



Работа миокарда при электрической диссинхронии, обусловленной блокадой левой ножки пучка Гиса

Римская Е. М., Добровольская С. В., Кухарчук Е. В., Каштанова С. Ю., Миронова Н. А., Тарасовский Г. С., Комлев А. Е., Имаев Т. Э., Саидова М. А., Голицын С. П.

Цель. Оценить работу миокарда у разных групп пациентов с блокадой левой ножки пучка Гиса (БЛНПГ) и "моделью" БЛНПГ — электростимуляцией правого желудочка (ЭСПЖ).

Материал и методы. 25 пациентам с дилатационной кардиомиопатией (ДКМП) и БЛНПГ (группа ДКМП-БЛНПГ), 20 пациентам с ДКМП и "узким" комплексом QRS (группа ДКМПбезБЛНПГ), 15 пациентам с БЛНПГ, возникшей после операции транскатетерной имплантации аортального клапана (группа TAVI-БЛНПГ), 12 пациентам с идиопатической БЛНПГ (группа И-БЛНПГ), 27 пациентам с постоянной ЭСПЖ, а также 10 здоровым добровольцам (ЗД) выполнялось исследование глобального продольного стрейна (GLS) и параметров работы миокарда — глобальной конструктивной работы миокарда (GCW), глобальной утраченной работы миокарда (GWW), индекса глобальной работы (GWI) и эффективности глобальной работы (GWE). У всех пациентов определялись сегменты с максимальной и минимальной GWI.

Результаты. Значения GLS, GWI и GCW были сравнимы в группах И-БЛНПГ и ЭСПЖ, а в группах TAVI-БЛНПГ и обеих группах ДКМП оказались значительно ниже, чем у ЗД ($p=0,049, 0,006, 0,025$; $p<0,001$, соответственно). Пациенты групп И-БЛНПГ, TAVI-БЛНПГ, ЭСПЖ и ДКМП-БЛНПГ характеризовались увеличенным значением GWW (261 [203,5; 291,5], 273 [184,8; 385,3] и 237 [149,5; 445,3] против 108 [74,3; 137,3] мм рт.ст.%, $p=0,033, 0,006, <0,001, <0,001$, соответственно), при этом значение GWW в группе ДКМП-БЛНПГ было наибольшим (346,5 [255,5; 437,8] мм рт.ст.%). Значение GWW было связано с шириной комплекса QRS ($r=0,456, p<0,001$). Значение GWE было уменьшено в группах И-БЛНПГ, TAVI-БЛНПГ, ЭСПЖ и ДКМП-БЛНПГ по сравнению с ЗД ($p=0,033, 0,007, 0,023, <0,001$, соответственно). Зона максимальной GWI локализовалась в задне-боковой стенке, а минимальной GWI в межжелудочковой перегородке у большинства пациентов с БЛНПГ, при этом в группе ЭПЖС была весьма разнообразной.

Заключение. Несмотря на то, что все пациенты с паттерном электрической активности, соответствующей БЛНПГ, характеризуются значительным количеством утраченной работы, ее вклад в глобальную работу миокарда значим только у пациентов с ДКМП. Утраченная работа не приводит к снижению конструктивной работы у пациентов И-БЛНПГ и ЭСПЖ и нормальной систолической функцией левого желудочка.

Ключевые слова: блокада левой ножки пучка Гиса, дилатационная кардиомиопатия, правожелудочковая стимуляция, работа миокарда, утраченная работа миокарда.

Отношения и деятельность: нет.

ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. акад. Е. И. Чазова Минздрава России, НИИ клинической кардиологии им. А. Л. Мясникова, Москва, Россия.

Римская Е. М.* — к.м.н., с.н.с., отдел клинической электрофизиологии и рентген хирургических методов лечения нарушений ритма сердца, ORCID: 0000-

0002-0063-5474, Добровольская С. В. — к.м.н., м.н.с., отдел ультразвуковых методов диагностики, ORCID: 0000-0003-0580-393X, Кухарчук Е. В. — аспирант отдела клинической электрофизиологии и рентген хирургических методов лечения нарушений ритма сердца, ORCID: 0009-0007-5062-5374, Каштанова С. Ю. — к.м.н., м.н.с., отдел клинической электрофизиологии и рентген хирургических методов лечения нарушений ритма сердца, ORCID: 0000-0003-4731-0818, Миронова Н. А. — к.м.н., с.н.с., отдел клинической электрофизиологии и рентген хирургических методов лечения нарушений ритма сердца, ORCID: 0000-0002-2374-3718, Тарасовский Г. С. — врач-кардиолог, отдел клинической электрофизиологии и рентген хирургических методов лечения нарушений ритма сердца, ORCID: 0000-0002-2143-8912, Комлев А. Е. — врач-кардиолог, отдел сердечно-сосудистой хирургии, ORCID: 0000-0001-6908-7472, Имаев Т. Э. — д.м.н., г.н.с., отдел сердечно-сосудистой хирургии, ORCID: 0000-0002-5736-5698, Саидова М. А. — д.м.н., профессор, руководитель отдела ультразвуковых методов диагностики, ORCID: 0000-0002-3233-1862, Голицын С. П. — д.м.н., профессор, руководитель отдела клинической электрофизиологии и рентген хирургических методов лечения нарушений ритма сердца, ORCID: 0000-0001-9913-9974.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):
elena4ka_g@mail.ru

БЛНПГ — блокада левой ножки пучка Гиса, ДКМП — дилатационная кардиомиопатия, ЗД — здоровые добровольцы, ЛЖ — левый желудочек, КДР — конечно-диастолический размер, КСР — конечно-систолический размер, МЖП — межжелудочковая перегородка, ФВ — фракция выброса, ЭКГ — электрокардиограмма, ЭСПЖ — электростимуляция правого желудочка, ЭхоКГ — эхокардиография, TAVI — transcatheter aortic valve implantation, GCW — глобальная конструктивная работа (global constructive work), GLS — глобальная продольная деформация миокарда левого желудочка (global longitudinal strain), GWW — глобальная утраченная работа (global wasted work), GWI — индекс глобальной работы миокарда (global work index), GWE — эффективность глобальной работы (global work efficiency).

Рукопись получена 31.05.2024

Рецензия получена 21.08.2024

Принята к публикации 02.12.2024



Для цитирования: Римская Е. М., Добровольская С. В., Кухарчук Е. В., Каштанова С. Ю., Миронова Н. А., Тарасовский Г. С., Комлев А. Е., Имаев Т. Э., Саидова М. А., Голицын С. П. Работа миокарда при электрической диссинхронии, обусловленной блокадой левой ножки пучка Гиса. *Российский кардиологический журнал*. 2025;30(2):5955. doi: 10.15829/1560-4071-2025-5955. EDN JNLBBI

Myocardial work in electrical dyssynchrony due to left bundle branch block

Rimskaya E. M., Dobrovolskaya S. V., Kukharchuk E. V., Kashtanova S. Yu., Mironova N. A., Tarasovsky G. S., Komlev A. E., Imaev T. E., Saidova M. A., Golitsyn S. P.

Aim. To evaluate myocardial function in different groups of patients with left bundle branch block (LBBB) and the LBBB "model" — right ventricular pacing (RVP).

