

## Роль параметров деформации миокарда в оценке показаний к замене клапана лёгочной артерии у детей после коррекции тетрады Фалло: одномоментное исследование

А.М. Кабдуллина<sup>1</sup>, В.Е. Сеницын<sup>2</sup>, Р.И. Рахимжанова<sup>1</sup>, Т.Б. Даутов<sup>3</sup>, Ж.С. Абдрахманова<sup>1</sup>, А.Б. Садуакасова<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Медицинский университет Астана, Астана, Казахстан;

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия;

<sup>3</sup> University Medical Center, Астана, Казахстан;

<sup>4</sup> Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан, Астана, Казахстан

### АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Радикальная коррекция тетрады Фалло существенно улучшает выживаемость пациентов и качество их жизни, однако в отдалённом послеоперационном периоде большинство из них сталкиваются с прогрессирующей недостаточностью клапана лёгочной артерии. Лёгочная регургитация приводит к постепенному увеличению объёмной нагрузки на правый желудочек, его дилатации, нарушению систолической и диастолической функции, а также повышает риск развития аритмий и внезапной сердечной смерти. В свою очередь, замена клапана лёгочной артерии позволяет снизить постнагрузку и улучшить функцию миокарда. Тем не менее существуют неразрешённые вопросы, касающиеся определения её оптимальных сроков у пациентов после радикальной коррекции тетрады Фалло при отсутствии клинических симптомов.

**Цель исследования.** Оценить показатели деформации миокарда (Strain) в качестве критерия обоснования необходимости замены клапана лёгочной артерии.

**Методы.** Проведено одноцентровое ретроспективное (с анализом медицинской документации) одномоментное выборочное исследование. В исследование включали данные пациентов, проходивших лечение в отделениях кардиоторакальной хирургии и кардиологии Национального научного кардиохирургического центра в Астане (Казахстан). Магнитно-резонансную томографию сердца выполняли в период с декабря 2011 г. по июнь 2020 г. пациентам после радикальной коррекции тетрады Фалло. Поскольку пороговые значения конечного диастолического объёма правого желудочка в диапазоне от 150 до 170 мл/м<sup>2</sup> рассматривают как показание к замене клапана лёгочной артерии у бессимптомных пациентов, исследуемая выборка разделена на две группы в зависимости от его величины: 1-я группа — пациенты с конечным диастолическим объёмом правого желудочка <150 мл/м<sup>2</sup>; 2-я группа — ≥150 мл/м<sup>2</sup>. Определяли прогностическую значимость показателей деформации миокарда при принятии решения о своевременной замене клапана лёгочной артерии.

**Результаты.** В исследование включены 69 пациентов в возрасте от 3 до 18 лет (11±4 года), ранее перенёвших радикальную коррекцию тетрады Фалло. Циркулярная деформация в базальном переднеперегородочном сегменте левого желудочка имела статистически значимые различия между 1-й ( $n=52$ ) и 2-й ( $n=17$ ) группами:  $-23,2\pm5,8$  и  $-16,7\pm8,4\%$  соответственно ( $p=0,003$ ). Аналогично, в базальном нижнем сегменте левого желудочка выявлены статистически значимые различия:  $-10,8\pm5,2$  в 1-й группе и  $-7,8\pm6,8\%$  во 2-й группе ( $p=0,014$ ). Конечный систолический объём правого желудочка в 1-й группе был примерно в два раза ниже по сравнению со 2-й группой:  $56,9\pm19,1$  и  $103,9\pm111,9$  мл/м<sup>2</sup> соответственно ( $p<0,001$ ).

**Заключение.** Полученные результаты подчёркивают диагностическую ценность параметров деформации миокарда (Strain) и их потенциал в качестве дополнительного критерия при оценке показаний к замене клапана лёгочной артерии.

**Ключевые слова:** тетрада Фалло; деформация; магнитно-резонансная томография сердца; радикальная коррекция; замена клапана лёгочной артерии; показания к операции.

### КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Кабдуллина А.М., Сеницын В.Е., Рахимжанова Р.И., Даутов Т.Б., Абдрахманова Ж.С., Садуакасова А.Б. Роль параметров деформации миокарда в оценке показаний к замене клапана

лёгочной артерии у детей после коррекции тетрады Фалло: одномоментное исследование // Digital Diagnostics. 2025. Т. 6, № 3. С. XXX–XXX. DOI: 10.17816/DD636743 EDN: HBLRJV

Рукопись получена: 05.10.2024

Рукопись одобрена: 21.05.2025

Опубликована online: 13.10.2025

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International

© Эко-Вектор, 2025

Accepted for publication

## The Role of Myocardial Strain Parameters in Assessing Indications for Pulmonary Valve Replacement in Children After Tetralogy of Fallot Repair: A Cross-Sectional Study

Azhar M. Kabdullina<sup>1</sup>, Valentin E. Sinitsyn<sup>2</sup>, Raushan I. Rakhimzhanova<sup>1</sup>, Tairkhan B. Dautov<sup>3</sup>, Zhanar S. Abdrakhmanova<sup>1</sup>, Aigul B. Saduakassova<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Astana Medical University, Astana, Kazakhstan;

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

<sup>3</sup> University Medical Center, Astana, Kazakhstan;

<sup>4</sup> Medical Center Hospital of the President's Affairs Administration of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan

### ABSTRACT

**BACKGROUND:** Radical correction of tetralogy of Fallot significantly improves patient survival and quality of life. However, in the late postoperative period, most patients experience progressive pulmonary valve insufficiency. Chronic pulmonary regurgitation leads to a gradual increase in the volume load on the right ventricle, its dilation, impairment of systolic and diastolic function, and increases the risk of arrhythmias and sudden cardiac death. Pulmonary valve replacement, on the other hand, reduces afterload and improves myocardial function. However, there are unresolved issues regarding the optimal timing of recovery in patients following radical correction of tetralogy of Fallot in the absence of clinical symptoms.

**AIM:** To assess the contribution of myocardial deformation parameters (Strain) in decision-making regarding the need for pulmonary valve replacement.

**METHODS:** A single-center, retrospective (including medical record analysis), cross-sectional study was conducted. The study included data from patients treated in the cardiothoracic surgery and cardiology departments of the National Scientific Cardiac Surgery Center in Astana, Kazakhstan. Cardiac magnetic resonance imaging was performed between December 2011 and June 2020 in patients undergoing radical correction of tetralogy of Fallot. Since right ventricular end-diastolic volume thresholds of 150 to 170 ml/m<sup>2</sup> are considered an indication for pulmonary valve replacement in asymptomatic patients, the study sample was divided into two groups depending on its value: Group 1 — patients with right ventricular end-diastolic volume <150 ml/m<sup>2</sup>; Group 2 — ≥150 ml/m<sup>2</sup>. The prognostic significance of myocardial deformation indicators was determined when making a decision on timely replacement of the pulmonary artery valve.

**RESULTS:** Circumferential strain in the basal anterior septal segment of the left ventricle showed a statistically significant difference between the groups (-23.2 and -16.7,  $p=0.003$ ). Another noticeable difference between the groups was the circumferential strain in the basal inferior segment of the left ventricle (-10.8 and -7.8,  $p=0.014$ ).

**CONCLUSION:** The results highlight the diagnostic value of Strain parameters and their potential as an additional criterion for assessing the need for pulmonary valve replacement.

