



<https://doi.org/10.34883/PI.2024.16.5.004>

Гарипов А.С.<sup>1</sup>, Патеюк И.В.<sup>2</sup> ✉, Терехов В.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Республиканский научно-практический центр детской хирургии, Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

<sup>3</sup> 5-я городская клиническая больница, Минск, Беларусь

# Однофотонная эмиссионная компьютерная томография миокарда в диагностике диастолической дисфункции миокарда левого желудочка у молодых пациентов с длительной желудочковой стимуляцией

**Конфликт интересов:** не заявлен.

**Вклад авторов:** концепция и дизайн исследования, редактирование, сбор материала, обработка, написание текста – Гарипов А.С.; концепция и дизайн исследования, редактирование, обработка – Патеюк И.В.; редактирование, сбор материала, обработка – Терехов В.И.

Подана: 16.08.2024

Принята: 07.10.2024

Контакты: pat-iv@mail.ru

## Резюме

**Введение.** Длительная желудочковая стимуляция может приводить к снижению систолической функции миокарда левого желудочка и развитию клинически значимой сердечной недостаточности. Однако распространенность и взаимосвязи диастолической дисфункции как одного из значимых звеньев сердечной недостаточности у пациентов с электрокардиостимуляцией мало изучены и представляют клинический интерес.

**Цель.** Изучить показатели диастолической функции миокарда левого желудочка с помощью однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) с синхронизацией электрокардиограммы, определить их взаимосвязь с ультразвуковыми показателями продольной деформации у молодых пациентов с длительной желудочковой стимуляцией.

**Материалы и методы.** В исследование были включены 40 молодых пациентов (23 мужчины и 17 женщин) в возрасте 18–35 лет с имплантированными в детском возрасте электрокардиостимуляторами по поводу возникшей полной атриовентрикулярной блокады (АВ-блокады). В зависимости от причины имплантации электрокардиостимуляторов пациенты были разделены на 2 группы: 1-ю группу составили 20 пациентов с послеоперационными АВ-блокадами (после хирургической коррекции врожденного порока сердца); 2-ю группу – 20 пациентов с нехирургической АВ-блокадой. Всем пациентам выполнена ОФЭКТ, эхокардиография с определением продольной деформации миокарда левого желудочка.

**Результаты.** По данным эхокардиографии выявлено, что среди показателей диастолической функции значимо различался между исследуемыми группами показатель  $E/E'$  и составил в 1-й группе 7,9 (5,4; 11,0), во 2-й группе – 5,0 (4,4; 6,2) ( $p=0,000$ ). При анализе результатов ОФЭКТ в исследуемых группах значимо различались показатели

пиковой объемной скорости изгнания крови из желудочков при нагрузке / в покое (Stress PER и Rest PER) и составили: Stress PER 1,7 (1,4; 2,3) КДО/с в 1-й группе и 2,5 (1,9; 3,1) КДО/с ( $U=105,5$ ,  $p=0,009$ ) во 2-й группе; Rest PER – 1,8 (1,4; 2,5) КДО/с и 2,5 (2,1; 3,2) КДО/с ( $U=116,5$ ,  $p=0,023$ ) соответственно. По данным ОФЭКТ, у 12 (30%) пациентов всей выборки выявлены признаки диастолической дисфункции левого желудочка, вне зависимости от причины АВ-блокады и наличия преходящей ишемии миокарда левого желудочка (SDS >4 баллов); не было обнаружено значимых взаимосвязей между диастолическими показателями эхокардиографии и ОФЭКТ. У пациентов с диастолической дисфункцией левого желудочка установлены значимые снижения показателей продольной деформации в 12 из 17 сегментов миокарда левого желудочка в сравнении с пациентами без диастолической дисфункции левого желудочка; общий глобальный стрейн (GLS) составил  $-13,5$  ( $-16,1$ ;  $-11,7$ )%, у пациентов без диастолической дисфункции левого желудочка  $-17,2$  ( $-19,0$ ;  $-15,2$ )% ( $p=0,001$ ). Наиболее значимым предиктором прогнозирования диастолической дисфункции левого желудочка явился показатель GLS: площадь под ROC-кривой составила  $AUC=0,813$  (95% ДИ  $0,658-0,918$ ,  $p<0,001$ ) и оптимальная точка отсечения составила  $GLS=-15,5\%$  (чувствительность 75%, специфичность 75%).

**Заключение.** У 30% пациентов с длительной желудочковой стимуляцией, вне зависимости от причины возникновения АВ-блокады и наличия преходящей ишемии, согласно данным ОФЭКТ, синхронизированной с электрокардиограммой, выявили признаки диастолической дисфункции левого желудочка. Установлена значимая связь диастолической дисфункции левого желудочка, которая измерялась с помощью ОФЭКТ, синхронизированной с электрокардиограммой, и показателей продольной деформации левого желудочка.

**Ключевые слова:** желудочковая стимуляция, диастолическая дисфункция, однофотонная эмиссионная компьютерная томография, продольная деформация, общий глобальный стрейн

---

Harypau A.<sup>1</sup>, Patsiyuk I.<sup>2</sup>✉, Terehov V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Republican Scientific and Practical Center of Pediatric Surgery, Minsk, Belarus

<sup>2</sup> Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus

<sup>3</sup> 5<sup>th</sup> City Clinical Hospital, Minsk, Belarus

## Single-Photon Emission Computed Tomography of the Myocardium in Diagnosing Left Ventricular Diastolic Dysfunction in Young Patients with Prolonged Ventricular Pacing

**Conflict of interest:** nothing to declare.

**Authors' contribution:** research concept and design, editing, material collecting, processing, text writing – Harypau A.; research concept and design, editing, processing – Patsiyuk I.; editing, material collecting, processing – Terehov V.