Material and methods. Global longitudinal strain (GLS) and myocardial function parameters, such as global constructive work (GCW), global wasted work (GWW),

global work index (GWI), and global work efficiency (GWE), were measured in 25 patients with dilated cardiomyopathy (DCM) and LBBB (DCM-LBBB group), 20 patients with DCM and a narrow QRS complex (DCM-nonLBBB group), 15 patients with LBBB developed after transcatheter aortic valve implantation (TAVI-

LBBB group), 12 patients with idiopathic LBBB (I-LBBB group), 27 patients with permanent RVP, and 10 healthy volunteers (HVs). The segments with maximum and minimum GWI were determined in all patients.

Results. The GLS, GWI and GCW values were comparable in the I-LBBB and RVP groups, and were significantly lower in the TAVI-LBBB and both DCM groups than in HVs ($p=0,049, 0,006, 0,025; p<0,001$, respectively). Patients in the I-LBBB, TAVI-LBBB, RVP and DCM-LBBB groups were characterized by an increased GWW value (261 [203,5; 291,5], 273 [184,8; 385,3] and 237 [149,5; 445,3] versus 108 [74,3; 137,3] mm Hg%, $p=0,033, 0,006, <0,001, <0,001$, respectively), while the GWW value in the DCM-LBBB group was the highest (346,5 [255,5; 437,8] mm Hg%). The GWW value was associated with the QRS width ($r=0,456, p<0,001$). The GWE value was reduced in the I-LBBB, TAVI-LBBB, RVP and DCM-LBBB groups compared to HVs ($p=0,033, 0,007, 0,023, <0,001$, respectively). The area of maximum GWI was located in the posterolateral wall, and the minimum GWI in the interventricular septum in most patients with LBBB, while in the RVP group it was very diverse.

Conclusion. Despite the fact that all patients with an electrical activation pattern corresponding to LBBB are characterized by significant wasted work, its contribution to the global myocardial work is significant only in patients with DCM. Lost work does not lead to a decrease in constructive work in patients with I-LBBB and RVP and normal left ventricular systolic function.

Keywords: left bundle branch block, dilated cardiomyopathy, right ventricular pacing, myocardial work, myocardial wasted work.

Relationships and Activities: none.

Chazov National Medical Research Center of Cardiology, Myasnikov Research Institute of Clinical Cardiology, Moscow, Russia.

Rimskaya E. M.* ORCID: 0000-0002-0063-5474, Dobrovol'skaya S. V. ORCID: 0000-0003-0580-393X, Kukharchuk E. V. ORCID: 0009-0007-5062-5374, Kashtanova S. Yu. ORCID: 0000-0003-4731-0818, Mironova N. A. ORCID: 0000-0002-2374-3718, Tarasovsky G. S. ORCID: 0000-0002-2143-8912, Komlev A. E. ORCID: 0000-0001-6908-7472, Imaev T. E. ORCID: 0000-0002-5736-5698, Saidova M. A. ORCID: 0000-0002-3233-1862, Golitsyn S. P. ORCID: 0000-0001-9913-9974.

*Corresponding author:
elena4ka_g@mail.ru

Received: 31.05.2024 **Revision Received:** 21.08.2024 **Accepted:** 02.12.2024

For citation: Rimskaya E. M., Dobrovol'skaya S. V., Kukharchuk E. V., Kashtanova S. Yu., Mironova N. A., Tarasovsky G. S., Komlev A. E., Imaev T. E., Saidova M. A., Golitsyn S. P. Myocardial work in electrical dyssynchrony due to left bundle branch block. *Russian Journal of Cardiology*. 2025;30(2):5955. doi: 10.15829/1560-4071-2025-5955. EDN JHLBBI

Ключевые моменты

- Все пациенты с блокадой левой ножки пучка Гиса характеризуются значительным объемом утраченной работы миокарда.
- Утраченная работа вносит существенный вклад в снижение глобальной работы миокарда у пациентов с дилатационной кардиомиопатией.
- У пациентов с идиопатической блокадой левой ножки пучка Гиса и пациентов с правожелудочковой стимуляцией и нормальной систолической функцией утраченная работа, возникающая вследствие нарушения распространения электрической активации сердца, не отражается на глобальной работе миокарда.

Блокада левой ножки пучка Гиса (БЛНПГ) является распространенным электрокардиографическим (ЭКГ) феноменом, осложняющим течение многих кардиологических заболеваний. Наряду с этим БЛНПГ нередко встречается у лиц без признаков заболеваний сердечно-сосудистой системы [1]. У пациентов с дилатационной кардиомиопатией (ДКМП) БЛНПГ, выявляемая в каждом третьем случае, играет особую роль и как звено патогенеза, и как фактор прогноза [2]. Работы с применением метода неинвазивного активационного картирования свидетельствуют о резко выраженном нарушении последовательности электрического возбуждения миокарда желудочков (электрической диссинхронии) у пациентов с БЛНПГ [3-5]. Это, в свою очередь, приводит

Key messages

- All patients with left bundle branch block are characterized by a significant myocardial wasted work.
- Wasted work makes a significant contribution to the decrease in global myocardial work in patients with dilated cardiomyopathy.
- In patients with idiopathic left bundle branch block and patients with right ventricular pacing and normal systolic function, wasted work resulting from impaired cardiac electric propagation does not affect global myocardial work.

к ранней активации межжелудочковой перегородки (МЖП) и ее сокращению до момента открытия аортального клапана. Раннее сокращение перегородки приводит к натяжению боковой стенки левого желудочка (ЛЖ) до ее сокращения. Поздняя активация боковой стенки ЛЖ, в свою очередь, вызывает перерастяжение МЖП, что в итоге приводит к диссинхронному сокращению. Результатом этой диссинхронии является значительная доля "утраченной" работы (wasted work), вклад которой существенно снижает сердечный выброс ЛЖ [6]. Расширение пониманий о механике сердечного сокращения при БЛНПГ стало возможным при появлении современных эхокардиографических (ЭхоКГ) методик, позволяющих оценивать работу миокарда (myocardial work) с помощью построения кривых "давление-деформация". Данный метод характеризует эффективность сокращения ЛЖ с помощью оценки утраченной энергии

Таблица 1

Клинико-инструментальные характеристики больных, включенных в исследование

Показатели	Группа					
	ДКМП-БЛНПГ, n=25	ДКМП без БЛНПГ, n=20	TAVI-БЛНПГ, n=15	И-БЛНПГ, n=12	ЭСПЖ, n=27	ЗД, n=20
Мужской пол, абс. (%)	12 (48,0%)	14 (70%)	6 (40,0%)	5 (41,6%)	12 (44,4%)	16 (80%)
Возраст, М (SD)	59,4 (9,6)	53 (11,1)	77 (5,8)	44,3 (11)	66,5 (14,1)	32,4 (7,3)
Соответствие критериям Strauss DG, et al., абс. (%)	23 (92%)	не применимо	15 (100%)	10 (83%)	не применимо	не применимо
Длительность QRS (мс), Me [IQR]	163 [154; 180,5]	100 [98; 110]	142 [140; 149]	140 [140; 141]	160 [140; 163]	80 [80; 80]
ФВ ЛЖ (%), Me [IQR]	30,3 [26,3; 32]	25,8 [24,1; 27]	60 [60; 60]	55 [53,5; 60]	60 [60; 60]	60 [60; 60]
КДО ЛЖ (мл), Me [IQR]	235,5 [173,8; 301]	226 [208; 261]	111 [105; 135]	127,5 [103,8; 141,3]	117 [107; 127]	109 [100; 120]
КСО ЛЖ (мл), Me [IQR]	156 [117,3; 215,8]	171 [154,8; 195,8]	48 [33; 52]	73 [70,5; 75,5]	55,5 [45,8; 65,3]	50 [40; 58]
КДР ЛЖ (см), Me [IQR]	6,8 [6,4; 7,4]	7,1 [6,6; 7,3]	5,3 [4,9; 5,6]	5,3 [5,1; 5,6]	5,1 [4,9; 5,4]	4,8 [4,6; 5,1]
КСР ЛЖ (см), Me [IQR]	6,0 [5,6; 6,3]	6,1 [5,8; 6,4]	3,2 [3,1; 3,5]	3,8 [3,4; 4,2]	3,3 [3,0; 3,6]	3,5 [3,3; 4,4]

Сокращения: БЛНПГ — блокада левой ножки пучка Гиса, ДКМП — дилатационная кардиомиопатия, ЗД — здоровые добровольцы, КДО ЛЖ — конечно-диастолический объем левого желудочка, КДР ЛЖ — конечно-диастолический размер левого желудочка, КСО ЛЖ — конечно-систолический объем левого желудочка, КСР ЛЖ — конечно-систолический размер левого желудочка, ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка, ЭСПЖ — правожелудочковая стимуляция, TAVI — транскатетерная имплантация аортального клапана (transcatheter aortic valve implantation).

