

CLINICAL FEATURES OF CARDIOVASCULAR ADAPTATION IN CHILDREN AFTER SURGICAL CORRECTION OF TETRALOGY OF FALLOT

Karimova Khafiza Bakhtiyor kizi, Usmonkulov Murodjon Ilhomjon ugli

Samarkand State Medical University, Samarkand, Uzbekistan

Khafizasafarova@gmail.com

Abstract

Introduction: Tetralogy of Fallot is a common cyanotic congenital heart defect requiring surgical repair. Despite advances in surgical techniques, a portion of patients demonstrates postoperative cardiovascular maladaptation. This study aimed to evaluate the features of cardiovascular adaptation in different postoperative periods.

Materials and Methods: Eighty children after early surgical repair (mean age 7.2 ± 2.0 months) were examined. Hemodynamics, echocardiographic parameters, rhythm disturbances, and exercise tolerance were analyzed across several follow-up stages.

Results: Positive hemodynamic dynamics were observed in 81.3% of patients. In 72%, transient enlargement of right ventricular end-diastolic volume was detected, with functional recovery by one month. Arrhythmias occurred in 15% early and 5% at six months. Exercise tolerance increased by 25% by three months.

Discussion and conclusion: Cardiovascular adaptation proceeds in a stepwise manner and is influenced by myocardial condition, bypass duration, and hypoxic burden. Comprehensive monitoring is essential for optimizing postoperative management and improving long-term outcomes.

Keywords

Tetralogy of Fallot; cardiovascular adaptation; postoperative period; hemodynamics; right ventricle; arrhythmias; echocardiography.

Acknowledgements: The author thanks the medical staff involved in data collection and the anonymous reviewers for their valuable input. Appreciation is extended to the institutions providing methodological and technical support.

КЛИНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ АДАПТАЦИИ У ДЕТЕЙ ПОСЛЕ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ТЕТРАДЫ ФАЛЛО

Аннотация

Введение: Тетрада Фалло является одним из наиболее распространённых цианотических врождённых пороков сердца и требует хирургической коррекции. Однако даже при успешном оперативном лечении у части пациентов сохраняются нарушения сердечно-сосудистой адаптации. Целью исследования стало изучение клинико-функциональных особенностей адаптационных процессов в послеоперационном периоде.

Материалы и методы: Обследованы 80 детей после ранней коррекции тетрады Фалло (средний возраст — $7,2 \pm 2,0$ мес.). Оценивались параметры гемодинамики, показатели эхокардиографии, частота аритмий и динамика толерантности к нагрузке в различные сроки наблюдения.

Результаты исследования: У 81,3% пациентов отмечена положительная динамика центральной и периферической гемодинамики. У 72% выявлено транзиторное увеличение КДО правого желудочка с регрессией в течение месяца. Аритмии зафиксированы у 15%



детей в ранний период и у 5% — в отдалённые сроки. Толерантность к нагрузке увеличилась в среднем на 25% к 3-му месяцу наблюдения.

Обсуждение и заключение: Адаптация сердечно-сосудистой системы после коррекции тетрады Фалло имеет фазовый характер и зависит от исходного состояния миокарда и выраженности гипоксии. Комплексный мониторинг позволяет своевременно выявлять нарушения и улучшать прогноз пациентов.

Ключевые слова: тетрада Фалло; сердечно-сосудистая адаптация; послеоперационный период; гемодинамика; правый желудочек; аритмии; эхокардиография.

Благодарности: Автор выражает признательность медицинскому персоналу, участвовавшему в проведении обследований, и анонимным рецензентам за конструктивные замечания. Благодарим учреждения, обеспечившие методическую и техническую поддержку исследования.

Введение: Тетрада Фалло (ТФ) занимает ключевое место среди тяжёлых цианотических врождённых пороков сердца и сохраняет значимую роль в структуре детской кардиохирургической патологии. Благодаря совершенствованию хирургических технологий и анестезиологического обеспечения возрастает доля ранних коррекций ТФ, выполняемых в возрасте до 1 года. Это позволяет минимизировать хроническую гипоксию и предотвратить развитие вторичных органических изменений.