Submitted: 16.08.2024

Accepted: 07.10.2024

Contacts: pat-iv@mail.ru

### Abstract

**Introduction.** Prolonged ventricular pacing may lead to a decrease in LV systolic myocardial function and clinically significant heart failure (HF). However, the prevalence and interrelationships of diastolic dysfunction as one of the significant elements of HF in pacemaker patients have been poorly understood and represent a clinical interest.

**Purpose.** To study parameters of LV diastolic myocardial function using single-photon emission computed tomography (SPECT) with electrocardiogram (ECG) synchronization, and to determine their correlation with ultrasound parameters of longitudinal strain in young patients with prolonged ventricular pacing.

**Materials and methods.** The study included 40 young patients (23 males and 17 females) aged 18–35 years with pacemakers implanted in childhood due to the total atrioventricular block (AV block). Depending on the reason for pacemakers implantation, the patients were divided into 2 groups: group 1 consisted of 20 patients with postoperative AV blockades, after surgical correction of congenital heart disease; group 2 consisted of 20 patients with non-surgical AV block. All patients underwent SPECT and echocardiography (ECHO) to determine the longitudinal deformation of the left ventricular myocardium (LV).

**Results.** ECHO data revealed that among the diastolic function indicators, the E/E' index differed significantly between the studied groups, and amounted to 7.9 (5.4; 11.0) in group 1 and 5.0 (4.4; 6.2) in group 2, respectively ( $p=0.000$ ). When analyzing the results of SPECT in the studied groups, the indicators of the peak volumetric rate of blood expulsion from the ventricles at load/at rest (Stress PER and Rest PER) significantly differed and amounted to: Stress PER 1.7 (1.4; 2.3) EDV (end-diastolic volume)/s in group 1 and 2.5 (1.9; 3.1) KDO/s ( $U=105.5$ ,  $p=0.009$ ) in group 2; Rest PER – 1.8 (1.4; 2.5) EDV/s and 2.5 (2.1; 3.2) EDV/s ( $U=116.5$ ,  $p=0.023$ ), respectively. According to SPECT data, 12 (30%) patients of the entire sample showed signs of LV diastolic dysfunction (LV DD), regardless of the cause of AV block and transient LV myocardial ischemia (SDS >4 points); no significant correlations were found between diastolic parameters of ECHO and SPECT. In patients with LV DD: significant reductions in longitudinal strain were revealed in 12 of the 17 segments of the LV myocardium in comparison with patients without LV DD. The total global strain (GLS)

was  $-13.5$  ( $-16.1$ ;  $-11.7$ )%, and  $-17.2$  ( $-19.0$ ;  $-15.2$ )% ( $p=0.001$ ) in patients without LV DD. The most significant predictor for LV DD prognostic was the GLS indicator: the area under the ROC curve (AUC) was  $0.813$  (95% CI  $0.658-0.918$ ,  $p < 0.001$ ), and the optimal cut-off point for GLS was  $-15.5\%$  (sensitivity 75%, specificity 75).

**Conclusion.** In 30% of patients with prolonged ventricular pacing, regardless of the cause of AV block and the presence of transient ischemia, signs of LV diastolic dysfunction were revealed according to ECG synchronized SPECT data. A significant correlation between LV diastolic dysfunction, measured using an ECG-synchronized SPECT, and indicators of LV longitudinal strain was established.

**Keywords:** ventricular pacing, diastolic dysfunction, single-photon emission computed tomography, longitudinal strain, total global strain

---

## ■ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время заболеваемость сердечной недостаточностью (СН) составляет 1–2% в популяции и увеличивается до 10% в пожилом возрасте, являясь одной из ведущих причин смертности [1, 2]. По данным литературы, в структуре СН около половины (40–50%) составляют пациенты с СН с сохраненной фракцией выброса [1–3], которая характеризуется наличием диастолической дисфункции миокарда [3].

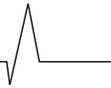
Несмотря на то что эхокардиография (ЭхоКГ) рутинно играет основную роль в оценке диастолической функции левого желудочка (ЛЖ) [4], современные аппараты для проведения однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) с синхронизацией электрокардиограммы (ЭКГ) позволяют оценить как систолическую, так и диастолическую функции ЛЖ [5–7].

Установлено, что диастолическая дисфункция ЛЖ (ДД ЛЖ) при нормальной систолической функции связана с развитием СН и является предиктором смертности от всех причин [7–10]. Ряд авторов отмечают, что бессимптомное течение диастолической дисфункции увеличивает риск возникновения СН в 6 раз, а риск смерти от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) – почти в 4 раза [8].

Известно, что желудочковая стимуляция с течением времени может приводить к снижению систолической функции миокарда ЛЖ [11] и неблагоприятно влиять на прогноз СН с сохраненной фракцией выброса у пациентов с электрокардиостимуляторами (ЭКС) [12]. У пациентов с желудочковой стимуляцией отмечены повышенные риски смерти от ССЗ и госпитализаций по поводу СН [12, 13]. Сообщается, что диастолическая дисфункция является фактором риска развития ЭКС-индуцированной кардиомиопатии у пациентов с сохраненной функцией ЛЖ [14]. Однако распространенность диастолической дисфункции и клинически значимой СН среди пациентов с ЭКС, в т. ч. после хирургической коррекции врожденных пороков сердца, остается мало изученной и, по некоторым данным, может достигать 10% [13].

