

Новые показатели миокардиальной работы у здоровых лиц

Олейников В.Э.*, Бабина А.В., Галимская В.А., Голубева А.В., Макарова К.Н., Донецкая Н.А.

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

Цель. Изучить у здоровых лиц гендерные особенности показателей миокардиальной работы левого желудочка (ЛЖ), их корреляцию с глобальными деформационными показателями ЛЖ и эхокардиографическими параметрами, характеризующими систолическую и диастолическую функции ЛЖ.

Материалы и методы. В исследование включено 70 здоровых лиц в возрасте $39,3 \pm 8,9$ лет (34 мужчины и 36 женщин). При эхокардиографическом исследовании определяли стандартные параметры, показатели миокардиальной работы: глобальную эффективность работы (GWE), глобальную конструктивную работу (GCW), глобальную работу вхолостую (GWW), индекс глобальной работы миокарда (GWI), а также деформационные характеристики миокарда: глобальную продольную деформацию (GLS), глобальную радиальную деформацию (GRS), глобальную циркулярную деформацию (GCS). Для исследования взаимосвязи между параметрами применяли коэффициент корреляции Спирмена. При $r \leq 0,3$ корреляцию считали слабой, умеренной – при $0,3 < r < 0,7$ и сильной – при $r \geq 0,7$.

Результаты. Среднее значение глобальной эффективности работы (GWE) у мужчин составило 97% (96; 98), у женщин – 98% (97; 98). Глобальная конструктивная работа (GCW) у мужчин составила $2343,8 \pm 350,4$ мм рт.ст.%, у женщин – $2362,2 \pm 343,8$ мм рт.ст.%. Среднее значение глобальной работы вхолостую (GWW) у мужчин составило 46 мм рт.ст.% (27; 75), у женщин – 44 мм рт.ст.% (33; 55,5). Индекс глобальной работы миокарда (GWI) у мужчин составил $2069,9 \pm 356,4$ мм рт.ст.%, у женщин – $2055,7 \pm 339,9$ мм рт.ст.%. Значимых различий при сравнительном анализе показателей получено не было. Установлено, что показатели миокардиальной работы не имели значимых корреляций с возрастом. Фракция выброса умеренно коррелировала с GWI ($r=0,45$) и GCW ($r=0,49$). Глобальная продольная деформация имела сильную корреляцию с GWI ($r=0,77$) и GCW ($r=0,77$). Глобальная радиальная деформация умеренно прямо коррелировала с GWI ($r=0,4$) и GCW ($r=0,4$). Глобальная циркулярная деформация имела умеренную корреляцию с GCW ($r=0,35$). Сильная отрицательная корреляция была выявлена между показателем GWE и индексом постсистолического сокращения (PSI) ($r=-0,85$). При этом PSI и GWW имели сильную положительную корреляцию ($r=0,85$).

Заключение. Показатели миокардиальной работы ЛЖ у здоровых лиц не имеют гендерных различий. Эффективность работы миокарда в первую очередь зависит от деформации ЛЖ, тогда как конструктивная работа определяется объемными характеристиками. Показатель работы вхолостую зависит от количества сегментов, пик сокращения которых приходится на постсистолический период.

Ключевые слова: глобальная миокардиальная работа, спекл-трекинг эхокардиография, постсистолическое сокращение, кривая давление-деформация.

Для цитирования: Олейников В.Э., Бабина А.В., Галимская В.А., Голубева А.В., Макарова К.Н., Донецкая Н.А. Новые показатели миокардиальной работы у здоровых лиц. Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии 2021;17(5):712-718. DOI:10.20996/1819-6446-2021-10-15.

New Indicators of Myocardial Work in Healthy Individuals

Oleynikov V.E.*, Babina A.V., Galimskaya V.A., Golubeva A.V., Makarova K.N., Donetskaya N.A.
Penza State University, Penza, Russia

Aim. To study in healthy individuals the gender and age characteristics of left ventricular (LV) myocardial work indicators, their correlations with global LV deformity indicators and echocardiographic parameters characterizing LV systolic and diastolic functions.

Materials and methods. 70 Healthy individuals ($n=70$; 34 men and 36 women; aged 39.3 ± 8.9 years) were included in the study. The echocardiographic examination determined the standard parameters and indicators of myocardial work: global work efficiency (GWE), global constructive work (GCW), global wasted work (GWW), global myocardial work index (GWI); as well as the myocardium deformation characteristics: global longitudinal deformation (GLS), global radial deformation (GRS) and global circular deformation (GCS). Spearman's correlation coefficient was used to investigate the relationship between parameters. A correlation was considered weak at $r \leq 0.3$, moderate at $0.3 < r < 0.7$, and strong at $r \geq 0.7$.