**Keywords:** tetralogy of Fallot; strain; cardiac magnetic resonance imaging; radical correction; pulmonary valve replacement; surgical indications.

### TO CITE THIS ARTICLE:

Kabdullina AM, Sinitsyn VE, Rakhimzhanova RI, Dautov TB, Abdrakhmanova ZhS, Saduakassova AB. The Role of Myocardial Strain Parameters in Assessing Indications for Pulmonary Valve Replacement in Children After Tetralogy of Fallot Repair: A Cross-Sectional Study. *Digital Diagnostics*. 2025;6(3):XXX–XXX. DOI: 10.17816/DD636743 EDN: HBLRJV

Submitted: 05.10.2024

Accepted: 21.05.2025

Published online: 13.10.2025

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License  
© Eco-Vector, 2025

## ОБОСНОВАНИЕ

Тетрада Фалло — наиболее распространённый цианотический врождённый порок сердца, характеризующийся четырьмя основными признаками: дефектом межжелудочковой перегородки, обструкцией выводного отдела правого желудочка (ПЖ), гипертрофией миокарда ПЖ и декстрапозицией аорты [1].

В середине XX века только 20% детей с врождёнными пороками сердца доживали до взрослого возраста. В настоящее время, благодаря достижениям детской кардиохирургии, смертность существенно снизилась, а большинство пациентов с тетрадой Фалло доживают до 60 лет [2–3]. Однако у растущих детей, перенёсших радикальную коррекцию порока, сохраняется риск поздних осложнений, включая развитие сердечной недостаточности, стеноз лёгочной артерии, инфекционный эндокардит, задержка роста и развития, необходимость повторных вмешательств и возникновение аритмий [4]. Хирургическое лечение тетрады Фалло направлено на устранение стеноза выводного отдела ПЖ и закрытие дефекта межжелудочковой перегородки. При наличии выраженной гипоплазии кольца клапана лёгочной артерии необходимо выполнение массивной инфундибулэктомии и трансаннулярной пластики, которая приводит к развитию выраженной лёгочной регургитации [5]. Она вызывает хроническую объёмную перегрузку ПЖ, что приводит к его прогрессирующей дилатации и дисфункции. В дальнейшем это сопровождается развитием предсердных и желудочковых аритмий, а также повышает риск синдрома внезапной сердечной смерти [5–11].

Эффективным методом лечения лёгочной недостаточности у пациентов после радикальной коррекции тетрады Фалло является своевременная замена клапана лёгочной артерии биопротезом или кондуитом, что способствует ремоделированию и улучшению функции ПЖ сердца [12–13]. К установленным показаниям к замене клапана лёгочной артерии относят наличие аритмий, снижение толерантности к физической нагрузке, ухудшение функционального класса Нью-Йоркской Ассоциации Сердца (НЮНА), стеноз лёгочной артерии тяжёлой степени, а также прогрессирующая трикуспидальная регургитация в сочетании с умеренной и тяжёлой лёгочной регургитацией [14]. Однако оптимальное время для замены клапана у бессимптомных пациентов является дискуссионным вопросом [15–18].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) сердца является «золотым стандартом» визуализации и оценки объёма и функции ПЖ у пациентов с корригированной тетрадой Фалло [19–21]. Пороговые значения для конечного диастолического объёма (КДО) ПЖ в диапазоне 150–170 мл/м<sup>2</sup> рассматривают в качестве показаний к замене клапана лёгочной артерии при бессимптомном течении [12, 17, 22] и их считают наиболее надёжным единственным предиктором необходимости операции.

Тем не менее существуют нерешённые вопросы, касающиеся определения оптимальных сроков замены клапана лёгочной артерии у пациентов после радикальной коррекции тетрады Фалло при отсутствии клинических симптомов. Кроме того, отсутствуют исследования, посвящённые оценке контрактильной и релаксационной функции миокарда обоих желудочков сердца у детей младшего возраста после операции по коррекции тетрады Фалло, с использованием МРТ в качестве инструмента для прогнозирования необходимости замены клапана лёгочной артерии.

## ЦЕЛЬ

Оценить показатели деформации миокарда (Strain) в качестве критерия для обоснования необходимости замены клапана лёгочной артерии.

## МЕТОДЫ

### ДИЗАЙН ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено одноцентровое ретроспективное (с анализом медицинской документации) одномоментное выборочное исследование.

### УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ

В исследование включали данные пациентов, проходивших лечение в отделениях кардиоторакальной хирургии и кардиологии Национального научного кардиохирургического центра в Астане (Казахстан). МРТ сердца выполняли после хирургической коррекции тетрады Фалло в период с декабря 2011 г. по июнь 2020 г.

### КРИТЕРИИ СООТВЕТСТВИЯ

#### Критерии включения:

- дети в возрасте 3–18 лет после радикальной коррекции тетрады Фалло;
- наличие результатов МРТ сердца, лабораторного анализа крови [определение кардиомаркера N-концевого пропептида мозгового натрийуретического гормона (NT-proBNP)] и эхокардиографии (ЭхоКГ) (градиент давления между ПЖ и лёгочной артерией).

#### Критерии исключения:

- высокая концентрация креатинина;
- пациенты старше 18 лет с тетрадой Фалло, не подвергавшейся коррекции.

#### ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ данных проводили в период с октября 2011г. по декабрь 2020г.

#### МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ СЕРДЦА

МРТ сердца проводили на сверхпроводящем магнитно-резонансном томографе Magnetom Avanto® (Siemens Healthcare, Германия) с напряжённостью поля 1,5 Тл, в базовой комплектации. Сканирование осуществляли при обязательной проспективной синхронизации с электрокардиографией и дыханием с использованием импульсной последовательности Spin Echo для оценки анатомии. У грудных и детей до трёх лет исследование проводили натощак с использованием внутривенного наркоза по стандартной методике, принятой в Национальном научном кардиохирургическом центре, под наблюдением врача-анестезиолога. Срезы ориентировали в трёх стандартных плоскостях (поперечной аксиальной, сагитальной и фронтальной), в плоскостях аналогичных 4- и 2-камерным проекциям в ЭхоКГ, а также в косых плоскостях в соответствии с зонами интереса, если того требовали задачи исследования.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕСТИ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

У пациентов определяли концентрацию NT-proBNP в крови с помощью иммуноферментного анализа или методов хемилюминесцентного иммуноанализа. Он является биомаркером, используемым для диагностики и оценки тяжести сердечной недостаточности. Проводили ЭхоКГ с целью установления градиента давления между ПЖ и лёгочной артерией.

#### ОСНОВНОЙ ИСХОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение прогностической значимости показателей деформации миокарда при принятии решения о своевременной замене клапана лёгочной артерии.

#### МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИСХОДА ИССЛЕДОВАНИЯ

Feature-tracking (Strain)<sup>1</sup> выполняли с использованием программного обеспечения Segment CMR® (Lund, Швеция). Для анализа выбирали базальные, средние и апикальные короткоосевые срезы ЛЖ и ПЖ, а также 4-камерный срез. С помощью инструмента перемотки определяли моменты конечной диастолы и конечной систолы, после чего вручную обводили контуры эндокарда и эпикарда. Пиковую глобальную циркулярную деформацию ЛЖ и ПЖ рассчитывали как средневзвешенное значение (по количеству сегментов) пиковой циркулярной деформации базального, среднего и апикального отделов. Для оценки продольной деформации ЛЖ контуры эндокарда и эпикарда дополнительно строили на 2- и 4-камерных проекциях. Пиковую глобальную продольную деформацию ЛЖ и ПЖ определяли по 4-камерной проекции. Результаты экспортированы в документ Word, где записаны пиковые значения глобальной циркулярной и продольной деформации.