## ■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить показатели диастолической функции миокарда ЛЖ с помощью ОФЭКТ с синхронизацией ЭКГ, определить их взаимосвязь с ультразвуковыми показателями продольной деформации у молодых пациентов с длительной желудочковой стимуляцией.



## ■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование были включены 40 молодых пациентов (23 мужчины и 17 женщин) с имплантированными в детском возрасте ЭКС по поводу возникшей полной атриовентрикулярной блокады (АВ-блокады). Критериями включения в исследование были молодой возраст (18–35 лет), наличие ЭКС по поводу АВ-блокады, в т. ч. послеоперационной, длительность кардиостимуляции более 10 лет, не менее 20% желудочковой стимуляции, отсутствие генетических синдромов, острых и хронических декомпенсированных сопутствующих заболеваний. В зависимости от причины имплантации ЭКС пациенты были разделены на 2 группы: 1-ю составили 20 пациентов с послеоперационными АВ-блокадами (после хирургической коррекции врожденных пороков сердца), 2-ю – 20 пациентов с нехирургической АВ-блокадой. Возраст на момент исследования составил 22,7 (20,2; 24,6) года, длительность кардиостимуляции – 15,7 (13,5; 18,5) года, площадь поверхности тела – 1,7 (1,5; 1,9) м<sup>2</sup>, индекс массы тела – 21,5 (20,2; 24,0) кг/м<sup>2</sup>, и значимо они не отличались в группах. Общая характеристика групп пациентов представлена в табл. 1. Медиана процента желудочковой стимуляции в группах составила 100%. У всех пациентов на момент осмотра был имплантирован двухкамерный электрокардиостимулятор в режиме DDDR. Ширина комплекса QRS составила 140 (140; 150) мс и была больше в 1-й группе, чем во 2-й. Уровни артериального давления, сатурации значимо не отличались в исследуемых группах.

Ультразвуковое исследование сердца было выполнено на ультразвуковой системе премиального класса Philips EPIQ 7 (США) по стандартной методике. Для оценки диастолической функции измеряли: индекс левого предсердия (ЛП), который рассчитывали как отношение объема ЛП к площади поверхности тела; скорость раннего диастолического наполнения левого желудочка (Е); скорость позднего диастолического наполнения левого желудочка (А); соотношение скоростей раннего и позднего диастолического наполнения левого желудочка (Е/А); отношение скоростей раннего трансмитрального потока и раннего движения латеральной стенки кольца митрального клапана (Е/Е'). Систолическое давление в легочной артерии (СДЛА, мм рт. ст.) оценивали по систолическому градиенту давления регургитации на трехстворчатом клапане и степени коллабирования нижней полой вены на вдохе [4].

Определение деформации миокарда ЛЖ проводили на ультразвуковой системе Philips EPIQ 7 (США) с помощью программного обеспечения QLAB согласно общепринятым рекомендациям [15, 16]. Регистрировали не менее 3 сердечных циклов с синхронизацией электрокардиограммы во время задержки дыхания. Частота кадров составила 40–70 в секунду. Выполнялась запись в верхушечных четырехкамерной (боковой, перегородочной стенок ЛЖ и свободной стенки правого желудочка), двухкамерной (нижней и передней стенок ЛЖ) и трехкамерной (задней и переднеперегородочной стенок ЛЖ) позициях. Маркировка закрытия и открытия створок аортального и митрального клапанов проводилась автоматически. Ширину зоны исследования корректировали в ручном режиме с учетом границ эпикарда и эндокарда, далее ЛЖ автоматически разделялся на 6 сегментов. Сегменты с неоптимальной визуализацией исключались из исследования. Далее в автоматическом режиме получали 17-сегментную модель в виде «бычьего глаза», отдельно для каждой позиции (AP2, AP4 и AP3), и общий усредненный глобальный продольный стрейн (GLS, global longitudinal strain).

ОФЭКТ миокарда проводили на аппарате Anyscan/SC коллиматор LEHR. Исследование выполнялось по однодневному протоколу GATED SPECT в последовательности STRESS/CT с коррекцией поглощения, с фармакологической нагрузочной пробой (дипиридамолом). В течение 4 минут вводилось внутривенно медленно 0,142 мг/кг/мин 50 мг дипиридамола под контролем артериального давления, частоты сердечных сокращений, ЭКГ. Во время инфузии проводился мониторинг клинических и ЭКГ-признаков ишемии. На высоте нагрузки вводился радиофармпрепарат (РФП) 99mTc-метоксиизобутилизонитрил (SESTAMIBI, Tc 99m-MIBI), активность РФП составила 890 Бк, эффективная доза – 3,1 мЗв/КТ 1,3 МЗв. Через 20–30 минут после введения РФП делалась запись. Через 2–3 часа проводилось второе исследование миокарда GATED REST, спустя 60 минут после введения РФП.

Анализ перфузионных изображений проводили визуально и полуколичественно на основе оценки соотношений интенсивности включения РФП в различных участках миокарда и окружающих тканях. В режиме полярных карт оценивали равномерность распределения РФП в миокарде ЛЖ с помощью 17-сегментной шкалы в баллах от 0 до 4. Сумму полученных баллов по всем 17 сегментам в покое определяли как Summed Rest Score (SRS), после нагрузки – как Summed Stress Score (SSS), сумму разности баллов после нагрузки и в покое по каждому сегменту – как Summed Difference Score (SDS). Уровень SDS >4 баллов расценивали как преходящую ишемию [5, 17, 18].