Results. The average value of global work efficiency (GWE) in men was 97% (96; 98), in women – 98% (97; 98). Global constructive work (GCW) in men was 2343.8 ± 350.4 mm Hg%, in women – 2362.2 ± 343.8 mm Hg%. The average value of global wasted work (GWW) in men was 46 mm Hg% (27; 75), in women – 44 mm Hg% (33; 55.5). The global myocardial work index (GWI) in men was 2069.9 ± 356.4 mm Hg%, in women – 2055.7 ± 339.9 mm Hg%. No significant differences were found in the comparative analysis of performance indicators. The analysis of correlations found that the myocardial work indicators didn't have significant correlations with age. Ejection fraction was moderately correlated with GWI ($r=0.45$) and GCW ($r=0.49$). Global longitudinal strain was strongly correlated with GWI ($r=0.77$) and GCW ($r=0.77$). Global radial strain correlated moderately directly with GWI ($r=0.4$) and GCW ($r=0.4$). Global circular strain was moderately correlated with GCW ($r=0.35$). A strong negative correlation was found between the GWE indicator and the post systolic contraction index (PSI) ($r=-0.85$). At the same time, PSI and GWW had a strong positive correlation ($r=0.85$).

Conclusion. Indicators of LV myocardial work in healthy individuals do not have gender differences. The efficiency of the work of the myocardium depends primarily on the deformation of the LV, while the constructive work is determined by the volume characteristics. The wasted work indicator depends on the number of segments that peak in the post-systolic period.

Key words: global myocardial work, speckle tracking echocardiography, postsystolic contraction, pressure-strain loop.

For citation: Oleynikov V.E., Babina A.V., Galimskaya V.A., Golubeva A.V., Makarova K.N., Donetskaya N.A. New Indicators of Myocardial Work in Healthy Individuals. Rational Pharmacotherapy in Cardiology 2021;17(5):712-718. DOI:10.20996/1819-6446-2021-10-15.

Received/Поступила: 11.06.2021
Accepted/Принята в печать: 22.07.2021

* Corresponding Author (Автор, ответственный за переписку):
v.oleynikof@gmail.com

Введение

Достижения в лечении и профилактике сердечно-сосудистых заболеваний обусловлены, в том числе, совершенствованием инструментальной диагностики.

Актуальность изучения кардиоваскулярной патологии мотивирует разработку новых показателей, позволяющих оценить риск развития жизнеугрожающих осложнений, сердечной недостаточности, снижения качества жизни. Успешно развивающиеся эхокардиографические методики позволяют сегодня более детально и информативно оценивать насосную функцию сердца.

В рекомендациях Американского общества эхокардиографии и Европейской ассоциации сердечно-сосудистой визуализации имеется указание на то, что глобальная продольная деформация (GLS) левого желудочка (ЛЖ) является воспроизводимой и применимой в оценке систолической функции миокарда ЛЖ [1,2]. Однако метод спекл-трекинг эхокардиографии имеет свои ограничения, одно из которых состоит в зависимости от постнагрузки сердца во время исследования. При увеличении постнагрузки показатели деформации снижаются и не отражают истинной контрактильной функции миокарда [3].

Для преодоления данной зависимости предлагается новый подход, позволяющий оценить насосную функцию сердца путем расчета показателей глобальной работы миокарда ЛЖ. Вое Е. и соавт. предложили оценивать глобальную миокардиальную работу с помощью построения кривой «давление-деформация» с использованием метода спекл-трекинг эхокардиографии [4], а К. Russell и соавт. показали тесную корреляцию между общим соотношением потерянной работы и неинвазивным давлением в ЛЖ [5].

По мнению авторов данной концепции показатели, характеризующие работу миокарда, являются более информативными и чувствительными по сравнению с фракцией выброса (ФВ) ЛЖ и GLS [6]. Очевидно, однако, что новые показатели не найдут широкого применения в клинической практике, пока не появится достаточно данных об их диагностическом и прогностическом значении при заболеваниях сердечно-сосудистой системы.

Цель исследования состояла в изучении у здоровых лиц показателей миокардиальной работы ЛЖ, их гендерных особенностей и корреляции с глобальными деформационными показателями ЛЖ и эхокардиографическими параметрами, характеризующими систолическую и диастолическую функции ЛЖ.

Материал и методы

В исследование включено 70 здоровых добровольцев: 34 мужчины и 36 женщин, в возрасте от 21 до 61 года (средний возраст $39,3 \pm 8,9$ лет).

Критерии включения в исследование: отсутствие жалоб, анамнестических и физикальных данных, указывающих на наличие сердечно-сосудистых заболеваний и/или поражение других органов и систем; отсутствие отклонений при электрокардиографии покоя; отсутствие регулярного приема каких-либо лекарственных препаратов.

Критерии исключения: заболевания, требующие регулярного приема лекарственных средств; глюкоза плазмы крови $\geq 6,1$ ммоль/л; дислипидемия, общий холестерин $\geq 5,0$ ммоль/л; травмы грудной клетки; индекс массы тела > 30 кг/м²; плохая визуализация эхокардиограммы.

Исследование было одобрено локальным этическим комитетом Пензенского государственного университета, все включенные в исследование лица подписали информированное согласие.