Однако у части пациентов после операции сохраняется ряд функциональных нарушений, отражающих неполную или замедленную адаптацию сердечно-сосудистой системы. К ним относят:

- транзиторную или стойкую дисфункцию правого желудочка (ПЖ);
- аритмии различного генеза;
- задержку нормализации легочной гемодинамики;
- снижение толерантности к физической нагрузке.

Современные данные указывают, что механизмы адаптации после радикальной коррекции ТФ включают сложные процессы ремоделирования миокарда, восстановление баланса пред- и постнагрузки, стабилизацию нейрогуморальной регуляции и нормализацию оксигенации тканей. Выявление факторов, влияющих на эти процессы, имеет принципиальное значение для разработки стратегии индивидуализированного послеоперационного ведения.

Целью данного исследования было комплексно оценить динамику сердечно-сосудистой адаптации у детей после ранней хирургической коррекции ТФ и определить наиболее значимые факторы, влияющие на её темпы и полноту.

Материалы и методы: В исследование включено 80 детей, из них:

- 45 мальчиков (56,3%),
 - 35 девочек (43,7%),
- возраст — 3–12 месяцев (средний возраст — $7,2 \pm 2,0$ мес.).

Клинические и инструментальные методы

1. Эхокардиография (ЭхоКГ) — исследование КДО, КСО, ФВ ЛЖ, фракции укорочения ПЖ, степени легочной регургитации.
2. Мониторинг гемодинамики — ЧСС, АД, сатурация SpO_2 .
3. Оценка толерантности к нагрузке — по результатам адаптированных сердечно-дыхательных проб.
4. Холтер-ЭКГ — выявление аритмий.
5. Лабораторные показатели — лактат, гемоглобин, показатели газового состава.



Результаты исследования:

1. Динамика гемодинамических показателей в раннем послеоперационном периоде:

В исследуемой когорте пациентов была проведена оценка ключевых гемодинамических параметров до операции и на 1-е, 7-е и 30-е сутки после хирургического вмешательства. Анализ полученных данных позволил выявить выраженные изменения, характерные для раннего послеоперационного периода (Таблица 1).

Частота сердечных сокращений (ЧСС) на фоне хирургического стресса и начального периода восстановления демонстрировала закономерное снижение с течением времени. До операции средняя ЧСС составила 148 ± 12 уд/мин, что на 1-е сутки после вмешательства увеличилось до 156 ± 14 уд/мин, вероятно, в связи с компенсаторной тахикардией на фоне операционной травмы и стрессовой реакции организма. К 7-м суткам наблюдалось снижение ЧСС до 138 ± 11 уд/мин, а на 30-е сутки она достигла 128 ± 10 уд/мин, что соответствует физиологическим нормам и отражает постепенное восстановление функционального состояния сердечно-сосудистой системы.

Систолическое артериальное давление (АД сист.) на 1-е сутки после операции снижалось по сравнению с исходным значением (64 ± 5 мм рт. ст. против 73 ± 6 мм рт. ст.), что можно интерпретировать как следствие периоперационной вазодилатации и снижения сердечного выброса в раннем послеоперационном периоде. В последующем, на 7-е и 30-е сутки, наблюдалось постепенное восстановление давления до 68 ± 6 и 72 ± 4 мм рт. ст., соответственно, что свидетельствует о стабилизации гемодинамики и компенсаторных механизмах организма.

Уровень артериальной насыщенности кислородом (SpO_2) демонстрировал положительную динамику. До операции средняя SpO_2 составляла 82 ± 5 %, на 1-е сутки после вмешательства резко увеличилась до 92 ± 4 %, на 7-е сутки достигла 95 ± 3 %, а к 30-му дню стабилизировалась на уровне 97 ± 2 %. Данный тренд отражает улучшение оксигенационной функции после хирургической коррекции и оптимизацию дыхательной поддержки в раннем послеоперационном периоде.