Для оценки диастолической функции по данным ОФЭКТ с синхронизацией ЭКГ использовали следующие скоростные показатели в покое (Rest) и при нагрузке (Stress): время достижения максимальной скорости наполнения при нагрузке (time to peak filling, TTPF, мс), пиковая объемная скорость наполнения желудочков (peak filling rate, PFR, конечно-диастолический объем (КДО)/с), пиковая объемная скорость изгнания крови из желудочков (peak ejection rate, PER, КДО/с) [5, 6]. Наличие диастолической дисфункции определяли при одновременных показателях PFR <1,7 КДО/с и TTPF >208 мс как в покое, так и при нагрузке [5, 6].

**Таблица 1**  
**Общая характеристика групп пациентов**  
**Table 1**  
**General characteristics of patient groups**

Показатель	Всего (n=40)	1-я группа (n=20)	2-я группа (n=20)	p-value
Возраст, годы	22,7 (20,2; 24,6)	22,8 (19,8; 24,0)	22,5 (20,4; 24,8)	0,620
Пол мужской, n (%)	23 (57%)	11 (55%)	12 (60%)	0,749
Длительность кардиостимуляции, годы	15,7 (13,5; 18,5)	15,5 (12,8; 18,9)	15,7 (14,1; 18,2)	0,862
% желудочковой стимуляции	100,0 (99,8; 100,0)	100,0 (99,5; 100,0)	100,0 (99,8; 100,0)	0,883
Ширина QRS, мс	140 (140; 150)	150 (140; 160)	140 (135; 140)	0,043*
Площадь поверхности тела, м <sup>2</sup>	1,7 (1,5; 1,9)	1,6 (1,5; 1,8)	1,8 (1,6; 1,9)	0,211
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст.	130,0 (112,5; 135)	120,5 (110,0; 135,5)	130,0 (125,0; 132,5)	0,583
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст.	80,0 (72,5; 85,0)	80,0 (70,0; 85,0)	77,5 (75,0; 85,0)	0,862
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	21,5 (20,2; 24,0)	21,5 (20,2; 23,6)	21,8 (20,1; 25,9)	0,799
Сатурация, %	100 (99,0; 100,0)	100,0 (98,0; 100,0)	100,0 (100,0; 100,0)	0,165

Примечание: \* значимость различия показателей при сравнении в исследуемых группах p<0,05.



Статистический анализ полученных данных проведен с помощью пакета программ Statistica 10.0, MedCalc® Statistical Software version 22.016. Количественные показатели представляли в виде медианного значения показателя (Me) и межквартильного разброса (Q25; Q75). Нормальность распределения признаков исследовали с помощью критерия Шапиро – Уилка. Анализ различий проводили с использованием непараметрических критериев, так как распределение исследуемых признаков не подчинялось закону нормального распределения. Значимость различий количественных признаков проверяли при помощи U-критерия Манна – Уитни, качественных – посредством критерия  $\chi^2$  по Пирсону, точного критерия Фишера. Для определения характера взаимосвязи между количественными и бинарными (порядковыми) переменными использовался метод бинарной логистической регрессии и ROC-анализ. Анализ взаимосвязи между количественными признаками проводился с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена, количественных и качественных признаков – Кендалла. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## ■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Эхокардиографические параметры диастолической функции ЛЖ представлены в табл. 2.

При анализе данных ЭхоКГ выявлено, что показатель E/E' составил в 1-й группе 7,9 (5,4; 11,0), во 2-й группе – 5,0 (4,4; 6,2) ( $p=0,000$ ). Другие параметры, связанные с диастолической функцией ЛЖ, такие как индекс ЛП, скорости раннего и позднего диастолического наполнения ЛЖ, соотношение E/A, СДЛА, существенно не различались и составили: индекс ЛП – 23,4 (20,6; 29,0) мл/м<sup>2</sup> в 1-й группе и 22,3 (18,6; 25,0) мл/м<sup>2</sup> во 2-й группе ( $p=0,242$ ); E – 0,9 (0,7; 1,1) м/с и 0,8 (0,7; 0,9) м/с ( $p=0,072$ ) соответственно; A – 0,6 (0,4; 0,7) м/с и 0,5 (0,4; 0,6) м/с ( $p=0,063$ ) соответственно; E/A – 1,5 (1,1; 1,9) и 1,7 (1,4; 2,0) ( $p=0,301$ ) соответственно; СДЛА – 25,0 (15,0; 27,0) мм рт. ст. и 21,5 (18,5; 25,0) мм рт. ст. ( $p=0,684$ ) соответственно.

Скоростные параметры диастолической функции ЛЖ по данным ОФЭКТ представлены в табл. 3.

При анализе данных диастолической функции в исследуемых группах основные интегральные скоростные параметры при нагрузке и в покое по данным ОФЭКТ с синхронизацией ЭКГ значимо не отличались и составили: Stress TTPF в 1-й и 2-й

**Таблица 2**  
**Ультразвуковые показатели диастолической функции ЛЖ в исследуемых группах**  
**Table 2**  
**Ultrasound indicators of LV diastolic function in the studied groups**

Показатель	Всего (n=40)	1-я группа (n=20)	2-я группа (n=20)	p-value
Индекс ЛП, мл/м <sup>2</sup>	22,3 (19,0; 26,5)	23,4 (20,6; 29,0)	22,3 (18,6; 25,0)	0,242
Пик E, м/с	0,8 (0,7; 1,0)	0,9 (0,7; 1,1)	0,8 (0,7; 0,9)	0,072
Пик A, м/с	0,5 (0,4; 0,7)	0,6 (0,4; 0,7)	0,5 (0,4; 0,6)	0,063
E/A	1,6 (1,2; 1,9)	1,5 (1,1; 1,9)	1,7 (1,4; 2,0)	0,301
E/E'	5,9 (4,9; 7,9)	7,9 (5,4; 11,0)	5,0 (4,4; 6,2)	0,000*
СДЛА, мм рт. ст.	23,0 (18,0; 27,0)	25,0 (15,0; 27,0)	21,5 (18,5; 25,0)	0,684

Примечание: \* значимость различия показателей при сравнении в исследуемых группах  $p < 0,0001$ .

