

## ВОЗМОЖНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ БАЛЛИСТОКАРДИОГРАФИИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ СИСТОЛИЧЕСКОЙ И ДИАСТОЛИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ МИОКАРДА

Суржиков П.В., Кицышин В.П.

*ФГБОУ ВПО Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, [surj.md@gmail.com](mailto:surj.md@gmail.com)*

Целью исследования являлось изучение возможности определения сократительной функции миокарда методом баллистокардиографии (БКГ). Обследовано 230 пациентов, у которых в качестве контрольного метода определения сократительной функции сердца использовалась эхокардиография (ЭхоКГ). При интерпретации и оценке баллистокардиограммы использовался количественный анализ волн. Измерения проводились в международной системе единиц (СИ): Ньютонах (Н) и секундах (с). В проведенном нами исследовании показана достоверная положительная корреляционная связь между показателями амплитуды систолических волн БКГ и фракцией выброса (ФВ) левого желудочка, а также скоростью движения фиброзных колец в период систолы, полученную методом ЭхоКГ, тем самым доказывая возможность исследуемого нами метода в измерении функции миокарда. Наше исследование расширяет диагностическую ценность БКГ, давая возможность оценить функцию миокарда количественно, применяя амплитудные величины систолических волн БКГ методом количественной баллистокардиографии.

Ключевые слова: систолическая функция миокарда, фракция выброса, баллистокардиография, эхокардиография.

## THE POSSIBILITIES OF QUANTITATIVE BALLISTOCARDIOGRAPHY IN THE DETERMINATION OF SYSTOLIC AND DIASTOLIC MYOCARDIAL FUNCTION

Surzhikov P.V., Kitcyshin V.P.

*Medical Military Academy, Saint-Petersburg, [surj.md@gmail.com](mailto:surj.md@gmail.com)*

The aim of the study was to investigate the possibility of determining myocardial contractile function of the method of ballistocardiography (BCG). Surveyed 230 patients who as a control method of determination of myocardial contractility was used echocardiography (Echo-CG). In the interpretation and evaluation of ballistocardiogram used quantitative analysis of the waves. The measurements were carried out in the international system of units (SI): Newtons (N) and seconds (s). We conducted the study shows a significant positive correlation between indicators amplitude systolic wave BCG and ejection fraction (EF) of the left ventricle, and the speed of fibrous rings during systole obtained by the method of Echocardiography, proving the possibility that we have studied the method in the measurement of myocardial function. Our study extends the diagnostic value of BCG, giving the opportunity to evaluate the function of the myocardium quantitatively, using the amplitude values of systolic wave BCG method of quantitative ballistocardiography.

Keywords: systolic function of the myocardium, the ejection fraction, ballistocardiography, echocardiography.

В современных условиях при наличии высокоинформативных неинвазивных методов определения ударного объема и усовершенствования баллистокардиографии (БКГ) появилась возможность оценить значимость метода БКГ в определении сократительной способности миокарда левого желудочка. Многие важные результаты, достигнутые в проводимых ранее исследованиях, позволяют определить основные характеристики БКГ. Тем не менее обновление старых экспериментов и сопоставления результатов с современными методами измерения контрактильности миокарда, используемыми в настоящее время, будет, безусловно, полезным и позволит по-новому посмотреть на метод БКГ. Нами ранее показана возможность распределения с высокой степенью достоверности обследуемых пациентов по параметрам волновых характеристик БКГ, полученных методом количественной баллистокардиографии

на группы с различной систолической функцией сердца [4]. В данном исследовании мы сравниваем амплитудные характеристики волн БКГ с ФВ левого желудочка и величинами пиков тканевой миокардиальной доплерографии (ТМДГ), полученной методом эхокардиографии (ЭхоКГ).

**Цель исследования:** изучить диагностическую значимость количественной баллистокордиографии для оценки систолической и диастолической функции миокарда.