и выполненной конструктивной работы. Несмотря на то, что в основу разработки этого метода легли измерения утраченной работы у лабораторных животных с искусственно созданной БЛНПГ и пациентов с ДКМП и БЛНПГ [7], работа миокарда при БЛНПГ в других клинических ситуациях не исследовалась. В связи с этим мы поставили себе целью проанализировать работу миокарда при электрической диссинхронии, обусловленной БЛНПГ у пациентов без признаков органического поражения миокарда, пациентов ДКМП, пациентов после операции транскатетерной имплантации аортального клапана (transcatheter aortic valve implantation — TAVI) и пациентов с "моделью" БЛНПГ, формирующейся в результате постоянной электростимуляции правого желудочка (ЭСПЖ).

Материал и методы

В ходе работы были обследованы 99 пациентов, которые составили 5 групп исследования. Клинико-инструментальные характеристики обследованных пациентов представлены в таблице 1.

Исследование было выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования был одобрен Независимым этическим комитетом клинических исследований ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. акад. Е.И. Чазова" Минздрава России. До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

В первые две группы вошли 45 больных, данные клинико-инструментального обследования ко-

торых (табл. 1) соответствовали диагнозу ДКМП. Ишемический генез систолической дисфункции у этих пациентов был исключен во всех случаях в связи с малоизмененными по данным коронароангиографии коронарными артериями. В зависимости от наличия или отсутствия признаков БЛНПГ пациенты ДКМП были разделены на 2 группы — группу "ДКМП-БЛНПГ" (n=25) и группу "ДКМП без БЛНПГ" (n=20) (данные ЭхоКГ исследования больных обеих групп представлены в таблице 1).

В третью группу (группа "TAVI-БЛНПГ") были включены 15 пациентов (6 мужчин и 9 женщин, средний возраст $77 \pm 5,8$ лет) с БЛНПГ, впервые возникшей в раннем послеоперационном периоде после TAVI, выполненной в связи с выраженным стенозом аортального клапана. У всех включенных пациентов по данным предварительной ЭхоКГ отмечалась нормальная сократимость ЛЖ, отсутствовали зоны нарушения локальной сократимости и анамнестические указания на перенесенный инфаркт миокарда, признаки дисфункции имплантированного клапана, значимой постоперационной аортальной регургитации, поражение других клапанов. Все пациенты исследуемой группы страдали гипертонической болезнью, контролируемой на фоне проводимой гипотензивной терапии, у 6 (40%) отмечался сахарный диабет 2 типа, проводилась медикаментозная терапия для достижения целевых значений гликированного гемоглобина.

Кроме того, в исследование были включены 12 больных (5 мужчин и 7 женщин, средний возраст $44,3 \pm 11,0$ лет) с БЛНПГ, у которых в процессе обследования не было обнаружено признаков органического заболевания сердечно-сосудистой системы. У этих пациентов диагнозы гипертонической болез-

ни, ишемической болезни сердца, органических заболеваний миокарда исключались на основании отсутствия клинико-инструментального обследования, включавшего ЭхоКГ, магнитно-резонансную томографию сердца с контрастированием, холтеровское мониторирование ЭКГ, нагрузочную пробу (стресс-ЭхоКГ исследование на полугоризонтальном велоэргометре по стандартному протоколу Брюса). В семи случаях выполнялась коронароангиография, выявившая интактные коронарные артерии. Отсутствие патологических изменений у пациентов этой группы позволило считать БЛНПГ у пациентов этой группы идиопатической ("И-БЛНПГ").

В пятую группу (группа "ЭСПЖ") были специально отобраны 27 пациентов с ЭКГ-морфологией QRS комплексов по типу БЛНПГ, обусловленной постоянной ЭСПЖ, показанием к проведению которой явилась атриовентрикулярная блокада высокой степени. Доля стимулированных желудочковых комплексов у всех пациентов этой группы составляла $\geq 90\%$ от общего числа комплексов QRS. У всех пациентов этой группы отсутствовали анамнестические указания на перенесенный инфаркт миокарда, по данным ЭхоКГ отмечалась нормальная систолическая функция ЛЖ, зон нарушения локальной сократимости не обнаруживалось. У 20 (74%) пациентов сопутствующим заболеванием служила гипертоническая болезнь, контролируемая на фоне проводимой гипотензивной терапии, 5 (18,5%) пациентов страдали сахарным диабетом 2 типа с достижением целевых значений гликированного гемоглобина.

Группу контроля составили 20 здоровых добровольцев ("ЗД") сопоставимых по поло-возрастным характеристикам с пациентами группы "И-БЛНПГ", у которых в процессе клинико-инструментального обследования не было выявлено признаков органического заболевания сердечно-сосудистой системы и патологические изменения ЭКГ отсутствовали.

ЭКГ в 12 отведениях всех пациентов групп И-БЛНПГ, TAVI-БЛНПГ и ДКМП-БЛНПГ анализировалось с точки зрения соответствия критериям Strauss DG, et al. [3]. Изменения ЭКГ соответствовали "истинной" БЛНПГ у 10 (83%) пациентов группы И-БЛНПГ, всех 15 пациентов группы TAVI-БЛНПГ и у 23 (92%) больных ДКМП-БЛНПГ.

Трансторакальная ЭхоКГ с оценкой деформации и работы миокарда ЛЖ

Всем обследованным пациентам в дополнение к стандартному ЭхоКГ исследованию проводилась оценка глобальной продольной деформации миокарда ЛЖ (GLS, %) и работы миокарда. Для вычисления этих параметров запись ЭхоКГ проводилась на ультразвуковом аппарате Vivid E9 (GE Healthcare, США) с использованием секторного матричного датчика M5S. Регистрация изображений проводилась из апикальной позиции, согласно существую-

щим рекомендациям [8]. Апикальные четырех-, трех- и двухкамерные сечения записывались при частоте кадров 60-80 в секунду на фоне задержки дыхания. Одновременно проводилась ЭКГ синхронизация для определения фазы сердечного цикла, сохранялось от 3 циклов изображений. На момент записи изображений у больных всех групп регистрировался устойчивый синусовый ритм. Всем пациентам во время проведения ЭхоКГ измерялся уровень артериального давления по методике Короткова. Для вычисления показателей работы миокарда и GLS записанные изображения были обработаны в автономном режиме с помощью рабочей станции EchoPac PC Version 203 (GE Healthcare, США). Программным обеспечением автоматически на основании данных о продольной деформации ЛЖ, артериальном давлении, а также выставленному на полученных изображениях времени открытия и закрытия митрального и аортального клапанов, конструировался график "давление-деформация" и вычислялись показатели работы миокарда, как для каждого из 17 сегментов ЛЖ в отдельности, так и для всего миокарда в целом.

