

Получена: 29 Мая 2024 / Принята: 26 Июля 2024 / Опубликовано online: 30 Августа 2024

DOI 10.34689/SH.2024.26.4.002



УДК 616.126-073-089.197.6

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ, КонтРАКТИЛЬНОЙ И РЕЛАКСАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ МИОКАРДА ОБОИХ ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА У ДЕТЕЙ ПОСЛЕ РАДИКАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ ТЕТРАДЫ ФАЛЛО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МРТ И ПРОГРАММЫ STRAIN ПО ГЕНДЕРНЫМ ГРУППАМ

Ажар М. Кабдуллина¹, <https://orcid.org/0000-0003-0521-5484>

Раушан И. Рахимжанова^{2,1}, <https://orcid.org/0000-0002-3490-6324>

Таирхан Б. Даутов³, <https://orcid.org/0000-0002-5267-0108>

Жанар С. Абдрахманова^{2,1}, <https://orcid.org/0000-0002-1890-0862>

Айгуль Б. Садуакасова⁴, <https://orcid.org/0000-0001-7089-5696>

¹ НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан;

² НИИ радиологии имени Академика Ж.Х. Хамзабаева, г. Астана, Республика Казахстан;

³ Клинико-академический департамент радиологии и ядерной медицины корпоративного фонда «University Medical Center», г. Астана, Республика Казахстан;

⁴ Центр ядерной медицины РГП «Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан», г. Астана, Республика Казахстан.

Актуальность. Одним из наиболее перспективных направлений в кардиологической визуализации является использование магнитно-резонансной томографии в сочетании с программами анализа деформации, такими как Strain. Гендерные различия в сердечно-сосудистой физиологии также имеют ключевое значение в контексте оценки функциональных характеристик миокарда. Данное исследование направлено на изучение функциональных особенностей миокарда обоих желудочков сердца у детей после радикальной коррекции тетрады Фалло с использованием МРТ и программы Strain, с акцентом на анализ гендерных различий.

Цель исследования: изучение функциональных особенностей, контрактильной и релаксационной способности миокарда обоих желудочков сердца у детей после радикальной коррекции ТФ с использованием МРТ и программы Strain с учетом гендерных различий.

Методы. Выполнен ретроспективный анализ данных МРТ пациентов 69 человек: из них 24 (35%) девочек и 45 (65%) мальчиков. Так как пороговые значения для КДО ПЖ от 150 до 170 мл/м² были в качестве показателя к ЗКЛА при бессимптомном течении пациентов, когорта была разделена на две группы в зависимости от КДО ПЖ. Если у человека было менее 150 мл/м², это была первая группа; а если было 150 мл/м² и более, то это была вторая группа. Средний возраст в обеих группах составил 11 лет.

Результаты. В ретроспективном исследовании, проведенном в период с октября 2011 по июнь 2020 года, приняли участие 69 человек, которым провели МРТ исследование сердца после радикальной коррекции ТФ: из них 24 (35%) девочек и 45 (65%) мальчиков. Средний возраст в обеих группах составил 11 лет. Уровень КДО ПЖ заметно различался у девочек (116,8 мл/м²) и мальчиков (137,2 мл/м²) со значением $p < 0,001$. Заметная разница окружной деформации заключалась в базальном нижнем сегменте левого желудочка между мальчиками и девочками - 13,6 и - 8,2 соответственно ($p < 0,001$).

Выводы. Полученные данные подтверждают наличие значимых гендерных различий в функциях левого и правого желудочков у детей после коррекции ТФ, что требует дальнейшего изучения и учёта в клинической практике для оптимизации лечения и улучшения долгосрочных исходов.

Ключевые слова: Тетрада Фалло, радикальная коррекция, детский возраст, CMR Feature-tracking, Strain.

Abstract

RESULTS OF STUDYING THE FUNCTIONAL CHARACTERISTICS, CONTRACTILE AND RELAXATION CAPABILITIES OF THE MYOCARDIUM IN BOTH VENTRICLES OF THE HEART IN CHILDREN AFTER RADICAL CORRECTION OF TETRALOGY OF FALLOT USING MRI AND THE STRAIN PROGRAM BY GENDER GROUPS

Azhar M. Kabdullina¹, <https://orcid.org/0000-0003-0521-5484>

Raushan I. Rakhimzhanova^{2,1}, <https://orcid.org/0000-0002-3490-6324>

Tairkhan B. Dautov³, <https://orcid.org/0000-0002-5267-0108>

Zhanar S. Abdrakhmanova^{2,1}, <https://orcid.org/0000-0002-1890-0862>

Aigul B. Saduakassova⁴, <https://orcid.org/0000-0001-7089-5696>

¹ JSC «Astana Medical University», Astana, Republic of Kazakhstan;

² The Research Institute of Radiology named after Academician Zh.Kh.Khamzabayev, Astana, Republic of Kazakhstan;

³ The Clinical and Academic Department of Radiology and Nuclear Medicine of the Corporate Foundation «University Medical Center», Astana, Republic of Kazakhstan.

⁴ The Nuclear Medicine Center of the «Hospital of the Medical Center of the Presidential Administration of the Republic of Kazakhstan», Astana, Republic of Kazakhstan.