#### **Материалы и методы исследования**

Набор пациентов осуществлялся в 1 клинике (терапии усовершенствования врачей) Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова в период с сентября 2011 по май 2013 года. В исследование включено в целом 230 человек в возрасте от 20 до 80 лет, с различными заболеваниями сердечно-сосудистой системы при условии хорошей визуализации камер сердца во время эхокардиологического исследования. Количество мужчин составило 155 человек, женщин – 75 обследуемых. Характеристика обследованных больных представлена в табл. 1 и 2. Основным критерием включения пациентов было наличие синусового ритма на ЭКГ. Все обследуемые пациенты были разделены на 3 условные группы: в первую группу вошли 126 человек с ФВ более 55 % по Симпсону, вторую группу составили 76 человек с умеренно сниженной систолической функцией ЛЖ (ФВ 35-54 %), третью группу составили 28 человек с резко сниженной систолической функцией ЛЖ (ФВ менее 35 %). В исследование не включались больные с нарушениями ритма и проводимости – частой наджелудочковой и желудочковой экстрасистолией, наджелудочковыми тахикардиями, пароксизмальной и постоянной формой фибрилляции и трепетания предсердий, АВ-блокадой II и III степени. Настоящее исследование по структуре было одномоментным (поперечным) и осуществлялось на основе научной методологии доказательной медицины и принципов клинической эпидемиологии [3].

Таблица 1

Характеристика пациентов по возрасту и полу, Ме (25; 75 %)

| Показатели       | Группы пациентов в зависимости от ФВ |             |             |
|------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|
|                  | ФВ>55 %                              | ФВ 55-35 %  | ФВ<35 %     |
| Число больных, n | 126                                  | 76          | 28          |
| Мужчины, n       | 78                                   | 58          | 19          |
| Женщины, n       | 48                                   | 18          | 9           |
| Возраст, лет     | 56 (40; 72)                          | 58 (51; 70) | 54 (42; 68) |

## Характеристика пациентов по нозологическим формам сердечно-сосудистой патологии

| Нозологические формы                        | Группы пациентов в зависимости от ФВ, |           |          |
|---|---------------------------------------|-----------|----------|
|   | всего (м/ж)                           |           |          |
|   | ФВ>55%                                | ФВ 55-35% | ФВ<35%   |
| НЦА   | 23 (16/7)                             | -         | -        |
| ГБ  | 37 (25/12)                            | 6 (5/1)   | -        |
| ИБС   | 39 (21/18)                            | 27 (22/5) | -        |
| Сочетание ИБС и ГБ                          | 27 (16/11)                            | 28 (20/8) | 7 (5/2)  |
| Ишемическая дилатационная кардиомиопатия    | -                                     | 12 (9/3)  | 11/3     |
| Идиопатическая дилатационная кардиомиопатия | -                                     | 3 (2/1)   | 12/4     |
| Всего пациентов                             | 126 (78/48)                           | 76(58/18) | 28(19/9) |

Эхокардиографическое исследование было проведено по стандартным методикам [5] одним специалистом в режиме одномерного сканирования на приборе ACUSON (США) с использованием механического датчика с углом сканирования 86 градусов (частота ультразвука 3,5 мГц, максимальная глубина локации 21 см, 256 ультразвуковых линий в кадре). Исследование проводилось в положении больного на спине и/или на левом боку при свободном дыхании. Измерение эхокардиографических показателей осуществляли в пяти сердечных циклах, учитывая средние значения. Способом расчета объемов ЛЖ являлся биплановый метод дисков (модифицированный метод Симпсона) в В-режиме [2]. Измерения производили из четырехкамерной и двухкамерной позиции. Определяли конечно-диастолический (КДО), конечно-систолический (КСО) и ударный объемы (УО) ЛЖ. Фракцию выброса (ФВ) ЛЖ рассчитывали по формуле:  $ФВ = УО/КДО \cdot 100 \%$ . Тканевую миокардиальную доплерэхокардиографию левого желудочка проводили в импульсном режиме с регистрацией нескольких последовательных сердечных циклов при спокойном дыхании пациента. Исследование регионарного продольного движения МЖП, боковой, передней и задней стенок ЛЖ проводили на уровне фиброзного кольца из верхушечного доступа в позиции по длинной оси ЛЖ на 4 и 2 камеры сердца. Допплерограммы передней и нижней стенок ЛЖ получены в позиции на 2 камеры; МЖП и боковой – в позиции на 4 камеры. Измерения в импульсном режиме проводили в режиме on-line. После регистрации доплерограммы движения миокарда рассчитывали следующие регионарные параметры:

скоростные – максимальную скорость систолического ( $S_m$ ) и диастолических пиков ( $A_m$ ,  $E_m$ ).

