

Неинвазивная оценка показателей миокардиальной работы левого желудочка у здоровых лиц при эхокардиографии

М. Н. Алёхин, д.м.н., профессор кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии¹, заведующий отделением функциональной диагностики²

С. И. Иванов, клинический аспирант кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии¹

А. И. Степанова, клинический аспирант кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии¹

¹ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации, Москва

²ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента Российской Федерации, Москва

Non-invasive assessment of left ventricular myocardial work in healthy subjects with echocardiography

M.N. Alekhin^{1,2}, S.I. Ivanov¹, A.I. Stepanova¹

¹Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of the Russian Federation, Moscow, Russia

²Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow, Russia

Резюме

Цель: оценить показатели миокардиальной работы левого желудочка (ЛЖ) с помощью методики построения кривых давление-деформация у здоровых лиц при эхокардиографии (ЭхоКГ).

Материал и методы. В исследование были включены 50 человек (возраст 44 ± 14 лет), из них 28 мужчин (56%). Критериями включения были отсутствие у пациентов сердечно-сосудистой патологии и сахарного диабета. Для расчета показателей миокардиальной работы оценивали глобальную продольную систолическую деформацию (ГПСД) с помощью методики speckle-tracking, также во время проведения ЭхоКГ измеряли артериальное давление (АД) сфигмоманометром в плечевой артерии. С помощью методики построения кривых давление-деформация рассчитывали индекс глобальной работы (GWI), глобальную конструктивную работу (GCW), глобальную потерянную работу (GWW), эффективность глобальной работы (GWE).

Результаты. GWI у мужчин имел следующие значения: минимальное — 1382 мм рт. ст. %, максимальное — 2875 мм рт. ст. %, среднее — 2056 ± 326 мм рт. ст. %; у женщин соответственно — 1821 мм рт. ст. %, 2589 мм рт. ст. % и 2109 ± 200 мм рт. ст. %. Средние значения GCW составили 2292 ± 329 мм рт. ст. % у мужчин и 2304 ± 211 мм рт. ст. % у женщин. Медиана и максимальное значение GWW у мужчин были 66 и 313 мм рт. ст. %, у женщин — $79,5$ и 172 мм рт. ст. % соответственно. Минимальное значение GWE составило 89% у мужчин и 91% у женщин. GWI значимо и закономерно коррелировал только с показателями систолического АД ($r=0,30$, $p=0,03$) и ГПСД ($r=-0,72$, $p<0,001$). GCW тоже значимо коррелировала с систолическим АД ($r=0,36$, $p=0,01$) и ГПСД ($r=-0,72$, $p<0,001$), при этом с возрастом пациентов была найдена отрицательная связь ($r=-0,27$, $p=0,04$). Показатели миокардиальной работы ЛЖ значимо не различались между мужчинами и женщинами. При исследовании воспроизводимости, коэффициенты вариации для GWI, GCW и GWE не превысили 10% , что характерно для хорошо воспроизводимых показателей.

Выводы. В исследовании представлены значения показателей миокардиальной работы ЛЖ, полученные с помощью методики построения кривых давление-деформация у здоровых лиц при эхокардиографии. Продемонстрирована закономерная корреляция показателей миокардиальной работы с деформацией и артериальным давлением, их зависимость от возраста исследуемых, а также хорошая воспроизводимость ряда показателей. **Ключевые слова:** миокардиальная работа, здоровые лица, кривая давление-деформация, speckle-tracking, левый желудочек.

Summary

Purpose: to evaluate the left ventricular (LV) echocardiographic indices of myocardial work using the LV pressure-strain loops method in healthy individuals.

Material and methods. The study included 50 healthy subjects (28 men, mean age: 44 ± 14 years). The inclusion criteria were the absence of any cardiovascular diseases and diabetes mellitus. After calculating global longitudinal strain (GLS) from speckle-tracking Echo and inserting values of brachial artery cuff blood pressure (BP), the vendor-specific module constructed non-invasive LV pressure-strain loops. The following parameters were calculated: global myocardial work index (GWI), global constructive work (GCW), global wasted work (GWW), global work efficiency (GWE).

Results. The lowest values of GWI in men and women were 1382 mmHg% and 1821 mmHg%, the highest values were 2875 mmHg% and 2589 mmHg%, mean values were 2056 ± 326 mmHg% and 2109 ± 200 mmHg%, respectively. Mean values of GCW were 2292 ± 329 mmHg% in men and 2304 ± 211 mmHg% in women. The median and the highest value of GWW were 66 mmHg% and 313 mmHg% in men and $79,5$ mmHg% and 172 mmHg% in women, respectively. The lowest value of GWE were 89% in men and 91% in women. GWI was significantly and naturally correlated only with systolic BP ($r=0,30$, $p=0,03$) and GLS ($r=-0,72$, $p<0,001$). GCW was significantly correlated with systolic BP ($r=0,36$, $p=0,01$) and GLS ($r=-0,72$, $p<0,001$) too, however, the negative relationship with the age of the patients was found ($r=-0,27$, $p=0,04$). LV myocardial work indices did not significantly differ between men and women. Coefficients of variation for GWI, GCW and GWE did not exceed 10% , which is typical for good reproducible indices.

Conclusion. The study presents values of the echocardiographic LV myocardial work indices, obtained with help of the LV pressure-strain loops method in healthy individuals. The natural correlation of LV myocardial work indices with strain and blood pressure was demonstrated, as well as a dependence on the age of the subjects and good reproducibility.

Key words: myocardial work, healthy subjects, pressure-strain loop, speckle-tracking, left ventricle.

Введение

Известно, что показатели работы сердца имеют важное значение для оценки его систолической функции. Еще 40 лет назад для полного и наглядного отображения работы сердца за один цикл было предложено построение двухмерной диаграммы, отражающей в виде замкнутой кривой или петли динамику внутрисердечного давления и объема за сердечный цикл [1]. Площадь, ограниченная этой кривой, соответствует так называемой внешней работе сердца, то есть работе по перемещению определенного объема крови против сопротивления, создаваемого за счет давления, и сообщению этому объему крови ускорения. Препятствием к использованию диаграммы давление-объем на практике служила сложность построения такого графика, отнимающего много времени и допускающего существенные неточности. Однако основным ограничением являлась необходимость выполнения инвазивных исследований. Для использования в кардиохирургии были даже разработаны специальные автоматические устройства, позволяющие получать рабочую диаграмму сердца в точном масштабе и в реальном времени [2]. Позже были представлены исследования, предлагающие для оценки работы левого желудочка (ЛЖ) и, соответственно, его сократительной функции использовать не кривую давление-объем, а кривую давление-деформация [3, 4]. При этом в ранних работах деформация миокарда сегментов ЛЖ измерялась инвазивно с помощью сономикрометрии (процедуры с вживлением в эндокард пьезоэлектрических кристаллов с последующим отслеживанием их движения), а внутрижелудочковое давление определялось методом непосредственного измерения с использованием микроманометров. Естественно, это существенно ограничивало распространение данного метода исследования функции сердца. Оценка систолической функции миокарда ЛЖ на основе расчета показателей его работы приобрела практический интерес после представления нового неинвазивного метода, основанного на speckle-tracking эхо-

кардиографии (ЭхоКГ) и рутинном измерении артериального давления (АД) сфигмоманометром в плечевой артерии [5]. Было доказано, что площадь полученной петли давление-деформация отражает миокардиальную работу и метаболизм миокарда, и новый метод не уступает инвазивным способам оценки в достоверности и надежности полученных данных. В дальнейшем на основе представленной методики была разработана специальная компьютерная программа для ультразвукового оборудования, упрощающая и расширяющая практическое применение оценки показателей миокардиальной работы ЛЖ [6].

В настоящее время новый способ оценки показателей миокардиальной работы ЛЖ с помощью построения кривых давление-деформация показал свое преимущество перед другими методиками при использовании у различных групп пациентов. Было доказано диагностическое и прогностическое значение данных показателей у пациентов с хронической сердечной недостаточностью со сниженной фракцией выброса (ФВ) и диссинхронией при выборе кандидатов на проведение сердечной ресинхронизирующей терапии [7, 8], у пациентов со стабильной ишемической болезнью сердца и с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST при выявлении гемодинамически значимых стенозов коронарных артерий [9, 10]. Также проводились исследования по оценке показателей миокардиальной работы ЛЖ у пациентов с артериальной гипертензией [11], постинфарктным кардиосклерозом [12], дилатационной кардиомиопатией ишемического и неишемического генеза [11, 12], гипертрофической кардиомиопатией [13].

Однако, прежде чем оценивать какие-либо показатели и судить об их характерных изменениях, присущих той или иной патологии, необходимо установить границы нормальных значений этих показателей, в пределах которых они находятся у здоровых людей. На данный момент завершено лишь одно большое проспективное исследование NORRE, проводив-

шееся в 22 лабораториях, аккредитованных Европейским обществом сердечно-сосудистой визуализации, задачей которого было установить нормальные значения показателей, получаемых с помощью новых, внедряемых в клиническую практику методик, в том числе и оценки показателей миокардиальной работы ЛЖ [14]. Очевидно, что представленные границы нормальных значений требуют подтверждения на практике и дальнейшего изучения, чему и посвящена настоящая работа.

Цель данного исследования — оценка показателей миокардиальной работы левого желудочка с помощью методики построения кривых давление-деформация у здоровых лиц при эхокардиографии.

Материал и методы исследования

В исследование были включены 50 человек в возрасте от 18 до 71 лет, из них 28 мужчин (56%), без каких-либо явных признаков сердечно-сосудистых заболеваний. Клиническая характеристика включенных в исследование пациентов представлена в табл. 1.

Оценивались данные анамнеза, медицинской документации, объективного осмотра, проводились клинический и биохимический анализ крови, регистрация и оценка электрокардиограммы (ЭКГ), трансторакальная эхокардиография, проба с физической нагрузкой (тредмил-тест по протоколу Bruce). Критериями включения в исследование были отсутствие у пациентов в анамнезе данных за сердечно-сосудистую патологию и сахарный диабет, нормальные значения показателей анализов крови, ЭКГ и ЭхоКГ (синусовый ритм, отсутствие нарушений ритма и проводимости сердца, гипертрофии миокарда, ФВ ЛЖ $\geq 55\%$, отсутствие нарушений диастолической функции ЛЖ), отрицательная проба с физической нагрузкой.

Трансторакальные 2D ЭхоКГ исследования были выполнены на аппарате экспертного класса Vivid E95 (General Electric, США) с помощью секторного фазированного

Таблица 1
Клиническая характеристика исследуемых пациентов

Показатели	Все (n=50)	Мужчины (n=28)	Женщины (n=22)	p
Возраст, годы	44±14 (18;71)	38±12 (18;61)	51±12 (29;71)	<0,001
Рост, см	171±9 (154;187)	177±5 (166;187)	164±5 (154;172)	<0,001
Вес, кг	78±14 (50;122)	86±12 (70;122)	68±9 (50;89)	<0,001
ППТ, м²	1,90±0,19 (1,46;2,38)	2,03±0,13 (1,83;2,38)	1,73±0,10 (1,46;1,87)	<0,001
ИМТ, кг/м²	25,81, 22,88–28,25 (20,20;38,08)	26,29, 25,19–28,37 (22,79;38,08)	24,83, 22,04–28,04 (20,20;37,04)	0,04
САД, мм рт. ст.	124±9 (100;145)	126±9 (100;145)	122±9 (110;140)	0,18
ДАД, мм рт. ст.	80, 70–80 (60;85)	80, 70–80 (60;85)	80, 70–80 (60;85)	0,99
ЧСС, уд. в мин.	71±13 (46;108)	66±11 (46;88)	75±14 (46;108)	0,15

Примечание: ППТ — площадь поверхности тела, ИМТ — индекс массы тела, САД — систолическое артериальное давление, ДАД — диастолическое артериальное давление, ЧСС — частота сердечных сокращений в момент проведения ЭхоКГ.

датчика M5S с частотой 3,5 МГц. Проводилась оценка показателей структуры ЛЖ (конечно-диастолический размер (КДР), толщина межжелудочковой перегородки (МЖП) и задней стенки ЛЖ (ЗС) в конце диастолы, масса (ММ) и индекс массы миокарда (ИММ) ЛЖ), объемов ЛЖ (конечно-систолический и конечно-диастолический) и левого предсердия (ЛП), показателей систолической и диастолической функции ЛЖ. Массу миокарда ЛЖ рассчитывали по формуле: $MM = 0,8 \times (1,04 \times [(КДР + МЖ + ЗС) \cdot 3 - КДР^3]) + 0,6$. Индекс массы миокарда находили как $ИММ = MM / ППТ$. Оценивали соотношение пиков раннего диастолического наполнения ЛЖ к систоле предсердий при доплеровском исследовании трансмитрального кровотока (Е/А) и отношение скорости раннего диастолического наполнения ЛЖ к ранней диастолической скорости движения септальной части митрального кольца (Е/е'). Фракция выброса ЛЖ оценивалась модифицированным методом Симпсона в четырех- и двухкамерных верхушечных позициях.

Для расчета показателей миокардиальной работы оценивали гло-

бальную продольную систолическую деформацию с помощью методики speckle-tracking эхокардиографии, определяли моменты открытия и закрытия митрального и аортального клапанов с помощью импульсно-волнового доплера или визуально из

трехкамерной верхушечной позиции, также во время проведения ЭхоКГ измеряли АД сфигмоманометром в плечевой артерии. С помощью методики построения кривых давление-деформация, входящей в программный пакет EchoPAC (GE Healthcare, США), рассчитывали следующие показатели миокардиальной работы ЛЖ (рис. 1):

1. Индекс глобальной работы (GWI) — вся работа, совершаемая ЛЖ за период времени от закрытия до открытия митрального клапана, определяемая как площадь петли давление-деформация (мм рт. ст. %).
2. Глобальная конструктивная работа (GCW) — выполненная миокардом ЛЖ работа, способствующая изгнанию крови во время систолы (мм рт. ст. %). Конструктивная работа отражает укорочение кардиомиоцитов во время систолы и их удлинение в фазу изоволюмического расслабления.
3. Глобальная потерянная работа (GWW) — выполненная миокардом работа, которая не способствует изгнанию крови из полости ЛЖ (мм рт. ст. %). Отражает удлинение кардиомиоцитов во время систолы и их укорочение в фазу изоволюмического расслабления.

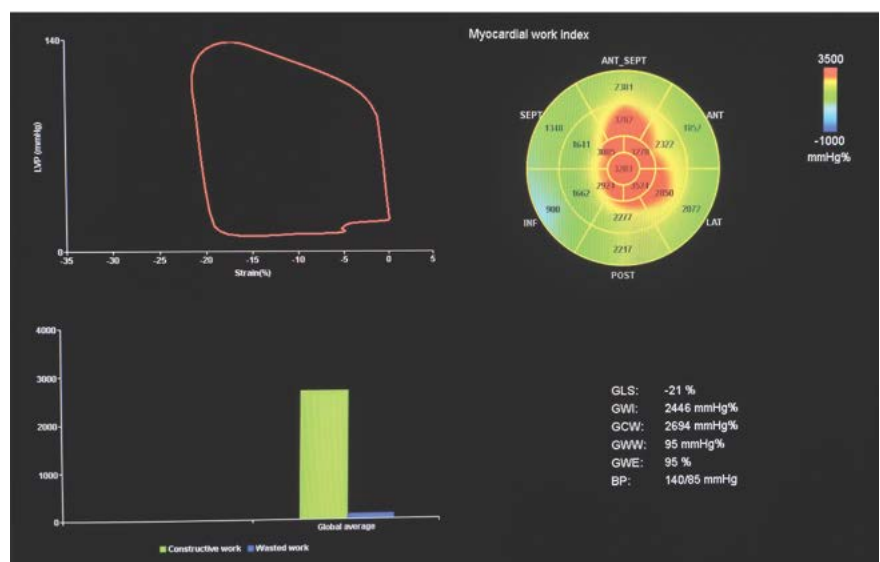


Рисунок 1. Оценка показателей миокардиальной работы ЛЖ с помощью методики построения кривых давление-деформация.

Примечание: GLS — глобальная продольная систолическая деформация, GWl — индекс глобальной работы, GCW — глобальная конструктивная работа, GWW — глобальная потерянная работа, GWE — эффективность глобальной работы, BP — артериальное давление.

4. Эффективность глобальной работы (GWE) — отношение конструктивной работы к сумме конструктивной и потерянной работ (GCW/[GCW+GWW]) (%) [11].

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). Вид распределения выборок оценивался с помощью критерия Шапиро-Уилка. В случае нормального распределения результаты представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения, в случае ненормального распределения показателей — в виде медианы, 25 и 75 перцентилей, также для всех показателей указаны минимальные и максимальные значения. При сравнении групп и оценке корреляции при

нормальном распределении применялся парный t-тест Стьюдента, при ненормальном — тест Манна-Уитни. Проводился корреляционный анализ с помощью непараметрического коэффициента корреляции Спирмена (r), для оценки связи показателей миокардиальной работы с некоторыми другими показателями был применен множественный регрессионный анализ. Различия признавались достоверными при уровне значимости $p < 0,05$. Для оценки межисследовательской воспроизводимости показателей миокардиальной работы ЛЖ анализ проводился двумя независимыми исследователями у 10 случайно выбранных пациентов на серошкальных изображениях одного и того же сердечного цикла. Для определения вну-

триисследовательской воспроизводимости анализ был проведен одним исследователем с разницей в 4 недели. Воспроизводимость оценивалась по методу Бланда-Альтмана с определением коэффициента вариации (CV) как отношения стандартного отклонения (SD) разности каждой пары измерений к средней величине этих двух измерений. Вариабельность выборки считалась слабой при $CV < 10\%$, средней при CV в диапазоне от 10% до 20%, сильной — при $CV > 20\%$.

Результаты исследования

В табл. 2 представлены полученные значения эхокардиографических показателей включенных в исследование пациентов и их сравнение между группами пациентов различного пола.

Как представлено в табл. 2, у участников исследования мужского пола были достоверно больше показатели толщины стенок ЛЖ, конечно-диастолического размера и объема, следовательно, массы и индекса массы миокарда ЛЖ. Показатели конечно-систолического объема ЛЖ и объема левого предсердия также отличались, но не достигли статистически значимой разницы, $p = 0,08$ и $p = 0,10$ соответственно. Фракция выброса ЛЖ и глобальная продольная систолическая деформация не различались между пациентами разных полов.

Результаты оценки показателей миокардиальной работы ЛЖ с помощью методики построения кривых давление-деформация у здоровых лиц представлены в табл. 3.

Следует отметить, что минимальное и максимальное значения индекса глобальной работы у мужчин равнялись 1382 и 2875 мм рт. ст. %, у женщин — 1821 и 2589 мм рт. ст. % соответственно. Минимальное значение эффективности глобальной работы составило 89% у мужчин и 91% у женщин. Показатели миокардиальной работы ЛЖ значимо не различались между мужчинами и женщинами.

Корреляция показателей миокардиальной работы ЛЖ с другими

Таблица 2
Эхокардиографические параметры исследуемых пациентов

Показатели	Все	Мужчины	Женщины	p
КДР, мм	48±4 (40; 56)	50±3 (43; 56)	45±2 (40; 50)	<0,001
МЖП, мм	10,9–11 (7; 13)	10,9–11 (8; 13)	9,8–10 (7; 11)	0,03
ЗС, мм	10,9–11 (6; 12)	10,10–11 (8; 12)	9,9–10 (6; 11)	0,01
ММ, г	164,02±36,60 (90,49; 227,00)	186,80±27,84 (126,69; 227,00)	135,03±23,59 (90,49; 175,02)	<0,001
ИММ, г/м ²	86,30±14,93 (51,73; 113,90)	92,67±13,70 (61,73; 113,90)	78,19±12,49 (51,73; 95,97)	<0,001
КСО, мл	38±10 (17; 56)	42±9 (23; 56)	35±8 (17; 46)	0,08
КДО, мл	107±27 (62; 146)	118±17 (75; 146)	84±12 (62; 108)	0,04
Е/А	1,44±0,42 (0,58; 2,27)	1,51±0,38 (0,80; 2,27)	1,36±0,37 (0,58; 2,05)	0,27
Е/е'	7,6–9 (5; 14)	7,6–8,5 (5; 14)	7,6–9 (5; 14)	0,09
Объем ЛП, мл	52±9 (34; 70)	55±8 (40; 70)	51±7 (34; 64)	0,10
ФВ, %	65±6 (55; 79)	65±5 (55; 73)	66±6 (56; 79)	0,42
ГПСД, %	-21,0, -19,1—-22,2 (-17,8; -26,7)	-20,5, -19,1—-22,0 (-17,8; -26,6)	-21,6, -19,9—-23,3 (-18,1; -26,7)	0,22

Примечание: КДР — конечно-диастолический размер ЛЖ, МЖП — толщина межжелудочковой перегородки в конце диастолы, ЗС — толщина задней стенки ЛЖ в конце диастолы, ММ — масса миокарда ЛЖ, ИММ — индекс массы миокарда ЛЖ, КСО — конечно-систолический объем ЛЖ, КДО — конечно-диастолический объем ЛЖ, Е/А — соотношение пиков раннего диастолического наполнения ЛЖ к систоле предсердий при доплеровском исследовании трансмитрального кровотока, Е/е' — отношение скорости раннего диастолического наполнения ЛЖ к ранней диастолической скорости движения септальной части митрального кольца, ФВ — фракция выброса ЛЖ, ГПСД — глобальная продольная систолическая деформация.

показателями у включенных в исследование пациентов представлена в табл. 4.

Как представлено в табл. 4, индекс глобальной работы значимо и закономерно коррелировал с показателями систолического АД ($r=0,30$, $p=0,03$) и ГПСД ($r=-0,72$, $p<0,001$). Глобальная конструктивная работа тоже значимо коррелировала с систолическим АД ($r=0,36$, $p=0,01$) и ГПСД ($r=-0,72$, $p<0,001$), при этом с возрастом пациентов была найдена отрицательная связь ($r=-0,27$, $p=0,04$). Стоит также указать, что связь индекса глобальной работы не достигла статистической значимости с возрастом ($r=-0,25$, $p=0,06$) и диастолическим АД ($r=0,26$, $p=0,10$), глобальной конструктивной работы — с диастолическим АД ($r=0,18$, $p=0,07$). Однако, не было выявлено значимой корреляции показателей миокардиальной работы ЛЖ с антропометрическими показателями участников исследования, фракцией выброса ЛЖ, частотой сердечных сокращений, массой и индексом массы миокарда ЛЖ, показателями объемов левого предсердия и ЛЖ. При множественном регрессионном анализе индекс глобальной работы аналогично значимо коррелировал с систолическим АД ($\beta=0,30$, $p=0,03$) и ГПСД ($\beta=-0,71$, $p<0,001$), глобальная конструктивная работа — с систолическим АД ($\beta=0,36$, $p=0,01$) и ГПСД ($\beta=-0,66$, $p<0,001$) и возрастом ($\beta=-0,27$, $p=0,03$).

Внутри- и межисследовательская воспроизводимость показателей миокардиальной работы ЛЖ представлена в табл. 5.

Обсуждение

Как следует из таблиц 1 и 2, мужчины, участвовавшие в исследовании, были статистически значимо моложе, имели больше рост и вес, соответственно, больше площадь поверхности тела и индекс массы тела. Как уже указывалось выше, многие эхокардиографические показатели у мужчин также были достоверно выше, чем у женщин, в том числе масса и индекс массы миокарда ЛЖ. Однако, несмотря на это, в данном исследовании показатели миокарди-

Таблица 3
Показатели миокардиальной работы ЛЖ здоровых лиц

Показатели	Все	Мужчины	Женщины	p
GWI, ммрт. ст. %	2079±277 (1382; 2875)	2056±326 (1382; 2875)	2109±200 (1821; 2589)	0,51
GCW, ммрт. ст. %	2297±281 (1559; 3097)	2292±329 (1559; 3097)	2304±211 (1865; 2801)	0,88
GWW, ммрт. ст. %	71,46–91 (10; 313)	66,46–88 (20; 313)	79,5,35–101 (10; 172)	0,44
GWE, %	96,95–97 (89; 99)	96,5,95,5–97 (89; 99)	96,95–98 (91; 99)	0,67

Примечание: GWI — индекс глобальной работы, GCW — глобальная конструктивная работа, GWW — глобальная потерянная работа, GWE — эффективность глобальной работы.

Таблица 4
Корреляция показателей миокардиальной работы ЛЖ с другими показателями у здоровых лиц

Показатели	GWI	GCW	GWW	GWE
Возраст, годы	-0,25, $p=0,06$	-0,27, $p=0,04$	0,12, $p=0,41$	-0,20, $p=0,16$
Рост, см	0,21, $p=0,14$	0,28, $p=0,11$	-0,10, $p=0,18$	0,20, $p=0,17$
Вес, кг	0,07, $p=0,31$	0,06, $p=0,26$	-0,12, $p=0,20$	0,12, $p=0,42$
ППТ, м ²	0,08, $p=0,26$	0,12, $p=0,23$	-0,13, $p=0,37$	0,17, $p=0,24$
ИМТ, кг/м ²	0,12, $p=0,21$	0,11, $p=0,18$	-0,07, $p=0,61$	0,06, $p=0,27$
САД, ммрт. ст.	0,30, $p=0,03$	0,36, $p=0,01$	0,22, $p=0,12$	-0,12, $p=0,40$
ДАД, ммрт. ст.	0,26, $p=0,10$	0,18, $p=0,07$	-0,10, $p=0,49$	0,12, $p=0,42$
ЧСС, уд. в мин.	0,22, $p=0,25$	0,02, $p=0,93$	0,05, $p=0,81$	-0,05, $p=0,81$
КДР, мм	0,12, $p=0,26$	0,15, $p=0,21$	0,10, $p=0,51$	0,001, $p=0,98$
ММ, г	0,05, $p=0,34$	0,06, $p=0,29$	-0,02, $p=0,58$	0,02, $p=0,90$
ИММ, г/м ²	0,07, $p=0,21$	0,11, $p=0,14$	0,03, $p=0,82$	-0,06, $p=0,68$
КСО, мл	0,05, $p=0,40$	0,09, $p=0,35$	0,02, $p=0,71$	0,05, $p=0,64$
КДО, мл	0,14, $p=0,57$	0,25, $p=0,30$	0,03, $p=0,92$	0,09, $p=0,71$
Е/А	0,10, $p=0,33$	0,08, $p=0,30$	-0,02, $p=0,85$	0,04, $p=0,46$
Е/е'	0,12, $p=0,28$	0,11, $p=0,23$	-0,04, $p=0,66$	0,02, $p=0,69$
Объем ЛП, мл	0,09, $p=0,34$	0,09, $p=0,28$	-0,20, $p=0,29$	0,24, $p=0,20$
ФВ, %	0,11, $p=0,23$	0,14, $p=0,16$	-0,10, $p=0,23$	0,06, $p=0,29$
ГПСД, %	-0,72, $p<0,001$	-0,72, $p<0,001$	0,06, $p=0,73$	-0,18, $p=0,14$

Примечание: GWI — индекс глобальной работы, GCW — глобальная конструктивная работа, GWW — глобальная потерянная работа, GWE — эффективность глобальной работы, ППТ — площадь поверхности тела, ИМТ — индекс массы тела, САД — систолическое артериальное давление в момент проведения ЭхоКГ, ДАД — диастолическое артериальное давление в момент проведения ЭхоКГ, ЧСС — частота сердечных сокращений в момент проведения ЭхоКГ, КДР — конечно-диастолический размер ЛЖ, ММ — масса миокарда ЛЖ, ИММ — индекс массы миокарда ЛЖ, КСО — конечно-систолический объем ЛЖ, КДО — конечно-диастолический объем ЛЖ, Е/А — соотношение пиков раннего диастолического наполнения ЛЖ к систоле предсердий при доплеровском исследовании трансмитрального кровотока, Е/е' — отношение скорости раннего диастолического наполнения ЛЖ к ранней диастолической скорости движения септальной части митрального кольца, ФВ — фракция выброса ЛЖ, ГПСД — глобальная продольная систолическая деформация.

Таблица 5а
Внутриисследовательская воспроизводимость

Показатели	Первый исследователь	Первый исследователь через 4 недели	Bias±SD	CV, %
GWl, ммрт.ст.%	2138±209 (1827;2425)	2002±180 (1773;2303)	135,4±93,4	4,5
GCW, ммрт.ст.%	2322±286 (1865;2687)	2178±278 (1720;2638)	143,8±112,7	5,0
GWW, ммрт.ст.%	71,55–78 (46;172)	65,5,64–79 (57;164)	1,1±9,3	11,2
GWE, %	96,5,96–97 (91;97)	96,95–96 (91;97)	0,5±0,53	0,55
ГПСД, %	-21,7,-19,9 — -22,2 (-19,2;-26,1)	-20,2,-19,0 — -21,4 (-17,8;-24,2)	1,17±0,76	3,6

Таблица 5б
Межисследовательская воспроизводимость

Показатели	Первый исследователь	Второй исследователь	Bias±SD	CV, %
GWl, ммрт.ст.%	2138±209 (1827;2425)	2060±196 (1752;2357)	77,7±91,4	4,4
GCW, ммрт.ст.%	2322±286 (1865;2687)	2227±229 (1825;2543)	94,6±92,7	4,1
GWW, ммрт.ст.%	71,55–78 (46;172)	56,50–96 (46;184)	3,5±26,4	32,8
GWE, %	96,5,96–97 (91;97)	96,95–97 (93;98)	0,2±1,03	1,07
ГПСД, %	-21,7,-19,9 — -22,2 (-19,2;-26,1)	-21,-19 — -21 (-18;-26)	0,84±0,54	2,5

Примечание: GWl — индекс глобальной работы, GCW — глобальная конструктивная работа, GWW — глобальная потерянная работа, GWE — эффективность глобальной работы, ГПСД — глобальная продольная систолическая деформация, Bias±SD — среднее значение разности двух исследований ± стандартное отклонение, CV — коэффициент вариации.

альной работы ЛЖ не различались между пациентами разных полов. При исследовании воспроизводимости, представленной в табл. 5, коэффициенты вариации для GWl, GCW и GWE не превысили 10%, что характерно для хорошо воспроизводимых показателей. Однако для GWW значения CV составили 11,2% и 32,8%, что может быть объяснено большим разбросом значений данного показателя.

В исследовании NORRE были получены следующие данные: ожидаемые значения GWl для мужчин находились в диапазоне от 1270 до 2428 ммрт.ст.%, для женщин — от 1310 до 2538 ммрт.ст.%, ожидаемые значения GCW у мужчин были в интервале 1650–2807 ммрт.ст.%, у женщин — 1543–2924 ммрт.ст.%. Максимальные ожидаемые значения GWW равнялись для мужчин 238±33 ммрт.ст.% и для женщин 239±39 ммрт.ст.%. Минимальные ожидаемые значения GWE были

для мужчин 90±1,6%, для женщин 91±1%. Значения GWW у мужчин были статистически значимо больше, чем у женщин, а значения GWE — наоборот значимо меньше [14]. Таким образом, результаты, полученные в настоящем исследовании, в целом укладываются в представленные авторами NORRE границы, но описанной межполовой разницы не наблюдается из-за более широкого распределения значений показателей у женщин.

Также R. Manganaro и соавт. получили аналогичные достоверные различия GWW и GWE между мужчинами и женщинами в подгруппе пациентов по возрасту от 20 до 40 лет, при этом никаких различий в других подгруппах отмечено не было. В исследовании был отмечен статистически значимый рост GWl и GCW с возрастом у женщин (коэффициент детерминации R²=0,06, p=0,002 и R²=0,04, p=0,007 соответственно), и продемонстрирована корреляция

данных показателей с возрастом участников в общем (r=0,20, p=0,002 для GWl, r=0,19, p=0,009 для GCW). Эту закономерность можно объяснить статистически значимым увеличением АД у женщин с возрастом (среднее САД в подгруппе 20–40 лет — 108±10 ммрт.ст., в подгруппе 40–60 лет — 115±13 ммрт.ст., в подгруппе >60 лет — 122±12 ммрт.ст.) и тем фактом, что именно они составили основную часть исследуемых NORRE (141 из 226 — 62%) [14]. В настоящем же исследовании, наоборот, наблюдается отрицательная связь показателей миокардиальной работы ЛЖ с возрастом пациентов — r=-0,27, p=0,04 для GCW и r=-0,25 при p=0,06 для GWl.

В исследовании NORRE была продемонстрирована корреляция показателей миокардиальной работы с основными показателями систолической и диастолической функции, а также деформации ЛЖ. GWl значимо коррелировал с ФВ (β=0,15, p=0,02), систолическим АД (β=0,56, p<0,001), показателями глобальной продольной (β=-0,23, p<0,001) и радиальной деформации (β=0,19, p=0,004), а также диастолическим АД (r=0,37, p<0,001), индексом массы миокарда ЛЖ (r=0,15, p=0,02), сердечным индексом (r=0,19, p=0,004), отношением скорости трансмитрального кровотока к скорости движения фиброзного кольца митрального клапана в фазу раннего наполнения (E/e', r=0,23, p=0,001) и другими. GCW коррелировала со множеством параметров, из основных — с ФВ (r=0,26, p<0,001), систолическим АД (β=0,71, p<0,001), показателями глобальной продольной (β=-0,55, p<0,001), радиальной (β=0,11, p=0,02) и циркулярной деформации (β=-0,10, p=0,01). При этом GWW и GWE коррелировали только с ФВ (β=-0,14, p=0,03 и β=0,18, p=0,009), КСО (r=0,14, p=0,03 и r=-0,15, p=0,03) и индексом Теи (β=0,17, p=0,01 и β=-0,20, p=0,004 соответственно) [15]. Представленная в результатах этого исследования закономерная значимая корреляция показателей миокардиальной работы только с ГПСД и систолическим АД и отсутствие

таковой для других эхокардиографических параметров объясняются меньшим количеством участников по сравнению с NORRE. Данную мысль подтверждает также выявление не достигших статистической значимости связей, например, корреляция GCW с диастолическим АД $r=0,18$ при $p=0,07$.

Схожие результаты по оценке миокардиальной работы ЛЖ у здоровых лиц были представлены в нескольких других недавних исследованиях. При анализе данных 429 участников СТААВ средние значения для GWE составили $95,9 \pm 1,6\%$, для GCW — 2413 ± 330 мм рт. ст. %, для GWW — $85,5 \pm 41,8$ мм рт. ст. %, не было выявлено связи миокардиальной работы с полом и объемными показателями ЛЖ, GWE слабо коррелировала с возрастом ($\beta=-0,02$, $p=0,004$) [16]. В группе здоровых лиц ($n=30$) в исследовании M. El Mahdiui и соавт. средние значения GWE были равны $96,0\%$ ($95,0\%–96,3\%$), что совпадает с результатами, полученными в настоящей работе. Авторы отметили отсутствие значимого влияния факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний на данный показатель [17]. Изучив показатели миокардиальной работы ЛЖ у 115 здоровых лиц и продемонстрировав их хорошую внутри- и межисследовательскую воспроизводимость, E. Galli и соавт. получили следующие результаты: средние значения для GWI составили 1926 ± 247 (в скобках 5 и 95 процентиля — $1534–2356$) мм рт. ст. %, для GCW — 2224 ± 229 ($1894–2647$) мм рт. ст. %, для GWW — $90,61–123$ ($38–195$) мм рт. ст. %, для GWE — 96% , $94–97$ ($91–98$)% [18]. Показатели GWI и GCW были статистически значимо выше у женщин, чем у мужчин, что в данном исследовании можно объяснить достоверной разницей в ГПСД между участниками разного пола ($-21,3 \pm 2,0\%$ у женщин vs $-19,9 \pm 1,7\%$ у мужчин, $p<0,0001$), так как хорошо известно, насколько сильно данные показатели зависят именно от ГПСД. Возраст никак не влиял на миокардиальную работу ЛЖ, и авторы отметили, что возможная причина этого в малой выборке и низком среднем возрасте

участников ($36,3 \pm 13,1$ лет). В подтверждение результатов настоящего исследования, помимо логичной связи с систолическим АД и ГПСД, не было выявлено значимой корреляции с ФВ, диастолическим АД, ППТ, массой миокарда ЛЖ, однако показатели миокардиальной работы ЛЖ коррелировали с индексированным конечно-систолическим размером ($\beta=-0,22$ и $p=0,02$ для GWI), скоростью раннего диастолического наполнения ($\beta=0,34$ и $p=0,01$ для GWI, $\beta=0,35$ и $p=0,01$ для GCW) и систолической экскурсией кольца трёхстворчатого клапана TAPSE ($\beta=0,34$ и $p=0,008$ для GWI, $\beta=0,21$ и $p=0,02$ для GCW, $\beta=-0,27$ и $p=0,003$ для GWW). Также авторы выявили важную закономерность, изучив показатели регионарной миокардиальной работы ЛЖ: значения GWI, GCW и GWE достоверно возрастают от базальных к верхушечным сегментам, в то время как значения GWW достоверно снижаются ($p<0,0001$). Тем самым E. Galli и соавт. подчеркнули возможность оценки регионарной систолической функции миокарда ЛЖ с помощью неинвазивных показателей миокардиальной работы. В итоге авторы сделали вывод, что слишком широкий диапазон нормальных значений и зависимость от геометрии ЛЖ на данный момент ограничивают использование показателей миокардиальной работы в рутинной клинической практике [18].

Отсутствие выраженной связи с возрастом и полом, слабая корреляция с традиционными показателями систолической и диастолической функции ЛЖ (а в данном исследовании вообще отсутствие этой корреляции, возможно, из-за малой выборки участников) делают показатели миокардиальной работы самобытными и оригинальными эхокардиографическими инструментами, способными предложить специалистам по-новому взглянуть на диагностику многих сердечно-сосудистых заболеваний. Например, индекс миокардиальной работы и конструктивная миокардиальная работа могут наравне с фракцией выброса и speckle-tracking деформацией выступать индикаторами нарушения

как глобальной, так и регионарной систолической функции ЛЖ [14]. А учитывая влияние постнагрузки на сердечную деятельность даже дает новым перспективным показателям преимущество перед деформацией, что уже было продемонстрировано в нескольких исследованиях [9, 10].

Выводы

Таким образом, полученные в данном исследовании у здоровых лиц при эхокардиографии значения неинвазивных показателей миокардиальной работы ЛЖ в целом соответствуют представленным ранее данным об их нормальных границах. Выявлена закономерная значимая корреляция полученных показателей с систолическим давлением и глобальной продольной деформацией, а также отрицательная связь с возрастом исследуемых. Хорошая внутри- и межисследовательская воспроизводимость неинвазивной оценки ряда показателей миокардиальной работы ЛЖ повышает возможность ее успешного внедрения в повседневную клиническую практику.

Список литературы

1. Карпман В. Л., Парин В. В. Физиология кровообращения. Физиология сердца. Л.: Наука, 1980. С. 280. [Karpman V. L., Parin V. V. Physiology of blood circulation. Heart physiology. L.: Nauka, 1980. p. 280.]
2. Константинов Б. А., Сандриков В. А., Яковлев В. Ф. Оценка производительности и анализ почечной работы сердца. Л.: Наука, 1986. с. 140. [Konstantinov B. A., Sandrikov V. A., Yakovlev V. F. Evaluation of productivity and analysis of the cyclic work of the heart. L.: Nauka, 1986. p. 140.]
3. Delhaas T., Arts T., Prinzen F. W., Reneman R. S. Regional fibre stress-fibre strain area as an estimate of regional blood flow and oxygen demand in the canine heart. J Physiol. 1994 Jun 15;477 (Pt 3):481–96. DOI: 10.1113/jphysiol.1994.sp020209.
4. Urheim S., Rabben S. I., Skulstad H., Lyseggen E., Ihlen H., Smiseth O. A. Regional myocardial work by strain Doppler echocardiography and LV pressure: a new method for quantifying myocardial function. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 2005 May;288(5):H2375–80. DOI: 10.1152/ajpheart.00946.2004.
5. Russell K., Eriksen M., Aaberge L., Wilhelmssen N., Skulstad H., Remme E. W. et al. A novel clinical method for quantification of regional left ventricular pressure-strain loop area: a non-invasive index of myocardial work. Eur Heart J. 2012 Mar;33(6):724–33. DOI: 10.1093/eurheartj/ehs016.

6. Boe E., Skulstad H., Smiseth O. A. 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/jev156.
7. Galli E., Leclercq C., Fournet M., Hubert A., Bernard A., Smiseth O. A. et al. Value of Myocardial Work Estimation in the Prediction of Response to Cardiac Resynchronization Therapy. *J Am Soc Echocardiogr*. 2018 Feb;31(2):220–230. DOI: 10.1016/j.echo.2017.10.009.
8. Galli E., Leclercq C., Hubert A., Bernard A., Smiseth O. A., Mabo P. et al. Role of myocardial constructive work in the identification of responders to CRT. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2018 Sep 1;19(9):1010–1018. DOI: 10.1093/ehjci/jex191.
9. Boe E., Russell K., Eek C., Eriksen M., Remme E. W., Smiseth O. A. et al. Non-invasive myocardial work index identifies acute coronary occlusion in patients with non-ST-segment elevation-acute coronary syndrome. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015 Nov;16(11):1247–55. DOI: 10.1093/ehjci/jev078.
10. Edwards NFA, Scalia G. M., Shiino K., Sabapathy S., Anderson B., Chamberlain R. et al. Global Myocardial Work Is Superior to Global Longitudinal Strain to Predict Significant Coronary Artery Disease in Patients With Normal Left Ventricular Function and Wall Motion. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019 Aug;32(8):947–957. DOI: 10.1016/j.echo.2019.02.014.
11. Chan J., Edwards NFA, Khandheria B. K., Shiino K., Sabapathy S., Anderson B. 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 Jan 1;20(1):31–39. DOI: 10.1093/ehjci/jev131.
12. El Mahdiui M., van der Bijl P., Abou R., Ajmone Marsan N., Delgado V., Bax J. J. Global Left Ventricular Myocardial Work Efficiency in Healthy Individuals and Patients with Cardiovascular Disease. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019 Sep;32(9):1120–1127. DOI: 10.1016/j.echo.2019.05.002.
13. Galli E., Vitel E., Schnell F., Le Rolle V., Hubert A., Lederlin M. et al. Myocardial constructive work is impaired in hypertrophic cardiomyopathy and predicts left ventricular fibrosis. *Echocardiography*. 2019 Jan;36(1):74–82. DOI: 10.1111/echo.14210.
14. Manganaro R., Marchetta S., Dulgheru R., Ilardi F., Sugimoto T., Robinet S. et al. Echocardiographic reference ranges for normal non-invasive myocardial work indices: results from the EACVI NORRE study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2019 May 1;20(5):582–590. DOI: 10.1093/ehjci/jev188.
15. Manganaro R., Marchetta S., Dulgheru R., Sugimoto T., Tsugu T., Ilardi F. et al. Correlation between non-invasive myocardial work indices and main parameters of systolic and diastolic function: results from the EACVI NORRE study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2019 Aug 13. pii: jez203. DOI: 10.1093/ehjci/jez203.
16. Morbach C., Sahiti F., Tiffe T., Breunig M., Cejka V., Eichner F. et al. Myocardial work as a promising innovative echocardiographic tool — results from the STAAB cohort study. *Clin Res Cardiol* 108, Suppl. 1, April 2019. DOI: 10.1007/s00392-019-1435-9.
17. El Mahdiui M., van der Bijl P., Abou R., Ajmone Marsan N., Delgado V., Bax J. J. Global Left Ventricular Myocardial Work Efficiency in Healthy Individuals and Patients with Cardiovascular Disease. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019;32(9):1120–1127. DOI:10.1016/j.echo.2019.05.002.
18. Galli E., John-Matthews B., Rousseau C., Schnell F., Leclercq C., Donal E. Echocardiographic reference ranges for myocardial work in healthy subjects: A preliminary study. *Echocardiography*. 2019;36(10):1814–1824. DOI:10.1111/echo.14494.

Для цитирования: Алехин М.Н., Иванов С.И., Степанова А.И. Неинвазивная оценка показателей миокардиальной работы левого желудочка у здоровых лиц при эхокардиографии. *Медицинский алфавит*. 2020; (14):45–52. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-14-45-52>

For citation: Alekhin M.N., Ivanov S.I., Stepanova A.I. Non-invasive assessment of left ventricular myocardial work in healthy subjects with Echocardiography. *Medical alphabet*. 2020; (14):45–52. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-14-45-52>



Пресс-релиз Москва, 19 мая 2020 г.

Российское кардиологическое общество (РКО) и компания Vaueer запустили всероссийский онлайн-тест «Измерь возраст своего сердца!».

Онлайн-тест позволяет всем жителям страны от 21 года и старше измерить возраст своего сердца (разницу между биологическим и фактическим возрастом сердца) и тем самым выявить персональный риск развития сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ). Целью теста является популяризация здорового образа жизни и снижение ключевых риск факторов ССЗ у населения нашей страны. Запуск проекта в разгар пандемии COVID-19 особенно актуален, так как, согласно имеющимся в настоящее время данным, наличие сердечно-сосудистых заболеваний способствует более тяжелому течению болезни и в 2–3 раза, в зависимости от патологии, повышает вероятность летального исхода. Если в среднем смертность от нового вируса составляет порядка 3%, то при наличии артериальной гипертензии (АГ) летальность возрастает до 6%, при сахарном диабете до 7,3%, а при таких сердечно-сосудистых заболеваниях как ишемическая болезнь сердца и атеросклероз до 10,5%. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 65% всех умерших от COVID-19 имели сопутствующие сердечно-сосудистые заболевания.

«Недостаточная физическая активность, является одним из факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний. Пребывание дома во время самоизоляции, малоподвижный образ жизни могут оказать неблагоприятное влияние на здоровье. Однако, оставаться физически активными и следовать рекомендациям 150 минут умеренной физической активности или 75 минут интенсивной физической активности в неделю возможно и в домашних условиях без специального оборудования в ограниченном пространстве. Для поддержания здоровья также важно помнить о необходимости правильно питаться и потреблять достаточное количество воды», — рассказала Светлана Вадимовна Виллевалде, заведующая кафедрой кардиологии ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, д.м.н.

«Запуск проекта «Измерь возраст своего сердца!» сегодня, когда риск факторы сердечно-сосудистых заболеваний в условиях пандемии многократно возрастают, это нужная и полезная инициатива, которая даст возможность больше узнать населению о состоянии своего сердца и поможет изменить образ жизни в сторону более здорового», — заявил президент Российского кардиологического общества, академик РАН, Шляхто Евгений Владимирович.