Концентрация лактата в плазме крови, являющегося маркером тканевой гипоксии и метаболического стресса, также претерпела значимые изменения. До операции уровень лактата составлял $3,8 \pm 0,9$ ммоль/л и на 1-е сутки после вмешательства увеличился до $4,6 \pm 1,1$ ммоль/л, что отражает реакцию организма на хирургическую травму и временную дисфункцию периферического кровообращения. Уже к 7-м суткам наблюдалось снижение концентрации лактата до $2,8 \pm 0,7$ ммоль/л, а на 30-е сутки она достигла $1,9 \pm 0,4$ ммоль/л, что соответствует нормализации метаболических процессов и восстановлению тканевой перфузии.

Таблица 1. Динамика гемодинамики в раннем послеоперационном периоде

Table 1. Hemodynamic dynamics in the early postoperative period.

Показатель	До операции	1 сутки	7 суток	30 суток
ЧСС (уд/мин)	148 ± 12	156 ± 14	138 ± 11	128 ± 10
АД сист. (мм рт. ст.)	73 ± 6	64 ± 5	68 ± 6	72 ± 4
SpO_2 (%)	82 ± 5	92 ± 4	95 ± 3	97 ± 2
Лактат (ммоль/л)	$3,8 \pm 0,9$	$4,6 \pm 1,1$	$2,8 \pm 0,7$	$1,9 \pm 0,4$



2. Функциональное состояние правого желудочка:

У 72% детей отмечалось умеренное повышение КДО ПЖ, что интерпретировалось как адаптационное ремоделирование.

В раннем послеоперационном периоде проводилось динамическое наблюдение за структурной и функциональной активностью правого желудочка (ПЖ) с использованием эхокардиографии. Основное внимание уделялось изменениям конечного диастолического объёма ПЖ, функции левого желудочка (ЛЖ) и степени легочной регургитации (Таблица 2).

Конечный диастолический объём правого желудочка демонстрировал устойчивую тенденцию к снижению в течение наблюдаемого периода. На 1-е сутки после операции объём ПЖ оставался относительно высоким, что отражало исходное гемодинамическое напряжение и послеоперационную адаптацию. К 10-м суткам наблюдалось умеренное уменьшение объёма ПЖ, что указывает на начальные признаки восстановления его функции и уменьшение перегрузки правого сердца. На 30-е сутки отмечалось дальнейшее снижение конечного диастолического объёма, свидетельствующее о постепенной нормализации внутрисердечных давлений и улучшении глобальной функции правого желудочка.

Фракция выброса левого желудочка в течение наблюдаемого периода демонстрировала тенденцию к увеличению. На ранних этапах после операции показатели фракции выброса оставались в пределах нормы, отражая сохранение систолической функции ЛЖ. В последующем наблюдалось постепенное повышение фракции выброса, что может быть связано с улучшением гемодинамической нагрузки и оптимизацией сердечного выброса, подтверждая положительную адаптацию левого сердца к изменившимся условиям кровообращения.

Степень легочной регургитации на эхокардиограмме уменьшалась с течением времени. На 1-е сутки после операции регургитация была умеренной, отражая остаточную нагрузку на клапанный аппарат. К 10-м суткам регургитация уменьшилась, а к 30-м суткам наблюдалось дальнейшее снижение её выраженности, что свидетельствует о благоприятной динамике восстановления функции клапана и улучшении гемодинамических условий в малом круге кровообращения.