Исследования БКГ проведены с помощью аппаратно-программного комплекса «Инокард», который состоит из баллистокардиографической платформы и компьютера с программным обеспечением, предоставленного для проведения исследований Конструкторским Технологическим Бюро «Биофизприбор» (г. Санкт-Петербург). Для регистрации показателей обследуемый пациент размещался на баллистокардиографической платформе на кресле, в одежде и обуви, с наложением электродов на конечности для регистрации стандартных отведений ЭКГ. Продолжительность регистрации составляла в среднем 3–4 минуты в зависимости от частоты сердечных сокращений пациента. После автоматической обработки динамического ряда колебательных кривых получали усредненный БКГ комплекс автоматически синхронизированный с ЭКГ, в котором по оси ординат отражалась динамика силы циркулирующей крови, вызванной сердечными сокращениями, а по оси абсцисс – время основных фаз сердечного цикла.

Волны БКГ трактовали следующим образом [1]:

H - изометрическое сокращение желудочков.

I – начало фазы быстрого изгнания крови из желудочков.

J – средне-систолический выброс, удар крови о дугу аорты и бифуркацию легочной артерии.

K – замедление скорости тока крови в нисходящей аорте и удар пульсовой волны о бифуркацию аорты.

M – возникает в фазе быстрого наполнения желудочков, соответствует раскрытию атриовентрикулярного клапана и удару крови о стенки желудочков.

При интерпретации и оценке БКГ использовался количественный анализ волн. Измерения проводились в международной системе единиц (СИ): Ньютонах (N) и секундах (S). Измерялись такие характеристики волн, как амплитуда волны ( $a$ ) отражает силу удара крови в определенную фазу сердечного цикла, время волны ( $t$ ) – время начала волны от зубца R на ЭКГ, и площадь волны ( $s$ ) – произведение амплитуды волны на время волны.

### **Результаты и обсуждение собственных исследований**

Характеристика структурно-функциональных параметров сердца у обследованных пациентов по данным эхокардиографии.

При сравнении (таблица 3) размеров толщины стенок и полостей левого желудочка выявлены статистически значимые различия толщины МЖП во всех трех группах: между пациентами 1-й и 2-й групп достоверность различий составила  $p < 0,05$ , между 1-й и 3-й группами –  $p < 0,01$ . Толщина ЗСЛЖ статистически значимо различалась только между группой пациентов с нормальной СФ ЛЖ и группой пациентов с умеренно сниженной СФ

ЛЖ ( $p < 0,05$ ), а также в группе пациентов с нормальной СФ ЛЖ и резко сниженной СФ ЛЖ ( $p < 0,05$ ). КДР и КСР левого желудочка статистически значимо различались во всех трех группах ( $p < 0,05$ ). При сравнении показателей объемных характеристик левого желудочка у обследованных пациентов наблюдались статистически значимые различия между значениями КСО, КДО, УО и ФВ. Различия по показателю КСО ЛЖ оказались статистически значимы ( $p < 0,01$ ) во всех трех группах. Также наблюдалось статистически значимое различие ( $p < 0,05$ ) по показателям КДО левого желудочка между группами с различной фракцией выброса. Показатели ударного объема левого желудочка и ФВ также статистически достоверно различались между ними ( $p < 0,01$ ). В 1-й группе медиана ФВ составила 58,9 (58; 64) %, во 2-й группе – 49,2 (42,7; 54,3) %, а в третьей – 29,4 (28,8; 32,2) %. Таким образом, все три исследуемые группы по основным параметрам, отображающим систолическую функцию левого желудочка, статистически достоверно различались друг от друга.

Таблица 3

Размеры толщины стенок, полости и объемные показатели левого желудочка по данным эхокардиографии у обследованных пациентов, Ме (25; 75 %)

