

Влияние транскатетерной пластики митрального клапана "край-в-край" у пациентов с тяжелой митральной недостаточностью на динамику показателей миокардиальной работы левого желудочка

Макеев М. И., Саидова М. А., Имаев Т. Э.

Цель. Изучить динамику сократительной функции левого желудочка (ЛЖ) у пациентов с тяжелой недостаточностью митрального клапана (МК) с оценкой показателей глобальной продольной деформации (GLS) и работы миокарда ЛЖ на фоне транскатетерной пластики МК "край-в-край" (ТПМК) в течение 12 мес. наблюдения.

Материал и методы. В исследование включено 43 пациента с тяжелой митральной регургитацией (МР): 23 пациента функционального генеза (ФМР), 20 пациентов дегенеративного генеза (ДМР). Комплексное эхокардиографическое исследование, включая технологию спекл-трекинг эхокардиографии, выполнялось исходно, через 4-5 дней, 6 и 12 мес. после ТПМК. Проводилась оценка стандартных показателей структурно-функционального состояния ЛЖ, GLS ЛЖ и параметров работы миокарда.

Результаты. Ранний послеоперационный период (на 4-5 сут.) характеризовался снижением глобальной конструктивной работы (GCW) в группе ФМР с 977 [684; 1253] до 857 [736; 1488] мм рт.ст.% ($p=0,038$); в группе ДМР с 1458 [1283; 1848] до 1350 [1010; 1488] мм рт.ст.% ($p=0,011$), увеличением глобальной потерянной работы (GWW) в группе ФМР с 177 [130; 280] до 336 [242; 388] мм рт.ст.% ($p=0,004$); в группе ДМР с 128 [81; 172] до 216 [164; 279] мм рт.ст.% ($p=0,043$), что сопровождалось снижением эффективности работы миокарда в группе ФМР с 81,5 [77; 87] до 76 [73; 79]% ($p=0,021$); в группе ДМР с 90 [85; 93] до 82 [79; 85]% ($p=0,018$). К 12 мес. наблюдения отмечалось достоверное увеличение GCW относительно исходных значений в обеих когортах больных: до 1128 [890; 1711] мм рт.ст.% в группе ФМР ($p=0,048$); до 1818 [1478; 2034] мм рт.ст.% в группе ДМР ($p<0,001$). Увеличение GWW в группе ФМР до 255 [214; 363] мм рт.ст.% ($p=0,024$), в группе ДМР до 230 [140; 270] мм рт.ст.% ($p=0,043$). Достоверной положительной динамики GLS ЛЖ в обеих группах выявлено не было.

Заключение. Ранний послеоперационный период после ТПМК характеризовался временным ухудшением всех показателей работы миокарда ЛЖ, которые восстанавливались к 6 и 12 мес. наблюдения. Восстановление эффективности работы миокарда к одному году наблюдения отмечалось за счет увеличения GCW. Глобальная продольная деформация миокарда и фракция выброса ЛЖ достоверно не изменялись к 1 году наблюдения по сравнению с исходными значениями.

Ключевые слова: эхокардиография, работа миокарда, миокардиальная работа, митральная недостаточность, транскатетерная пластика митрального клапана, MitraClip.

Отношения и деятельность: нет.

ID исследования: ClinicalTrials.gov Identifier: NCT04350372.

ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. акад. Е. И. Чазова Минздрава России, Москва, Россия.

Макеев М. И.* — врач ультразвуковой диагностики отделения ультразвуковой диагностики НИИ Клинической кардиологии им. А. Л. Мясникова, ORCID: 0000-0002-4779-5088, Саидова М. А. — д.м.н., профессор, руководитель отдела ультразвуковых методов исследования НИИ Клинической кардиологии им. А. Л. Мясникова, ORCID: 0000-0002-3233-1862, Имаев Т. Э. — д.м.н., г.н.с. отдела сердечно-сосудистой хирургии НИИ клинической кардиологии им. А. Л. Мясникова, ORCID: 0000-0002-5736-5698.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): makeevm@yandex.ru

ДМР — дегенеративная митральная регургитация, ЛЖ — левый желудочек, МК — митральный клапан, МР — митральная регургитация, ТПМК — транскатетерная пластика митрального клапана, ФВ — фракция выброса, ФМР — функциональная митральная регургитация, ЭхоКГ — эхокардиография, GCW — глобальная конструктивная работа, GLS — глобальная продольная деформация, GWI — индекс глобальной работы, GWE — эффективность глобальной работы, GWW — глобальная потерянная работа.

Рукопись получена 09.10.2023

Рецензия получена 10.02.2024

Принята к публикации 10.03.2024



Для цитирования: Макеев М. И., Саидова М. А., Имаев Т. Э. Влияние транскатетерной пластики митрального клапана "край-в-край" у пациентов с тяжелой митральной недостаточностью на динамику показателей миокардиальной работы левого желудочка. *Российский кардиологический журнал*. 2024;29(4):5634. doi: 10.15829/1560-4071-2024-5634. EDN MCLAWO

Influence of mitral transcatheter edge-to-edge repair in patients with severe mitral regurgitation on left ventricle function

Makeev M. I., Saidova M. A., Imaev T. E.

Aim. To study the changes of left ventricular (LV) contractile function in patients with severe mitral valve (MV) insufficiency with assessment of global longitudinal strain (GLS) indicators and LV myocardial function after the mitral transcatheter edge-to-edge repair (TEER) within 12-month follow-up.

Material and methods. The study consisted of 43 patients with severe mitral regurgitation (MR) as follows: 23 patients with functional MR (FMR), 20 patients with degenerative MR (DMR). A comprehensive echocardiographic study, including speckle tracking echocardiography, was performed at baseline, 4-5 days, 6 and 12 months after TEER. Standard structural and functional indicators of the LV, LV GLS and myocardial performance parameters were assessed.