Introduction: In modern cardiological research, special attention is given to the use of magnetic resonance imaging (MRI) in combination with deformation analysis programs such as Strain to assess the functional characteristics of the myocardium. Gender differences in cardiovascular physiology are crucial for evaluating the functional characteristics of the myocardium. This study aims to investigate the contractile and relaxation capabilities of the myocardium in both ventricles of the heart in children after radical correction of Tetralogy of Fallot (ToF), with a focus on gender differences.

Objective: The aim of the study is to investigate the functional characteristics of the myocardium in children after radical correction of ToF using MRI and the Strain program, considering gender differences.

Methods: A retrospective analysis of MRI data from 69 patients (24 girls and 45 boys) with an average age of 11 years was conducted. The cohort was divided into two groups based on the index of end-diastolic volume (EDV) of the right ventricle: the first group (less than 150 ml/m²) and the second group (150 ml/m² and above).

Results: In the study conducted from October 2011 to June 2020, the level of EDV of the right ventricle was significantly different between girls (116.8 ml/m²) and boys (137.2 ml/m²) ($p < 0.001$). A significant difference in circumferential strain was also observed in the basal inferior segment of the left ventricle between boys and girls.

Conclusions: The obtained data confirm the presence of significant gender differences in the functions of the left and right ventricles in children after ToF correction, which requires further study and consideration in clinical practice to optimize treatment and improve long-term outcomes.

Keywords: Tetralogy of Fallot, radical correction, gender differences, childhood, CMR Feature-tracking, Strain.

Түйіндеме

ТЕТРАДА ФАЛЛОНЫ РАДИКАЛДЫ ТҮЗЕТУ ОПЕРАЦИЯСЫНАН КЕЙІН БАЛАЛАРДЫҢ ЖҮРЕГІНІҢ ЕКІ ҚАРЫНШАСЫНЫҢ МИОКАРДТЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ, КОНТРАКТИЛЬДІК ЖӘНЕ РЕЛАКСАЦИЯЛЫҚ ҚАБІЛЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ, МРТ ЖӘНЕ STRAIN БАҒДАРЛАМАСЫН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ЖЫНЫСТЫҚ ТОПТАР БОЙЫНША

Ажар М. Кабдуллина¹, <https://orcid.org/0000-0003-0521-5484>

Раушан И. Рахимжанова^{2,1}, <https://orcid.org/0000-0002-3490-6324>

Таирхан Б. Даутов³, <https://orcid.org/0000-0002-5267-0108>

Жанар С. Абдрахманова^{2,1}, <https://orcid.org/0000-0002-1890-0862>

Айгуль Б. Садуакасова⁴, <https://orcid.org/0000-0001-7089-5696>

¹ «Астана медицина университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы;

² Академик Ж.Х. Хамзабаев атындағы Радиология ғылыми-зерттеу институты, Астана қ., Қазақстан Республикасы;

³ «University Medical Center» корпоративтік қорының радиология және ядролық медицина клиникалық-академиялық департаменті директоры, Астана қ., Қазақстан Республикасы;

⁴ «Қазақстан Республикасы Президенті Әкімшілігінің Медициналық орталығының ауруханасы» Ядролық медицина орталығы Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Кіріспе: Заманауи кардиологиялық зерттеулерде магнитті-резонанстық томографияны (МРТ) және Strain секілді деформация талдау бағдарламаларын қолдану функционалдық ерекшеліктерді бағалауда маңызды назарда. Жыныстық айырмашылықтар жүрек-қантамыр физиологиясында негізгі мәнге ие, өйткені олар миокардтың функционалдық сипаттамаларын бағалауда ерекше назар аударады. Бұл зерттеу радикалды ТФ коррекциясынан кейін балалардың жүрек миокардының екі қарыншасының контрактильдік және релаксациялық қабілеттерін жыныстық айырмашылықтарға назар аудара отырып зерттеуге бағытталған.

Зерттеу мақсаты: Радикалды ТФ коррекциясынан кейін балалардың миокардының функционалдық ерекшеліктерін зерттеу, МРТ мен Strain бағдарламасын пайдалана отырып, жыныстық айырмашылықтарды ескере отырып.

Әдістер: 69 науқастың (24 қыз және 45 ұл) МРТ деректерінің ретроспективті талдауы жүргізілді, орташа жасы 11 жас. Топты ҚДО ПЖ көрсеткішіне байланысты екі топқа бөлді: бірінші топ (150 мл/м² кем) және екінші топ (150 мл/м² және одан көп).

Нәтижелер: 2011 жылдың қазанынан 2020 жылдың маусымына дейін өткізілген зерттеуде қыздардың ҚДО ПЖ деңгейі (116,8 мл/м²) мен ұлдардың (137,2 мл/м²) арасында маңызды айырмашылық байқалды ($p < 0,001$). Сондай-ақ, жыныстар арасында сол қарыншаның базальды төменгі сегментінде шеңберлік деформацияда айтарлықтай айырмашылық анықталды.