| Показатели<br>ЭхоКГ | Группы                        |                                       |                                 |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
|                     | Нормальная СФ<br>ЛЖ (n=126)   | Умеренно<br>сниженная СФ ЛЖ<br>(n=76) | Резко сниженная<br>СФ ЛЖ (n=28) |
| ТМЖП, мм            | 10 (10; 11,8) <sup>###</sup>  | 11,3 (11; 12,5) <sup>#</sup>          | 12 (10; 13)                     |
| ТЗС ЛЖ, мм          | 10 (10; 11,5) <sup>*#</sup>   | 11 (10; 12)                           | 11 (10; 12)                     |
| КДР ЛЖ, мм          | 51 (48; 53,7) <sup>**##</sup> | 53 (49,5; 58,5) <sup>##</sup>         | 60,5 (56,5; 64,4)               |
| КСР ЛЖ, мм          | 34 (32; 37) <sup>**##</sup>   | 39 (35,5; 43) <sup>##</sup>           | 48 (46; 53)                     |
| КСО ЛЖ, мл          | 48,5 (45; 60) <sup>**##</sup> | 60 (48; 80) <sup>##</sup>             | 119 (104; 154)                  |
| КДО ЛЖ, мл          | 126 (107; 145) <sup>##</sup>  | 130 (106; 167) <sup>##</sup>          | 179 (104; 154)                  |
| УО ЛЖ, мл           | 74 (66; 87) <sup>*#</sup>     | 69 (58; 81) <sup>#</sup>              | 56 (46,5; 65)                   |
| ФВ ЛЖ, %            | 58,9 (58; 64) <sup>**##</sup> | 49,2 (42,7; 54,3) <sup>##</sup>       | 29,4 (28,8; 32,2)               |

Примечание: \*, \*\* – различия между показателями в 1 группе по сравнению со 2 группой статистически значимы (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ); #, ## – различия между показателями в 1, 2 группе по сравнению с 3 группой статистически значимы (<sup>#</sup> $p < 0,05$ ; <sup>##</sup> $p < 0,01$ ).

При изучении динамики показателей тканевой миокардиальной доплер-эхокардиографии у обследованных пациентов в зависимости от состояния сократительной способности миокарда также установлены определенные закономерности.

Анализ показателей регионарного продольного движения МЖП, передней, боковой, и задней стенок ЛЖ методом ТМДГ на уровне фиброзного кольца у обследуемых пациентов представлены в таблице 4. При сравнении показателей пиковой скорости систолического движения миокарда (Sm) и пиковой скорости раннего диастолического движения миокарда (Em) в проекции передней стенки левого желудочка отмечено отчетливое снижение скорости от группы пациентов с нормальной ФВ к обследуемым с резко сниженной ФВ ( $p < 0,01$ ). Также определяется статистически значимое понижение значений пиковой скорости позднего диастолического движения миокарда от первой к третьей группе пациентов ( $p < 0,01$ ). Достоверно значимого различия между показателями пиковой скорости позднего диастолического движения миокарда (Am) между пациентов с нормальной и умеренно сниженной ФВ не выявлено. В проекции боковой стенки левого желудочка также наблюдается четкая тенденция к снижению скорости движения миокарда в систолу (Sm) у пациентов от 1-й группы к 3-й.

Таблица 4

Показатели регионарного продольного движения передней, боковой, МЖП и задней стенок Ж на уровне фиброзного кольца по данным тканевой миокардиальной ДЭхоКГ у обследуемых пациентов, Me (25; 75 %)

| Стенка левого желудочка | Показатели (м/с) | Группы                 |                              |                           |
|-------------------------|------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------|
|                         |                  | Нормальная СФ (n=126)  | Умеренно сниженная СФ (n=76) | Резко сниженная СФ (n=28) |
| Передняя                | Sm               | 0,11 (0,1; 0,13) **##  | 0,1 (0,09; 0,13) ##          | 0,06 (0,06; 0,07)         |
|                         | Em               | 0,14 (0,1; 0,16) **##  | 0,1 (0,09; 0,11) ##          | 0,07 (0,04; 0,09)         |
|                         | Am               | 0,11 (0,11; 0,16) ##   | 0,11 (0,09; 0,14) ##         | 0,05 (0,04; 0,07)         |
| Боковая                 | Sm               | 0,14 (0,12; 0,15) **## | 0,11 (0,09; 0,12) ##         | 0,08 (0,07; 0,09)         |
|                         | Em               | 0,16 (0,13; 0,18) **## | 0,12 (0,1; 0,13)             | 0,1 (0,9; 0,13)           |
|                         | Am               | 0,16 (0,12; 0,17) **## | 0,12 (0,1; 0,17) ##          | 0,06 (0,05; 0,1)          |
| Задняя                  | Sm               | 0,11 (0,11; 0,14) **## | 0,11 (0,07; 0,13) ##         | 0,05 (0,04; 0,07)         |
|                         | Em               | 0,16 (0,14; 0,18) **## | 0,12 (0,11; 0,15) ##         | 0,06 (0,05; 0,1)          |
|                         | Am               | 0,16 (0,14; 0,18) **## | 0,14 (0,11; 0,18) ##         | 0,07 (0,06; 0,1)          |
| МЖП                     | Sm               | 0,13 (0,12; 0,15) **## | 0,12 (0,07; 0,16) ##         | 0,07 (0,07; 0,09)         |
|                         | Em               | 0,15 (0,12; 0,18) **## | 0,1 (0,08; 0,11) ##          | 0,06 (0,04; 0,07)         |
|                         | Am               | 0,15 (0,12; 0,18) **## | 0,12 (0,1; 0,16) ##          | 0,06 (0,04; 0,09)         |