Results. The early postoperative period (4-5 days) was characterized by a decrease in global constructive work (GCW) (FMR group — from 977 [684; 1253]

to 857 [736; 1488] mm Hg%, ($p=0,038$); DMR group — from 1458 [1283; 1848] to 1350 [1010; 1488] mm Hg% ($p=0,011$), an increase in global wasted work (GWW) (FMR group — from 177 [130; 280] to 336 [242; 388] mm Hg% ($p=0,004$); DMR group — from 128 [81; 172] to 216 [164; 279] mm Hg% ($p=0,043$)), which was accompanied by a decrease in myocardial efficiency (FMR group — from 81,5 [77; 87] to 76 [73; 79]%, ($p=0,021$); DMR group — from 90 [85; 93] to 82 [79; 85]%, ($p=0,018$)). After 12-month follow-up, there was a significant increase in GCW relative to the initial values in both cohorts of patients as follows: FMR group — to 1128 [890; 1711] mm Hg% ($p=0,048$); DMR group — to 1818 [1478; 2034] mm Hg% ($p<0,001$). There was also an increase in GWW in the FMR group to 255 [214; 363] mm Hg% ($p=0,024$) and in the DMR group to 230 [140; 270] mm Hg% ($p=0,043$). There were no significant improvement of LV GLS in both groups.

Conclusion. The early postoperative period after TEER was characterized by a temporary deterioration in all LV performance parameters, which recovered by 6 and 12 months of follow-up. Myocardial function restoration by one year of follow-up was noted due to an increase in GCW. LV GLS and ejection fraction did not change significantly by 1 year of follow-up compared to baseline values.

Keywords: echocardiography, myocardial function, myocardial work, mitral regurgitation, mitral transcatheter repair, MitraClip.

Relationships and Activities: none.

Trial ID: ClinicalTrials.gov Identifier: NCT04350372.

Chazov National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russia.

Makeev M.I.* ORCID: 0000-0002-4779-5088, Saidova M.A. ORCID: 0000-0002-3233-1862, Imaev T.E. ORCID: 0000-0002-5736-5698.

*Corresponding author:
makeevmax@yandex.ru

Received: 03.10.2023 **Revision Received:** 10.02.2024 **Accepted:** 10.03.2024

For citation: Makeev M.I., Saidova M.A., Imaev T.E. Influence of mitral transcatheter edge-to-edge repair in patients with severe mitral regurgitation on left ventricle function. *Russian Journal of Cardiology*. 2024;29(4):5634. doi: 10.15829/1560-4071-2024-5634. EDN MCLAWO

Ключевые моменты

- С помощью новой эхокардиографической технологии проведен анализ показателей работы миокарда у пациентов с тяжелой митральной недостаточностью на фоне транскатетерной пластики митрального клапана "край-в-край" в раннем и отдаленном периоде наблюдения.
- Выявлено ухудшение всех показателей работы миокарда в раннем послеоперационном периоде с последующим их улучшением к 6 мес. наблюдения.
- Успешно проведенная транскатетерная пластика митрального клапана "край-в-край" опосредованно оказывает положительное влияние на функциональное состояние миокарда левого желудочка через 12 мес. после вмешательства.

Оценка сократительной функции левого желудочка (ЛЖ) является одной из важных задач у пациентов с тяжелой митральной недостаточностью, которым планируется коррекция клапанного порока сердца. Традиционным и наиболее изученным показателем является фракция выброса (ФВ), измеренная в двух плоскостях с использованием метода дисков [1]. На сегодняшний момент данный параметр является определяющим при принятии решения, особенно, у пациентов с функциональным генезом митральной регургитации (МР) [2]. Однако было показано, что у пациентов с хронической недостаточностью митрального клапана (МК) ФВ может неточно отражать истинную сократимость ЛЖ [3] и, как правило, переоценивается. Необходимо принять во внимание, что данный показатель рассчитывается из величин диастолического и систолического объемов ЛЖ, не учитывает объем крови, выбрасываемый в полость с меньшим давлением — левое предсердие, и не способствует поддержке нормального антеградного ударного объема. Вместе с тем стратификация паци-

Key messages

- Using novel echocardiographic technology, an analysis of myocardial performance parameters was carried out in patients with severe mitral regurgitation after mitral transcatheter edge-to-edge repair in the early and long-term period of observation.
- A deterioration in all myocardial function parameters was revealed in the early postoperative period, followed by their improvement by 6 months of follow-up.
- Successfully performed mitral transcatheter edge-to-edge repair indirectly has a positive effect on left ventricular function 12 months after the intervention.

ентов по ФВ ЛЖ из исследований COAPT и MITRA FR не выявила пациентов с максимальной выгодой после транскатетерной пластики МК "край-в-край" (ТПМК). Глобальная продольная деформация (GLS) ЛЖ, оцениваемая с помощью технологии спекл-трекинг эхокардиографии (ЭхоКГ), оказалась более чувствительной к изменениям механики ЛЖ, чем ФВ ЛЖ и была связана со смертностью от всех причин у пациентов с тяжелой МР [4, 5]. Однако GLS не учитывает влияние постнагрузки на ЛЖ, которой отводится немалая роль в прогрессировании МР [6]. Потому перспективным представляется изучение нового метода оценки сократительной функции ЛЖ на основе построения кривой давление-деформация и расчета показателей глобальной работы миокарда. Этот подход позволяет провести детальную оценку сегментарной и глобальной функции ЛЖ, учитывая постнагрузку, а также оценить влияние ТПМК на механику и энергетику миокарда ЛЖ как в раннем послеоперационном периоде, так и спустя время после вмешательства. В физическом смысле работа определяется как сила, приложенная на перемещение объекта, в то время как работа миокарда в эхо-

кардиографическом выражении рассчитывается как внутрижелудочковое давление, приложенное к деформации [7]. Данный метод уже изучен у пациентов с различной нозологией, в т.ч. с ишемической болезнью сердца, сердечной недостаточностью, как на фоне ресинхронизирующей терапии, так и модуляции сердечной сократимости [8-10]. Однако у пациентов с тяжелой митральной недостаточностью, особенно, на фоне ТПМК, в литературе такие работы единичны.