#### АНАЛИЗ В ГРУППАХ

Поскольку пороговые значения КДО ПЖ от 150 до 170 мл/м<sup>2</sup> рассматривают как показание к замене клапана лёгочной артерии у пациентов с бессимптомным течением заболевания [12, 17, 22], исследуемая выборка разделена на две группы в зависимости от его величины:

- 1-я группа — пациенты с КДО ПЖ <150 мл/м<sup>2</sup>;
- 2-я группа — с КДО ПЖ ≥150 мл/м<sup>2</sup>.

#### ЭТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА

<sup>1</sup> Feature-tracking (Strain) — метод анализа деформации миокарда с использованием стандартных изображений магнитно-резонансной томографии сердца.



Исследование одобрено этическим комитетом Национального исследовательского кардиохирургического центра (разрешение № 01-92/2021 от 22.04.2021). Все пациенты и их законные представители подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании до начала исследования.

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Размер выборки предварительно не рассчитывали.

Статистический анализ выполняли с использованием пакета STATA® 16.2 (StataCorp, США). Для описания характеристик участников использовали описательную статистику. Большинство переменных были непрерывными, поэтому результаты представлены в виде  $M \pm SD$ , где  $M$  — среднее значение, а  $SD$  — стандартное отклонение. Категориальные переменные представлены в виде абсолютного числа наблюдений и их процентного соотношения. Для анализа непрерывных переменных между группами применяли t-критерий Стьюдента или U-критерий Манна–Уитни в зависимости от выполнения условий параметрического теста. Для категориальной переменной «пол» использовали точный критерий Фишера, поскольку в таблице сопряжённости  $2 \times 2$  для групп, разделённых в зависимости от КДО ПЖ, не выполнены условия применения критерия  $\chi^2$ . Критический уровень значимости при  $p=0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫБОРКИ

В исследование включены 69 пациентов в возрасте от 3 до 18 лет ( $11 \pm 4$  года), ранее перенёвших радикальную коррекцию тетрады Фалло. Среди участников 24 (35%) были девочки, а 45 (65%) — мальчики (табл. 1). В исследуемой выборке 52 пациента (75%) имели КДО ПЖ  $< 150$  мл/м<sup>2</sup>, и они составили 1-ю группу, тогда как 17 пациентов (25%) с КДО ПЖ  $\geq 150$  мл/м<sup>2</sup> — 2-ю группу. Средние показатели КДО ПЖ статистически значимо различались в зависимости от пола:  $116,8 \pm 26,9$  и  $137,2 \pm 20,9$  мл/м<sup>2</sup> у девочек и мальчиков соответственно ( $p=0,001$ ).

Сравнение основных характеристик пациентов в зависимости от значения КДО ПЖ представлено в табл. 2. Несмотря на отсутствие статистически значимых различий в распределении по полу, во 2-й группе отмечена меньшая доля женщин (18%) по сравнению с мужчинами (82%). Конечный систолический объём (КСО) ПЖ в 1-й группе был примерно в два раза ниже в сравнении со 2-й группой,  $p < 0,001$  (см. табл. 2).

Концентрация NT-proBNP была несколько выше во 2-й группе, однако статистически значимых различий между группами не выявлено (см. табл. 2). Это может свидетельствовать о том, что увеличение объёма ПЖ у этих пациентов не сопровождается значимым повышением нагрузки на сердце либо концентрация этого биомаркера варьирует в зависимости от индивидуальных особенностей пациентов. Пол и градиент давления между ПЖ и лёгочной артерией не имели статистически значимых различий. Фракции выброса ПЖ и ЛЖ оставались сохранёнными и не имели статистически значимых межгрупповых различий (см. табл. 2).

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнительная характеристика показателей деформации ЛЖ в группах в зависимости от КДО ПЖ представлена в табл. 3. Циркулярная деформация в базальном переднеперегородочном сегменте ЛЖ имела статистически значимые различия между группами ( $p=0,003$ ). Кроме того, статистически значимые изменения зафиксированы в базальном нижнем сегменте ЛЖ ( $p=0,014$ ).

Существует общая тенденция, согласно которой абсолютные значения сегментарных окружных деформаций во 2-й группе выше, чем в 1-й группе (рис. 1). Однако циркулярная деформация миокарда в базальном нижнебоковом сегменте ЛЖ показывает обратное. Что касается сегментных продольных деформаций, то между группами нет определённой закономерности (рис. 2).

## ОБСУЖДЕНИЕ

### РЕЗЮМЕ ОСНОВНОГО РЕЗУЛЬТАТА ИССЛЕДОВАНИЯ

У пациентов с КДО ПЖ  $\geq 150$  мл/м<sup>2</sup> отмечали более высокие значения КСО ПЖ, а также выраженные изменения циркулярной деформации ЛЖ, что можно рассматривать как дополнительный критерий при принятии решения о выполнении операции по замене клапана лёгочной артерии. Полученные результаты подчёркивают клиническую значимость

комплексной оценки как объёмных, так и деформационных параметров сердца при диагностике и выборе оптимальной тактики лечения.

## ОБСУЖДЕНИЕ ОСНОВНОГО РЕЗУЛЬТАТА ИССЛЕДОВАНИЯ

А. Кемпну и соавт. [23] использовали метод МРТ с анализом деформации миокарда для оценки его бивентрикулярной функции у 28 пациентов после хирургического лечения тетрады Фалло (средний возраст  $40,4 \pm 13,3$  года) в сравнении с группой из 25 здоровых людей. Полученные значения деформации сравнили с результатами ЭхоКГ с отслеживанием спеклов (Speckle Tracking Echocardiography) и определением границ эндокарда (Simple Endocardial Border Delineation). Авторы выявили статистически значимую прямую зависимость между показателями глобальной деформации ПЖ и ЛЖ.

Современные исследования подтверждают, что оценка параметров деформации миокарда, позволяет выявлять ранние признаки его повреждения до снижения фракции выброса [24, 25]. Кроме того, клиническая применимость Feature-tracking (Strain)<sup>1</sup> продемонстрирована при различных сердечно-сосудистых заболеваниях [26–28]. Показано, что оценка напряжения миокарда ЛЖ с использованием данного метода является чувствительным предиктором его доклинической дисфункции [29, 30].