Примечание: \*, \*\* – различия между показателями в 1 группе по сравнению со 2 группой статистически значимы (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ); #, ## – различия между показателями в 1, 2 группе по сравнению с 3 группой статистически значимы (# $p < 0,05$ ; ## $p < 0,01$ ).

Скорость движения миокарда в фазу раннего диастолического движения ( $E_m$ ) оказалась достоверно выше в первой группе, по сравнению со второй и третьей. Между лицами с умеренной и резко сниженной ФВ по данному показателю различий не выявлено. Аналогичная закономерность прослеживается и по показателю скорости движения миокарда в фазу позднего диастолического ( $A_m$ ) движения ( $p < 0,01$ ). Динамика кинетики миокарда в проекции задней стенки левого желудочка в обследованных группах характеризовалась схожей статистически значимой тенденцией как по параметру скорости систолического, так и диастолического движения миокарда в обеих фазах ( $p < 0,01$ ). Менее выраженные различия, но также достоверные, обнаружены при сравнении скорости движения миокарда в систолу и диастолу на уровне межжелудочковой перегородки ( $p < 0,05$ ). Таким образом, при анализе эхокардиографических структурно-функциональных параметров сердца в обследованных группах в зависимости от степени нарушения насосной функции показаны существенные различия в значениях объемных показателей камер сердца в сторону их увеличения при снижении ФВ, а также характерные при нарушении контрактильности сердца снижение сегментарной и общей кинетики миокарда и повышение ригидности стенки левого желудочка в диастолу.

#### **Характеристика показателей БКГ у обследованных пациентов**

Динамика полученных с помощью метода количественной баллистокardiографии параметров амплитуды (силы), длительности достижения пиков и площади систолических волн БКГ у обследованных пациентов, в зависимости от нарушения сократительной способности миокарда, представлены в табл. 5. При сравнении значений амплитудно-временных показателей систолической волны Н, отражающей период изометрического сокращения желудочков, выявлены статистически значимые различия между 1-й и 2-й группами пациентов по показателю времени достижения максимума ( $p < 0,05$ ) и амплитуды волны ( $p < 0,01$ ). Достоверных статистических различий по площади волны между данными группами обследуемых не выявлено. Между первой и третьей группами пациентов отмечены существенные различия по показателям амплитуды ( $p < 0,05$ ) и площади волны ( $p < 0,01$ ). Между группой обследуемых с умеренной и резко сниженной ФВ достоверные различия установлены по всем трем характеристикам. Статистические различия параметров волны I БКГ, отражающей фазу быстрого изгнания крови из желудочков, выявлены между 1-й и 2-й группами обследуемых как по времени достижения пика ( $p < 0,05$ ), так и по амплитуде волны ( $p < 0,01$ ). Значения площади кривой волны I между данными группами достоверно не отличались. Между 1-й и 3-й группами обнаружены различия только между показателями амплитуды и площади волны ( $p < 0,01$ ), в то время как между показателями времени достижения максимума отличий не выявлено. Между второй и третьей группами пациентами

определялись достоверные различия по всем трем показателям. При анализе волны J, характеризующей как систолу желудочков, так и удар крови по стенкам аорты, определяются статистически значимые различия между всеми тремя параметрами в первой и второй группах обследуемых, между первой и третьей группами достоверно различны оказались лишь только показатели амплитуды и площади волны ( $p < 0,01$ ), а показатели времени достижения максимальной амплитуды волны достоверно не различались. Между пациентами с умеренным и выраженным снижением ФВ статистически значимо различались все исследуемые параметры. При анализе показателей волны К, периода удара объема крови в области бифуркации аорты, обнаружены отчетливые различия по всем трем параметрам волны между группами обследуемых с нормальной и умеренно сниженной ФВ.