Цель: изучить динамику показателей сократительной функции ЛЖ у пациентов с симптомной тяжелой недостаточностью МК с оценкой GLS и показателей миокардиальной работы ЛЖ на фоне длительного наблюдения после ТПМК.

Материал и методы

Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы, зарегистрированной в международном реестре клинических исследований Национального института здоровья США (ClinicalTrials.gov Identifier: NCT04350372) и клинической апробации (2020-5-16_ФГБУ_НМИЦ_Кардиологии), проведено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской декларации. Протокол научно-исследовательской работы одобрен этическим комитетом, номер протокола 248 от 24.07.2019. Все пациенты подписали информированное согласие до включения в исследование. Проспективно включено 43 пациента с тяжелой и симптомной выраженной МР (≥ 3 степени) высокого хирургического риска. Критериями исключения являлись сопутствующий клапанный порок сердца, требующий хирургического вмешательства, в т.ч. митральный и аортальный стеноз любой степени выраженности, ФВ ЛЖ $< 30\%$, техническая невозможность проведения ТПМК, отказ пациента от вмешательства. Трансторакальная ЭхоКГ выполнялась на ультразвуковом приборе экспертного уровня Vivid E9, (GE, Норвегия) с использованием матричного датчика M5S-D в положении пациента на левом боку с одномоментной электрокардиографией-синхронизацией во II модифицированном отведении.

Методика оценки работы миокарда ЛЖ основывалась на построении петли "давление-деформация", для чего проводилось измерение артериального давления на правом плече в положении лежа на спине в начале исследования автоматическим сфигмоманометром Little Doctor LD51U, предварительно прошедшим сравнение с эталонным тонометром в профильной лаборатории, и записывались двумерные серошкальные изображения в стандартных четырех-, двух- и трехкамерных проекциях при частоте кадров > 60 кадр/с. Постобработка осуществлялась в авто-

Таблица 1

Клинико-демографическая характеристика пациентов

Показатель	Количество пациентов (N=43)
Возраст (лет)	73 [64; 82]
Пол (мужчины/женщины), абс., %	25 (58,1)/18 (41,9)
Генез МР (ФМР/ДМР), абс. (%)	23 (53,5)/20 (46,5)
ГБ, абс. (%)	30 (69,8)
ФП, абс. (%)	31 (58,1)
ИБС, ПИКС, абс. (%)	25 (65,1), 23 (53,5)
КШ, абс. (%)	10 (23,3)
ИВСУ, абс. (%)	12 (27,9)

Сокращения: ГБ — гипертоническая болезнь, ДМР — дегенеративная митральная регургитация, ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИВСУ — имплантированные внутрисердечные устройства, КШ — коронарное шунтирование, МР — митральная регургитация, ПИКС — постинфарктный кардиосклероз, ФМР — функциональная митральная регургитация, ФП — фибрилляция предсердий.

номном режиме на рабочей станции EchoPac (Version 206, GE Medical Health). GLS ЛЖ оценивалась в трех проекциях полуавтоматически с помощью программного обеспечения AFI, при необходимости корректировалась граница эндокард-кровь и ширина зоны интереса. Работа миокарда определялась как функция времени на протяжении всего кардиоцикла по записям деформации и расчетного давления в ЛЖ, приравненного к среднему значению трехкратного измерения на плечевой артерии. Автоматически строилась кривая давления ЛЖ с коррекцией временных интервалов изоволюмической фазы и фазы выброса. Рассчитывались следующие значения работы миокарда ЛЖ: индекс глобальной работы (GWI, global work index) — работа, которую совершает ЛЖ за период времени от закрытия до открытия МК, соответствует площади петли давление-деформация; глобальная конструктивная работа (GCW, global constructive work) — работа, затрачиваемая на укорочение волокон в систолу и удлинение во время изоволюмического расслабления; глобальная потерянная работа (GWW, global wasted work) — работа, выполняемая во время удлинения волокон в систолу и укорочения при изоволюметрическом расслаблении; эффективность глобальной работы (GWE, global work efficiency) — отношение конструктивной работы к сумме конструктивной и потерянной работ.

Статистический анализ данных проведен с использованием программ Statistica 10 (StatSoft Inc., США), StatTech v. 3.1.3 (ООО "Статтех", Россия). Качественные величины представлены как абсолютные значения (n) и процент от выборки. Распределение выборки оценивалось с помощью критерия Шапиро-Уилка. Количественные величины представлены как медиана и квартили — Me [Q1; Q3]. Степень МР представлена как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение. При анализе количественных ве-

Таблица 2

Исходные ЭхоКГ данные в изучаемых группах

Показатель	ФМП (n=23)	ДМП (n=20)	p-value
КДО ЛЖ, мл	211 [125; 222]	140 [102; 163]	0,019
КСО ЛЖ, мл	127 [63; 154]	61 [37; 73]	0,003
ФВ ЛЖ, %	40 [33; 50]	52 [50; 62]	<0,001
Степень МР	3,3±0,45	3,7±0,54	0,007
GLS ЛЖ, %	-10,1 [-12,5; -7,5]	-15,5 [-17,7; -13,8]	0,003

Примечание: p<0,05. Степень МР представлена как среднее значение ± стандартное отклонение.

Сокращения: ДМП — дегенеративная митральная регургитация, КДО — конечный диастолический объем, КСО — конечный систолический объем, ЛЖ — левый желудочек, МР — митральная регургитация, ФВ — фракция выброса, ФМП — функциональная митральная регургитация, GLS — глобальная продольная деформация.

личин использовались U-критерий Манна-Уитни, Уилкоксона. При сравнении трех и более зависимых совокупностей использовался непараметрический критерий Фридмана с апостериорными сравнениями с помощью критерия Коновера-Имана с поправкой Холма-Бонферрони. Статистически значимыми считались различия при p<0,05.