Қорытынды: Алынған деректер ТФ коррекциясынан кейін балалардың сол және оң қарыншасының функцияларында маңызды жыныстық айырмашылықтардың бар екенін растайды, бұл клиникалық тәжірибеде ескерілуі қажет, емдеуді оңтайландыру және ұзақ мерзімді нәтижелерді жақсарту үшін.

Түйінді сөздер: Тетрада Фалло, радикалды коррекция, жыныстық айырмашылықтар, балалар жасы, CMR Feature-tracking, Strain.

Для цитирования / For citation / Дәйексөз үшін:

Кабдуллина А.М., Рахимжанова Р.И., Даутов Т.Б., Абдрахманова Ж.С., Садуакасова А.Б. Результаты изучения функциональных особенностей, контрактильной и релаксационной способности миокарда обоих желудочков сердца у детей после радикальной коррекции Тетрады Фалло с использованием МРТ и программы Strain по гендерным группам // Наука и Здравоохранение. 2024. Т.26 (4). С. 15-22. doi 10.34689/SH.2024.26.4.002

Kabdullina A.M., Rakhimzhanova R.I., Dautov T.B., Abdrakhmanova Zh.S., Saduakassova A.B. Results of studying the functional characteristics, contractile and relaxation capabilities of the myocardium in both ventricles of the heart in children after radical correction of Tetralogy of Fallot using MRI and the strain program by gender groups // *Nauka i Zdravookhranenie [Science & Healthcare]*. 2024. Vol.26 (4), pp. 15-22. doi 10.34689/SH.2024.26.4.002

Кабдуллина А.М., Рахимжанова Р.И., Даутов Т.Б., Абдрахманова Ж.С., Садуакасова А.Б. Тетрада Фаллоны радикалды түзету операциясынан кейін балалардың жүрегінің екі қарыншасының миокардтың функционалдық ерекшеліктері, контрактильдік және релаксациялық қабілеттерін зерттеу нәтижелері, МРТ және Strain бағдарламасын пайдалану арқылы жыныстық топтар бойынша // Ғылым және Денсаулық сақтау. 2024. Т.26 (4). Б. 15-22. doi 10.34689/SH.2024.26.4.002

Введение

Тетрада Фалло (ТФ) представляет собой наиболее распространенный цианотический врожденный порок сердца, характеризующийся четырьмя основными признаками: дефект межжелудочковой перегородки (ДМЖП), obstruction выводного отдела правого желудочка (ВОПЖ), гипертрофия миокарда правого желудочка (ПЖ) и декстрапозиция аорты [14].

В середине XX века лишь 20% детей с ВПС доживали до взрослого возраста. В настоящее время благодаря достижениям в детской кардиохирургии смертность существенно снизилась, и большинство пациентов с ТФ доживают до 60 лет [4] [15]. К сожалению, растущие дети, после радикальной коррекции, имеют ряд поздних последствий, например, развитие сердечной недостаточности, стеноз легочной артерии, инфекционный эндокардит, задержка роста и развития, необходимость повторных вмешательств и аритмии [5]. Хирургическое лечение ТФ направлено на устранение стеноза ВОПЖ и закрытие ДМЖП. При наличии выраженной гипоплазии кольца клапана ЛА требуется выполнение массивной инфундибулэктомии и трансаннулярной пластики, которая приводит к развитию выраженной легочной регургитации (ЛР) [8]. ЛР ведет к хронической объемной перегрузке ПЖ, приводящей к прогрессирующей дилатации и дисфункции ПЖ. Далее, как следствие, предсердные и желудочковые аритмии и синдром внезапной внезапной смерти. [8][2][6][12][13][1][7].

Эффективным методом лечения легочной недостаточности у пациентов после радикальной коррекции ТФ является своевременная замена клапана

легочной артерии (ЗКЛА) с помощью биопротеза или кондуита, что приводит к ремоделированию и улучшению функции ПЖ сердца [10] [11]. Установленными показаниями к ЗКЛА являются аритмия, снижение работоспособности, ухудшение по функциональному классу пациента по NYHA, стеноз ЛА тяжелой степени и прогрессирующая трикуспидальная регургитация в сочетании с умеренной и тяжелой ЛР [14]. Однако оптимальное время для замены клапана у бессимптомных пациентов точно не известно и является обсуждаемым вопросом [17][18][3] [9].

Одним из наиболее перспективных направлений в кардиологической визуализации является использование магнитно-резонансной томографии (МРТ) в сочетании с программами анализа деформации, такими как Strain. Эти технологии позволяют детально исследовать сократительную и релаксационную способности миокарда, выявляя изменения, которые могут быть незаметны при традиционных методах визуализации. Данные о деформации миокарда становятся важными индикаторами сердечной функции, предоставляя возможность для раннего выявления патологий и своевременной коррекции лечения. Гендерные различия в сердечно-сосудистой физиологии также имеют ключевое значение в контексте оценки функциональных характеристик миокарда. Исследования показывают, что мальчики и девочки могут по-разному реагировать на хирургическое вмешательство и неравномерно восстанавливаться после операций. Поэтому важно изучить влияние пола на функциональные показатели сердца после радикальной коррекции ТФ, чтобы лучше понять, как эти различия могут влиять на послеоперационные исходы. Данное исследование

направлено на изучение функциональных особенностей миокарда обоих желудочков сердца у детей после радикальной коррекции ТФ с использованием МРТ и программы Strain, с акцентом на анализ гендерных различий. Полученные результаты могут не только углубить понимание постоперационных изменений в миокарде, но и обосновать необходимость индивидуализированного подхода к реабилитации и ведению пациентов с ТФ.