Таблица 5

Показатели систолических волн БКГ, Ме (25; 75 %)

| Волна БКГ | Показатели    | Группы                |                              |                           |
|-----------|---------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|
|           |               | Нормальная СФ (n=126) | Умеренно сниженная СФ (n=76) | Резко сниженная СФ (n=28) |
| Н         | Время, с      | 0,11 (0,06; 0,2) *    | 0,13(0,12; 0,2) #            | 0,12 (0,12; 0,14)         |
|           | Амплитуда, мН | 1,11(0,91;1,31) **#   | 0,9 (0,7; 1,09) ##           | 0,25 (0,19; 0,34)         |
|           | Площадь, с мН | 8,85 (3,29; 22) ##    | 6,7(3,5; 20,7) #             | 1,02 (0,9; 1,29)          |
| I         | Время, с      | 0,23 (0,18; 0,3) *    | 0,21 (0,2; 0,38) #           | 0,21 (0,19; 0,21)         |
|           | Амплитуда, мН | 1,26 (0,95; 1,6) **#  | 0,82 (0,52; 1,12) ##         | 0,22 (0,14; 0,4)          |
|           | Площадь, с мН | 15,6 (10,26; 36) ##   | 14,85 (3,85; 34,5) #         | 4,74 (0,9; 12,8)          |
| J         | Время, с      | 0,4 (0,18; 0,3) *     | 0,41(0,34;0,53) #            | 0,4 (0,33; 0,41)          |
|           | Амплитуда, мН | 2 (1,7; 2,4) **#      | 1,02 (0,73; 1,4) ##          | 0,41 (0,3; 0,56)          |
|           | Площадь, с мН | 38,4 (33,6; 59,3) **# | 29,5 (13; 52) ##             | 3,87 (2,73; 5,5)          |
| К         | Время, с      | 0,56 (0,42; 0,61) *   | 0,6 (0,42; 0,65)             | 0,56 (0,5; 0,6)           |
|           | Амплитуда, мН | 1, 23 (0,97; 1,5) **# | 0,78 (0,51; 1,06) ##         | 0,3 (0,21; 0,36)          |
|           | Площадь, с мН | 38,8 (28,1; 44,6) **# | 9,5 (2,9; 30,5) #            | 1,35(1,29; 3,09)          |

Примечание: \*, \*\* – различия между показателями в 1 группе по сравнению со 2 группой статистически значимы (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ); #, ## – различия между показателями в 1, 2 группе по сравнению с 3 группой статистически значимы (# $p < 0,05$ ; ## $p < 0,01$ ).



Между первой и третьей, а также между второй и третьей группами обследуемых достоверные изменения оказались только среди показателей амплитуды и площади волны ( $p < 0,01$ ), показатель же времени достижения пика волны в обследуемых группах существенно не различается.

Показатели скорости достижения пика, амплитуды (силы) и площади диастолической волны М баллистокардиограммы у обследованных пациентов представлены в табл. 6.

Таблица 6

Показатели диастолической волны М баллистокардиограммы в группах с различной фракцией выброса, Ме (25; 75 %)

| Вол-на<br>БКГ | Показатели    | Группы                   |                                    |                              |
|---------------|---------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|
|               |               | Нормальная СФ<br>(n=126) | СФ Умеренно<br>сниженная<br>(n=76) | Резко сниженная<br>СФ (n=28) |
| М             | Время, с      | 0,62 (0,53; 0,64)        | 0,61 (0,52; 0,65)                  | 0,62 (0,53; 0,65)            |
|               | Амплитуда, мН | 0,16(0; 0,31)            | 0,12 (0; 0,17)                     | 0,11 (0; 0,16)               |
|               | Площадь, с мН | 1,25 (0; 1,6)            | 1,3(0; 1,7)                        | 1,1 (0; 1,29)                |

При анализе диастолической волны М статистически достоверных различий между амплитудно-временными параметрами не обнаружено. Резюмируя вышеописанные данные, можно констатировать, что при анализе баллистокардиографических кривых у пациентов с различной степенью выраженности нарушений сократительной способности миокарда выявлены определенные различия между параметрами систолических волн. Характер и выраженность этих различий неоднородны по значимости. Максимальные изменения обнаружены по амплитуде пиков, отражающих систолу желудочков, однако и между другими параметрами волн имеются некоторые отличия.