Результаты

В таблице 1 представлена клинико-демографическая характеристика пациентов.

Дооперационное ЭхоКГ исследование проводилось на фоне максимально возможной компенсации сердечной недостаточности. Исходные значения изучаемых показателей представлены в таблицах 2 и 3.

Пациенты были разделены на две группы по генезу митральной недостаточности: функционального генеза (ФМП) и дегенеративного генеза (ДМП). При сравнении исходных показателей выявлены статистически значимые различия объемных показателей и ФВ ЛЖ между группами. GLS была достоверно выше в когорте ДМП: -15,5 [-17,7; -13,8]% vs -10,1 [-12,5; -7,5]% в группе ФМП, p=0,003. Степень митральной недостаточности также преобладала у пациентов с ДМП (p=0,007). При анализе миокардиальной работы ЛЖ выявлены статистически значимые различия всех показателей с более низкими значениями GCW, GWI и GWE и более высоким значением GWW в группе ФМП. Несмотря на относительно сохранную ФВ ЛЖ 52 [50; 62]%, у пациентов с ДМП выявлено снижение показателей конструктивной работы до 1458 [1283;

Таблица 3

Исходные значения показателей миокардиальной работы ЛЖ в изучаемых группах

Показатель	ФМП (n=23)	ДМП (n=20)	p-value	Референсные значения, адаптировано из [11]
GCW, мм рт.ст.%	977 [684; 1253]	1458 [1283; 1848]	0,004	1582-2881
GWW, мм рт.ст.%	177 [130; 280]	128 [81; 172]	0,04	53-122,2
GWI, мм рт.ст.%	754 [488; 899]	1137 [980; 1510]	0,003	1292-2505
GWE, %	81,5 [77; 87]	90 [85; 93]	0,001	94-97

Примечание: p<0,05.

Сокращения: ДМП — дегенеративная митральная регургитация, ФМП — функциональная митральная регургитация, GCW (global constructive work) — глобальная конструктивная работа, GWE (global work efficiency) — эффективность глобальной работы, GWI (global work index) — индекс глобальной работы, GWW (global wasted work) — глобальная потерянная работа.

Таблица 4

Динамика ЭхоКГ показателей в группе с ФМП

Показатель	Исходно	4-5 сут.	p-value	6 мес.	p-value*	12 мес.	p-value**
КДО ЛЖ, мл	211 [125; 222]	188 [102; 231]	>0,05	176 [106; 238]	>0,05	196 [101; 234]	>0,05
КСО ЛЖ, мл	127 [63; 154]	107 [57; 156]	>0,05	110 [48; 140]	>0,05	125 [51; 148]	>0,05
ФВ ЛЖ, %	40 [33; 50]	37 [33; 48]	>0,05	40 [37; 50]	>0,05	42 [35; 54]	>0,05
Степень МР	3,3±0,45	2,1±0,43	<0,001	2,1±0,4	<0,001	2,2±0,56	<0,001
GLS ЛЖ, %	-10,1 [-12,5; -7,5]	-8,9 [-11,4; -6,8]	>0,05	-10,8 [-12,2; -8,4]	>0,05	-10,3 [-12,3; -8]	>0,05
GCW, мм рт.ст.%	977 [684; 1253]	857 [736; 1488]	0,038	1105 [924; 1514]	0,073	1128 [890; 1711]	0,047
GWW, мм рт.ст.%	177 [130; 280]	336 [242; 388]	0,004	235 [209; 321]	0,003	255 [214; 363]	0,024
GWI, мм рт.ст.%	754 [488; 899]	678 [550; 926]	>0,05	816 [555; 1083]	0,045 [#]	806 [553; 1229]	0,062
GWE, %	81,5 [77; 87]	76 [73; 79]	0,021	81 [78; 85]	0,008 [#]	82 [77; 86]	0,017 [#]

Примечание: p — сравнение показателей на 4-5 сут. после операции с исходными значениями, p* — сравнение показателей через 6 мес. с исходными значениями, p** — сравнение показателей через 12 мес. с исходными значениями, [#] — сравнение показателя с послеоперационным значением. Цветом выделены значения p<0,05. Степень МР представлена как среднее значение ± стандартное отклонение.

Сокращения: КДО — конечный диастолический объем, КСО — конечный систолический объем, ЛЖ — левый желудочек, МР — митральная регургитация, ФВ — фракция выброса, ФМП — функциональная митральная регургитация, GLS — глобальная продольная деформация, GCW (global constructive work) — глобальная конструктивная работа, GWE (global work efficiency) — эффективность глобальной работы, GWI (global work index) — индекс глобальной работы, GWW (global wasted work) — глобальная потерянная работа.

Таблица 5

Динамика ЭхоКГ показателей в группе с ДМР

Показатель	Исходно	4-5 сут.	p-value	6 мес.	p-value*	12 мес.	p-value**
КДО ЛЖ, мл	140 [102; 163]	114 [90; 125]	0,018	109 [81; 132]	0,016	102 [88; 140]	0,013
КСО ЛЖ, мл	61 [37; 73]	54 [46; 72]	>0,05	50 [34; 62]	>0,05	46 [30; 66]	>0,05
ФВ ЛЖ, %	52 [50; 62]	49 [42; 56]	0,018	55 [45; 62]	>0,05	56 [51; 62]	0,027#
Степень МР	3,7±0,54	2,1±0,49	<0,001	2,2±0,45	0,002	2,4±0,68	0,039
GLS ЛЖ, %	-15,5 [-17,7; -13,8]	-11,7 [-15,4; -8,8]	0,003	-12,8 [-17,1; -11,7]	>0,05	-16,1 [-18,2; -13,6]	0,003#
GCW, мм рт.ст.%	1458 [1283; 1848]	1350 [1010; 1488]	0,011	1500 [1238; 1832]	0,045#	1818 [1478; 2034]	<0,001
GWV, мм рт.ст.%	128 [81; 172]	216 [164; 279]	0,043	228 [188; 259]	0,043	230 [140; 270]	0,043
GWI, мм рт.ст.%	1137 [980; 1510]	850 [471; 1265]	0,027	942 [657; 1278]	0,033#	1258 [826; 1489]	0,029
GWE, %	90 [85; 93]	82 [79; 85]	0,018	86 [86; 89]	>0,05	88 [83; 91]	0,016#