**Таблица 3**  
**Показатели диастолической функции ЛЖ по данным ОФЭКТ, синхронизированной с ЭКГ, в исследуемых группах**  
**Table 3**  
**Indicators of LV diastolic function according to the data of SPECT with synchronized ECG in the studied groups**

Показатель	Всего (n=40)	1-я группа (n=20)	2-я группа (n=20)	p-value
Stress ТТФ, мс	272,5 (232,0; 322,5)	271,0 (230,0; 332,0)	272,5 (242,0; 319,5)	0,989
Stress PFR, КДО/с	1,85 (1,45; 2,45)	1,7 (1,2; 2,1)	2,2 (1,6; 2,7)	0,072
Stress PER, КДО/с	2,1 (1,55; 2,85)	1,7 (1,4; 2,3)	2,5 (1,9; 3,1)	0,009**
Rest ТТФ, мс	268,0 (226,5; 321,0)	292,5 (243,0; 365,0)	249,5 (221,0; 279,5)	0,096
Rest PFR, КДО/с	1,7 (1,3; 2,35)	1,6 (1,1; 2,3)	1,8 (1,4; 2,5)	0,461
Rest PER, КДО/с	2,15 (1,6; 2,8)	1,8 (1,4; 2,5)	2,5 (2,1; 3,2)	0,023*

Примечания: \* значимость различия показателей при сравнении в исследуемых группах  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ .

группах – 271,0 (230,0; 332,0) мс и 272,5 (242,0; 319,5) мс ( $U=199,0$ ;  $p=0,989$ ) соответственно; Stress PFR – 1,7 (1,2; 2,1) КДО/с и 2,2 (1,6; 2,7) КДО/с ( $U=133,5$ ;  $p=0,072$ ) соответственно; Rest ТТФ – 292,5 (243,0; 365,0) мс и 249,5 (221,0; 279,5) мс ( $U=138,0$ ;  $p=0,096$ ) соответственно; Rest PFR – 1,6 (1,1; 2,3) КДО/с и 1,8 (1,4; 2,5) КДО/с ( $U=172,5$ ;  $p=0,461$ ) соответственно (табл. 3).

Выявлены значимые различия показателей пиковой объемной скорости изгнания крови из желудочков как в покое, так и при нагрузке в исследуемых группах. Данный показатель характеризует глобальную сократимость, систолическую, а также диастолическую функцию [5]. По данным литературы, PER в норме составляет  $>2-3$  КДО/с и прогрессивно снижается при патологическом расширении ЛЖ и падении фракции выброса [5]. Так, у пациентов в 1-й группе в сравнении со 2-й интегральные показатели Stress PER составили 1,7 (1,4; 2,3) КДО/с и 2,5 (1,9; 3,1) КДО/с ( $U=105,5$ ;  $p=0,009$ ) соответственно; Rest PER – 1,8 (1,4; 2,5) КДО/с и 2,5 (2,1; 3,2) КДО/с ( $U=116,5$ ;  $p=0,023$ ) соответственно (табл. 3).

Распространенность ДД ЛЖ по данным ОФЭКТ, синхронизированной с ЭКГ, у пациентов в зависимости от причины АВ-блокады представлена в табл. 4.

Как видно из табл. 4, значимых различий в распространенности нарушений диастолической функции ЛЖ у пациентов обеих групп не выявлено. Признаки диастолической дисфункции по данным ОФЭКТ, синхронизированной с ЭКГ, обнаружены у 12 (30%) человек: у 6 (30%) пациентов 1-й группы и у 6 (30%) исследуемых во 2-й группе.

**Таблица 4**  
**Удельный вес пациентов с диастолической дисфункцией по данным ОФЭКТ, синхронизированной с ЭКГ, в зависимости от причины АВ-блокады**  
**Table 4**  
**Proportion of patients with diastolic dysfunction according to ECG synchronized SPECT, depending on the cause of AV block**

Показатель	Всего (n=40)	1-я группа (n=20)	2-я группа (n=20)	p-value*
ДД ЛЖ+	12 (30%)	6 (30%)	6 (30%)	1,0
ДД ЛЖ-	28 (70%)	14 (70%)	14 (70%)	

Примечание: \* значимость различия показателей при сравнении в исследуемых группах.

Таблица 5

Эхокардиографические показатели диастолической функции ЛЖ у пациентов в зависимости от наличия диастолической дисфункции по данным ОФЭКТ, синхронизированной с ЭКГ  
Table 5

Echocardiographic parameters of LV diastolic function in patients depending on the presence of diastolic dysfunction according to the data of the ECG synchronized SPECT

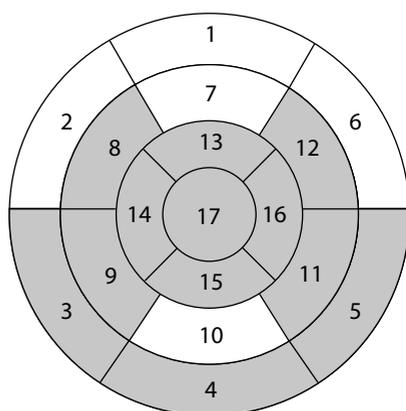
Показатели	ДД ЛЖ+ (n=12)	ДД ЛЖ- (n=28)	p-value*
Индекс ЛП, мл/м <sup>2</sup>	25,5 (21,4; 29,0)	22,3 (18,0; 24,8)	0,084
Пик E, м/с	0,9 (0,8; 1,1)	0,8 (0,7; 1,0)	0,286
Пик A, м/с	0,5 (0,4; 0,7)	0,6 (0,4; 0,7)	0,919
E/A	1,6 (1,3; 1,8)	1,6 (1,2; 1,9)	0,919
E/E'	6,1 (5,2; 7,3)	5,5 (4,7; 9,2)	0,485
СДЛА, мм рт. ст.	20,5 (17,0; 26,0)	23,0 (18,0; 27,0)	0,267

Примечание: \* значимость различия показателей при сравнении в исследуемых группах.