Анализируемые параметры работы миокарда включали:

1) конструктивную работу (global constructive work — GCW, мм рт.ст.%), определяемую как арифметическую сумму работ, выполненных за время укорочения миокарда в систолу и удлинение миокарда во время изоволюмической диастолы;

2) утраченную работу (global wasted work — GWW, мм рт.ст.%), рассчитанную как арифметическую сумму работ, затраченных на удлинение сегмента в систолу и укорочение в фазу изоволюметрического расслабления;

3) индекс глобальной работы миокарда (global work index, GWI, мм рт.ст.%), соответствующий площади петли "давление-деформация" и характеризующий работу, совершаемую за всю систолу, а именно, за период времени от закрытия до открытия митрального клапана;

4) эффективность глобальной работы (global work efficiency, GWE, %), выраженную как процентное отношение конструктивной работы к сумме конструктивной и утраченной работы [7].

На 17-сегментарной модели ЛЖ ("бычий глаз") у каждого пациента определялись номера сегментов с максимальной конструктивной работой и максимальной утраченной работой, подсчитывалось количество сегментов с утраченной работой.

Статистический анализ. Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.1.7 (разработчик — ООО "Статтех", Россия). Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка (при числе исследуемых < 50) или критерия Колмогорова-Смирнова

Таблица 2

Результаты оценки GLS и показателей работы миокарда у пациентов исследуемых групп

Показатели	Группа					
	ДКМП-БЛНПГ, n=25	ДКМП без БЛНПГ, n=20	TAVI-БЛНПГ, n=15	И-БЛНПГ, n=12	ЭСПЖ, n=27	ЗД, n=20
GLS (%), Me [IQR]	-7,0 [-7,8; -5,3]	-7,0 [-8,0; -4,0]	-11,5 [-13; -10,3]	-14,5 [-15,8; -13,3]	-13,0 [-16,5; -11]	-18,0 [-18,8; -17,5]
GWl (мм рт.ст.%), Me [IQR]	411,5 [350; 584,3]	515 [329; 644]	929 [818; 1059,3]	1125 [1012; 1424,5]	1123 [780; 1616,5]	1587,5 [1402; 1746,5]
Min значение GWl (мм рт.ст.%), M (SD)	-225 [-418; -52]	-44 [-186; -4]	-81 [-242; 369]	328 [152; 386]	322,5 [-94,5; 510,5]	NA
Max значение GWl, M (SD)	1528 [1073; 1630]	969 [816; 1299]	1828 [1518; 2012]	1839 [1570,5; 2150]	2203 [1662,5; 2412,8]	NA
GCW (мм рт.ст.%), Me [IQR]	748 [588; 976]	665 [463; 910]	1373 [1131; 1418]	1541 [1408,5; 1849,5]	1529 [1167; 2029]	1909 [1735,5; 2114,5]
GWw (мм рт.ст.%), Me [IQR]	346,5 [255,5; 437,8]	138 [104; 201]	273 [184,8; 385,3]	261 [203,5; 291,5]	237 [149,5; 445,3]	108 [74,3; 137,3]
Количество сегментов с GWw, Me [IQR]	13 [8; 14]	3,3 [2,5; 11,5]	4,5 [3,8; 5,5]	5 [4; 9]	3 [2; 4,5]	0 [0; 1]
GWE (%), Me [IQR]	64 [59,5; 71]	79 [70; 85]	81 [76,5; 87,8]	84 [82; 88]	86 [75; 89,8]	94 [93; 95]

Сокращения: БЛНПГ — блокада левой ножки пучка Гиса, ДКМП — дилатационная кардиомиопатия, ЗД — здоровые добровольцы, ЭЖПЖ — электростимуляция правого желудочка, TAVI — транскатетерная имплантация аортального клапана (transcatheter aortic valve implantation), GLS — глобальная продольная деформация миокарда левого желудочка (global longitudinal strain), GCW — конструктивная работа миокарда (global constructive work), GWw — утраченная работа миокарда (global wasted work), GWl — индекс глобальной работы миокарда (global work index), GWE — эффективность глобальной работы (global work efficiency).

(при числе исследуемых >50). Количественные показатели описывались с помощью средних арифметических величин (M), стандартных отклонений (SD) — при нормальном распределении, и с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1-Q3) — при ненормальном. Сравнение групп по количественному показателю, имеющему нормальное распределение, выполнялось с помощью однофакторного дисперсионного анализа, апостериорные сравнения проводились с помощью критерия Тьюки (при условии равенства дисперсий). Сравнение групп по количественному показателю с ненормальным распределением выполнялось с помощью критерия Краскела-Уоллиса, апостериорные сравнения — с помощью критерия Данна с поправкой Холма. Направление и теснота корреляционной связи между двумя количественными показателями оценивались с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Анализ показателей работы миокарда и продольной деформации у пациентов исследуемых групп и ЗД

В исследуемой группе ЗД показатели GLS и работы миокарда имели нормальные величины в соответствии с референтными значениями, полученными в рамках исследований NORRE и STAAB [9, 10], что в дальнейшем позволило использовать данные этой группы для сопоставления с данными пациентов групп исследования (табл. 2).

При сопоставлении значений исследуемых показателей между собой в обследованных группах были обнаружены следующие закономерности (рис. 1):

1. Значения GLS, GWl и GCW в группе TAVI-БЛНПГ были статистически значимо ниже значения этих показателей в группе ЗД ($p_{\text{TAVI-БЛНПГ} - \text{ЗД}} = 0,049, 0,006, 0,025$, соответственно), при этом значения этих показателей в группах И-БЛНПГ и ЭСПЖ оказались сопоставимыми с группой ЗД.

2. В обеих группах пациентов с ДКМП, при наличии или отсутствии БЛНПГ, показатели GLS, GWl и GCW были значительно ниже, чем в группе ЗД ($p_{\text{ДКМП без БЛНПГ} - \text{ЗД}} < 0,001, p_{\text{ДКМП-БЛНПГ} - \text{ЗД}} < 0,001$), при этом между собой подгруппы пациентов ДКМП по этим показателям не отличались.

3. Пациенты групп И-БЛНПГ, TAVI-БЛНПГ, ЭСПЖ и ДКМП-БЛНПГ отличались от ЗД существенно большим значением утраченной работы GWw (261 [203,5; 291,5], 273 [184,8; 385,3] и 237 [149,5; 445,3] vs 108 [74,3; 137,3] мм рт.ст.%, $p_{\text{И-БЛНПГ} - \text{ЗД}} = 0,033, p_{\text{TAVI-БЛНПГ} - \text{ЗД}} = 0,006, p_{\text{ЭСПЖ} - \text{ЗД}} < 0,001, p_{\text{ДКМП-БЛНПГ} - \text{ЗД}} < 0,001$). При этом значение утраченной работы (346,5 [255,5; 437,8] мм рт.ст.%) в группе больных ДКМП-БЛНПГ было наибольшим и статистически значимо превосходило значение утраченной работы у больных ДКМП без БЛНПГ ($p_{\text{ДКМП без БЛНПГ} - \text{ДКМП-БЛНПГ}} = 0,001$). Больные группы ДКМП-БЛНПГ обнаружили наибольшее количество сегментов 13 [8; 14] с утраченной работой при минимальном значении GWl в сегментах с утраченной работой равным -225,0 [-418,0; -52,0] мм рт.ст.% (рис. 2 А), при этом в сегментах с максимальной работой значение GWl составило 1528 [1073; 1630] мм рт.ст.%.