На показатели деформации миокарда влияют как пол, так и возраст, тем не менее значения циркулярной и продольной деформации от  $-17$  до  $-20\%$ , а также радиальной деформации более  $25-30\%$  считают соответствующими нормальному диапазону [31]. У пациентов с корригированной тетрадой Фалло улучшение показателей глобальной циркулярной и продольной деформации ЛЖ зарегистрировано в течение 6 мес. после транскатетерной имплантации пульмонального клапана [32]. Более того, глобальная продольная деформация ПЖ продемонстрировала связь с клинически значимыми параметрами, включая толерантность к физической нагрузке и потребление кислорода [23]. Эти результаты дополнительно подтверждены в крупном проспективном исследовании, включавшем 372 пациента с корригированной тетрадой Фалло, в котором глобальная циркулярная деформация ЛЖ и глобальная продольная деформация ПЖ независимо предсказывали летальные исходы, внезапную сердечную смерть или документированную желудочковую тахикардию [33, 34]. Кроме того, Т.Д. Моон и соавт. [35] в исследовании типа случай–контроль ( $n=16$ ) показали, что продольная деформация как ПЖ, так и ЛЖ, а также циркулярная деформация являются предикторами желудочковой тахикардии и внезапной сердечной смерти. Подобные результаты получены у 15 пациентов после паллиативного вмешательства по Фонтену: показатели глобальной циркулярной и продольной деформации единственного желудочка коррелировали с функциональным классом NYHA и пиковым потреблением кислорода при кардиопульмональном нагрузочном тесте [36]. Замена клапана лёгочной артерии способствует улучшению функции миокарда у пациентов с тетрадой Фалло, в частности за счёт уменьшения объёмов ПЖ [15]. Однако существуют данные, свидетельствующие о том, что, несмотря на функциональное улучшение, показатели деформации ПЖ продолжают ухудшаться со временем по сравнению с пациентами, не подвергавшимися замене клапана лёгочной артерии [37].

У пациентов с тетрадой Фалло, у которых наблюдали неблагоприятные исходы, значения всех параметров деформации миокарда были статистически значимо ниже, чем у пациентов без таковых, при этом нарушение продольной деформации обоих желудочков демонстрировало наиболее тесную связь с неблагоприятными клиническими исходами [35].

Параметры деформации миокарда (Strain) отражают степень изменения формы сердечной мышцы в процессе её сокращения и расслабления. Они являются важным инструментом для детальной оценки функции сердца, позволяя выявлять субклинические нарушения миокарда, которые могут оставаться незаметными при стандартной оценке фракции выброса.

Различают следующие два вида деформации миокарда. *Продольная деформация* (Longitudinal Strain, LS): отражает укорочение мышечных волокон вдоль длинной оси сердца — от основания к верхушке. У здорового миокарда глобальная продольная деформация имеет отрицательные значения, что связано с физиологическим сокращением и уменьшением длины. Снижение продольной деформации является ранним маркёром дисфункции миокарда и его можно наблюдать при кардиомиопатиях и сердечной недостаточности. Положительные значения рассматривают как признак патологических изменений (например, дилатации). У пациентов с тетрадой Фалло повышенная нагрузка на ПЖ нередко приводит к нарушению его продольной функции, поэтому показатели продольной деформации могут отражать степень адаптационной перестройки миокарда. *Циркулярная деформация* (Circumferential Strain, CS): характеризует укорочение миокарда по окружности сердца [24]. Показатель является ключевым для оценки

сократительной функции левого желудочка (ЛЖ) в поперечном сечении и информативен при гипертрофии, фиброзе или других структурных изменениях [24]. Положительные изменения циркулярной деформации могут свидетельствовать о компенсаторной гипертрофии при повышенной нагрузке. У пациентов с тетрадой Фалло данный параметр служить индикатором адаптации ПЖ к постнагрузке после хирургической коррекции [24].

Параметры деформации миокарда позволяют оценивать функциональное состояние не только ЛЖ, но и ПЖ, что особенно важно для пациентов с тетрадой Фалло, поскольку у них часто возникает необходимость в динамическом контроле за функцией ПЖ после коррекции дефекта [35].

Использование оценки деформации миокарда даёт возможность выявлять субклинические признаки дисфункции, которые могут предшествовать снижению фракции выброса и другим стандартным показателям. Это делает метод особенно ценным для ранней диагностики и своевременного планирования вмешательств [24]. Например, ухудшение продольной деформации ПЖ можно рассматривать в качестве раннего маркера развивающейся правожелудочковой недостаточности ещё до появления симптомов [35].

Кроме того, оценка параметров деформации имеет практическое значение для определения показаний к повторным хирургическим вмешательствам, например к замене клапана лёгочной артерии. Прогрессирующее ухудшение параметров деформации можно рассматривать как предиктор необходимости коррекции, направленной на предотвращение дальнейшего прогрессирования сердечной недостаточности [35].

Оценка деформации с использованием Feature-tracking (Strain)<sup>1</sup> обладает потенциалом повышения точности стратификации риска и прогнозирования сердечно-сосудистых событий у пациентов с системными заболеваниями ещё до появления клинически значимой сердечной дисфункции. Особенно ценным данный метод является в случаях, когда миокардиальная дисфункция субклиническая и остаётся недоступной для выявления традиционными методами визуализации. Следует учитывать, что пациенты с системными заболеваниями, в отличие от пациентов с установленной сердечно-сосудистой патологией, реже подвергаются регулярной кардиовизуализации, в то время как поражение сердца у них может приводить к тяжёлым неблагоприятным исходам. Именно поэтому значимость современных методов визуализации сердца может быть недооценена в этой группе пациентов [38].

## ОГРАНИЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

При планировании и проведении исследования размер выборки для достижения требуемой статистической мощности результатов не рассчитывали. В связи с этим полученная в исследовании выборка участников не может считаться в достаточной степени репрезентативной, что не позволяет экстраполировать полученные результаты и их интерпретацию на генеральную совокупность аналогичных пациентов за пределами исследования.

Отсутствие корреляционной связи между значениями КДО ПЖ и показателями его деформации может быть обусловлено недостаточным количеством анализируемых данных. Требуется дальнейшее исследование с большим количеством пациентов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый анализ данных МРТ 69 пациентов показал статистически значимые различия показателей КДО ПЖ в зависимости от пола, а также между группами пациентов со значением менее и более 150 мл/м<sup>2</sup>. Кроме того, у пациентов с меньшим КДО ПЖ отмечали меньший КСО, что имеет потенциальное клиническое значение для оценки функции ПЖ.

В настоящем исследовании мы выявили статистически значимые изменения параметров деформации миокарда (Strain) у детей после коррекции тетрады Фалло в зависимости от величины КДО ПЖ. В частности, статистически значимые различия циркулярной деформации базальных сегментов ЛЖ указывают на влияние дилатации ПЖ на его сократительную функцию. Полученные результаты подчёркивают диагностическую ценность параметров деформации (Strain) и их потенциал в качестве дополнительного критерия при оценке показаний к замене клапана лёгочной артерии. Таким образом, включение анализа миокардиальной деформации на основе данных МРТ в клиническую практику может повысить точность принятия решений и оптимизировать тактику ведения пациентов после радикальной коррекции тетрады Фалло.



## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** А.М. Кабдуллина, Р.И. Рахимжанова, Т.Б. Даутов, Ж.С. Абдрахманова — концепция и дизайн исследования; А.М. Кабдуллина — статистическая обработка данных, написание черновика рукописи, подготовка графических материалов; А.Б. Садуакасова — сбор и анализ данных, интерпретация результатов; В.Е. Синицин — редактирование окончательного варианта рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

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

**Этическая экспертиза.** Исследование одобрено этическим комитетом Национального исследовательского кардиохирургического центра (разрешение № 01-92/2021 от 22.04.2021). Все пациенты и их законные представители подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании до начала исследования.