Анализ данных диастолической функции ЛЖ показал, что не было выявлено значимых различий и взаимосвязей между ультразвуковыми показателями и данными ОФЭКТ (табл. 5).

При анализе 17-сегментной модели продольной деформации определено, что у пациентов с диастолической дисфункцией выявлены значимые снижения показателей в 12 из 17 сегментов (рис. 1, табл. 6), а интегральный общий глобальный стрейн у пациентов с диастолической дисфункцией составил  $-13,5$  ( $-16,1$ ;  $-11,7$ )%, у пациентов без признаков диастолической дисфункции  $-17,2$  ( $-19,0$ ;  $-15,2$ )% ( $p=0,001$ ) (табл. 6).

При проведении однофакторного логистического регрессионного анализа наиболее значимыми предикторами развития диастолической дисфункции являлись показатели продольной деформации миокарда ЛЖ. По результатам ROC-анализа определена оптимальная точка отсечения ( $Se+Sp$ ) общего глобального стрейна на продольной деформации миокарда ЛЖ в качестве значимого предиктора для



Снижение параметров 17-сегментной модели продольной деформации у исследуемых пациентов с диастолической дисфункцией левого желудочка (серый цвет)

Рис. 1. Показатели продольной деформации у пациентов с диастолической дисфункцией по данным ОФЭКТ, синхронизированной с ЭКГ

Fig. 1. Indices of longitudinal strain in patients with diastolic dysfunction according to ECG synchronized SPECT

**Таблица 6**

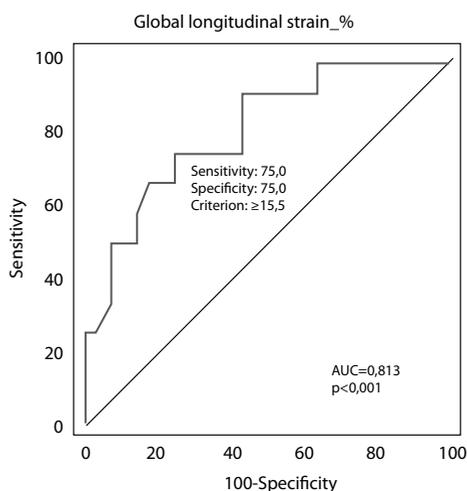
**Показатели продольной деформации у пациентов в зависимости от наличия диастолической дисфункции по данным ОФЭКТ, синхронизированной с ЭКГ**

**Table 6**

**Indices of longitudinal strain in patients depending on the presence of diastolic dysfunction according to synchronized ECG SPECT**

Сегменты, %	ДД ЛЖ+ (n=12)	ДД ЛЖ- (n=28)	p-value
Нижний базальный	-13,1 (-15,0; -9,0)	-15,0 (-17,5; -12,5)	0,010*
Нижний средний	-14,9 (-18,5; -8,6)	-15,5 (-18,0; -11,5)	0,673
Верхушечный нижний	-17,0 (-19,5; -12,9)	-20,9 (-24,0; -17,5)	0,008**
Верхушка, 17 сегмент	-13,3 (-17,0; -10,3)	-19,5 (-22,0; -17,0)	0,000***
Задне-латеральный базальный	-16,0 (-17,5; -7,8)	-18,0 (-20,0; -14,0)	0,031*
Задне-латеральный средний	-14,0 (-16,9; -12,1)	-17,0 (-21,0; -14,0)	0,056
Передне-латеральный базальный	-14,0 (-15,8; -13,0)	-15,5 (-18,0; -13,0)	0,273
Передне-латеральный средний	-13,0 (-14,6; -12,7)	-16,0 (-19,0; -12,5)	0,045*
Верхушечный латеральный	-13,1 (-16,5; -9,6)	-18,0 (-22,0; -13,5)	0,016*
Передний базальный	-14,0 (-20,4; -11,9)	-17,0 (-19,5; -14,0)	0,422
Передний средний	-16,5 (-18,6; -11,6)	-17,0 (-19,0; -14,0)	0,439
Верхушечный передний	-15,0 (-17,7; -4,2)	-18,5 (-21,5; -15,5)	0,022*
Передне-перегородочный базальный	-12,0 (-14,0; -7,8)	-14,0 (-16,0; -11,0)	0,052
Передне-перегородочный средний	-13,0 (-14,7; -9,4)	-15,3 (-18,0; -13,0)	0,036*
Задне-перегородочный базальный	-12,6 (-15,0; -12,1)	-17,0 (-19,0; -14,0)	0,042*
Задне-перегородочный средний	-13,5 (-14,8; -9,8)	-18,5 (-21,0; -15,0)	0,001**
Верхушечный перегородочный	-16,1 (-18,0; -11,6)	-19,0 (-22,5; -15,0)	0,031*
AP3	-13,0 (-15,0; -10,1)	-17,1 (-19,3; -14,9)	0,003**
AP4	-14,1 (-15,4; -11,7)	-18,6 (-19,9; -16,6)	0,001**
AP2	-14,2 (-16,5; -11,8)	-16,3 (-19,1; -14,6)	0,039*
Общий продольный стрейн	-13,5 (-16,1; -11,7)	-17,2 (-19,0; -15,2)	0,001**

Примечания: \* значимость различия показателей при сравнении в исследуемых группах  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .



**Рис. 2. Результаты ROC-анализа прогнозирования диастолической дисфункции**  
**Fig. 2. Results of the ROC analysis of predicting diastolic dysfunction**

прогнозирования диастолической дисфункции (рис. 2). Так, площадь ROC-кривой составила  $AUC=0,813$  (95% ДИ 0,658–0,918,  $p<0,001$ ), а оптимальная точка отсечения составила  $GLS=-15,5\%$  (чувствительность 75%, специфичность 75%).

## ■ ОБСУЖДЕНИЕ

В литературе отмечено, что на ранних стадиях развития СН прогрессирование эндотелиальной дисфункции обнаруживается появлением диастолической дисфункции и снижением продольной функции миокарда ЛЖ [10, 19]. При этом эти 2 состояния (показателя) тесно связаны между собой [9, 10, 19], а пороговое значение глобального продольного стрейна (GLS) составляет  $-15,2\%$  [10]. W. Kosmala с соавт. (2020) отмечает, что наличие нарушений общего или регионального продольного стрейна прогнозирует развитие диастолической дисфункции, поскольку все эти нарушения становятся проявлениями поражения миокарда, хотя и не всегда протекают вместе [9].

Согласно литературным данным, при проведении ОФЭКТ признаком нарушения диастолической функции считается одновременное снижение скоростных показателей  $PFR < 1,7$  КДО/с, характеризующих диастолическую функцию в целом, и удлинение показателей  $TPPF > 208$  мс, косвенно характеризующих эластичность миокарда, его способность к быстрому расслаблению [5, 6]; они являются предикторами прогнозирования СН при отдельных ССЗ [7]. Данные анализа ассоциации показателей ДД ЛЖ при проведении ЭхоКГ и ОФЭКТ не однозначны. Ряд авторов отмечают в своих исследованиях значимую корреляцию между наличием и тяжестью ДД ЛЖ при ЭхоКГ и скоростными показателями динамики наполнения ЛЖ, полученными с помощью ОФЭКТ с синхронизацией ЭКГ, т. е.  $PFR$  ( $p=0,001$ ) и  $TPPF$  ( $p=0,001$ ) [20–22]. Однако Хи В. с соавт. (2021) в своем исследовании не подтвердили корреляцию между показателями диастолической функции, установленной при ЭхоКГ, и диастолическими индексами, полученными с помощью ОФЭКТ; при этом скоростные показатели ОФЭКТ явились значимыми предикторами прогнозирования СН [7].

В нашем исследовании признаки ДД ЛЖ (одновременное  $PFR < 1,7$  КДО/с и  $TPPF > 208$  мс как в покое, так и при нагрузке) по данным ОФЭКТ, синхронизированной с ЭКГ, выявили у 30% (12 из 40 человек) исследуемых пациентов, вне зависимости от причины возникновения АВ-блокады и наличия преходящей ишемии. Так, в 1-й и 2-й группах выявлено по 6 (30%) человек с ДД ЛЖ. Одновременное наличие систолической (фракция выброса ЛЖ  $< 50\%$ ) и диастолической дисфункций по результатам ОФЭКТ, синхронизированной с ЭКГ, выявлено у 3 (15%) пациентов 1-й группы. Во 2-й группе таких пациентов обнаружено не было. Нами не было установлено значимых взаимосвязей между наличием диастолической дисфункции и преходящей ишемией миокарда ЛЖ ( $SDS > 4$ ), при этом у 27% пациентов наблюдались признаки диастолической дисфункции. В нашем исследовании нами не было выявлено значимой корреляции между показателями ДД ЛЖ по ЭКГ и ОФЭКТ, что согласуется с литературными данными [7, 22].

Наиболее значимым предиктором прогнозирования ДД ЛЖ по данным логистического регрессионного анализа и ROC-анализа явился показатель общего глобального стрейна (GLS) продольной деформации миокарда ЛЖ (рис. 2), что согласуется с научными данными [9, 10]. Площадь под ROC-кривой составила  $AUC=0,813$  (95% ДИ 0,658–0,918,  $p<0,001$ ), а оптимальная точка отсечения составила  $GLS=-15,5\%$

(чувствительность 75%, специфичность 75%). При этом диастолическая дисфункция не зависела от пола, возраста, длительности стимуляции, процента желудочковой стимуляции, ширины комплекса QRS, количества оперативных вмешательств по поводу замены системы ЭКС.

## ■ ВЫВОДЫ

1. У 30% молодых пациентов с длительной желудочковой стимуляцией, вне зависимости от причины возникновения АВ-блокады и наличия преходящей ишемии, согласно данным ОФЭКТ, синхронизированной с ЭКГ, выявлены признаки диастолической дисфункции левого желудочка.
2. Установлена значимая связь диастолической дисфункции левого желудочка, измеренной с помощью ОФЭКТ, синхронизированной с ЭКГ, и показателей продольной деформации левого желудочка. В группе пациентов с диастолической дисфункцией левого желудочка общий глобальный стрейн составил  $-13,5$  ( $-16,1$ ;  $-11,7$ )% (у пациентов с нормальной диастолической функцией левого желудочка  $-17,2$  ( $-19,0$ ;  $-15,2$ )%,  $p=0,001$ ).
3. У молодых пациентов с длительной желудочковой стимуляцией наиболее значимым предиктором прогнозирования диастолической дисфункции левого желудочка является показатель общего глобального стрейна (GLS): площадь под ROC-кривой составила  $AUC=0,813$  (95% ДИ  $0,658-0,918$ ,  $p<0,001$ ), а оптимальная точка отсечения  $GLS=-15,5\%$  (чувствительность 75%, специфичность 75%).