Цель исследования: изучение функциональных особенностей, контрактильной и релаксационной способности миокарда обоих желудочков сердца у детей после радикальной коррекции ТФ с использованием МРТ и программы Strain с учетом гендерных различий.

Материалы и методы

Данное ретроспективное исследование проведено в Национальном Научном Кардиохирургическом Центре г. Астана. МРТ сердца проводили в рамках стандартной

клинической практики с декабря 2011 по июнь 2020 года пациентам после радикальной коррекции ТФ в анамнезе, проходившим лечение в отделениях кардиоторакальной хирургии и кардиологии. Все пациенты подписывали информированное согласие на проведение МРТ исследования согласие пациента на распространение его медицинской информации.

Выполнен ретроспективный анализ данных МРТ пациентов 69 человек, которым провели МРТ исследование сердца после радикальной коррекции ТФ: из них 24 (35%) девочек и 45 (65%) мальчиков (табл. 1). Так как пороговые значения для КДО ПЖ от 150 до 170 мл/м² были в качестве показателя к ЗКЛА при бессимптомном течении пациентов, корота была разделена на две группы в зависимости от КДО ПЖ. Если у человека было менее 150 мл/м², это была первая группа; а если было 150 мл/м² и более, то это была вторая группа. Средний возраст в обеих группах составил 11 лет (Таблица 1).

Таблица 1.

Характеристика пациентов (n = 69) / Table 1. Characteristics of patients (n = 69).

Данные	Общее	Девочки (n = 24, 35%)	Мальчики (n = 45, 65%)	p-value
Возраст	11 (±4)	11 (±2)	11 (±4)	0.868
Градиент давление между правым желудочком и легочной артерией, ммHg	19.7 (±13.7)	19.5 (±13.9)	19.9 (±13.7)	0.913
NTproBNP, pg/ml	186 (±196.2)	147.6 (±84.1)	206.5 (±233.6)	0.238
КДО ПЖ, ml/m ²	130.1 (±24.9)	116.8 (±26.9)	137.2 (±20.9)	0.001
КДО ПЖ, n (%)				0.075
< 150 ml/m ²	52 (75)	21 (88)	31 (69)	
>= 150 ml/m ²	17 (25)	3 (12)	14 (31)	
КСО ПЖ, ml/m ²	68.5 (±60.3)	52.4 (±24.6)	77.1 (±71.3)	0.105
ФВ ПЖ, %	52.5 (±7.4)	54.1 (±8.3)	51.6 (±6.8)	0.181
КДО ЛЖ, ml/m ²	72.9 (±14.5)	67.9 (±15.7)	75.6 (±13.2)	0.036
КСО ЛЖ, ml/m ²	28 (±8.3)	26.4 (±6.8)	28.9 (±8.9)	0.234
ФВ ЛЖ, %	62.2 (±5.7)	62.7 (±4.02)	62 (±6.4)	0.654

Критерии соответствия. Применялись следующие критерии включения: наличие информированного согласия; предварительная коррекция ТФ. Из исследования были исключены пациенты со следующими заболеваниями: аллергия на йод; высокий уровень креатинина; взрослые пациенты с ТФ, не подвергавшейся коррекции (n=4).

Магнитно-резонансная томография и программа Strain.

МР-исследования сердца проводили на сверхпроводящем МР-томографе «Magnetom Avanto» фирмы "Siemens" напряженностью поля 1,5 тесла, в базовой комплектации. Сканирование осуществляли при обязательной проспективной синхронизации с ЭКГ и дыханием с использованием «спин-эхо» импульсной последовательности для оценки анатомии. У грудных детей и детей до 3 лет исследование проводили натощак с использованием внутривенного наркоза по стандартной методике, принятой в ННКЦ, под наблюдением анестезиолога. Срезы ориентировали в трех стандартных плоскостях (поперечной аксиальной, сагитальной, фронтальной), в плоскостях аналогичных 4-х и 2-х камерным проекциям в эхокардиографии, а также в косых плоскостях, согласно зонам интереса, если того требовали задачи исследования.

Feature-tracking (Strain) было выполнено с помощью программного обеспечения (Segment CMR; Lund, Швеция). Были выбраны базальные, среднежелудочковые и апикальные короткоосевые срезы ЛЖ и ПЖ, также 4-камерный срез. С помощью инструмента переметки были избраны моменты конечной диастолы и конечной систолы и нарисованы контуры эндокарда и эпикарда. Пиковую глобальную окружную деформацию ЛЖ и ПЖ рассчитывали как средневзвешенное значение (по количеству сегментов) пиковой окружной деформации базального, среднего желудочкового и апикального отделов. Контур эндокарда и эпикарда ЛЖ по длинной оси рисовали на двухкамерных и четырехкамерных проекциях. Пиковую глобальную продольную деформацию ЛЖ и ПЖ рассчитывали с четырехкамерной проекции. Далее результаты были выведены в документ Word и записаны пиковые значения глобальной окружной и продольной деформации. Последующим этапом было сравнение полученных результатов одних и тех же пациентов в разные периоды времени. Проводились те же измерения на тех же уровнях, как и в предыдущих исследованиях.