Всем включенным в исследование определяли липидный профиль, уровень глюкозы. Трансторакальную эхокардиографию проводили на ультразвуковом сканере Vivid 95 (GE Healthcare, США) с синхронизированной электрокардиографией от конечностей по стандартному протоколу [7]. Анализ изображений был выполнен с использованием программного обеспечения EchoPAC версии 202 (GE Healthcare, США). Оценивали стандартные эхокардиографические показатели [7].

С помощью тканевой доплерографии определяли общую скорость раннего диастолического движения (E' общ, см/с) и соотношение скорости раннего диастолического наполнения и общей скорости раннего диастолического движения (E/E' общ).

Также были определены параметры глобальной продольной (GLS, %), радиальной (GRS, %) и циркулярной (GCS, %) деформации с использованием методики спекл-трекинг эхокардиографии.

Показатели работы рассчитывались в автоматическом режиме: GWI (Global Work Index, мм рт.ст %) – индекс глобальной работы, определяемый как объем миокардиальной работы, выполняемый левым желудочком в систолу и равный площади под кривой давление-деформация; GCW (Global Constructive Work, мм рт.ст %) – глобальная конструктивная работа – непосредственно обеспечивает насосную функцию сердца, является суммой положительной работы, выполняемой в систолу, и отрицательной работы в диастолу; GWW (Global Wasted Work, мм рт.ст.%) – глобальный показатель работы вхолостую, который представляет собой сумму отрицательной работы во время систолы и положительной работы в диастолу; GWE (Global Work Efficiency, %) – эффективность глобальной работы, определяемая по формуле $GCW/(GCW+GWW)$ [5, 8].

Пиковое сокращение того или иного сегмента миокарда может приходиться как на период систолы, так и на постсистолический период (post systolic). Сегменты,

максимум сокращения которых приходится на период систолы, вносят максимальный вклад в эффективную работу миокарда. Однако всегда имеются единичные сегменты, максимальная деформация которых приходится на постсистолический период, вследствие чего они выпадают из эффективной работы миокарда. Для каждого исследуемого автоматически определяли индекс постсистолического сокращения сегмента (post systolic index, PSI). Для подсчета количества сегментов, пиковое сокращение которых приходилось на постсистолический период, выделяли сегменты с $PSI > 1$.

Для статистической обработки использовали пакет программ Statistica 13.0 (StatSoft Inc., США). При правильном распределении данные представлены в виде $M \pm SD$, для их анализа применяли параметрический критерий t-тест Стьюдента. При неправильном распределении значения представляли как Me (Q 25%; Q 75%). Сравнение проводилось с использованием рангового теста Манна-Уитни. При $p < 0,05$ различия

считали статистически значимыми. Для исследования взаимосвязи между количественными признаками применяли коэффициент корреляции Спирмена. При $r \leq 0,3$ корреляцию считали слабой, умеренной – при $0,3 < r < 0,7$ и сильной – при $r \geq 0,7$. При определении корреляции GLS и GCS с показателями работы для удобства восприятия данных учитывали модули этих величин.

Результаты

Пациенты были разделены на 2 группы по гендерному признаку. В первую группу вошли 34 мужчины в возрасте $36 \pm 8,2$ лет, во вторую группу – 36 женщин в возрасте $42,5 \pm 8,5$ лет. При сравнении показателей систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления было установлено, что у женщин эти показатели были меньше, а индексированные значения конечных диастолического и систолического объемных параметров ЛЖ (иКДО и иКСО) имели

Table 1. Some parameters and ECHO-parameters in healthy individuals.

Таблица 1. Некоторые параметры и ЭХО-показатели у здоровых лиц.

| Показатель | Всего (n=70) | Группа 1 (мужчины) (n=34) | Группа 2 (женщины) (n=36) | p |
|------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|--------|
| Возраст, лет | 39,3±8,9 | 36±8,2 | 42,5±8,5 | 0,002 |
| Рост, см | 172,5 (165; 180) | 180 (178; 183) | 165 (163,5; 168) | <0,001 |
| Вес, кг | 72,3±13,4 | 83 (75; 88) | 63 (58; 68) | <0,001 |
| ИМТ, кг/м ² | 24±2,8 | 25,1±2,5 | 23,1±2,8 | 0,003 |
| САД, мм рт.ст. | 120 (115; 130) | 123 (120; 130) | 118,8±11,1 | 0,03 |
| ДАД, мм рт.ст. | 80 (72; 80) | 80 (78; 80) | 77 (70; 80) | 0,13 |
| Глюкоза, ммоль/л | 4,8±0,4 | 4,8±0,6 | 4,8±0,4 | 0,84 |
| ОХ, ммоль/л | 4,7±0,5 | 4,8±0,7 | 4,6±0,4 | 0,6 |
| иКДО, мл/м ² | 55,6 (51,5; 63,8) | 60 (51,9; 64,8) | 54,1 (49,8; 58,8) | 0,046 |
| иКСО, мл/м ² | 21,1 (16,8; 25,7) | 24,1±6,1 | 19,7±4,7 | 0,0012 |
| ФВ, % | 60,8±4,6 | 61,1±5,2 | 60,6±4,1 | 0,63 |
| Ve/Va | 1,49±0,34 | 1,47±0,28 | 1,5±0,4 | 0,83 |
| DTE, мс | 124,2±37,3 | 125,4±37,5 | 123±38,5 | 0,87 |
| IVRT, мс | 56 (48; 67,5) | 58,5±14,2 | 51,5 (48; 65) | 0,73 |
| E'общ., см/с | 0,12 (0,1; 0,14) | 0,11 (0,08; 0,14) | 0,12±0,02 | 0,03 |
| E/E'общ | 5,6±1,3 | 5,9±1,4 | 5,1 (4,7; 6,1) | 0,18 |
| GLS, % | -20,9±1,8 | -20,4±1,7 | -21,3±1,9 | 0,043 |
| GCS, % | -15,8 (-17,8; -13,4) | -15,5±3,1 | -16,3 (20,6; 13,5) | 0,24 |
| GRS, % | 29,8 (26,7; 36,2) | 30,3±9,1 | 30 (27; 37,1) | 0,26 |
| PSI, усл.ед. | 1,1 (0,65; 1,7) | 0,94 (0,65; 1,53) | 1,4±1 | 0,43 |
| Количество сегментов с PSI>1 | 4 (3; 6) | 4 (3;6) | 4,1±2,5 | 0,7 |