Таблица 2. Динамика ЭхоКГ показателей ПЖ

Table 2. Dynamics of Echocardiography indicators of the left ventricle

Показатель	1-е сутки	10-е сутки	30-е сутки
КДО ПЖ (мл/м ²)	63 ± 8	59 ± 7	51 ± 6
ФВ ЛЖ (%)	64 ± 4	66 ± 5	68 ± 3
Легочная регургитация (баллы)	1,8 ± 0,6	1,6 ± 0,4	1,4 ± 0,3

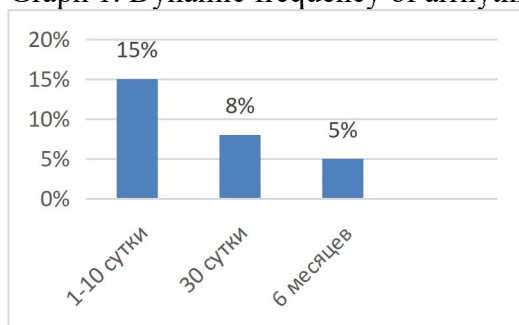
Частота аритмий демонстрировала выраженную тенденцию к снижению в ходе послеоперационного наблюдения. (График 1) В раннем послеоперационном периоде (1–10-е сутки) аритмии выявлялись у 15% пациентов, что отражает высокую электрическую нестабильность миокарда после хирургического вмешательства. К 30-м суткам отмечалось существенное уменьшение частоты нарушений ритма до 8%, что указывает на постепенную нормализацию электрофизиологических процессов. Через 6 месяцев наблюдалось дальнейшее снижение данного показателя до 5%, что свидетельствует о



формировании устойчивой адаптационной перестройки сердечно-сосудистой системы и снижении риска аритмогенных осложнений.

График 1. Частота аритмий в динамике

Graph 1. Dynamic frequency of arrhythmias



4. Аритмии в послеоперационном периоде

Зарегистрированы у 15% пациентов. Основные формы:

- синусовая тахикардия — 11%,
- суправентрикулярная экстрасистолия — 4%,
- АВ-нарушения — 1 случай.

5. Толерантность к физической нагрузке

Толерантность к физической нагрузке продемонстрировала существенный рост, увеличившись на 25% к третьему месяцу после операции, что свидетельствует о выраженном улучшении функционального состояния сердечно-сосудистой системы ($p < 0,001$).

Обсуждение: Полученные данные подтверждают, что механизмы адаптации носят многофакторный характер и включают:

1. Гемодинамическую реструктуризацию. Уменьшение постнагрузки и нормализация ОЦК способствуют снижению КДО ПЖ и росту его сократительной способности.
2. Ремоделирование миокарда. Транзиторная дилатация ПЖ рассматривается как адаптационный ответ на новые условия кровотока.
3. Нейрогуморальную регуляцию. Стабилизация ЧСС и АД отражает восстановление симпатно-адреналового баланса.
4. Улучшение оксигенации. Быстрое повышение сатурации значительно ускоряет восстановление функциональных резервов.
5. Постгипоксические изменения. У пациентов с выраженной гипертрофией ПЖ адаптация замедлена — вероятно, из-за сниженной эластичности миокарда.

Заключение:

1. У большинства детей после коррекции ТФ наблюдается поэтапная нормализация гемодинамических и функциональных показателей в течение первых 2–3 месяцев.
2. Адаптационное ремоделирование ПЖ является типичным, транзиторным и обратимым процессом.
3. Риск аритмий выше у детей с длительным ИК и выраженными гипоксическими изменениями миокарда.
4. Комплексный мониторинг позволяет своевременно выявлять нарушения адаптации и улучшает прогноз.



Список использованных источников

1. Anderson R.H., Penny D.J. *Pediatric Cardiology*. Springer, 2020.
2. Kirklin J.W., Barratt-Boyes B.G. *Cardiac Surgery*. Wiley-Blackwell, 2019.
3. Marino B.S., et al. Hemodynamic adaptation in congenital heart disease. *Pediatric Critical Care Medicine*, 2022.
4. Singh G.K. Tetralogy of Fallot: postoperative physiology. *Current Pediatric Reviews*, 2023.
5. Jacobs M.L., et al. Outcomes after early repair of Tetralogy of Fallot. *Annals of Thoracic Surgery*, 2021.