4. Значительный объем утраченной работы отразился на значении GWE и привел к достоверным отличиям этого показателя в группах И-БЛНПГ, TAVI-БЛНПГ, ЭСПЖ и ДКМП-БЛНПГ по сравнению

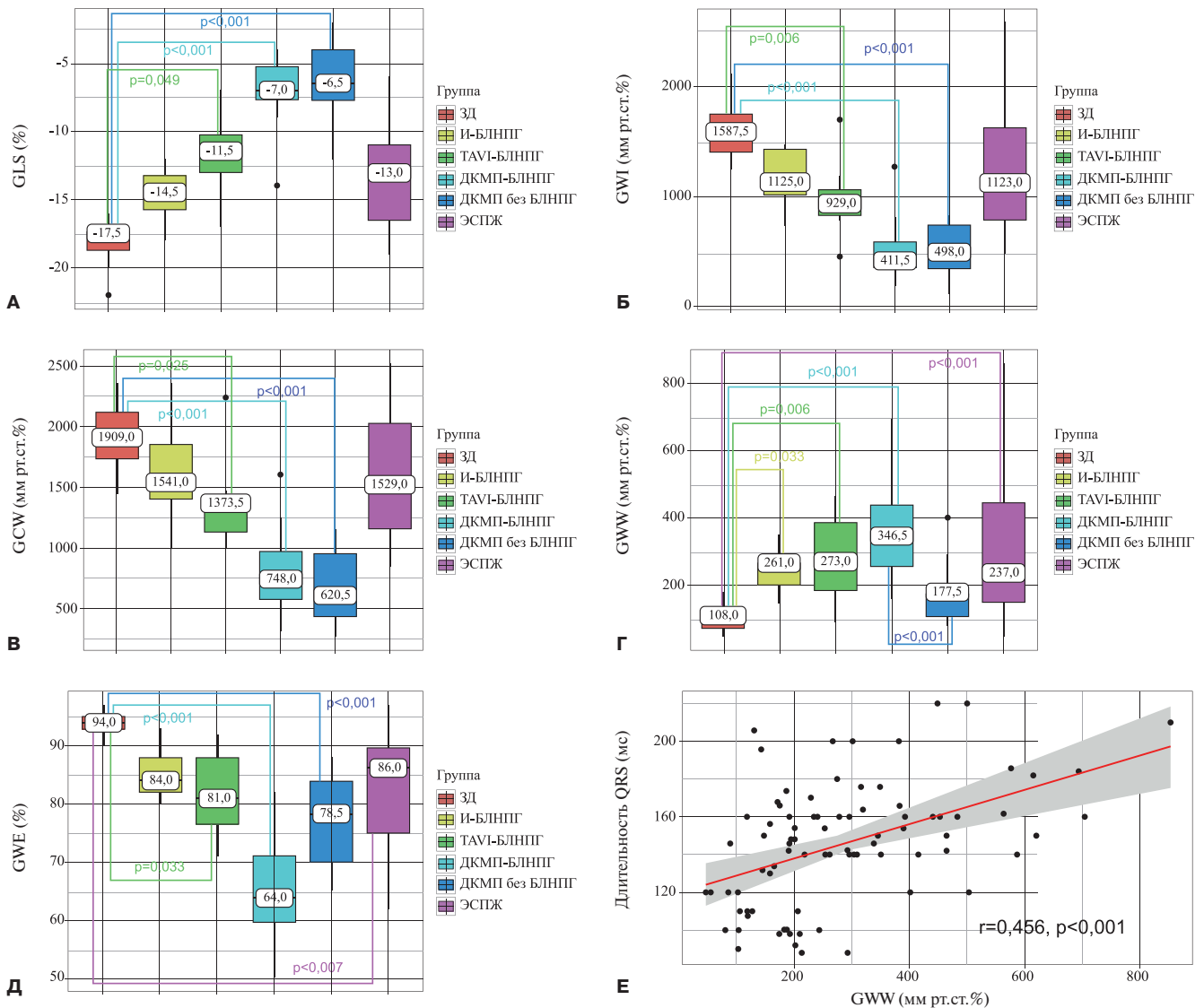


Рис. 1. Значения GLS (А), GWI (Б), GCW (В), GWW (Г) и GWE (Д) в исследуемых группах. Е — график регрессионной зависимости, характеризующей взаимосвязь между GWW и шириной комплекса QRS.

Примечание: цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: БЛНПГ — блокада левой ножки пучка Гиса, ДКМП — дилатационная кардиомиопатия, ЗД — здоровые добровольцы, ЭСПЖ — электростимуляция правого желудочка, GLS — глобальная продольная деформация миокарда левого желудочка (global longitudinal strain), GCW — конструктивная работа миокарда (global constructive work), GWW — утраченная работа миокарда (global wasted work), GWI — индекс глобальной работы миокарда (global work index), GWE — эффективность глобальной работы (global work efficiency), ТАВИ — транскатетерная имплантация аортального клапана (transcatheter aortic valve implantation).

с ЗД ($r_{\text{ТАВИ-БЛНПГ-ЗД}}=0,033$, $r_{\text{ДКМП-БЛНПГ-ЗД}}<0,001$, $r_{\text{ДКМПбезБЛНПГ-ЗД}}<0,001$, $r_{\text{ЭСПЖ-ЗД}}=0,007$).

Суммарно по всем обследованным больным для GLS и GWI прослеживалась высокой тесноты связь с фракцией выброса (ФВ) ЛЖ ($r=-0,803$ и $0,754$, соответственно, $p<0,001$), заметная связь с конечно-диастолическим размером (КДР) ЛЖ ($r=0,675$ и $-0,584$, соответственно, $p<0,001$) и с конечно-систолическим размером (КСР) ЛЖ ($r=0,648$, и $-0,591$, соответственно, $p<0,001$). Показатель GCW оказался с разной степенью тесноты связан со всеми исследуемыми показателями: отмечалась высокая степень связи с ФВ ЛЖ ($r=0,81$, $p<0,001$), за-

метная связь с КДР и КСР ЛЖ ($r=-0,649$, и $-0,627$, соответственно, $p<0,001$), умеренная для конечно-систолического объема ЛЖ ($r=-0,393$, $p=0,008$) и слабая для конечно-диастолического объема ЛЖ ($r=-0,299$, $p<0,049$). Обращает на себя внимание отсутствие связи этих показателей с длительностью комплекса QRS, в то время как для GWW была выявлена прямая умеренная связь с длительностью QRS ($r=0,456$, $p<0,001$) (рис. 1 Е). На показатель GWE, являющийся суррогатным параметром, производным от GCW и GWW, наложили отпечаток оба параметра: он оказался зависимым как от длительности комплекса QRS ($r=-0,292$, $p=0,007$), так и от величин