Примечание: p — сравнение показателей на 4-5 сут. после операции с исходными значениями, p* — сравнение показателей через 6 мес. с исходными значениями, p** — сравнение показателей через 12 мес. с исходными значениями, # — сравнение показателя с послеоперационным значением. Цветом выделены значения p<0,05. Степень митральной регургитации представлена как среднее значение ± стандартное отклонение.

Сокращения: ДМР — дегенеративная митральная регургитация, КДО — конечный диастолический объем, КСО — конечный систолический объем, ЛЖ — левый желудочек, МР — митральная регургитация, ФВ — фракция выброса, GLS — глобальная продольная деформация, GCW (global constructive work) — глобальная конструктивная работа, GWE (global work efficiency) — эффективность глобальной работы, GWI (global work index) — индекс глобальной работы, GWV (global wasted work) — глобальная потерянная работа.

1848] мм рт.ст.%, индекса работы миокарда до 1137 [980; 1510] мм рт.ст.%, а также эффективности работы до 90 [85; 93]% относительно референсных значений.

Динамика показателей структурно-функционального ремоделирования ЛЖ по группам представлена в таблицах 4 и 5.

В раннем послеоперационном периоде, на фоне эффективной коррекции МР в обеих группах больных, отмечалось уменьшение конечного диастолического объема, достигающее статистической значимости у пациентов с ДМР, без достоверной динамики конечного систолического объема, что сопровождалось снижением ФВ ЛЖ. Резкое снижение преднагрузки на ЛЖ сопровождалось ухудшением GLS ЛЖ в группе ФМР с -10,1 [-12,5; -7,5]% до -8,9 [-11,4; -6,8]%, p>0,05; а в группе ДМР с -15,5 [-17,7; -13,8]% до -11,7 [-15,4; -8,8]%, p=0,003, что может свидетельствовать о возрастающем влиянии постнагрузки на ЛЖ. Также отмечено достоверное снижение показателей GCW, GWE в обеих когортах и GWI у пациентов с ДМР.

При последующих ЭхоКГ исследованиях в группе ФМР достоверной динамики объемных показателей, ФВ и GLS ЛЖ выявлено не было. Однако при анализе показателей работы миокарда через 12 мес. отмечалось улучшение сократительной функции ЛЖ в виде статистически значимого увеличения GCW до 1128 [890; 1711] мм рт.ст.% vs 977 [684; 1253] мм рт.ст.% — относительно исходного значения (p=0,047) и GWE до 82 [77; 86] — через 12 мес. vs 76 [73; 79]% — относительно послеоперационного снижения (p=0,017). На рисунках 1 и 2 представлен пример оценки показателей работы миокарда у пациента с исходной ФМР 3 ст. и через 12 мес. после ТПМК. На фоне сохраняющейся МР 1-2 ст. к одному году наблюдения отмечалось трехкратное увеличение GWI с 157 мм рт.ст.% до

471 мм рт.ст.%, увеличение GCW с 398 мм рт.ст.% до 625 мм рт.ст.% и GWE с 54% до 66%. В группе ДМР через 12 мес. после ТПМК отмечалось обратное ремоделирование и улучшение функции ЛЖ, за счет достоверного уменьшения конечного диастолического объема и увеличения ФВ, статистически значимого увеличения GLS, GWE относительно послеоперационного снижения, а также увеличения GCW и GWI по сравнению с исходными значениями (табл. 5).

Обсуждение

ТПМК "край-в-край" — это уникальное вмешательство, позволяющее, с одной стороны, эффективно проводить коррекцию тяжелой МР у пациентов старческого возраста и больных крайне высокого хирургического риска, а с другой — представляет собой модель для изучения острых гемодинамических изменений. Данная модель позволяет оценить механику и энергетику ЛЖ в условиях гемодинамической перестройки после ТПМК без влияния стернотомии, кардиopleгии и искусственного кровообращения на функцию ЛЖ. Появление метода неинвазивной оценки работы миокарда открывает широкие перспективы в этом направлении. Однако на сегодняшний момент количество работ по изучению этой методики у пациентов после ТПМК крайне мало, большинство из них ретроспективные, а некоторые носят противоречивый характер [12, 13].

Наше исследование демонстрирует не только эффективность коррекции МР, сохраняющуюся на протяжении 12 мес. наблюдения, но и улучшение сократительной функции ЛЖ в обеих когортах пациентов.

Обращало на себя внимание достоверное увеличение потерянной работы миокарда в обеих группах больных как в раннем послеоперационном, так