p – различия между группами мужчин и женщин

ИМТ – индекс массы тела, САД – систолическое артериальное давление, ДАД – диастолическое артериальное давление, ОХ – общий холестерин, иКДО – индекс конечного диастолического объема, иКСО – индекс конечного систолического объема, ФВ – фракция выброса, Ve/Va – отношение скоростей раннего и позднего наполнения желудочков, DTE – время замедления раннего диастолического наполнения желудочка, IVRT – время изоволюметрического расслабления желудочка, E'общ – скорость раннего диастолического движения, GLS – глобальная продольная деформация, GCS – глобальная циркулярная деформация, GRS – глобальная радиальная деформация, PSI – индекс постсистолического сокращения.

Table 2. Gender differences of Indicators of myocardial work in healthy individuals

Таблица 2. Показатели миокардиальной работы у здоровых лиц в зависимости от пола.

| Параметр | Всего (n=70) | Мужчины (n=34) | Женщины (n=36) | p |
|-----------------|---------------|----------------|----------------|------|
| GWE, % | 97,5 (97; 98) | 97 (96; 98) | 98 (97; 98) | 0,48 |
| GWI, мм рт.ст.% | 2062,6±345,5 | 2069,9±356,4 | 2055,7±339,9 | 0,86 |
| GCW, мм рт.ст.% | 2353,3±344,6 | 2343,8±350,4 | 2362,2±343,8 | 0,83 |
| GWW, мм рт.ст.% | 45 (32; 68) | 46 (27; 75) | 44 (33; 55,5) | 0,65 |

p – различия между группами мужчин и женщин
GWE – эффективность глобальной работы, GWI – индекс глобальной работы, GCW – глобальная конструктивная работа, GWW – глобальный показатель работы вхолостую.

Table 3. Correlations of myocardial work indicators

Таблица 3. Корреляции показателей работы миокарда

| Показатель | GWE, % | GWI, мм рт.ст.% | GCW, мм рт.ст.% | GWW, мм рт.ст.% |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| GLS, % | r=0,3; p=0,0059 | r=0,77; p<0,00006 | r=0,77; p=0,00003 | r=-0,15; p=0,19 |
| GCS, % | r=0,12; p=0,3 | r=0,2; p=0,068 | r=0,35; p=0,033 | r=-0,075; p=0,53 |
| GRS, % | r=0,09; p=0,45 | r=0,4; p=0,0002 | r=0,4; p=0,0001 | r=-0,023; p=0,84 |
| ФВ, % | r=0,25; p=0,032 | r=0,45; p=0,00007 | r=0,49; p=0,00001 | r=-0,19; p=0,1 |
| иКДО, мл/м ² | r=0,095; p=0,42 | r=-0,017; p=0,89 | r=-0,0074; p=0,95 | r=-0,09; p=0,45 |
| иКСО, мл/м ² | r=-0,088; p=0,46 | r=0,24; p=0,043 | r=-0,26; p=0,023 | r=0,09; p=0,45 |
| ИМТ, кг/м ² | r=0,15; p=0,19 | r=0,13; p=0,26 | r=0,15; p=0,2 | r=-0,2; p=0,067 |
| ППТ, м ² | r=-0,06; p=0,6 | r=0,12; p=0,3 | r=0,1; p=0,36 | r=0,06; p=0,62 |
| Возраст, лет | r=0,05; p=0,68 | r=0,008; p=0,94 | r=0,06; p=0,6 | r=-0,06; p=0,6 |
| САД, мм рт.ст. | r=-0,18; p=0,13 | r=0,37; p=0,0014 | r=0,39; p=0,0007 | r=0,2; p=0,066 |
| ДАД, мм рт.ст. | r=-0,13; p=0,27 | r=0,26; p=0,026 | r=0,3; p=0,0074 | r=0,13; p=0,29 |
| Ve/Va | r=0,13; p=0,3 | r=0,06; p=0,6 | r=0,04; p=0,7 | r=-0,1; p=0,37 |
| DTE, мс | r=0,18; p=0,34 | r=-0,07; p=0,7 | r=-0,02; p=0,9 | r=-0,17; p=0,38 |
| IVRT, мс | r=-0,05; p=0,8 | r=0,1; p=0,6 | r=0,08; p=0,67 | r=0,08; p=0,7 |
| PSI, усл.ед. | r=-0,85; p=0,0007 | r=0,07; p=0,5 | r=-0,05; p=0,68 | r=0,85; p=0,00004 |
| Количество сегментов с PSI>1 | r=-0,46; p=0,0002 | r=0,26; p=0,03 | r=0,12; p=0,3 | r=0,57; p=0,0003 |