**Источники финансирования.** Отсутствуют.

**Раскрытие интересов.** Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

**Оригинальность.** При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения.

**Доступ к данным.** Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима.

**Генеративный искусственный интеллект.** При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

**Рассмотрение и рецензирование.** Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали один внешний рецензент, два члена редакционной коллегии и научный редактор издания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Siripornpitak S, Goo HW. CT and MRI for Repaired Complex Adult Congenital Heart Diseases. *Korean Journal of Radiology*. 2021;22(3):308–323. doi: [10.3348/kjr.2020.0895](https://doi.org/10.3348/kjr.2020.0895) EDN: [JMYZCQ](https://doi.org/10.17816/DD636743)
2. Hsu DT. Chronic Heart Failure in Congenital Heart Disease. In: Shaddy RE, Wernovsky G, editors. *Pediatric Heart Failure*. Boca Raton: CRC Press; 2005. P. 567–588. ISBN: 978-042-907-48-37 doi: [10.1201/b14181](https://doi.org/10.1201/b14181)
3. van der Ven JPG, van den Bosch E, Bogers AJCC, Helbing WA. Current Outcomes and Treatment of Tetralogy of Fallot. *F1000Research*. 2019;8:1530. doi: [10.12688/f1000research.17174.1](https://doi.org/10.12688/f1000research.17174.1) EDN: [RJAMCE](https://doi.org/10.17816/DD636743)
4. Karamlou T, McCrindle BW, Williams WG. Surgery Insight: Late Complications Following Repair of Tetralogy of Fallot and Related Surgical Strategies for Management. *Nature Clinical Practice Cardiovascular Medicine*. 2006;3(11):611–622. doi: [10.1038/ncpcardio0682](https://doi.org/10.1038/ncpcardio0682)
5. Omelchenko AYU, Gorbatykh YuN, Soinov IA, et al. Hemodynamic Parameters and Right Ventricular Function After Radical Correction of Fallot's Tetrad. *Perm Medical Journal*. 2016;33(3):6–17. doi: [10.17816/pmj3336-17](https://doi.org/10.17816/pmj3336-17) EDN: [WCDFLB](https://doi.org/10.17816/DD636743)
6. 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*. 2013;45(2):e6–e12. doi: [10.1093/ejcts/ezt505](https://doi.org/10.1093/ejcts/ezt505)
7. Kim YY, Ruckdeschel E. Approach to Residual Pulmonary Valve Dysfunction in Adults With Repaired Tetralogy of Fallot. *Heart*. 2016;102(19):1520–1526. doi: [10.1136/heartjnl-2015-309067](https://doi.org/10.1136/heartjnl-2015-309067)
8. Singh GK, Greenberg SB, Yap YS, et al. Right Ventricular Function and Exercise Performance Late After Primary Repair of Tetralogy of Fallot With the Transannular Patch in Infancy. *The American Journal of Cardiology*. 1998;81(11):1378–1382. doi: [10.1016/S0002-9149\(98\)00171-4](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(98)00171-4)

9. Schamberger MS, Hurwitz RA. Course of Right and Left Ventricular Function in Patients With Pulmonary Insufficiency After Repair of Tetralogy of Fallot. *Pediatr Cardiol.* 2000;21(3):244–248. doi: [10.1007/s002460010050](https://doi.org/10.1007/s002460010050)
10. Kondo C, Nakazawa M, Kusakabe K, Momma K. Left Ventricular Dysfunction on Exercise Long Term After Total Repair of Tetralogy of Fallot. *Circulation.* 1995;92(9):250–255. doi: [10.1161/01.CIR.92.9.250](https://doi.org/10.1161/01.CIR.92.9.250)
11. Alipour Symakani RS, van Genuchten WJ, Zandbergen LM, et al. The Right Ventricle in Tetralogy of Fallot: Adaptation to Sequential Loading. *Frontiers in Pediatrics.* 2023;11:1098248. doi: [10.3389/fped.2023.1098248](https://doi.org/10.3389/fped.2023.1098248) EDN: [PSERJF](https://doi.org/10.3389/fped.2023.1098248)
12. Oosterhof T, van Straten A, Vliegen HW, et al. Preoperative Thresholds for Pulmonary Valve Replacement in Patients With Corrected Tetralogy of Fallot Using Cardiovascular Magnetic Resonance. *Circulation.* 2007;116(5):545–551. doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.106.659664](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.659664)
13. Lee C, Kim YM, Lee CH, et al. Outcomes of Pulmonary Valve Replacement in 170 Patients With Chronic Pulmonary Regurgitation After Relief of Right Ventricular Outflow Tract Obstruction. *Journal of the American College of Cardiology.* 2012;60(11):1005–1014. doi: [10.1016/j.jacc.2012.03.077](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.03.077)
14. Villafañe J, Feinstein JA, Jenkins KJ, et al. Hot Topics in Tetralogy of Fallot. *Journal of the American College of Cardiology.* 2013;62(23):2155–2166. doi: [10.1016/j.jacc.2013.07.100](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.07.100)
15. Holmes KW. Timing of Pulmonary Valve Replacement in Tetralogy of Fallot Using Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *Journal of the American College of Cardiology.* 2012;60(11):1015–1017. doi: [10.1016/j.jacc.2012.05.026](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2012.05.026)
16. Balzer D. Pulmonary Valve Replacement for Tetralogy of Fallot. *Methodist DeBakey Cardiovascular Journal.* 2019;15(2):122–132. doi: [10.14797/mdcj-15-2-122](https://doi.org/10.14797/mdcj-15-2-122)
17. Toro KD, Soriano BD, Buddhé S. Right Ventricular Global Longitudinal Strain in Repaired Tetralogy of Fallot. *Echocardiography.* 2016;33(10):1557–1562. doi: [10.1111/echo.13302](https://doi.org/10.1111/echo.13302)
18. Murphy JG, Gersh BJ, Mair DD, et al. Long-Term Outcome in Patients Undergoing Surgical Repair of Tetralogy of Fallot. *New England Journal of Medicine.* 1993;329(9):593–599. doi: [10.1056/NEJM199308263290901](https://doi.org/10.1056/NEJM199308263290901)
19. Kilner PJ, Geva T, Kaemmerer H, et al. Recommendations for Cardiovascular Magnetic Resonance in Adults With Congenital Heart Disease From the Respective Working Groups of the European Society of Cardiology. *European Heart Journal.* 2010;31(7):794–805. doi: [10.1093/eurheartj/ehp586](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp586)
20. Wald RM, Haber I, Wald R, et al. Effects of Regional Dysfunction and Late Gadolinium Enhancement on Global Right Ventricular Function and Exercise Capacity in Patients With Repaired Tetralogy of Fallot. *Circulation.* 2009;119(10):1370–1377. doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.108.816546](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.816546)
21. Fratz S, Chung T, Greil GF, et al. Guidelines and Protocols for Cardiovascular Magnetic Resonance in Children and Adults With Congenital Heart Disease: SCMR Expert Consensus Group on Congenital Heart Disease. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance.* 2013;15(1):51. doi: [10.1186/1532-429x-15-51](https://doi.org/10.1186/1532-429x-15-51) EDN: [OGIITW](https://doi.org/10.1186/1532-429x-15-51)
22. Alvarez-Fuente M, Garrido-Lestache E, Fernandez-Pineda L, et al. Timing of Pulmonary Valve Replacement: How Much Can the Right Ventricle Dilate Before it Loses Its Remodeling Potential? *Pediatric Cardiology.* 2015;37(3):601–605. doi: [10.1007/s00246-015-1320-4](https://doi.org/10.1007/s00246-015-1320-4) EDN: [DKVMWI](https://doi.org/10.1007/s00246-015-1320-4)
23. Kempny A, Fernández-Jiménez R, Orwat S, et al. Quantification of Biventricular Myocardial Function Using Cardiac Magnetic Resonance Feature Tracking, Endocardial Border Delineation and Echocardiographic Speckle Tracking in Patients With Repaired Tetralogy of Fallot and Healthy Controls. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance.* 2012;14(1):25. doi: [10.1186/1532-429X-14-32](https://doi.org/10.1186/1532-429X-14-32) EDN: [UPVGOB](https://doi.org/10.1186/1532-429X-14-32)
24. Smiseth OA, Torp H, Opdahl A, et al. Myocardial Strain Imaging: How Useful is it in Clinical Decision Making? *European Heart Journal.* 2015;37(15):1196–1207. doi: [10.1093/eurheartj/ehv529](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv529)
25. Li VW, Yu CK, So EK, et al. Ventricular Myocardial Deformation Imaging of Patients with Repaired Tetralogy of Fallot. *Journal of the American Society of Echocardiography.* 2020;33(7):788–801. doi: [10.1016/j.echo.2020.03.017](https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.03.017) EDN: [VIEMFR](https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.03.017)
26. Buss SJ, Breuninger K, Lehrke S, et al. Assessment of Myocardial Deformation With Cardiac Magnetic Resonance Strain Imaging Improves Risk Stratification in Patients With Dilated Cardiomyopathy. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging.* 2014;16(3):307–315. doi: [10.1093/ehjci/jeu181](https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu181)