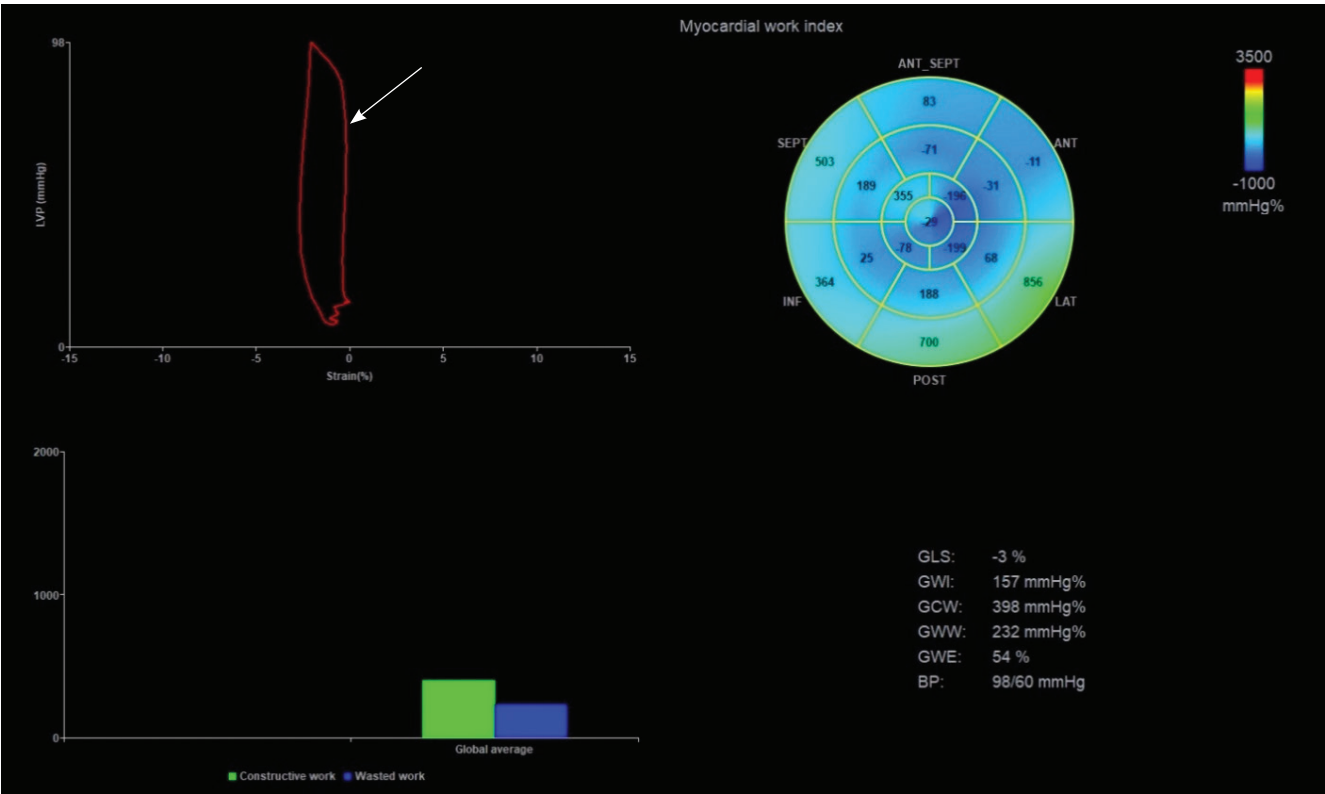


Рис. 1. Пример оценки показателей работы миокарда с построением петли давление-деформация исходно.
Примечание: стрелкой указана петля давление-деформация.
Сокращения: BP (blood pressure) — артериальное давление, GLS — глобальная продольная деформация, GCW (global constructive work) — глобальная конструктивная работа, GWE (global work efficiency) — эффективность глобальной работы, GWI (global work index) — индекс глобальной работы, GWW (global wasted work) — глобальная потерянная работа.

Таблица 6

Динамика GWW в зависимости от ремоделирования ЛЖ

Полость ЛЖ	GWW (исходно), мм рт.ст.%	GWW (4-5 сут.), мм рт.ст.%	p-value	GWW (6 мес.), мм рт.ст.%	p-value *	p-value [#]	GWW (12 мес.), мм рт.ст.%	p-value**	p-value [‡]
Не расширенный ЛЖ	188 [144; 280]	240 [201; 389]	0,009	228 [195; 335]	0,09	0,77	239 [172; 310]	0,21	0,42
Расширенный ЛЖ	172 [80; 172]	277 [212; 346]	0,001	235 [194; 267]	0,024	0,35	260 [166; 286]	0,002	0,48

Примечание: p — сравнение показателей на 4-5 сут. после операции с исходными значениями, p* — сравнение показателей через 6 мес. с исходными значениями, p** — сравнение показателей через 12 мес. с исходными значениями, p[#] — сравнение показателей через 6 мес. с послеоперационными значениями, p[‡] — сравнение показателей через 12 мес. с послеоперационными значениями. Цветом выделены значения p<0,05.
Сокращения: ЛЖ — левый желудочек, GWW (global wasted work) — глобальная потерянная работа.

и в отдаленном периоде после вмешательства. На наш взгляд, этот феномен может быть объяснен двумя причинами. Во-первых, сообщалось, что GWW является мерой потери энергии миокардом во время сердечного цикла и связана с ремоделированием ЛЖ у пациентов, в частности подвергающихся сердечной ресинхронизирующей терапии [14]. При изменении геометрии ЛЖ, вследствие его дилатации, перерастяжения саркомеров, утрачивается их архитектура, приводящая в т.ч. к нарушению скручивания [15], увеличению количества нефункционирующих кардиомиоцитов и как следствие к прогрессирующему снижению сократительной способности миокар-

да. В соответствии с этим мы разделили пациентов на две группы (табл. 6) исходя из объемного размера ЛЖ согласно современным рекомендациям по количественной оценке камер сердца [1].
Оказалось, что достоверное увеличение GWW через 6 и 12 мес. после вмешательства отмечалось только у пациентов с расширенной полостью ЛЖ, что согласуется с данными нидерландских коллег у пациентов с постинфарктным кардиосклерозом [16]. Во-вторых, наличие тяжелой МР способствует более легкому опорожнению ЛЖ в полость с меньшим давлением — левое предсердие, чем в аорту, и количество кардиомиоцитов, совершающих неэффек-