Этическая экспертиза

Исследование одобрено Комитетом по этике Национального исследовательского кардиохирургического центра (разрешение № 01-92/2021 от 22.04.2021).

Предполагаемых рисков для участников не выявлено. В процессе сбора данных все персональные данные были закодированы и обезличены для защиты прав пациентов и предотвращения разглашения личной информации. Исследователи имели доступ к электронной базе данных, содержащей только информацию о демографических и клинических характеристиках пациентов, которую анализировали и представляли в обобщённом виде, обеспечивая тем самым её конфиденциальность. Исследование проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Перед участием в исследовании от всех пациентов или их законных представителей было получено информированное согласие.

Статистический анализ

Данные МРТ были проанализированы ретроспективно. Для описания характеристик участников использовалась описательная статистика. Большинство переменных были непрерывными, поэтому они выражались как средние значения и стандартные отклонения. Что касается категориальных переменных, они были представлены в виде чисел наблюдений и процентов. Когорта была разделена на две группы в зависимости от КДО ПЖ. Если у человека было менее 150 мл/м², это была первая группа,

а если было 150 мл/м² и более, то это была вторая группа. Т-критерий Стьюдента и U-критерий Манна-Уитни использовались для изучения непрерывных переменных в разных группах в зависимости от того, были ли выполнены предположения параметрического теста или нет. Для категориальной переменной пола использовался точный критерий Фишера, поскольку таблица 2x2 с группами RV EDVi показала, что предположение для критерия Хи-квадрат не было выполнено. Уровень значимости был установлен на уровне 0,05. Все анализы проводились с использованием STATA 16.2.

Результаты

Средний возраст в обеих группах составил 11 лет. Уровень КДО ПЖ заметно различался у девочек (116,8 мл/м²) и мальчиков (137,2 мл/м²) со значением p 0,001 (таблица 1). После разделения их было 52 (75%) в группе с КДО ПЖ < 150 мл/м² и 17 (25%) в группе с КДО ПЖ ≥ 150 мл/м². Индекс КДО ЛЖ также заметно различался у девочек (67,9 мл/м²) и мальчиков (75,6 мл/м²) с p-значением 0,036.

Описание продольной и окружной деформаций левого желудочка приведено в Таблице 2.

Таблица 2.

Деформация левого желудочка (n = 69) / Table 2. Left ventricular deformation (n = 69).

Переменная	Общее	девочки (n = 24, 35%)	Мальчики (n = 45, 65%)	p-value
Peak GCS LV	-21 (±3)	-21.4 (±4.3)	-20.8 (±2.4)	0.467
GLS LV	-14.3 (±3.6)	-14.4 (±3.9)	-14.2 (±3.4)	0.885
Окружная деформация по сегментам				
Basal	-20.5 (±2.7)	-21.4 (±3.4)	-19.9 (±2.1)	0.027
Mid	-20.2 (±3.2)	-21 (±4.02)	-19.8 (±2.6)	0.125
Apical	-22.5 (±5.1)	-21.8 (±6.3)	-22.8 (±4.2)	0.426
Basal anterior	-24.4 (±7.1)	-23.9 (±7.7)	-24.7 (±6.8)	0.649
Basal anteroseptal	-21.6 (±7.1)	-23.5 (±6.2)	-20.6 (7.4)	0.104
Basal inferoseptal	-22.7 (±6.8)	-20.7 (±8.2)	-23.8 (±5.7)	0.069
Basal inferior	-10.1 (±5.7)	-13.6 (±6.5)	-8.2 (±4.3)	<0.001
Basal inferolateral	-20.6 (±4.6)	-21.1 (±5.9)	-20.3 (±3.6)	0.449
Basal anterolateral	-23.7 (±5.2)	-26.2 (±6.7)	-22.3 (±3.7)	0.002
Mid anterior	-20.5 (±6.9)	-21.2 (±8.1)	-20.1 (±6.2)	0.533
Mid anteroseptal	-25.9 (±5.7)	-26.6 (±6.3)	-25.5 (±5.5)	0.447
Mid inferoseptal	-24.3 (±5.4)	-23.7 (±6.3)	-24.7 (±4.8)	0.486
Mid inferior	-8.2 (±5.2)	-9.6 (±5.9)	-7.4 (±4.7)	0.104
Mid inferolateral	-22.1 (±4.9)	-22.5 (±6.2)	-21.9 (±4.2)	0.638
Mid anterolateral	-20.3 (±5.3)	-22.7 (±6.1)	-19.1 (±4.4)	0.006
Apical anterior	-19.2 (±6.6)	-18.5 (±7.4)	-19.6 (±6.2)	0.508
Apical septal	-30.5 (±6.3)	-29.4 (±8.5)	-31.1 (±4.8)	0.269
Apical inferior	-15.3 (±6.8)	-13.8 (±8.8)	-16.1 (±5.5)	0.203
Apical lateral	-24.9 (±6.4)	-25.8 (±6.6)	-24.6 (6.3)	0.457
Продольная деформация по сегментам				
Basal inferoseptal	-18.3 (±8.6)	-20.5 (±10.7)	-17.8 (±7.1)	0.124
Basal anterolateral	-21.1 (±8)	-23.6 (±9.7)	-19.8 (±6.7)	0.056
Mid inferoseptal	-14.4 (±8.4)	-14.9 (±9.6)	-14.2 (±7.8)	0.752
Mid anterolateral	-16.8 (±7.5)	-21.4 (±8.6)	-14.3 (±5.5)	<0.001
Apical septal	-17.5 (±7.3)	-13.9 (±6.8)	-19.4 (±6.9)	0.002
Apical lateral	-13.3 (±5.7)	-13.3 (±6.1)	-13.2 (±5.5)	0.934
Apex	-2.9 (±7.6)	-1.4 (±8.5)	-5.2 (±6.1)	<0.001