Таким образом, представляется возможным с помощью математических методов анализа из общего массива числовых характеристик систолических волн БКГ отобрать наиболее весомые признаки, существенно повысившие бы чувствительность метода по определению степени снижения пропульсивной функции сердца.

Взаимосвязи эхокардиографических показателей с показателями баллистокардиографии у обследованных пациентов (результаты корреляционного анализа).

Как видно из таблицы 7, существует достоверная положительная корреляционная связь средней силы между значениями ФВ и амплитудой волны Н ( $R=0,43$ ;  $p < 0,05$ ), и слабой силы – с временем достижения пика этой волной, а также ее площадью. Значения амплитуды и

площади систолической волны I положительно коррелируют с ФВ ( $R= 0,41$ ;  $p<0,05$ ), тогда как между временем достижения максимума данной волны и ФВ значимых взаимосвязей не выявлено. Наиболее выраженная сильная корреляционная связь обнаружена между значениями ФВ и амплитудой волн J ( $R= 0,56$ ;  $p<0,01$ ) и K ( $R= 0,51$ ;  $p<0,05$ ). Другие параметры данных волн взаимосвязаны с эхокардиографическим показателем сократительной способности миокарда значительно слабее ( $p<0,05$ ). Полученные данные свидетельствуют о том, что величина амплитуды волны J на БКГ, отражающей средне-систолический выброс сердца с ударом крови о дугу аорты и бифуркацию легочной артерии.

Таблица 7

Корреляционные связи (коэффициент корреляции Спирмена) между ФВ по данным ЭхоКГ и показателями систолических волн БКГ у обследованных пациентов

| Волна БКГ | Показатели волн БКГ | ФВ (ЭхоКГ), % |
|-----------|---------------------|---------------|
| Н         | Время, с            | 0,2*          |
|           | Амплитуда, мН       | 0,4*          |
|           | Площадь, с*мН       | 0,32*         |
| I         | Время, с            | 0,15          |
|           | Амплитуда, мН       | 0,41*         |
|           | Площадь, с*мН       | 0,41*         |
| J         | Время, с            | 0,14          |
|           | Амплитуда, мН       | 0,56**        |
|           | Площадь, с*мН       | 0,34*         |
| K         | Время, с            | 0,21*         |
|           | Амплитуда, мН       | 0,51*         |
|           | Площадь, с*мН       | 0,31*         |

Примечание: \*, \*\* – коэффициент корреляции статистически значим (\* –  $p<0,05$ ; \*\* –  $p<0,01$ ).

Также волны K, отражающей ток крови по нисходящей аорте и удар о ее бифуркацию, а также их площади под кривой, наряду с площадью волны I, наиболее значимо отражают уровень систолического периода работы сердца.

Поскольку значения амплитуд систолических волн БКГ наиболее тесно коррелируют с ФВ, нами также проанализированы взаимосвязи между данными параметрами и пиковыми скоростями движения миокарда в различных сегментах левого желудочка (таблица 8), показателями, достоверно отражающими силу сокращения миокарда.

Из таблицы 8 видно, что существует достоверная положительная корреляционная связь средней силы между систолической пиковой скоростью движения миокарда желудочков ( $S_m$ ) в проекции передней стенки ЛЖ и амплитудой систолических волн Н, I, J и К ( $p < 0,05$ ).