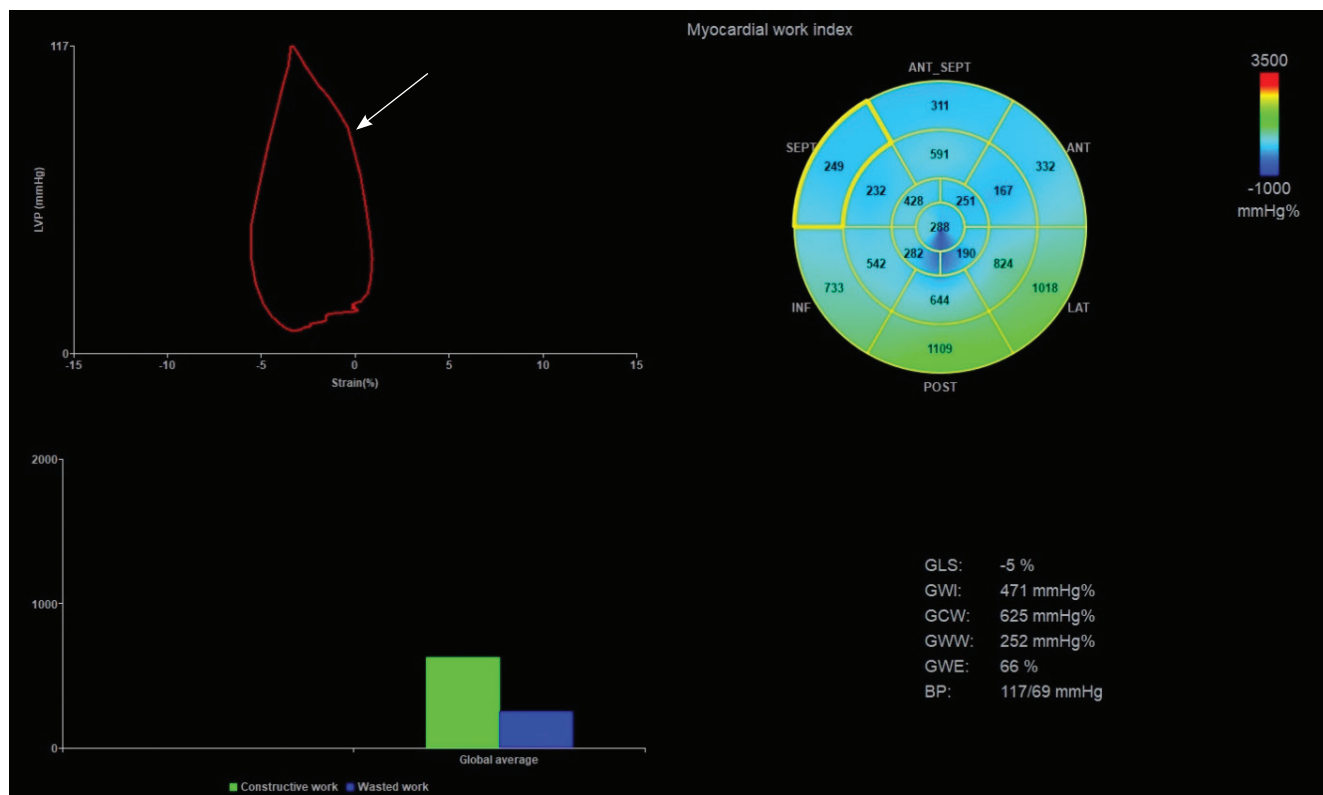


Рис. 2. Пример оценки показателей работы миокарда с построением петли давление-деформация через 12 мес. после ТПМК.

Примечание: увеличение площади петли давление-деформация (указана стрелкой).

Сокращения: BP (blood pressure) — артериальное давление, GLS — глобальная продольная деформация, GCW (global constructive work) — глобальная конструктивная работа, GWE (global work efficiency) — эффективность глобальной работы, GWI (global work index) — индекс глобальной работы, GWW (global wasted work) — глобальная потерянная работа.

тивную работу, будет меньше. Это объясняет более низкие значения GCW и GWI, но лучшую эффективность работы миокарда у пациентов с тяжелой МР по сравнению с пациентами с легкой степенью МР [17]. После резкого устранения преднагрузки, как в случае успешной ТПМК, объем крови, который необходимо протолкнуть в аорту, значимо увеличивается, что при отсутствии реализации адаптационного механизма (эффекта Франка-Старлинга) в раннем послеоперационном периоде приводит к снижению эффективности миокардиальной работы как за счет увеличения GWW, так и снижения GCW. Чем более выражен эффект коррекции МР, тем больше степень увеличения потерянной работы (GWW) в условиях снижения контрактильности кардиомиоцитов в раннем послеоперационном периоде. Данный факт может быть особенно полезен у пациентов с исходно низкими значениями ФВ ЛЖ и сердечного выброса, что может повлиять на медикаментозную терапию в раннем послеоперационном периоде.

Таким образом, можно предположить, что GWW является одним из показателей эффективности коррекции МР после ТПМК, однако для этого необходимы дальнейшие исследования. Вероятно, именно поэтому значение $GWW > 300$ мм рт.ст.% было свя-

зано с лучшей выживаемостью у пациентов с ФМР [17]. В последующем эффективность работы миокарда восстанавливалась в первую очередь за счет увеличения GCW: в группе ФМР к 6 мес. наблюдения, в группе ДМР к 1 году наблюдения. При этом степень восстановления GWE будет зависеть как от количества жизнеспособного миокарда ЛЖ, так и исходной тяжести и длительности МР, ее вклада в необратимое ремоделирование миокарда ЛЖ и снижение его сократительной функции.

Насколько нам известно из доступной на сегодняшний момент литературы, это одно из первых исследований, где изучалась механика и энергетика ЛЖ с помощью нового неинвазивного метода оценки работы миокарда в раннем послеоперационном периоде при ТПМК. Отдаленные результаты наблюдения описывались в единичных зарубежных работах [13, 18]. Последующие исследования в этом направлении могут открыть перспективы в лечении с помощью ТПМК остро возникшей тяжелой МР.