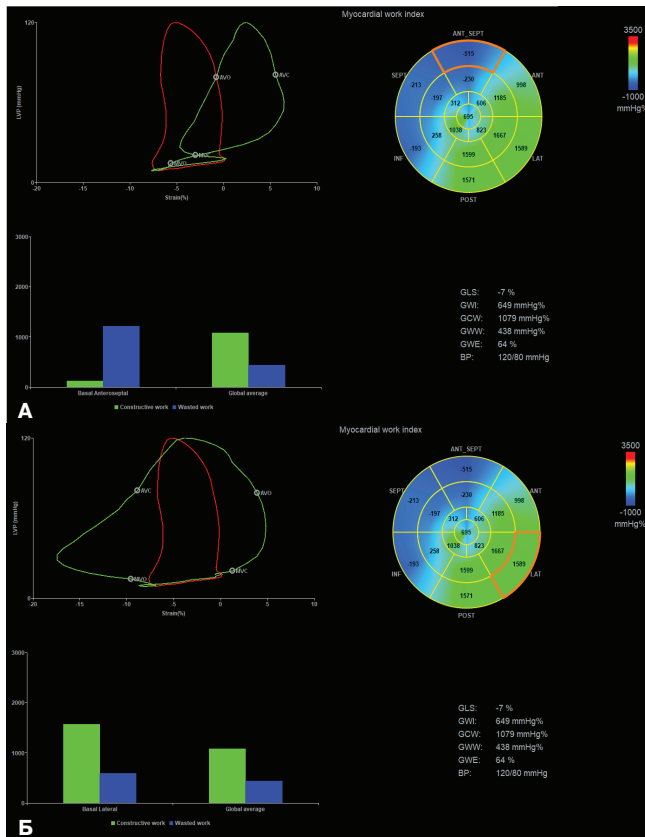


Рис. 2. Пример работы миокарда у пациента с ДКМП и БЛНПГ.

Примечание: А — петля "деформация-давления", характеризующая уменьшенную (неэффективную или утраченную) работу миокарда в базальном переднеперегородочном сегменте (зеленая кривая), по сравнению с глобальной работой всего миокарда (красная кривая). Отмечается преобладание утраченной работы (синий столбик). Б — тот же пациент. Петля "деформация-давления", характеризующая избыточную петлю работы миокарда в базальном боковом сегменте (зеленая кривая), по сравнению с глобальной работой всего миокарда (красная кривая). Преобладает конструктивная работа (зеленый столбик). Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: BP — артериальное давление, GLS — глобальная продольная деформация миокарда левого желудочка (global longitudinal strain), GCW — конструктивная работа миокарда (global constructive work), GWW — утраченная работа миокарда (global wasted work), GWI — индекс глобальной работы миокарда (global work index), GWE — эффективность глобальной работы (global work efficiency).

ФВ, КДР и КСР ЛЖ ($r=0,558$, $-0,42$, -468 , $p<0,001$). Неожиданным оказался факт зависимости показателя GWE от возраста пациентов ($r=-0,355$, $p<0,001$).

Анализ топографии зон преобладающей утраченной и конструктивной работы у пациентов исследуемых групп

Принимая во внимание известные данные о последовательности распространения электрического сигнала у пациентов с БЛНПГ [3-5, 11] и данные о характере работы миокарда у пациентов с идиопатической БЛНПГ и ДКМП с БЛНПГ [7, 12], было сформулировано предположение о том, что локализация сегментов с максимальной конструктивной работой будет топографически соответствовать зоне поздней электрической активации и располагаться

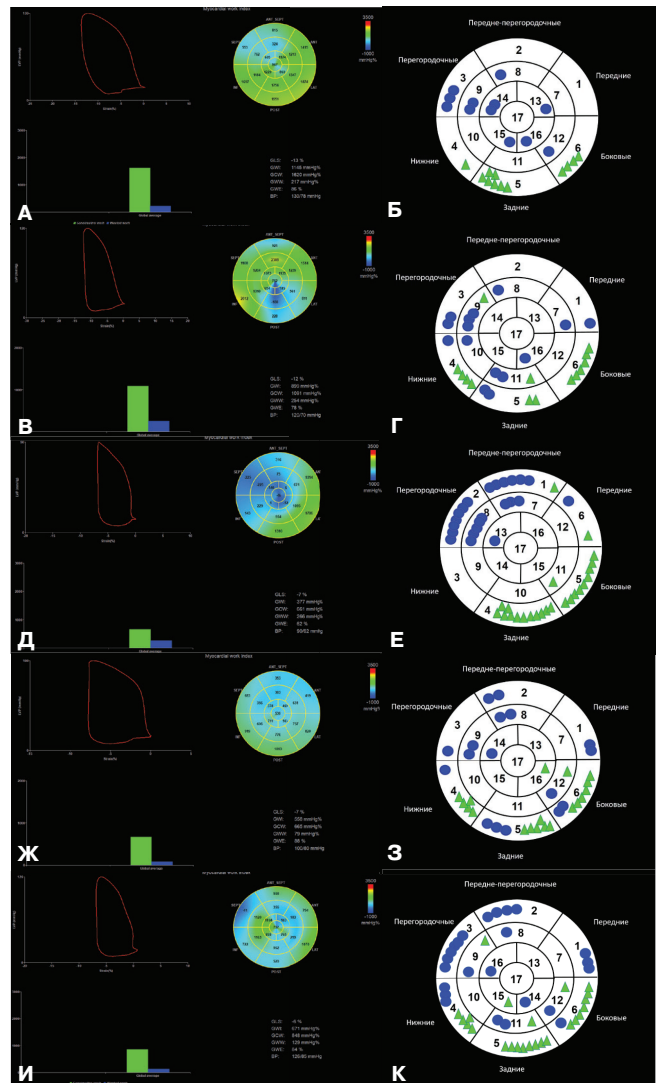


Рис. 3. А, В, Д, Ж, И — примеры работы миокарда пациентов групп И-БЛНПГ (А), ТАВИ-БЛНПГ (В), ДКМП-БЛНПГ (Д), ДКМП без БЛНПГ (Ж) и ЭСПЖ (И). Б, Г, Е, З, К — посегментарное распределение минимальной (синий круг) и максимальной (зеленый треугольник) GWI у пациентов групп И-БЛНПГ (Б), ТАВИ-БЛНПГ (Г), ДКМП-БЛНПГ (Е), ДКМП без БЛНПГ (З) и ЭСПЖ (К) на диаграмме "бычий глаз".

Примечание: цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: BP — артериальное давление, GLS — глобальная продольная деформация миокарда левого желудочка (global longitudinal strain), GCW — конструктивная работа миокарда (global constructive work), GWW — утраченная работа миокарда (global wasted work), GWI — индекс глобальной работы миокарда (global work index), GWE — эффективность глобальной работы (global work efficiency).

в заднебоковой стенке ЛЖ (сегменты 5, 6, 11, 12). Соответственно, зона минимальной, в значительной степени утраченной работы будет приходиться на перегородочные и переднеперегородочные сегменты (сегменты 2, 3, 8, 9), как это представлено на примере пациента с ДКМП и БЛНПГ (рис. 2).