27. Padiyath A, Gribben P, Abraham JR, et al. Echocardiography and Cardiac Magnetic Resonance-Based Feature Tracking in the Assessment of Myocardial Mechanics in Tetralogy of Fallot: An Intermodality Comparison. *Echocardiography*. 2012;30(2):203–210. doi: [10.1111/echo.12016](https://doi.org/10.1111/echo.12016)

28. Schuster A, Paul M, Bettencourt N, et al. Cardiovascular Magnetic Resonance Myocardial Feature Tracking for Quantitative Viability Assessment in Ischemic Cardiomyopathy. *International Journal of Cardiology*. 2013;166(2):413–420. doi: [10.1016/j.ijcard.2011.10.137](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2011.10.137)

29. Jafari F, Safaei AM, Hosseini L, et al. The Role of Cardiac Magnetic Resonance Imaging in the Detection and Monitoring of Cardiotoxicity in Patients With Breast Cancer After Treatment: A Comprehensive Review. *Heart Failure Reviews*. 2020;26(3):679–697. doi: [10.1007/s10741-020-10028-y](https://doi.org/10.1007/s10741-020-10028-y) EDN: [ZZGCYR](https://doi.org/10.1007/s10741-020-10028-y)

30. Rezaeian N, Mohtasham MA, Khaleel AJ, et al. Comparison of Global Strain Values of Myocardium in Beta-Thalassemia Major Patients With Iron Load Using Specific Feature Tracking in Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*. 2020;36(7):1343–1349. doi: [10.1007/s10554-020-01835-3](https://doi.org/10.1007/s10554-020-01835-3) EDN: [RILEMT](https://doi.org/10.1007/s10554-020-01835-3)

31. Muser D, Castro SA, Santangeli P, Nucifora G. Clinical applications of feature-tracking cardiac magnetic resonance imaging. *World Journal of Cardiology*. 2018;10(11):210–221. doi: [10.4330/wjc.v10.i11.210](https://doi.org/10.4330/wjc.v10.i11.210)

32. Harrild DM, Marcus E, Hasan B, et al. Impact of Transcatheter Pulmonary Valve Replacement on Biventricular Strain and Synchrony Assessed by Cardiac Magnetic Resonance Feature Tracking. *Circulation: Cardiovascular Interventions*. 2013;6(6):680–687. doi: [10.1161/CIRCINTERVENTIONS.113.000690](https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.113.000690)

33. Orwat S, Diller GP, Kempny A, et al; for the German Competence Network for Congenital Heart Defects Investigators. Myocardial Deformation Parameters Predict Outcome in Patients With Repaired Tetralogy of Fallot. *Heart*. 2015;102(3):209–215. doi: [10.1136/heartjnl-2015-308569](https://doi.org/10.1136/heartjnl-2015-308569)

34. Hagdorn QAJ, Vos JDL, Beurskens NEG, et al. CMR Feature Tracking Left Ventricular Strain-Rate Predicts Ventricular Tachyarrhythmia, but not Deterioration of Ventricular Function in Patients With Repaired Tetralogy of Fallot. *International Journal of Cardiology*. 2019;295:1–6. doi: [10.1016/j.ijcard.2019.07.097](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2019.07.097)

35. Moon TJ, Choueiter N, Geva T, et al. Relation of Biventricular Strain and Dyssynchrony in Repaired Tetralogy of Fallot Measured by Cardiac Magnetic Resonance to Death and Sustained Ventricular Tachycardia. *The American Journal of Cardiology*. 2015;115(5):676–680. doi: [10.1016/j.amjcard.2014.12.024](https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2014.12.024)

36. Kutty S, Rangamani S, Venkataraman J, et al. Reduced Global Longitudinal And Radial Strain With Normal Left Ventricular Ejection Fraction Late After Effective Repair of Aortic Coarctation - a CMR Feature Tracking Study. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2012;14(S1):O59. doi: [10.1186/1532-429X-14-S1-O59](https://doi.org/10.1186/1532-429X-14-S1-O59)

37. Monti CB, Secchi F, Capra D, et al. Right Ventricular Strain in Repaired Tetralogy of Fallot With Regards to Pulmonary Valve Replacement. *European Journal of Radiology*. 2020;131:109235. doi: [10.1016/j.ejrad.2020.109235](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109235) EDN: [HICZNU](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109235)

38. Pezeshki PS, Ghorashi SM, Houshmand G, et al. Feature Tracking Cardiac Magnetic Resonance Imaging to Assess Cardiac Manifestations of Systemic Diseases. *Heart Failure Reviews*. 2023;28(5):1189–1199. doi: [10.1007/s10741-023-10321-6](https://doi.org/10.1007/s10741-023-10321-6) EDN: [ZGNHLM](https://doi.org/10.1007/s10741-023-10321-6)