## ■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Heidenreich P.A., Bozkurt B., Aguilar D., et al. 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the Management of Heart Failure: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2022;145(18):e895–e1032. doi: 10.1161/CIR.0000000000001063
2. McDonagh T.A., Metra M., Adamo M., et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur. Heart J.* 2021;42(36):3599–3726. doi: 10.1093/eurheartj/ehab368
3. Pfeffer M.A., Shah A.M., Borlaug B.A. Heart Failure with Preserved Ejection Fraction in perspective. *Circ Res.* 2019;124(11):1598–1617. doi: 10.1161/circresaha.119.313572
4. Nagueh S.F., Smiseth O.A., Appleton C.P., et al. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2016;29(4):277–314. doi: 10.1016/j.echo.2016.01.011
5. Ansheles A.A., Sergienko V.B. (2021) *Nuclear cardiology*. Moscow: The Ministry of Health of Russia. (in Russian)
6. Czaja M.Z., Wygoda Z., Duszańska A., et al. Myocardial perfusion scintigraphy – interpretation of gated imaging. Part 2. *Kardiochir. Torakochirurgia Pol.* 2018;15(1):49–56. doi: 10.5114/kitp.2018.74676
7. Xu B., Liu L., Abdu F.A., et al. Prognostic Value of Diastolic Dysfunction Derived From D-SPECT in Coronary Artery Disease Patients with Normal Ejection Fraction. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2021;8:700027. doi: 10.3389/fcvm.2021.700027
8. Ren X., Ristow B., Na B., et al. Prevalence and prognosis of asymptomatic left ventricular diastolic dysfunction in ambulatory patients with coronary heart disease. *Am. J. Cardiol.* 2007;99(12):1643–1647. doi: 10.1016/j.amjcard.2007.01.041
9. Kosmala W., Marwick T.H. Asymptomatic Left Ventricular Diastolic Dysfunction: Predicting Progression to Symptomatic Heart Failure. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2020;13(1 Pt 2):215–227. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.10.039
10. Bianco C.M., Farjo P.D., Ghaffar Y.A., et al. Myocardial Mechanics in Patients with Normal LVEF and Diastolic Dysfunction. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2020;13(1 Pt 2):258–271. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.12.035
11. Kim S.S., Park H.W. New Insights into Pacing Induced Cardiomyopathy. *Rev. Cardiovasc. Med.* 2024;25(4):118. doi: 10.31083/j.rcm2504118
12. Shen L., Jhund P.S., Docherty K.F., et al. Prior Pacemaker Implantation and Clinical Outcomes in Patients with Heart Failure and Preserved Ejection Fraction. *JACC Heart Fail.* 2019;7(5):418–427. doi: 10.1016/j.jchf.2018.12.006
13. Tayal B., Fruehling P., Sogaard P., et al. Incidence of heart failure after pacemaker implantation: a nationwide Danish Registry-based follow-up study. *Eur. Heart J.* 2019;40(44):3641–3648. doi: 10.1093/eurheartj/ehz584
14. Jeong H.K., Kim H.W., Kim S.S. Impact of diastolic dysfunction in patients with preserved ejection fraction undergoing permanent cardiac pacemaker placement. *Int. J. Arrhythm.* 2022;23(26):1–9. doi: 10.1186/s42444-022-00078-8
15. Voigt J.J., Pedrizzetti G., Lysyansky P., et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015;28(2):183–193. doi: 10.1016/j.echo.2014.11.003

16. Negishi K., Negishi T., Kurosawa K., et al. Practical guidance in echocardiographic assessment of global longitudinal strain. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2015;8(4):489–492. doi: 10.1016/j.jcmg.2014.06.013
17. Alexanderson E., et al. (2016) *Nuclear Cardiology: Guidance on the Implementation of SPECT Myocardial Perfusion Imaging, IAEA Human Health Series No. 23 (Rev. 1)*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
18. Czaja M., Wygoda Z., Duszańska A., et al. Interpreting myocardial perfusion scintigraphy using single-photon emission computed tomography. Part 1. *Kardiochir. Torakochirurgia Pol.* 2017;14(3):192–199. doi: 10.5114/kitp.2017.70534
19. Pavlopoulos H., Grapsa J., Stefanadi E., et al. Is it only diastolic dysfunction? Segmental relaxation patterns and longitudinal systolic deformation in systemic hypertension. *Eur. J. Echocardiogr.* 2008;9(6):741–747. doi: 10.1093/ejechocard/jen133
20. Harypau A., Patsiyuk I. Left ventricular myocardial longitudinal strain and dyssynchrony in patients with ventricular pacing in the long-term postoperative period. *Emergency cardiology and cardiovascular risks*. 2023;7(1):1768–1775. (in Russian)
21. Gimelli A., Liga R., Pasanisi E.M., et al. Evaluation of left ventricular diastolic function with a dedicated cadmium-zinc-telluride cardiac camera: comparison with Doppler echocardiography. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2014;15(9):972–979. doi: 10.1093/ehjci/jeu037
22. Harypau A., Patsiyuk I., Terehov V. Myocardial perfusion and cardiovascular risk in patients with long-term ventricular pacing in the long period. *Emergency cardiology and cardiovascular risks*. 2024;8(1):2086–2097. (in Russian)