В рамках этой гипотезы мы проанализировали значение GWI посегментарно у пациентов всех исследуемых групп. В то время как практически у всех

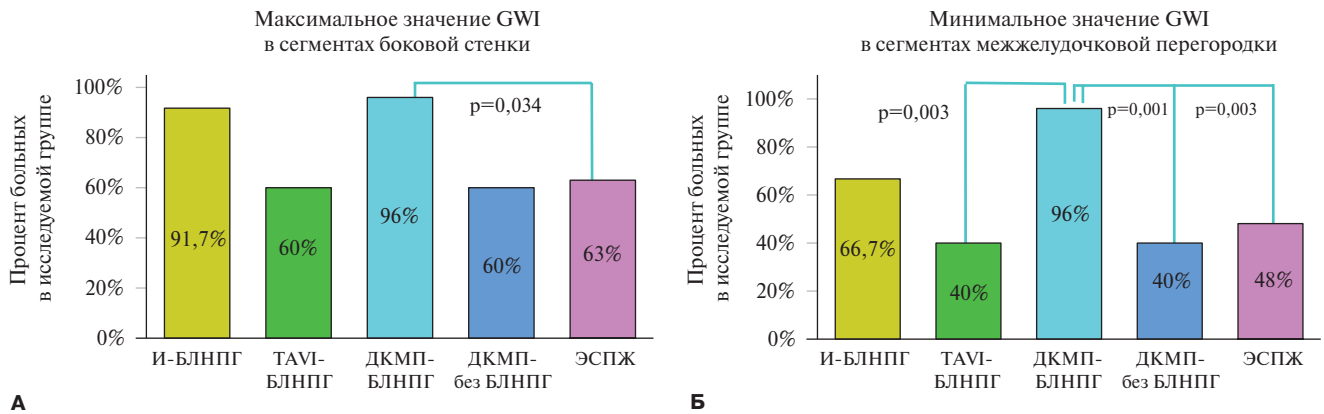


Рис. 4. Процент больных в исследуемых группах с максимальным значением GWI в сегментах боковой стенки (А). Процент больных в исследуемых группах с минимальным значением GWI в сегментах МЖП (Б).

Сокращения: БЛНПГ — блокада левой ножки пучка Гиса, И-БЛНПГ — идиопатическая блокада левой ножки пучка Гиса, ДКМП — дилатационная кардиомиопатия, ЭСПЖ — электростимуляция правого желудочка, GWI — индекс глобальной работы миокарда (global work index), TAVI — транскатетерная имплантация аортального клапана (transcatheter aortic valve implantation).

пациентов с ДКМП и БЛНПГ отмечалось типичное расположение зон максимальной и минимальной GWI (рис. 3 Д, Е, рис. 4), локализация исследуемых зон у пациентов других групп носила вариабельный характер. Так, наиболее разнообразную локализацию зон максимальной и минимальной работы миокарда обнаружили пациенты группы ЭСПЖ (рис. 3 И, К). Типичная локализация зон максимальной и минимальной работы миокарда встречалась в этой группе значительно реже, чем у пациентов ДКМП-БЛНПГ ($p=0,034$ и $0,003$). Несмотря на типичный или так называемый "истинный" характер БЛНПГ в группах И-БЛНПГ и TAVI-БЛНПГ, что подтверждалось высоким соответствием ЭКГ критериям Strauss DG, et al. [3], параметры работы миокарда этих групп пациентов отличались: если больные с идиопатической БЛНПГ в наибольшей степени напоминали больных ДКМП-БЛНПГ (рис. 3 А, Б, рис. 4), то пациенты группы TAVI-БЛНПГ существенно от них отличались разнообразным расположением зон максимальной и минимальной работы (рис. 3 В, Г, рис. 4). Пациенты ДКМП без БЛНПГ характеризовались меньшими различиями в посегментарной работе и вариабельным расположением сегментов с максимальной и минимальной работой (рис. 3 Ж, З, рис. 4).

Обсуждение

Проведенное исследование ставило своей целью проанализировать работу миокарда при электрической диссинхронии, обусловленной БЛНПГ, для чего были специально подобраны и сопоставлены между собой различные группы пациентов. В ходе исследования 3 группы пациентов с БЛНПГ и пациенты с ЭСПЖ продемонстрировали более выраженные проявления утраченной работы, чем 3Д. При этом объем утраченной работы был различен,

достигая максимума у пациентов с уже развившейся систолической дисфункцией — группы ДКМП-БЛНПГ. Для этих пациентов был характерен также максимальный разброс значений посегментарной работы от боковой стенки к МЖП. Можно предположить, что высокая значимость утраченной работы у этих пациентов объясняется в первую очередь наибольшей шириной комплекса QRS, в пользу чего свидетельствует прямая связь между этими показателями. Внося значимый вклад в снижение глобальной работы миокарда и снижение выброса ЛЖ, именно эта утраченная работа служит мишенью для применения сердечной ресинхронизирующей терапии, подразумевая наличие жизнеспособного миокарда и, соответственно, сократительного резерва [3]. В то же время низкий вклад утраченной работы и снижение показателей GLS, GWI и GCW, обусловленное равномерным посегментарным снижением глобальной работы миокарда у пациентов группы ДКМП без БЛНПГ, вероятно, свидетельствует о диффузном поражении миокарда у этой категории пациентов и дополнительно указывает на отсутствие мишени для сердечной ресинхронизирующей терапии.

Результаты работ по методу неинвазивного активационного картирования при БЛНПГ, соответствующей критериям Strauss DG, et al. [3-5, 11], свидетельствуют о характерном распространении электрической волны возбуждения, с локализацией зоны поздней активации в заднебоковых отделах ЛЖ. Проведенное исследование свидетельствует об аналогичной топографической сегментарной картине расположения зон максимальной и минимальной работы миокарда у пациентов с ДКМП-БЛНПГ. Подобная картина работы миокарда в меньшей степени прослеживалась у больных с И-БЛНПГ без документированной систолической дисфункции ЛЖ

и пациентов группы ЭСПЖ. Существенный объем утраченной работы миокарда у пациентов этих групп значимо не отражался на показателях GLS и GWI, что несколько противоречит данным Gao Y, et al. [12], которые сообщили о сниженных показателях GLS, GWI и GWE у 35 больных с идиопатической БЛНПГ с ФВ ЛЖ $>50\%$ по сравнению со ЗД. Подобная разница в результатах, возможно, обусловлена некоторыми различиями в исследуемых популяциях больных: обследованные в работе Gao Y, et al. пациенты обладали ЭхоКГ признаками замедленной релаксации ЛЖ ($E/A=0,71\pm0,05$) и были существенно старше больных группы И-БЛНПГ в нашем исследовании. Необходимо отметить, что в нашем исследовании среди групп с нормальной систолической функцией ЛЖ группа наиболее старших по возрасту пациентов — группа TAVI-БЛНПГ оказалась единственной отличающейся снижением показателей глобальной работы — GLS, GWI и GCW. Учитывая, что наши результаты обнаружили умеренную зависимость показателя GWE от возраста пациентов ($r=-0,355$, $p<0,001$), можно предположить, что возраст является фактором, оказывающим дополнительное негативное влияние на работу миокарда у пациентов с БЛНПГ. Эта гипотеза находит свое подтверждение в исследовании STAAB, где также регистрировалось снижение GWE пропорционально возрасту [10]. Можно предположить, что для повышения вклада утраченной работы в снижение сердечного выброса и развития сердечной дисфункции пациентам с электрической диссинхронией и исходно сохранным миокардом требуется дополнительный патогенетический фактор. И таким фактором может быть возраст. Еще одним потенциальным фактором может служить артериальная гипертензия. Aalen J, et al. [13] продемонстрировали статистически значимо более выраженное, чем в контрольной группе, снижение ФВ ЛЖ и GLS в ответ на умеренное повышение артериального давления у лиц с БЛНПГ и сохранной систолической функцией ЛЖ за счет дисфункции МЖП. Таким образом, возможным предрасполагающим фоном для возникновения систолической дисфункции вследствие БЛНПГ может являться артериальная гипертензия. В свете вышесказанного представляется недостаточно обоснованной гипотеза о кардиомиопатии, обусловленной исключительно одной причиной — БЛНПГ.

