787. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.05.086>

57. Routledge FS, Campbell TS, McFetridge-Durdle JA, et al. Improvements in heart rate variability with exercise therapy. *Canadian journal of cardiology*. 2010;26(6):303–312. [https://doi.org/10.1016/s0828-282x\(10\)70395-0](https://doi.org/10.1016/s0828-282x(10)70395-0)

58. Lucini D, Milani RV, Costantino G, et al. Effects of cardiac rehabilitation and exercise training on autonomic regulation in patients with coronary artery disease. *American heart journal*. 2002;143(6):977–983. <https://doi.org/10.1067/mhj.2002.123117>

59. Menéndez Pardiñas M, Fuertes Moure ÁS, Sanz Mengibar JM, et al. The effect of rehabilitation therapy in children with intervened congenital heart disease: a study protocol of randomized controlled trial comparing hospital and home-based rehabilitation. *Journal of Clinical Medicine*. 2025;14(3):816. <https://doi.org/10.3390/jcm14030816>

#### Информация об авторах:

Шевалдова Ольга Владимировна — младший научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий»;

Ковалева Анастасия Владимировна — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией реабилитационной и спортивной психофизиологии, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий».

#### Authors information:

Olga V. Shevaldova, MD, Junior Researcher, Federal research center for innovator and emerging biomedical and pharmaceutical technologies;

Anastasia V. Kovaleva, PhD, Head of the Laboratory of Rehabilitation and Sports Psychophysiology, Leading Researcher, Federal research center for innovator and emerging biomedical and pharmaceutical technologies.