Таблица 8

Коэффициенты корреляции Спирмена между показателями пиковой скорости движения миокарда в период систолы желудочков ( $S_m$ ) по данным эхокардиографии и значениями амплитуд систолических волн БКГ у обследованных пациентов

| Показатели                | $S_m$ в проекции передней стенки ЛЖ, м/с | $S_m$ в проекции боковой стенки ЛЖ, м/с | $S_m$ в проекции задней стенки ЛЖ, м/с | $S_m$ в проекции МЖП ЛЖ, м/с |
|---------------------------|--|---|--|------------------------------|
| Амплитуда волны Н БКГ, мН | 0,32*                                    | 0,47*                                   | 0,39*                                  | 0,21*                        |
| Амплитуда волны I БКГ, мН | 0,46*                                    | 0,51*                                   | 0,49*                                  | 0,32*                        |
| Амплитуда волны J БКГ, мН | 0,51*                                    | 0,52**                                  | 0,5*                                   | 0,42*                        |
| Амплитуда волны К БКГ, мН | 0,34*                                    | 0,42*                                   | 0,34*                                  | 0,37*                        |

Примечание: \*, \*\* – коэффициент корреляции статистически значим (\* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ).

В проекции боковой стенки ЛЖ положительная связь между анализируемыми показателями оказалась более выражена, особенно значимой она была для амплитуды волны J ( $R = 0,52$ ;  $p < 0,01$ ). Выраженность кинетики в проекции задней стенки ЛЖ также достоверно со средней силой коррелировала с амплитудой систолических волн БКГ ( $p < 0,05$ ). Наименее значимыми, но также достоверными, оказались корреляции между пиковой скоростью движения миокарда в систолу желудочков ( $S_m$ ) в проекции МЖП и анализируемым параметром систолических волн.

Таким образом, установлено, что самая высокая корреляционная связь определяется между пиковой скоростью движения миокарда в систолу желудочков ( $S_m$ ) в проекции боковой стенки ЛЖ и амплитудой волны J.

Анализ корреляционных взаимосвязей между эхокардиографическими показателями, отражающими диастолическую функцию левого желудочка, с параметрами диастолической волны М баллистокардиограммы у обследованных пациентов приведен в таблице 9.

Коэффициенты корреляции Спирмена между данными эхокардиографии, отражающими диастолическую функцию левого желудочка, и показателями диастолической волны М баллистокардиографии у обследованных пациентов

| Показатели<br>ЭхоКГ | Показатели волны М баллистокардиограммы |               |               |
|---------------------|---|---------------|---------------|
|                     | Время, с                                | Амплитуда, мН | Площадь, с мН |
| Ve, м/с             | 0,05                                    | 0,05          | 0,12          |
| Va, м/с             | 0,11                                    | 0,09          | 0,08          |
| Ve/Va               | 0,12                                    | 0,07          | 0,1           |
| Em м/с              | 0,1                                     | 0,05          | 0,2           |
| Am м/с              | 0,06                                    | 0,11          | 0,04          |

Как видно из таблицы, ни между параметрами трансмитрального кровотока, ни между значениями динамики скорости диастолического движения миокарда боковой стенки ЛЖ, наиболее диагностически значимого сегмента миокарда, с амплитудой волны М баллистокардиографии статистически достоверных связей не выявлено. Таким образом, для оценки функционального состояния миокарда желудочков в период их расслабления и наполнения кровью использование параметров диастолической волны М баллистокардиограммы не предоставляется возможным.

### Выводы

1. Метод количественной баллистокардиографии может быть использован в повседневной клинической практике для выявления лиц с нарушенной систолической функцией.
2. Оценка диастолических нарушений миокарда с помощью баллистокардиографии не представляется возможной из-за частичного наложения волнового спектра, отражающего прохождение крови по аорте и наполнение левого желудочка.

### Список литературы

1. Баевский Р.М., Талаков А.А. Баллистокардиография. – Медицина и физкультура. – София, 1971. – С. 265.
2. Васюк Ю. А. Рекомендации по количественной оценке структуры и функции камер сердца. // Российский кардиологический журнал. – 2012. – № 3 (95). – С. 1-28.

3. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: МедиаСфера, 2006. – С. 4-7.
4. Суржиков П. В., Кицышин В. П., Шустов С. Б. и др. Возможности инокардиографии в определении систолической функции левого желудочка // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 9 (6). – С. 1146-1150.
5. Элисдэйр Райдинг. Эхокардиография. Практическое руководство. – 2-е изд. – М.: МЕДпресс-информ, 2012. – С. 7.

**Рецензенты:**

Харитонов М.А., д.м.н., профессор, заместитель начальника 1 кафедры терапии (усовершенствования врачей), ФГБОУ ВПО Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург.

Шуленин К.С., д.м.н., старший преподаватель кафедры Военно-морской терапии, ФГБОУ ВПО Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург.