ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЖИЗНИ, 2020, том 491, с. 172–175

УДК 616.12-008.331.1

НОВЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАСОСНОЙ ФУНКЦИИ СЕРДЦА С ПОМОЩЬЮ МИОКАРДИАЛЬНОЙ РАБОТЫ

© 2020 г. В. Э. Олейников[1,*], Ю. Г. Смирнов[1], В. А. Галимская[1], С. Н. Куприянова[1]

Представлено академиком РАН С.А. Бойцовым
Поступило 06.02.2020 г.
После доработки 06.02.2020 г.
Принято к публикации 06.02.2020 г.

Функция контрактильности левого желудочка (ЛЖ) складывается из двух аспектов – силы сокращения миокарда желудочков, обеспечивающей достаточный градиент давления для открытия клапанов сердца и деформации, которая определяет фактический сердечный выброс [1, 2]. Остается малоизученным вопрос взаимосвязи деформационных характеристик ЛЖ от его объемных показателей. Именно показатель работы ЛЖ может отражать зависимость объемных и деформационных характеристик ЛЖ. Показатели работы могут более точно описывать систолическую функцию ЛЖ при недостаточной информативности фракции выброса ЛЖ (ФВ) и глобальной продольной деформации (GLS) [3, 4]. В статье предложен новый подход к оценке насосной функции ЛЖ, целью которого являлась разработка показателя эффективности работы миокарда за период времени сердечного цикла от момента открытия аортального клапана (AVO) до его закрытия (AVC), то есть выполняемой в период изгнания из ЛЖ.

Ключевые слова: насосная функция левого желудочка, миокардиальная работа, спеклэхокардиография

DOI: 10.31857/S2686738920020195

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование вошли 39 здоровых добровольцев, средний возраст которых составил 40 (31.4; 48.6) лет. Среди них 20 женщин и 19 мужчин, систолическое артериальное давление составило 124 (113; 133) мм рт. ст; диастолическое артериальное давление – 80 (71; 87) мм рт. ст. Критериями отбора являлось отсутствие жалоб, анамнестических и физикальных данных, указывающих на наличие сердечно-сосудистых заболеваний и/или поражение других органов и систем; ЭКГ покоя без значимых изменений; отсутствие регулярного приема каких-либо лекарственных препаратов. Все участники исследования подписывали информированное согласие.

Эхокардиографическое обследование проводили на ультразвуковом сканере Vivid GE 95 Healthcare (USA). Анализ эхокардиографических изображений был выполнен с использованием программного обеспечения EchoPAC версии 202 (GE Healthcare). Показатели LS были получены из покадровой регистрации смещения спеклов с частотой не менее 60 в секунду апикальных 4-, 2- и 5-камерных позиций в каждом сегменте с помощью 2D спекл-эхокардиографии [5].

Для вычисления миокардиальной работы использовался подход, предложенный Smiseth O.A. et al. в [7]. Расчет временной зависимости сегментарной мощности определялся как произведение давления в ЛЖ и скорости продольной деформации сегмента. Russell K. et al. в эксперименте показали тесную корреляционную зависимость между показателями артериального давления, измеренными методом Короткова, и давлением в ЛЖ [4, 5]. Зависимость работы сегмента от времени рассчитывалась путем интегрирования функции мощности. Значения сегментарной работы ЛЖ представлены средним с указанием 95% доверительных интервалов. Единицей измерения работы является mmHg*%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования введены новые показатели на основе концепции расчета работы отдельных сегментов миокарда и их суммы в различные периоды сердечного цикла, представлен-

[1] *ФГБОУ ВО "Пензенский Государственный Университет", Пенза, 440026 Россия*
**e-mail: v.oleynikof@gmail.com*

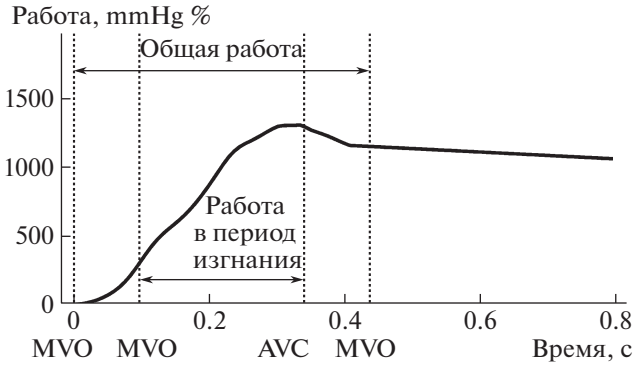

Рис. 1. График временной зависимости работы продольной деформации отдельного сегмента у здорового лица.

ной в работах [7, 8]. Авторы публикаций определяют работу, которая способствует насосной функции (то есть укорочению в систолу) как полезную и обозначают W_{cons} (constructive work). Работа, которая не вносит вклад в насосную функцию сердца, обозначается W_{wasted} (wasted work) и определяется как бесполезная работа. Работа отдельных сегментов при укорочении волокон называется положительной и обозначается $W_{positive}$ (positive work), а при удлинении волокон – отрицательной и обозначается $W_{negative}$ (negative work).

В настоящей статье впервые предложен показатель I_{ej}^{i} (index of i-segment) эффективности работы отдельного сегмента ЛЖ, выполняемой в период изгнания крови с момента открытия аортального клапана AVO и до момента его закрытия AVC (рис. 1).

Работа отдельного сегмента в период изгнания W_{ej}^{i} ejection work) определяется следующей формулой:

$$W_{ej}^{i} = \int_{t_{AVO}}^{t_{AVC}} \frac{d\varepsilon_i(t)}{dt} p(t)dt, \qquad (1)$$

где подынтегральная функция представляет собой произведение производной от продольной деформации по времени $\frac{d\varepsilon_i(t)}{dt}$ и давления $p(t)$ – мгновенную мощность, интегрируемую по временному промежутку $[t_{AVO}; t_{AVC}]$.

Сумма работы отдельных сегментов в ЛЖ $\int_{i=1}^{18} W_{ej}^{i}$ закономерно связана с ФВ. Таким образом, W_{ej}^{i} представляет несомненную клиническую ценность для детализации такого важного показателя сердечной деятельности, каким является ФВ.

Индекс работы отдельного сегмента в период изгнания I_{ej}^{i} (index of i-segment) определяется соотношением:

$$I_{ej}^{i} = \frac{W_{ej}^{i}}{W_{total}^{i}}, \qquad (2)$$

где $W_{total}^{i} = W_{positive}^{i} + W_{negative}^{i}$ – сумма положительной и отрицательной работы сегмента, взятой по абсолютной величине на временном промежутке сердечного цикла от MVC до MVO .

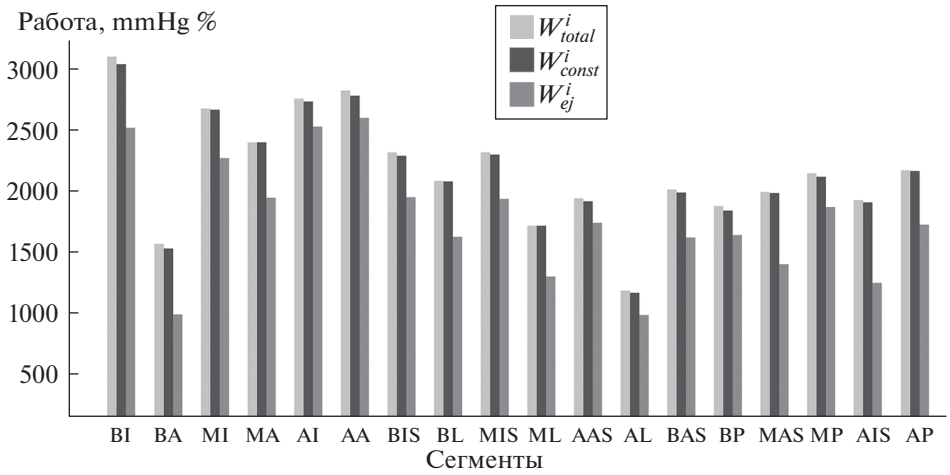

Рис. 2. Значения показателей W_{total}^{i}, W_{ej}^{i} отдельных сегментах ЛЖ у здорового лица.

Таблица 1. Значения показателей $I_{ej}^{i} = W_{ej}^{i}/W_{total}^{i}$ и $I_{cons}^{i} = W_{cons}^{i}/W_{total}^{i}$ отдельных сегментах ЛЖ у здорового субъекта

Показатель	Сегмент								
	BI	*BA*	*MI*	*MA*	*AI*	*AA*	*BIS*	*BL*	*MIS*
I_{ej}^{i}	81	0.63	0.85	0.81	0.92	0.92	0.84	0.78	0.83
I_{cons}^{i}	97	0.97	0.99	0.99	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99
	ML	*AAS*	*AL*	*BAS*	*BP*	*MAS*	*MP*	*AIS*	*AP*
I_{ej}^{i}	76	0.89	0.83	0.81	0.84	0.71	0.87	0.65	0.79
I_{cons}^{i}	99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.98	0.98

Для расчета индекса работы ЛЖ в период изгнания I_{ej} (index of LV ejection work) предложена формула:

$$I_{ej} = \frac{W_{ej}}{W_{total}}, \quad (3)$$

где W_{ej} – работа ЛЖ в период изгнания (total ejection work of LV), определяемая формулой:

$$W_{ej} = \sum_{i=1}^{18} W_{ej}^{i}, \quad (4)$$

а W_{total} – работа ЛЖ на временном промежутке от MVC до MVO (total work of LV), определяемая формулой:

$$W_{total} = \sum_{i=1}^{18} W_{total}^{i}. \quad (5)$$

На рис. 2 представлены графические результаты сравнения показателей W_{total}^{i}, W_{ej}^{i}, предложенных в настоящей статье с показателем W_{cons}^{i} [4] в отдельных сегментах ЛЖ у здорового лица.

В табл. 1 представлены показатели $\frac{W_{ej}^{i}}{W_{total}^{i}}$ и $\frac{W_{cons}^{i}}{W_{total}^{i}}$ отдельных сегментах ЛЖ у здорового субъекта.

В группе здоровых лиц ($n = 39$) среднее значение показателя W_{cons} (constructive work) составило 1607.9 (95% ДИ (1518.3; 1695.7) mmHg*%, а показателя W_{ej} (ejection work) соответственно 1306.1 ult pfrhsnm&95% ДИ (1222.6;1390.2) mmHg*%.

Таким образом, из представленной табл. 1 видно, что числовые показатели I_{cons} всех сегментах ЛЖ у здорового субъекта существенно не отличаются друг от друга, а значения предложенного авторами I_{ej} более вариабельны, что может указывать на различный вклад этих сегментов в насосную функцию ЛЖ. Однако, этот показатель требует дальнейшего исследования и тестирования при различных сердечно-сосудистых заболеваниях.

Предложенные показатели характеризуют эффективность работы, выполняемой в период изгнания крови из ЛЖ, как отдельными сегментами в продольном направлении, так и сердцем в целом. Это позволит дать количественную оценку и детализировать нарушения локальной сократимости в отличие от глобальных индексов, какими является ФВ и продольная деформация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Codreanu I., Pegg T., Selvanayagam J.B., et al.* Normal values of regional and global myocardial wall motion in young and elderly individuals using navigator gated tissue phase mapping Holloway // American Aging Assoc. 2013–2014; V. 36. № 1. P. 231–241.
2. *Boe E., Skulstad H., Smiseth O.A.* Myocardial work by echocardiography: a novel method ready for clinical testing // Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging. 2019. V. 20. № 1. P. 18–20.
3. *Boe E., Smiseth O.A., Storsten P., et al.* Left ventricular end-systolic volume is a more sensitive marker of acute response to cardiac resynchronization therapy than contractility indices: insights from an experimental study // Europace. 2019. V. 21. № 2. P. 347–355.
4. *Russell K., Eriksen M., Aaberge L., 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. V. 33. P. 724–733.
5. *Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., et al.* Voigt recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging.
6. *Galli E., Leclercq C., Fournet M., et al.* Value of myocardial work estimation in the prediction of response to cardiac resynchronization therapy // J. Am. Soc. Echocardiogr. 2018. V. 31. P. 220–230.
7. *Russell K., Eriksen M., Aaberge L., et al.* Assessment of wasted myocardial work: a novel method to quantify energy loss due to uncoordinated left ventricular contractions // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2013. V. 305. № 7. P. 996–1003.
8. *Boe E., Russell K., Eek C., et al.* Non-invasive myocardial work index identifies acute coronary occlusion in patients with nonST-segment elevation-acute coronary syndrome // Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging. 2015. V. 16. P. 1247–1255.

A NEW APPROACH TO DETERMINING THE PUMPING FUNCTION OF THE HEART USING MYOCARDIAL WORK

V. E. Oleynikov[a,#], Yu. G. Smirnov[a], V. A. Galimskaya[a], and S. N. Kupriyanova[a]

[a] *University of Penza, Penza, Russian Federation*

[#]*e-mail: v.oleynikof@gmail.com*

Presented by Academician of the RAS S.A. Boitsov

The function of left ventricular contractility (LV) consists of two aspects – the force of myocardial contraction, providing a sufficient pressure gradient to open the heart valves, and deformation, which determines the actual cardiac output. An issue of the relationship between the deformation characteristics of the left ventricle from the volume indicators remains poorly studied. It is the LV work index that can reflect the dependence of the volume and deformation characteristics of the LV. Myocardial work indexes can more accurately reflect LV systolic function in case of insufficient information of LV ejection fraction (IEF) and global longitudinal strain (GLS). The article proposes a new approach to the evaluation of LV pumping function, the result of which was the development of myocardial work indexes for the period of time of the cardiac cycle from the opening of the aortic valve (AVO) to its closure (AVC), actually performed in the phase of blood ejection from the LV.

Keywords: pumping function of the left ventricle, myocardial work, specle-tracking