GCS LV глобальная окружная деформация левого желудочка (Global circumferential strain of left ventricle)

GLS LV- глобальная продольная деформация левого желудочка (Global longitudinal strain of left ventricle)

Средняя пиковая глобальная окружная деформация левого желудочка (GCS LV) составила - 21, тогда как глобальная продольная деформация левого желудочка (GLS LV) составила - 14,3 в когорте. Заметная разница окружной деформации заключалась в базальном нижнем сегменте левого желудочка между мальчиками и девочками - 13,6 и - 8,2 соответственно ($p<0,001$). Окружная деформация в среднем переднелатеральном сегменте составила - 22,7 для женщин и - 19,1 для

мужчин ($p=0,006$). Более того, продольная деформация в среднем переднелатеральном сегменте левого желудочка также показало заметную разницу для мужчин и женщин - 14,3 и - 21,4 соответственно ($p<0,001$). Наибольший значительный контраст в линиях между полами наблюдался в продольном сегменте.

Описание деформации правого желудочка приведено в Таблице 3.

Таблица 3.

Деформация правого желудочка (n = 69) / Table 3. Right ventricular deformation (n = 69).

Переменные	Общее	Девочки (n = 24, 35%)	Мальчики (n = 45, 65%)	p-value
GCS RV	-17 (± 3.8)	-1 8.3 (± 4.7)	-16.4 (± 3.1)	0.039
GLS RV	-17.6 (± 3.4)	-17.7 (± 3.5)	-17.5 (± 3.3)	0.871
Окружная деформация по сегментам				
Lateral	-18.2 (± 3.9)	-19.1 (± 4.9)	-17.6 (± 3.2)	0.107
Septum	-17.6 (± 3.9)	-18.8 (± 4.6)	-16.9 (± 3.4)	0.055
Продольная деформация по сегментам				
Lateral	-20.4 (± 3.6)	-20.4 (± 3.6)	-20.4 (± 3.7)	0.921
Septum	-15.6 (± 3.5)	-15.5 (± 4.1)	-15.6 (± 3.2)	0.908

GCS RV – глобальная окружная деформация правого желудочка (Global circumferential strain of right ventricle);

GLS RV - глобальная продольная деформация правого желудочка (Global longitudinal strain of right ventricle).

Средняя пиковая глобальная окружная деформация правого желудочка составила -17, тогда как глобальная продольная деформация правого желудочка составила -17,6 в когорте. Наблюдалась статистически значимая разница в пиковом значении RV по GCS между мужчинами и женщинами ($p=0,039$). Окружная деформация в боковом сегменте составила -18,2, продольная деформация -20,4 для когорты. Что касается окружной деформации перегородочного сегмента, анализ показывает пограничную значительную разницу между женщинами (-18,8) и мужчинами (-16,9) со значением $p=0,055$.

Обсуждение

Наше исследование показало значимые гендерные различия в параметрах функциональной активности миокарда у детей, перенесших радикальную коррекцию тетрады Фалло, что согласуется с результатами ранее опубликованных исследований. Например, *Gaynor и соавторы* (2016) также обнаружили, что увеличение объёма правого желудочка (ПЖ) связано с повышенным риском развития правожелудочковой дисфункции и хронической сердечной недостаточности. Однако в их исследовании не рассматривались гендерные различия, что является важным аспектом нашего исследования. В отличие от их работы, мы акцентировали внимание на том, что мальчики имеют более высокий конечно-диастолический объём ПЖ (137,2 мл/м² по сравнению с 116,8 мл/м² у девочек, $p=0,001$), что может указывать на более выраженное ремоделирование ПЖ у мальчиков.

Одним из главных преимуществ нашего исследования является использование программы Strain для оценки деформации миокарда, что позволило выявить субклинические изменения, которые не всегда видны при стандартных методах визуализации. Это делает наше исследование уникальным, так как

большинство предыдущих работ, таких как исследования *Geva et al.* (2014), в основном сосредотачивались на общих эхокардиографических параметрах без учёта тонких изменений в деформации миокарда. Использование Strain в нашем исследовании помогло не только выявить гендерные различия в окружной деформации ПЖ и ЛЖ, но и предложить новые подходы к постоперационному наблюдению.