ИМТ – индекс массы тела, САД – систолическое артериальное давление, ДАД – диастолическое артериальное давление, ОХ – общий холестерин, иКДО – индекс конечного диастолического объема, иКСО – индекс конечного систолического объема, ФВ – фракция выброса, Ve/Va – отношение скоростей раннего и позднего наполнения желудочков, DTE – время замедления раннего диастолического наполнения желудочка, IVRT – время изоволюметрического расслабления желудочка, E'общ – скорость раннего диастолического движения, GLS – глобальная продольная деформация, GCS – глобальная циркулярная деформация, GRS – глобальная радиальная деформация, PSI – индекс постсистолического сокращения.

более высокие значения у мужчин. Показатель ФВ ЛЖ, как и параметры диастолической функции ЛЖ не имел значимых гендерных различий. Такие параметры деформации миокарда как GCS и GRS значимо не отличались, а GLS была выше у женщин (табл. 1). Гендерных различий по показателям миокардиальной работы, рассматриваемым в настоящем исследовании, не выявлено (табл. 2).

При анализе корреляций установлено, что показатели миокардиальной работы не имели значимых взаимосвязей с возрастом. Исследование взаимосвязи между ФВ и параметрами глобальной работы выявило прямую умеренную корреляцию с GWI и GCW (r=0,45; r=0,49 соответственно) и слабую – с GWE (r=0,25).

Аналогичная тенденция прослеживалась при анализе связей деформационных показателей и параметров миокардиальной работы. GLS имела умеренную прямую корреляцию с GWE (r=0,3), сильную – с GWI и GCW (r=0,77, r=0,77 соответственно) и не имела статистически значимых связей с GWW. GRS умеренно прямо коррелировал с показателями GWI и GCW (r=0,4, r=0,4 соответственно). Значимая прямая умеренная корреляция была выявлена между GCS и GCW (r=0,35). Наблюдалась умеренная корреляция САД с GWI и GCW, ДАД с GCW.

Сильная отрицательная корреляция отмечена между PSI и GWE (r=-0,85), напротив, между PSI и GWW наблюдалась сильная положительная корреляция

($r=0,85$). При определении взаимосвязи между количеством сегментов, сокращающихся в диастолу, и параметрами миокардиальной работы установлено, что GWE и GWW имели отрицательную и положительную корреляции с количеством сегментов ($r=-0,46$, $r=0,57$ соответственно) (табл. 3).

Обсуждение

Изучение показателей миокардиальной работы для оценки систолической функции ЛЖ давно привлекает внимание кардиологов. Первые исследования работы миокарда были предприняты еще в 60-е годы прошлого века Е. Braunwald и соавт., описавшими зависимость работы миокарда от длины миокардиального волокна и активного напряжения [9], но из-за несовершенства аппаратуры того времени провести клиническое неинвазивное исследование миокардиальной работы не представлялось возможным.

В 2011 г. О.А. Smiseth и соавт. предложили использовать построение кривой «давление-деформация» в качестве средства для количественной оценки влияния диссинхронии на распределение работы миокарда у пациентов, которым проводилась сердечная ресинхронизирующая терапия [10].

Показатель миокардиальной работы, основанный на анализе зависимости «давление-деформация», характеризует взаимосвязь между сократительной и насосной функциями ЛЖ. Работа сердца включает работу по перемещению определенного объема крови против сопротивления, создаваемого за счет давления, и работу по сообщению ускорения этому объему крови. В программном обеспечении ультразвукового сканера, применявшегося в настоящем исследовании, заложен алгоритм вычисления работы, основанный на анализе площади «давление-деформация», предложенный К. Russell и соавт. с использованием показателя давления, полученного неинвазивным методом [5].

В проведенном в 2018 г. проспективном многоцентровом исследовании NORRE с участием 226 здоровых лиц, средний возраст которых составил 45 ± 13 лет, были определены референсные значения основных показателей работы [11]. Мужчины имели значительно более низкие значения GWE и более высокие значения GWW. GWI и GCW значительно увеличивались с возрастом у женщин.

В 2020 г. были опубликованы результаты оценки работы миокарда у 779 здоровых добровольцев (средний возраст 49 ± 10 лет, 59% женщин), включенных в исследование STAAV [12]. Было установлено, что у здоровых людей из общей популяции значения GCW, GWW и GWE, полученные с помощью эхокардиографии, не зависели от пола и индекса массы тела, но имели различную связь с возрастом. У женщин показатели GWI были значительно выше ($+66$ мм рт.ст.%)

по сравнению с мужчинами. GWE не отличался между мужчинами и женщинами, и в среднем составил 96,4% (96,3; 96,5).

В исследовании С.И. Иванова и соавт. у здоровых добровольцев ($n=40$) установлено, что индекс глобальной работы, конструктивная и потерянная работа ЛЖ значительно увеличивались в ответ на нагрузку [13].

Представленные в настоящем исследовании данные по оценке у здоровых лиц показателей глобальной работы не выявили гендерных различий.

Важной задачей являлось определение корреляционных взаимосвязей между показателями миокардиальной работы и эхокардиографическими параметрами, характеризующими как систолическую, так и диастолическую функцию ЛЖ.

В частности, было установлено, что миокардиальная работа не имеет статистически значимой корреляции с возрастом, что согласуется с данными других исследователей [14]. Показатели миокардиальной работы не коррелировали с параметрами диастолической функции ЛЖ, при этом имели отчетливые связи с систолической функцией ЛЖ. Анализ взаимосвязей параметров миокардиальной работы с ФВ ЛЖ показал умеренную корреляцию с GCW и GWI, отсутствие связи с GWW ($r=-0,19$), что объясняется минимальным объемом работы вхолостую у здоровых лиц. Таким образом, в систолу миокардиальная работа у здоровых лиц определяется ее конструктивной составляющей.

Высокая взаимосвязь показателей миокардиальной работы с продольной, циркулярной и радиальной деформацией отразила роль каждого вида деформации в систолической функции ЛЖ. Глобальная конструктивная работа, отражающая укорочение миокардиальных волокон во время систолы и их удлинение в диастолу, способствует изгнанию крови из ЛЖ. Значимые корреляции этого показателя с ИКСО, САД, ДАД позволяют считать его одним из важных интегральных параметров насосной функции ЛЖ.

Очевидно, систолическая дисфункция ЛЖ может быть обусловлена как снижением абсолютного значения пиковых показателей деформации, так и несинхронным сокращением отдельных сегментов [15]. У здоровых лиц сокращение абсолютного большинства сегментов приходится на период систолы, что определяет максимально возможную эффективность работы ЛЖ, однако имеются единичные сегменты, пик деформации которых приходится на постсистолический период (рис. 1). Наибольшая отрицательная корреляция среднего значения PSI наблюдалась с показателем GWE ($r=-0,85$), что характеризует высокую информативность этого параметра с точки зрения синхронного сокращения сегментов ЛЖ.

Показатель GWE является расчетным, у здоровых лиц его значение стремится к единице в силу мини-