## ОБ АВТОРАХ/ AUTHORS' INFO

| Автор, ответственный за переписку:                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>* Кабдуллина Ажар Муслимкановна</b> ,<br>адрес: Казахстан, 01000, Астана,<br>ул. Бейбитшилик, д. 49А;<br>ORCID: 0000-0003-0521-5484;<br>eLibrary SPIN: 4169-1761;<br>e-mail: <a href="mailto:azharazh@mail.ru">azharazh@mail.ru</a> | <b>* Azhar M. Kabdullina</b> , MD, Ph.D.;<br>address: 49A Beybitshilik st, Astana,<br>Kazakhstan, 01000;<br>ORCID: 0000-0003-0521-5484;<br>eLibrary SPIN: 4169-1761;<br>e-mail: <a href="mailto:azharazh@mail.ru">azharazh@mail.ru</a> |
| <b>Синицын Валентин Евгеньевич</b> , д-р мед.<br>наук, профессор;<br>ORCID: 0000-0002-5649-2193;<br>eLibrary SPIN: 8449-6590;<br>e-mail: <a href="mailto:vsini@mail.ru">vsini@mail.ru</a>                                              | <b>Valentin E. Sinitsyn</b> , MD, Dr. Sci. (Medicine),<br>Professor;<br>ORCID: 0000-0002-5649-2193;<br>eLibrary SPIN: 8449-6590;<br>e-mail: <a href="mailto:vsini@mail.ru">vsini@mail.ru</a>                                           |

|                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Рахимжанова Раушан Ибжановна</b> , д-р мед. наук, профессор;<br>ORCID: 0000-0002-3490-6324;<br>e-mail: rakhimzhanova01@rambler.ru                          | <b>Raushan I. Rakhimzhanova</b> , MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;<br>ORCID: 0000-0002-3490-6324;<br>e-mail: rakhimzhanova01@rambler.ru                         |
| <b>Даутов Таирхан Бекполатович</b> , д-р мед. наук, профессор;<br>ORCID: 0000-0002-5267-0108;<br>eLibrary SPIN: 8632-6605;<br>e-mail: tairkhan.dautov@mail.ru | <b>Tairkhan B. Dautov</b> , MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;<br>ORCID: 0000-0002-5267-0108;<br>eLibrary SPIN: 8632-6605;<br>e-mail: tairkhan.dautov@mail.ru |
| <b>Абдрахманова Жанар Сагатпековна</b> , д-р мед. наук, профессор;<br>ORCID: 0000-0002-1890-0862;<br>e-mail: zhanna-ayan74@mail.ru                            | <b>Zhanar S. Sagatpekova</b> , MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;<br>ORCID: 0000-0002-1890-0862;<br>e-mail: zhanna-ayan74@mail.ru                             |
| <b>Садуакасова Айгуль Болатовна</b> , д-р мед. наук;<br>ORCID: 0000-0001-7089-5696;<br>e-mail: sadik.a@mail.ru                                                | <b>Aigul B. Saduakassova</b> , MD, Dr. Sci. (Medicine);<br>ORCID: 0000-0001-7089-5696;<br>e-mail: sadik.a@mail.ru                                              |

## ТАБЛИЦЫ

Таблица 1. Характеристики выборки (n=69)

| Характеристика                                                                  | Значение   |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Возраст, лет                                                                    | 11±4       |
| Градиент давления между правым желудочком и лёгочной артерией, мм рт. ст.       | 19,7±13,7  |
| Концентрация N-концевого пропептида мозгового натрийуретического гормона, пг/мл | 186±196,2  |
| Конечный диастолический объём правого желудочка, мл/м <sup>2</sup>              | 130,1±24,9 |
| Конечный диастолический объём правого желудочка <150 мл/м <sup>2</sup> , n (%)  | 52 (75)    |
| Конечный диастолический объём правого желудочка ≥150 мл/м <sup>2</sup> , n (%)  | 17 (25)    |
| Конечный систолический объём правого желудочка, мл/м <sup>2</sup>               | 68,5±60,3  |
| Фракция выброса правого желудочка, %                                            | 52,5±7,4   |
| Конечный диастолический объём левого желудочка, мл/м <sup>2</sup>               | 72,9±14,5  |
| Конечный систолический объём левого желудочка, мл/м <sup>2</sup>                | 28±8,3     |
| Фракция выброса левого желудочка, %                                             | 62,2±5,7   |

Примечание. Количественные данные представлены в виде M±SD, где M — среднее значение, а SD — стандартное отклонение.

Таблица 2. Сравнительный анализ основных характеристик пациентов в группах в зависимости от конечного диастолического объёма правого желудочка

| Характеристика                                                                  | 1-я группа, n=52 | 2-я группа, n=17 | p      |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|--------|
| Возраст, лет                                                                    | 11±3             | 10±4             | 0,518  |
| Пол (девочки/мальчики), n (%)                                                   | 21 (40)/31 (50)  | 3 (18)/14 (82)   | 0,075  |
| Градиент давления между правым желудочком и лёгочной артерией, мм рт. ст.       | 18,5±12,5        | 23,5±16,6        | 0,379  |
| Концентрация N-концевого пропептида мозгового натрийуретического гормона, пг/мл | 174,1±195,2      | 222,7±200,7      | 0,201  |
| Конечный систолический объём правого желудочка, мл/м <sup>2</sup>               | 56,9±19,1        | 103,9±111,9      | <0,001 |
| Фракция выброса правого желудочка, %                                            | 52,5±7,5         | 52,2±7,4         | 0,839  |
| Конечный диастолический объём левого желудочка, мл/м <sup>2</sup>               | 72,1±16,1        | 75,3±7,7         | 0,129  |
| Конечный систолический объём левого желудочка, мл/м <sup>2</sup>                | 27,9±8,9         | 28,1±5,9         | 0,626  |
| Фракция выброса левого желудочка, %                                             | 62,1±5,5         | 62,5±6,2         | 0,829  |

Примечание. Количественные данные представлены в виде M±SD, где M — среднее значение, а SD — стандартное отклонение.

Таблица 3. Сравнение показателей деформации левого желудочка в группах в зависимости от конечного диастолического объёма правого желудочка

| Область левого желудочка                     | 1-я группа, n=52 | 2-я группа, n=17 | p     |
|----------------------------------------------|------------------|------------------|-------|
| Пиковая глобальная циркулярная деформация, % | -21,2±3,5        | -20,6±1,5        | 0,326 |
| Глобальная продольная деформация, %          | -14,1±3,5        | -14,9±3,7        | 0,531 |
| Циркулярная деформация, %                    |                  |                  |       |
| Базальные сегменты                           |                  |                  |       |
| Передний                                     | -24,2±7,7        | -25,1±4,8        | 0,411 |
| Переднеперегородочный                        | -23,2±5,8        | -16,7±8,4        | 0,003 |
| Нижнеперегородочный                          | -22,1±6,8        | -24,8±6,3        | 0,101 |
| Нижний                                       | -10,8±5,2        | -7,8±6,8         | 0,014 |
| Нижнебоковой                                 | -20,4±4,7        | -21,2±4,2        | 0,384 |
| Переднебоковой                               | -23,6±5,8        | -23,8±2,9        | 0,733 |
| Все базальные сегменты                       | -20,7±2,9        | -9,8±1,6         | 0,159 |
| Средние сегменты                             |                  |                  |       |
| Передний                                     | -20,6±7,2        | -20,1±5,9        | 0,950 |
| Переднеперегородочный                        | -26,6±5,4        | -23,5±6,2        | 0,144 |
| Нижнеперегородочный                          | -24,6±5,4        | -23,5±5,1        | 0,671 |
| Нижний                                       | -8,7±5,4         | -6,6±4,3         | 0,139 |
| Нижнебоковой                                 | -22,1±5,3        | -22,3±3,9        | 0,734 |
| Переднебоковой                               | -20,3±5,4        | -20,3±5,4        | 0,906 |
| Все средние сегменты                         | -20,5±3,5        | -19,4±1,8        | 0,101 |
| Апикальные сегменты                          |                  |                  |       |
| Передний                                     | -19,3±7,1        | -18,7±5,1        | 0,686 |
| Перегородочный                               | -30,4±6,7        | -30,9±5,3        | 0,797 |
| Нижний                                       | -15,5±7,2        | -14,8±5,5        | 0,587 |
| Боковой                                      | -24,6±6,6        | -26,1±5,8        | 0,256 |
| Все апикальные сегменты                      | -22,4±5,5        | -22,6±3,5        | 0,967 |
| Продольная деформация, %                     |                  |                  |       |
| Базальные сегменты                           |                  |                  |       |
| Нижнеперегородочный                          | -17,7±8,1        | -20,4±9,8        | 0,407 |
| Переднебоковой                               | -21,2±8,3        | -20,7±7,2        | 0,972 |



|                            |           |           |       |
|----------------------------|-----------|-----------|-------|
| <b>Средние сегменты</b>    |           |           |       |
| Нижнеперегородочный        | -13,7±8,1 | -16,6±9,2 | 0,268 |
| Переднебоковой             | -16,9±7,9 | -16,1±6,1 | 0,901 |
| <b>Апикальные сегменты</b> |           |           |       |
| Перегородочный             | -17,4±8,1 | -17,6±4,8 | 0,873 |
| Боковой                    | -12,7±5,5 | -14,8±6,2 | 0,228 |
| Верхушка                   | -2,79±7,8 | -3,31±7,1 | 0,895 |

Примечание. Количественные данные представлены в виде M±SD, где M — среднее значение, а SD — стандартное отклонение.

**Таблица 4.** Сравнение параметров деформации правого желудочка в группах в зависимости от его конечного диастолического объема

| Область правого желудочка            | 1-я группа, n=52 | 2-я группа, n=17 | p     |
|--------------------------------------|------------------|------------------|-------|
| Глобальная циркулярная деформация, % | -17,1±3,8        | -16,9±3,9        | 0,728 |
| Глобальная продольная деформация, %  | -17,5±3,2        | -17,9±3,9        | 0,268 |
| <i>Циркулярная деформация, %</i>     |                  |                  |       |
| Боковая стенка                       | -18,2±3,9        | -18,1±4,1        | 0,722 |
| Перегородочная часть                 | -17,7±4,1        | -17,2±3,7        | 0,813 |
| <i>Продольная деформация, %</i>      |                  |                  |       |
| Боковая стенка                       | -20,4±3,5        | -20,5±4,1        | 0,728 |
| Перегородочная часть                 | -15,4±3,2        | -16,1±4,3        | 0,573 |

Примечание. Количественные данные представлены в виде M±SD, где M — среднее значение, а SD — стандартное отклонение.

## РИСУНКИ

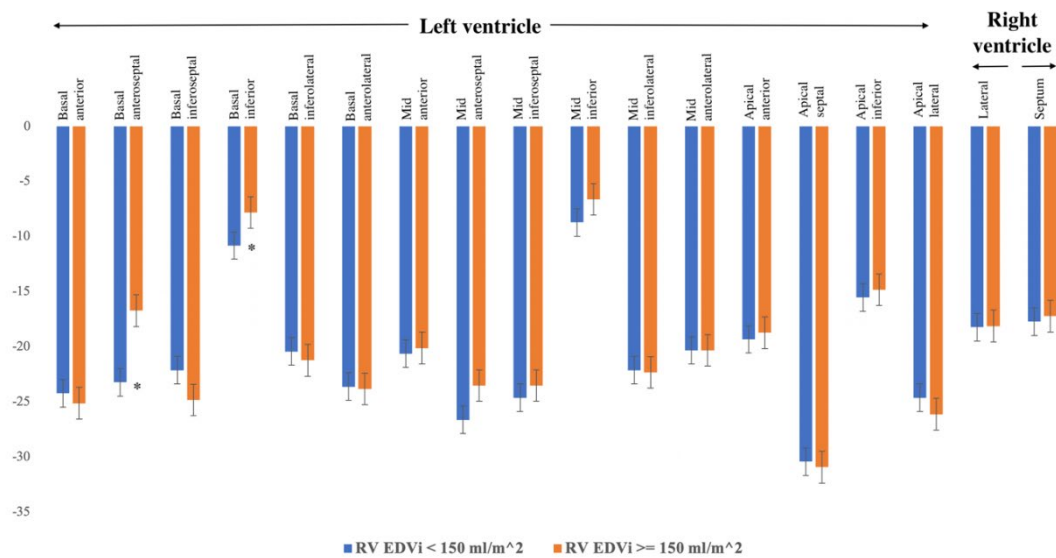


Рис. 1. Циркулярная деформация обоих желудочков.

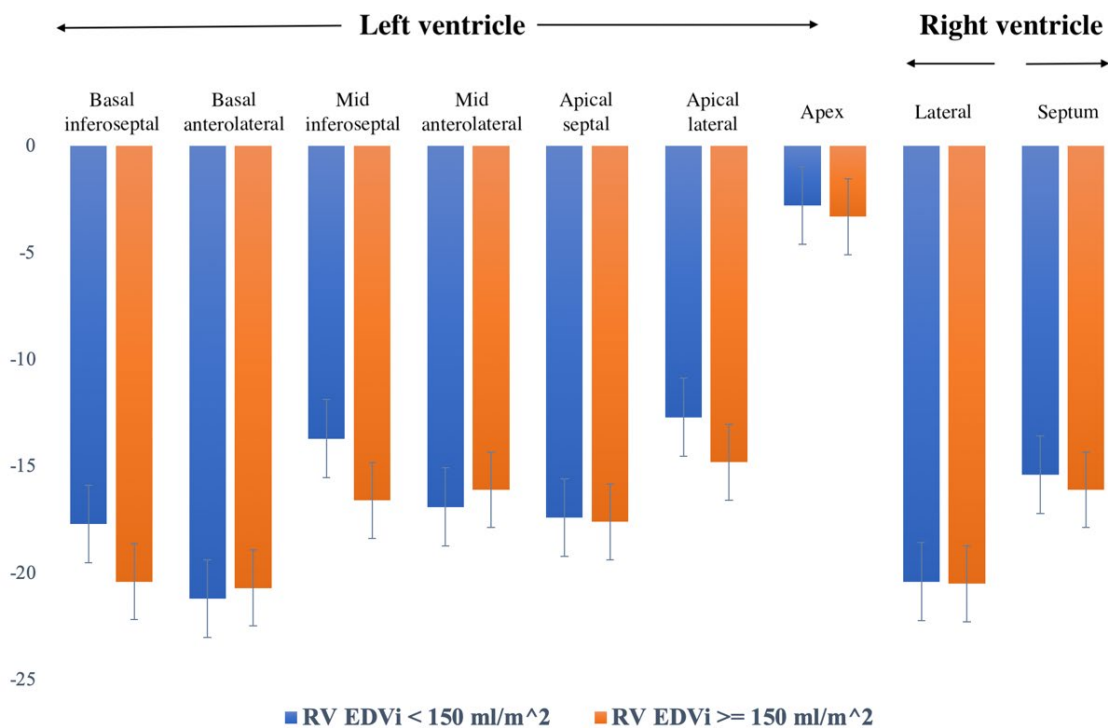


Рис. 2. Продольная деформация обоих желудочков.