Результаты проведенного нами исследования свидетельствуют о сопоставимых с нормальными показателях глобальной конструктивной работы миокарда у больных группы ЭСПЖ с нормальной систолической функцией сердца, что отличается от результатов Malagu M, et al. (2022), продемонстрировавших снижение конструктивной работы миокарда у 15 пациентов на фоне стимуляции ЭСПЖ [14]. Вполне вероятно, что на различия в полученных результатах также повлияли исходные характеристики включен-

ных в исследование больных. В указанном исследовании 33% пациентов уже имели признаки сердечной недостаточности и были старше (76 ± 12 лет), чем пациенты группы ЭСПЖ ($66,5\pm14,1$ лет) в нашем исследовании. Кроме того, при посегментарной оценке производимой миокардом работы пациенты ЭПЖС обнаружили наибольшую вариабельность в расположении зон максимальной и минимальной GWI среди обследованных групп, что сопоставимо с уже имеющимися данными об электрической активации сердца у этой категории больных [4]. Несмотря на то, что при ЭСПЖ последними активируются базальные отделы ЛЖ, Varma N, et al. указывают на отличающуюся от БЛНПГ локализацию зон поздней активации [4], что соответствует обнаруженным нами фактам.

Можно заключить, что сходные электрокардиографические изменения по-разному меняют механику сокращения желудочков, в большей степени отражаясь на миокарде, уже измененном вследствие иных причин. Одной электрической диссинхронии может быть недостаточно для существенного снижения производимой миокардом работы. Утраченная работа, возникающая вследствие нарушения распространения электрической активации сердца, способна компенсироваться здоровым миокардом, однако иметь критическое значение для развития дисфункции миокарда при его исходно измененной структуре и свойствах.

Ограничения исследования. Ограничением проведенного исследования является наличие в более возрастных исследуемых группах (TAVI-БЛНПГ и ЭСПЖ) сопутствующих заболеваний, которые могут иметь значение для показателей работы миокарда. Однако их наличие не привело к изменению размеров полости ЛЖ или снижению ФВ ЛЖ у включенных в исследование пациентов, а показатели работы миокарда у пациентов ЭСПЖ статистически не отличались от показателей в группе ЗД.

Существенным ограничением проведенного исследования является его одномоментный характер. Вполне вероятно, что значимым для реализации негативного вклада электрической диссинхронии на производимую миокардом конструктивную работу является фактор времени, и выявление подобных закономерностей требует проведения проспективного наблюдения за пациентами с БЛНПГ, развившейся после операции транскатетерного протезирования аортального клапана, больными с постоянной стимуляцией ПЖ, а также больными с идиопатической БЛНПГ.

Заключение

Несмотря на то, что все пациенты, электрическая активация сердца которых соответствует БЛНПГ, характеризуются значительным объемом утраченной

работы, вклад ее в глобальную работу миокарда проявляется только у пациентов с ДКМП. У пациентов с идиопатической БЛНПГ и пациентов с ЭСПЖ и нормальной систолической функцией наличие утраченной работы не приводит к уменьшению глобальной работы миокарда. Топография зон максимальной и минимальной работы миокарда соответ-

ствует топографии зон ранней и поздней электрической активации у большинства больных с БЛНПГ, но является весьма вариабельной у больных с ЭСПЖ.

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

Литература/References

1. Rimsкая EM, Mironova NA, Sokolov SF, Golitsyn SP. Left bundle branch block — dilated cardiomyopathy — heart failure: common links in the closed pathogenetic chain. *Kardiologiya*. 2023;63(2):68-76. (In Russ.) Римская Е. М., Миронова Н. А., Соколов С. Ф., Голицын С. П. Блокада левой ножки пучка Гиса — дилатационная кардиомиопатия — сердечная недостаточность: общие звенья замкнутой цепи патогенеза. *Кардиология*. 2023;63(2):68-76. doi:10.18087/cardio.2023.2.n1773.
2. Sanna GD, Merlo M, Moccia E, et al. Left bundle branch block-induced cardiomyopathy: a diagnostic proposal for a poorly explored pathological entity. *Int J Cardiol*. 2020;299:199-205. doi:10.1016/j.ijcard.2019.06.008.
3. Strauss DG, Selvester RH, Wagner GS. Defining Left Bundle Branch Block in the Era of Cardiac Resynchronization Therapy. *The American Journal of Cardiology*. 2011; 107(6):927-34. doi:10.1016/j.amjcard.2010.11.010.
4. Varma N. Left ventricular electrical activation during right ventricular pacing in heart failure patients with LBBB: visualization by electrocardiographic imaging and implications for cardiac resynchronization therapy. *J Electrocardiol*. 2015;48(1):53-61. doi:10.1016/j.jelectrocard.2014.09.002.
5. Kashtanova SY, Mironova NA, Shitov VN, et al. Role of electrocardiographic and echocardiographic types of left bundle branch block in prediction of response to cardiac resynchronization therapy. *Terapevticheskiy arkhiv*. 2018;90(12):76-83. (In Russ.) Каштанова С. Ю., Миронова Н. А., Шитов В. Н. и др. Комплексная оценка электрокардиографических и эхокардиографических параметров у больных с блокадой левой ножки пучка Гиса в прогнозировании успеха сердечной ресинхронизирующей терапии. *Терапевтический архив*. 2018;90(12):76-83. doi:10.26442/00403660.2018.12.000012.
6. Aalen J, Remme EW, Larsen CK, et al. Mechanism of Abnormal Septal Motion in Left Bundle Branch Block. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2019;12(12):2402-13. doi:10.1016/j.jcmg.2018.11.030.
7. Russell K, Eriksen M, Aaberge L, et al. Assessment of wasted myocardial work: a novel method to quantify energy loss due to uncoordinated left ventricular contractions. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2013;305(7):H996-1003. doi:10.1152/ajpheart.00191.2013.
8. 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. Hear J. Cardiovasc. Imaging*. 2015;16:233-71. doi:10.1093/ehjci/jev014.
9. 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/jej188.
10. Morbach C, Sahiti F, Tiffe T, et al.; STAAB consortium. Myocardial work — correlation patterns and reference values from the population-based STAAB cohort study. *PLoS One*. 2020;15(10):e0239684. doi:10.1371/journal.pone.0239684.
11. Rimsкая EM, Kashtanova SYu, Salami HF, et al. Diagnostic criteria for proximal left bundle branch block and their significance in predicting the success of cardiac resynchronization therapy. *Russian Journal of Cardiology*. 2023;28(8):5403. (In Russ.) Римская Е. М., Каштанова С. Ю., Салами Х. Ф. и др. Диагностические критерии проксимальной блокады левой ножки пучка Гиса и их значимость в предсказании эффекта от сердечной ресинхронизирующей терапии. *Российский кардиологический журнал*. 2023;28(8):5403. doi:10.15829/1560-4071-2023-5403.
12. Gao Y, Zhang Y, Tang Y, et al. Myocardial work and energy loss of left ventricle obtained by pressure-strain loop and vector flow mapping: a new perspective on idiopathic left bundle branch block. *Quant Imaging Med Surg*. 2023;13(1):210-23. doi:10.21037/qims-22-284.
13. Aalen J, Storsten P, Remme EW, et al. Afterload Hypersensitivity in Patients With Left Bundle Branch Block. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2019;12(6):967-77. doi:10.1016/j.jcmg.2017.11.025.
14. Malagù M, Vitali F, Massafra RF, et al. Three-Dimensional Electro-Anatomical Mapping and Myocardial Work Performance during Spontaneous Rhythm, His Bundle Pacing and Right Ventricular Pacing: The EMPATHY Study. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2022;9(11):377. doi:10.3390/jcdd9110377.