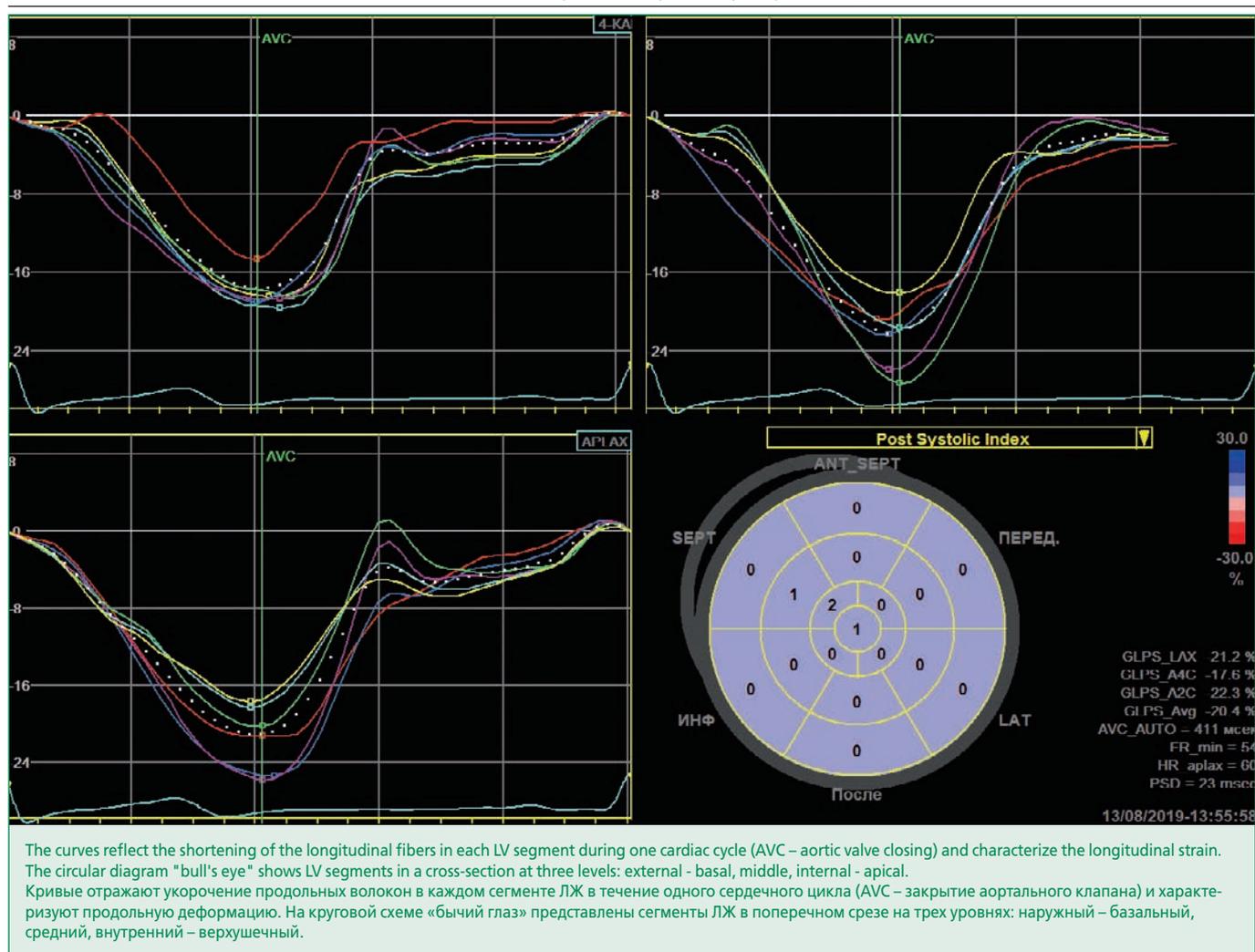


Figure 1. Global longitudinal strain curves recorded in four- (A), two- (B), and five (C) - chamber positions and the "bull's eye" diagram with PSI values in 18 LV segments (D).

Рисунок 1. Кривые глобального продольного стрейна, зарегистрированные в четырех- (A), двух- (B), пятикамерной (C) позициях, и схема «бычий глаз» со значениями PSI в 18 сегментах ЛЖ (D).

мального объема потерянной работы ЛЖ. Полученные в настоящем исследовании корреляционные связи указывают на то, что этот показатель в основном определяется деформационными характеристиками миокарда и не зависит от объемных параметров ЛЖ. Вероятно, GWE может иметь важное диагностическое значение у лиц с сердечной недостаточностью и явлениями диссинхронии ЛЖ, что заслуживает дальнейшего изучения.

Индекс глобальной работы, характеризующий всю работу, совершаемую ЛЖ за период времени от закрытия до открытия митрального клапана у здоровых лиц, определяется в основном конструктивной работой, что подтверждают сильные корреляции с основными эхокардиографическими параметрами. Этот показатель в большей мере определяется продольной деформацией миокарда ($r=0,77$), а в меньшей ($r=0,37$) – объемными параметрами ЛЖ.

Показатель работы вхолостую, отражающий удлинение кардиомиоцитов во время систолы и их укорочение в фазу изоволюметрического расслабления у здоровых лиц, имел низкие значения. Учитывая корреляции, GWW определяется, прежде всего, сегментами с постсистолическим сокращением, количество которых может изменяться в зависимости от степени поражения миокарда. В настоящей работе показатель GWW имел более низкое значение, чем в других исследованиях, вероятно потому, что с возрастом количество сегментов, пик сокращения которых приходится на постсистолический период, увеличивается [16, 17]. Более молодой возраст включенных лиц, очевидно, определил указанное различие.

Заключение

Показатели миокардиальной работы, являющиеся производными деформационных характеристик и ар-

териального давления, у здоровых лиц не имеют гендерных различий. Эффективность работы миокарда зависит в большей степени от деформации ЛЖ, тогда как конструктивная работа миокарда определяется его объемными характеристиками, что подтверждается наличием статистически значимых корреляций с ФВ, иКСО.

Показатель работы вхолостую зависит от количества сегментов, работа которых «выпадает» из эффективной работы миокарда, причем, их число, вероятно, увеличивается с возрастом.