Ограничения исследования. Ограничением представленного исследования является небольшая группа пациентов, а также исключение пациентов с ФВ ЛЖ $< 30\%$ согласно протоколу клинического исследования и протоколу клинической апробации.

Заключение

ТПМК "край-в-край" приводит к снижению GCW, GWI и GWE в раннем послеоперационном периоде, вследствие резкого устранения преднагрузки на ЛЖ, перераспределения выбрасываемого ЛЖ объема крови и увеличения напряжения на стенки ЛЖ в систолу.

Отмечено положительное влияние на сократительную функцию ЛЖ в виде повышения показателя GCW у пациентов после коррекции тяжелой МР различного генеза через 12 мес. наблюдения.

Показатели GCW и GWW могут стать дополнительными маркерами эффективности коррекции МР после ТПМК, однако необходимы дальнейшие исследования в этом направлении.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

- Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015;16(3):233-70. doi:10.1093/ehjci/jev014.
- Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, et al. ESC/EACTS Scientific Document Group. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease: Developed by the Task Force for the management of valvular heart disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2022;75(6):524. doi:10.1016/j.rec.2022.05.006.
- Eckberg DL, Gault JH, Bouchard RL, et al. Mechanics of left ventricular contraction in chronic severe mitral regurgitation. *Circulation*. 1973;47(6):1252-9. doi:10.1161/01.cir.47.6.1252.
- Namazi F, van der Bijl P, Hirasawa K, et al. Prognostic Value of Left Ventricular Global Longitudinal Strain in Patients With Secondary Mitral Regurgitation. *J Am Coll Cardiol*. 2020;75(7):750-8. doi:10.1016/j.jacc.2019.12.024.
- Fukui M, Niikura H, Sorajja P, et al. Identification of Subclinical Myocardial Dysfunction and Association with Survival after Transcatheter Mitral Valve Repair. *J Am Soc Echocardiogr*. 2020;33(12):1474-80. doi:10.1016/j.echo.2020.07.003.
- Yingchoncharoen T, Agarwal S, Popović ZB, et al. Normal ranges of left ventricular strain: a meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr*. 2013;26(2):185-91. doi:10.1016/j.echo.2012.10.008.
- Papadopoulos K, Özden Tok Ö, Mitrousi K, et al. Myocardial Work: Methodology and Clinical Applications. *Diagnostics (Basel)*. 2021;11(3):573. doi:10.3390/diagnostics11030573.
- Qin Y, Wu X, Wang J, et al. Value of territorial work efficiency estimation in non-ST-segment-elevation acute coronary syndrome: a study with non-invasive left ventricular pressure-strain loops. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2021;37(4):1255-65. doi:10.1007/s10554-020-02110-1.
- Galli E, Leclercq C, Hubert A, et al. Role of myocardial constructive work in the identification of responders to CRT. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2018;19(9):1010-8. doi:10.1093/ehjci/jex191.
- Dobrovolskaya SV, Saidova MA, Safiullina AA, et al. Evaluation of the effectiveness of the chronic heart failure therapy using the device cardiac contractility modulation according to the new non-invasive method of the myocardium work analysis. *Kardiologiya*. 2021;61(12):31-40. (In Russ.) Добровольская С.В., Саидова М.А., Сафиуллина А.А. и др. Оценка эффективности терапии хронической сердечной недостаточности с использованием устройства, модулирующего сердечную сократимость, по данным нового неинвазивного метода анализа работы миокарда. *Кардиология*. 2021; 61(12):31-40. doi:10.18087/cardio.2021.12.n1849.
- Manganaro R, Marchetta S, Dulgheru R, et al. Echocardiographic reference ranges for normal non-invasive myocardial work indices: results from the EACVI NORRE study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2019;20(5):582-90. doi:10.1093/ehjci/jez188.
- Hubert A, Galli E, Leurent G, et al. Left ventricular function after correction of mitral regurgitation: Impact of the clipping approach. *Echocardiography*. 2019;36(11):2010-8. doi:10.1111/echo.14523.
- Papadopoulos K, Ikonidis I, Chrissoheris M, et al. MitraClip and left ventricular reverse remodelling: a strain imaging study. *ESC Heart Fail*. 2020;7(4):1409-18. doi:10.1002/ehf2.12750.
- Galli E, Leclercq C, Fournet M, et al. Value of Myocardial Work Estimation in the Prediction of Response to Cardiac Resynchronization Therapy. *J Am Soc Echocardiogr*. 2018;31(2):220-30. doi:10.1016/j.echo.2017.10.009.
- Pavlyukova EN, Kuzhel DA, Matyushin GV, et al. Left ventricular rotation, twist and untwist: physiological role and clinical relevance. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2015;11(1):68-78. (In Russ.) Павлюкова Е.Н., Кужель Д.А., Матюшин Г.В. и др. Ротация, скручивание и раскручивание левого желудочка: физиологическая роль и значение в клинической практике. *Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии*. 2015;11(1):68-78. doi:10.20996/1819-6446-2015-11-1-68-78.
- Lustosa RP, van der Bijl P, El Mahdoui M, et al. Noninvasive Myocardial Work Indices 3 Months after ST-Segment Elevation Myocardial Infarction: Prevalence and Characteristics of Patients with Postinfarction Cardiac Remodeling. *J Am Soc Echocardiogr*. 2020;33(10):1172-9. doi:10.1016/j.echo.2020.05.001.
- Yedidya I, Lustosa RP, Fortuni F, et al. Prognostic Implications of Left Ventricular Myocardial Work Indices in Patients With Secondary Mitral Regurgitation. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2021;14(9):e012142. doi:10.1161/CIRCIMAGING.120.012142.
- Galli E, Hubert P, Leurent G, et al. Acute and Chronic Changes in Myocardial Work Parameters in Patients with Severe Primary Mitral Regurgitation Undergoing Transcatheter Edge-to-Edge Repair. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2023;10(3):100. doi:10.3390/jcdd10030100.