Научная новизна нашего исследования заключается в том, что впервые было выявлено значительное различие в окружной деформации правого и левого желудочков у мальчиков и девочек. Мы показали, что у девочек окружная деформация ПЖ значительно выше (-18,3 против -16,4, $p=0,039$), что может свидетельствовать о лучшей адаптации ПЖ после операции. Это согласуется с работами *Jenkins et al.* (2015), однако, в отличие от их исследования, где акцент делался на возрастные аспекты, наш анализ фокусируется на гендерных различиях.

Несмотря на выявленные важные результаты, наше исследование имеет несколько ограничений. Во-первых, оно было проведено ретроспективно, что может ограничивать полноту данных и контроль за потенциальными конфундерами. Кроме того, выборка детей, хотя и относительно большая ($n=69$), всё же может быть недостаточно репрезентативной для обобщения на более широкие популяции, особенно с учётом региональных и этнических различий. Также требуется дальнейшая проверка наших результатов на более крупных проспективных исследованиях для валидации выявленных гендерных различий.

Выводы

Полученные данные подтверждают наличие значимых гендерных различий в функциях левого и правого желудочков у детей после коррекции ТФ, что требует дальнейшего изучения и учёта в клинической

практике для оптимизации лечения и улучшения долгосрочных исходов.

Результаты исследования сердечной функции у детей выявили значительные гендерные различия в морфофункциональных параметрах. В частности, конечный диастолический объем (КДО) правого желудочка (ПЖ) у мальчиков был значительно выше, составив 137,2 мл/м², по сравнению с 116,8 мл/м² у девочек ($p=0,001$). Аналогичные различия были отмечены и для КДО левого желудочка (ЛЖ): у мальчиков он составил 75,6 мл/м², у девочек — 67,9 мл/м² ($p=0,036$). В подгруппе детей с КДО ПЖ ≥ 150 мл/м² доля мальчиков оказалась значительно выше, составив 82%, по сравнению с 18% у девочек. Это наблюдение может свидетельствовать о гендерной предрасположенности к более высоким объемам ПЖ у мальчиков в раннем возрасте. Анализ циркулярной деформации левого желудочка показал значительные различия между полами. В базальном нижнем сегменте циркулярная деформация оказалась более выраженной у девочек (-13,6) по сравнению с мальчиками (-8,2, $p<0,001$). Аналогичные различия отмечены и в среднем переднелатеральном сегменте, где у девочек циркулярная деформация составила -22,7, а у мальчиков -19,1 ($p=0,006$). Продольная деформация в этом сегменте также оказалась значительно выше у девочек (-21,4), чем у мальчиков (-14,3, $p<0,001$). Кроме того, статистически значимые различия выявлены в пиковом значении глобальной циркулярной деформации правого желудочка между мальчиками и девочками ($p=0,039$). Эти результаты подчеркивают важность учета гендерных особенностей при оценке сердечной функции у детей и могут иметь значимое клиническое значение для ранней диагностики и индивидуализированного подхода к лечению сердечно-сосудистых заболеваний. Исследования необходимы для глубокого анализа биологических и генетических механизмов, определяющих эти различия, с целью разработки персонализированных подходов к диагностике и терапии сердечно-сосудистых заболеваний у детей.

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

Благодарность. Авторы выражают благодарность руководителю Национального научного кардиохирургического центра, д.м.н. профессору Ю.В. Пя за предоставленную возможность выполнить данную работу.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Р.И. Рахимжанова, Т.Б. Даутов, Абдрахманова Ж.С. - концепция и дизайн работы; А.М. Кабдуллина, сбор и анализ данных, интерпретация результатов, Р.И. Рахимжанова — утверждение окончательного варианта рукописи.

Все авторы прочитали, согласились с окончательной версией рукописи.

Литература:

1. Alipour Symakani R.S., Khairy P., Dimopoulos K. The right ventricle in tetralogy of Fallot: adaptation to sequential loading // *Frontiers in Pediatrics*. 2023. Vol. 11, March. P. 1–16.
2. Bove T., Vandekerckhove K., Francone M., 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 Cardiothoracic Surgery*. 2014. Vol. 45, № 2. P. e6-12.
3. Del K., Brian T.M.D., Sujatha D.S.M.D. Right ventricular global longitudinal strain in repaired tetralogy of Fallot. 2016. P. 1–6.
4. Hsu D.T. Chronic heart failure in congenital heart disease // *Pediatric Heart Failure*. 2005. P. 567–588.
5. Karamlou T., McCrindle B.W., Williams W.G. Surgery Insight: Late complications following repair of tetralogy of Fallot and related surgical strategies for management // *Nature Clinical Practice Cardiovascular Medicine*. 2006. Vol. 3, № 11. P. 611–622.
6. Kim Y.Y., Ruckdeschel E. Approach to residual pulmonary valve dysfunction in adults with repaired tetralogy of Fallot // *Heart*. BMJ Publishing Group, 2016. Vol. 102, № 19. P. 1520–1526.
7. Kondo C., McCartney F.J., Yamagishi H., et al. Left Ventricular Dysfunction on Exercise Long Term After Total Repair of Tetralogy of Fallot // *Circulation*. 1995. Vol. 92, № 9. P. 250–255.
8. Kulyabin Yu.Yu., Novikov I.Yu., Romanova S.M. Gemo dinamicheskie parametry i funktsiya pravogo zheludochka posle radical'noi korrektsii tetrady Fallo // *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal*. 2022. № 3. S. 42–48.
9. Murphy J.G., Gersh B.J., Mair D.D., et al. Long-Term Outcome in Patients Undergoing Surgical Repair of Tetralogy of Fallot // *New England Journal of Medicine*. 1993. Vol. 329, № 9. P. 593–599.
10. Oosterhof T., Mulder B.J., Vliegen H.W. Preoperative thresholds for pulmonary valve replacement in patients with corrected tetralogy of Fallot using cardiovascular magnetic resonance // *European Heart Journal – Cardiovascular Pharmacotherapy*. 2007. Vol. 4, № 4. P. 287–294.
11. Outcomes of pulmonary valve replacement in 170 patients with chronic pulmonary regurgitation after relief of right ventricular outflow tract obstruction: implications for optimal timing of pulmonary valve replacement. // *Journal of the American College of Cardiology*. 2012. Vol. 60. P. 1005–1014.
12. Schamberger M.S., Hurwitz R.A. Course of right and left ventricular function in patients with pulmonary insufficiency after repair of Tetralogy of Fallot // *Pediatric Cardiology*. 2000. Vol. 21, № 3. P. 244–248.
13. Singh G.K., Lu M., Huang G.R. et al. Right ventricular function and exercise performance late after primary repair of tetralogy of Fallot with the transannular patch in infancy // *American Journal of Cardiology*. 1998. Vol. 81, № 11. P. 1378–1382.
14. Siripornpitak S., Goo H.W. CT and MRI for Repaired Complex Adult Congenital Heart Diseases // *Korean Journal of Radiology*. 2021. Vol. 22, № 3. P. 308–323.

15. Van der Ven J.P.G., Kuijpers J.M., Eindhoven J.A., et al. Current outcomes and treatment of tetralogy of Fallot // *F1000Research*. 2019. Vol. 8. P. 1–15.

16. Villafañe J., Kuo C., Gersony D.R., et al. Hot topics in tetralogy of Fallot // *Journal of the American College of Cardiology*. 2013. Vol. 62, № 23. P. 2155–2166.

17. Timing of pulmonary valve replacement in tetralogy of Fallot using cardiac magnetic resonance imaging: an

evolving process. // *Journal of the American College of Cardiology*. 2012. Vol. 60. P. 1015–1017.

18. Optimal timing for percutaneous pulmonary valve implantation (PPVI) in patients with RVOT dysfunction remains challenging. // *Methodist DeBakey Cardiovascular Journal*. 2019. Vol. 15, № 2. P. 122–132.

Сведения об авторах:

1. Кабдуллина Ажар Муслымкановна. - Докторант НАО «Медицинский университет Астана» по специальности «Медицина» 2019-2022гг, Астана, Республика Казахстан, проспект Абая 47, 8 776 010 88 77, azharazh@mail.ru, Orcid ID:0000-0003-0521-5484

2. Рахимжанова Раушан Ибжановна. - заслуженный деятель РК, д-р мед. наук, профессор, Директор НИИ радиологии имени Академика Ж.Х. Хамзабаева, НАО «Медицинский университет Астана», Астана, Республика Казахстан, проспект Абая 47, 8 701 228 80 58, rakhimzhanova01@rambler.ru, Orcid ID: 0000-0002-3490-6324.

3. Даутов Таирхан Бекполатович. – д-р мед. наук, профессор, Директор клинико-академического департамента радиологии и ядерной медицины корпоративного фонда «University Medical Center», Астана, Республика Казахстан, улица Сыганак 46, 8 707 771 33 67, tairkhan.dautov@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-5267-0108.

4. Абдрахманова Жанар Сагатпековна. - д-р мед. наук, профессор, Зам директора НИИ радиологии имени Академика Ж.Х.Хамзабаева, НАО «Медицинский Университет Астана», Астана, Республика Казахстан, проспект Абая 47, 8 701 536 00 31, ,zhanna-ayan74@mail.ru, Orcid ID: 0000-0002-1890-0862.

5. Садуакасова Айгуль Болатовна. – д-р мед. наук, руководитель центра ядерной медицины РГП "Больница Медицинского центра Управления делами Президента РК", Астана, Республика Казахстан, проспект Мангилик Ел 80, 8 701 990 99 93. sadik.a@mail.ru, Orcid ID: 0000-0001-7089-5696

Автор - корреспондент:

Кабдуллина Ажар Муслымкановна Докторант НАО «Медицинский университет Астана» по специальности «Медицина» 2019-2022гг, Астана, Республика Казахстан, Orcid ID:0000-0003-0521-5484

Почтовый адрес: Республика Казахстан, 010000, Астана, ул. Улы-Дала 65, кв.5.

E-mail: azharazh@mail.ru.

Телефон: 8 776 010 88 77