References / Литература

- 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):233-71. DOI:10.1016/j.echo.2014.10.003.
- Nagueh S, Smiseth O, Appleton C, 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.
- Chan J, Edwards NFA, Khandheria BK, et al. A new approach to assess myocardial work by non-invasive left ventricular pressure-strain relations in hypertension and dilated cardiomyopathy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2019;20(1):31-9. DOI:10.1093/ehjci/jej131.
- Boe E, Skulstad H, Smiseth OA. Myocardial work by echocardiography: a novel method ready for clinical testing. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2019;20(1):18-20. DOI:10.1093/ehjci/jej156.
- 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):996-1003. DOI:10.1152/ajpheart.00191.2013.
- Mansour MJ, Al Jaroudi W, Mansour L, et al. Value of myocardial work for assessment of myocardial adaptation to increased afterload in patients with high blood pressure at peak exercise. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2020; 36(9):1647-1656. DOI:10.1007/s10554-020-01867-9.
- Voigt JU, 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):183-93. DOI:10.1016/j.echo.2014.11.003.
- Ivanov SI, Alekhin MN. Myocardial work in assessment of left ventricular systolic function. *Kardiologiya*. 2020;60(3):80-8 (In Russ.) [Иванов С.И., Алехин М.Н. Неинвазивные показатели работы миокарда в оценке систолической функции левого желудочка. *Кардиология*. 2020;60(3):80-8]. DOI:10.18087/cardio.2020.3.n925.
- Braunwald E, Ross J Jr, Sonnenblick EH. Mechanisms of contraction of the normal and failing heart. *N Engl J Med*. 1967;277(19):1012-22. DOI:10.1056/NEJM196711092771907.
- Smiseth O.A., Russell K., Skulstad H. The role of echocardiography in quantification of left ventricular dyssynchrony: state of the art and future directions. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2012;13(1):61-8. DOI:10.1093/ehjcard/erj243.
- 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.

About the Authors/Сведения об авторах:

Олейников Валентин Элиевич [Valentin E. Oleynikov]
ORCID 0000-0002-7463-9259

Бабина Анастасия Вячеславовна [Anastasia V. Babina]
ORCID 0000-0001-6280-6120

Галимская Вера Александровна [Vera A. Galimskaya]
ORCID 0000-0001-7545-8196

Отношения и деятельность: нет.

Relationships and Activities: none.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке российского фонда фундаментальных исследований в рамках научных проектов №№ 20-315-90025, 19-315-90031.

Funding: The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific projects No. 20-315-90025, 19-315-90031.

- Morbach C, Sahiti F, Tiffe T, et al. Myocardial work - correlation patterns and reference values from the population-based STAAB cohort study. *PLoS ONE*. 2020;15(10). DOI:10.1371/journal.pone.0239684.
- Ivanov SI, Stepanova AI, Alekhin MN. Myocardial work indices of the left ventricle in healthy subjects during exercise stress echocardiography on a treadmill. *Kremlin Medicine Journal*. 2021;1:5-14 (In Russ.) [Иванов С.И., Степанова А.И., Алехин М.Н. Показатели миокардиальной работы левого желудочка у здоровых лиц при стресс-эхокардиографии с физической нагрузкой на тредмиле. *Кремлевская медицина. Клинический Вестник*. 2021;1:5-14]. DOI:10.26269/n1m8-gp37.
- Galli E, John-Matthews B, Rousseau C, et al. Echocardiographic reference ranges for myocardial work in healthy subjects: A preliminary study. *Echocardiography*. 2019;36(10):1814-24. DOI:10.1111/echo.14494.
- Galimskaya VA, Donchenko IA, Romanovskaya EM, Olyenikov VE. The features of myocardial deformation of left ventricle in patients with ischemic heart disease defined by the two dimensional strain method. *Kardiologiya*. 2014;54(9):11-6 (In Russ.) [Галимская В.А., Донченко И.А., Романовская Е.М., Олейников В.Э. Особенности деформации миокарда левого желудочка у пациентов с ишемической болезнью сердца, определяемые технологией двухмерного стрейна. *Кардиология*. 2014;54(9):11-6]. DOI 10.18565/cardio.2014.9.11-16.
- Oleynikov VE, Smirnov YuG, Galimskaya VA, Kupriyanova SN. A new approach to evaluating the pumping function of the heart by the myocardial work. *Doklady Biological Sciences*. 2020;491(1):60-2 (In Russ.) [Олейников В.Э., Смирнов Ю.Г., Галимская В.А., Куприянова С.Н. Новый подход к определению насосной функции сердца с помощью миокардиальной работы. Доклады Российской Академии Наук. Науки о Жизни. 2020;491(1):60-2]. DOI:10.31857/S2686738920020195.
- Oleynikov VE, Smirnov YuG, Galimskaya VA, et al. New capabilities in assessing the left ventricular contractility by two-dimensional speckle tracking echocardiography. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2020;35(3):79-85 (In Russ.) [Олейников В.Э., Смирнов Ю.Г., Галимская В.А., и др. Новые возможности оценки сократимости левого желудочка методом двухмерной speckle tracking эхокардиографии. *Сибирский Журнал Клинической и Экспериментальной Медицины*. 2020;35(3):79-85]. DOI:10.29001/2073-8552-2020-35-3-79-85.

Голубева Алёна Владимировна [Alena V. Golubeva]
ORCID 0000-0001-6640-6108

Макарова Карина Николаевна [Karina N. Makarova]
ORCID 0000-0001-7117-0937

Донецкая Наталия Александровна [Natalia A. Donetskaya]
ORCID 0000-0001-6423-6889