

УДК 161.124.2-073.7 (045)

**ВОЗМОЖНОСТИ ИНОКАРДИОГРАФИИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ СИСТОЛИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА****<sup>1</sup>Суржиков П.В., <sup>1</sup>Кицышин В.П., <sup>1</sup>Шустов С.Б., <sup>2</sup>Макиев Р.Г.**<sup>1</sup>ФГБУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова», Санкт-Петербург,  
e-mail: surj.md@gmail.com;<sup>2</sup>Главное военно-медицинское управление Министерства обороны Российской Федерации, Москва

Целью исследования было изучение возможности определения сократительной функции миокарда методом регистрации колебаний вертикальной составляющей силы, вызванной движением сердца в пространстве у сидящего на динамометрической платформе пациента (инокардиография). Обследовано 230 пациентов, у которых в качестве контрольного метода определения насосной функции сердца использовался эхокардиографический модифицированный двухплоскостной метод Симпсона. Впервые при интерпретации и оценке инокардиограммы использовался количественный анализ волн. Измерения проводились в международной системе единиц (СИ): Ньютонах (Н) и секундах (с). Выполнялся дискриминантный анализ, где номинативной переменной выступали группы с различной величиной фракции выброса по данным ЭХОКГ. Независимыми переменными являлись совокупность признаков ИКГ. Из отобранных наиболее информативных признаков осуществлялось построение решающего правила с вычислением обобщенного показателя состояния сократительной функции миокарда. Установлено, что применяемая методика позволяет с высокой степенью достоверности распределять обследуемых на лиц с нормальной, умеренно сниженной и резко сниженной сократительной способностью миокарда.

**Ключевые слова:** систолическая функция, фракция выброса, инокардиография, эхокардиография, скрининг**POSSIBILITIES OF INOKARDIOGRAFY  
IN SYSTOLIC LEFT VENTRICULAR FUNCTION****Surzhikov P.V., Kityshin V.P., Shustov S.B., Makiev R.G.**<sup>1</sup>The Military medical academy, St.-Petersburg, e-mail: surj.md@gmail.com;<sup>2</sup>Main Military Medical Directorate of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Moscow

The aim of this study was to investigate the possibility of determining the myocardial contractile function by recording the vibrations of vertical force component caused by the movement of the heart in space in patient sitting on the dynamometer platform (inocardiography). It was examined 230 patients, the control method of determining the pumping function of the heart was echocardiographic two-plane modified Simpson's method. For the first time the quantitative analysis of waves was used in the interpretation and evaluation of inocardiogram. Measurements were carried out in the System International units (SI): Newton (N) and second (s). We carried out the discriminate analysis, where a nominative variable were groups with the various size of fraction of effusion according to echocardiography. Independent variables were a set of signs of inocardiogram. We carried out the construction of a decision rule from the most informative features with calculation of the generalized indicator of the state of contractile function of the myocardium. It was found that applicable method allows with a high degree of confidence distribute examinees for those with normal, moderately reduced and much reduced myocardial contractility.

**Keywords:** systolic function, ejection fraction, inocardiography, echocardiography, screening

Важная роль в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний отводится проведению скрининговых углубленных обследований различных контингентов лиц. В зависимости от поставленных перед медицинским персоналом задач и количества обследуемых степень оснащенности лечебных учреждений медицинским оборудованием может варьироваться. Однако большинство высокотехнологичных методик не могут быть использованы при массовых обследованиях по причине больших материальных и временных затрат на одно исследование.

Это и определяет высокую потребность медицинских учреждений в оборудовании, с одной стороны, недорогого, надежного и мобильного, а с другой, позволяющем оперативно и с высокой степенью достоверности осуществлять оценку функционального состояния сердечно-сосудистой системы с целью ранней диагностики заболеваний,

контроля за эффективностью проводимого лечения, мониторинга состояния здоровья.

В большинстве современных скрининговых диагностических комплексах используются методы ЭКГ, ритмокардиографии и измерения АД. Вместе с тем у больных ухудшение сократимости миокарда часто предшествует изменениям ЭКГ и не отражается на уровне АД. Стандартом в определении сократительной способности миокарда является эхокардиография (ЭХОКГ) [5], но из-за высокой стоимости оборудования и длительности исследования данный метод при скрининговых обследованиях практически не используется. Таким образом, оценка насосной функции сердца при такого рода обследованиях оценивается лишь физикально.

В этой связи несомненный интерес представляет метод регистрации механической активности сердца опосредованно,

через измерение силы колебаний тела человека, возникающих при каждом сердечном сокращении (баллистокардиография) [1, 3, 7]. Технические решения созданных в 70–80 годы приборов оказались сложными, дорогостоящими и малочувствительными, что не позволило методу стать широко используемым в медицинской практике.

Нами совместно с сотрудниками конструкторского технологического бюро «Биофизприбор» (г. Санкт-Петербург) метод был модифицирован за счет использования вертикальной схемы преобразования силы, связанной с сердечным толчком, с целью минимизации погрешности трансформации сердечного сокращения в электрический сигнал. Оригинальная методика получила название количественной вертикальной модифицированной баллистокардиографии, или инокардиографии (ИКГ) [4]. Метод заключается в регистрации колебаний вертикальной составляющей силы, вызванной движением сердца в пространстве у пациента, сидящего на динамометрической платформе. Положение «сидя в покое» обеспечивает жесткую и постоянную по величине связь тела обследуемого с измерительной платформой. Отличием метода является исключение влияния массы тела на показатели, зависящие от величины сердечного выброса. Эффект компенсации массы обеспечивается нормированием этих параметров по отношению к величине веса обследуемого человека. Важной особенностью является также возможность статической калибровки преобразователя силы.

Однако, несмотря на привлекательность данного подхода к оценке сократительной способности миокарда, клинических исследований по сопоставлению параметров ИКГ с другими методами, используемыми в кли-

нической практике для определения фракции выброса, до сих пор не проводилось.

**Цель исследования** – изучить диагностическую ценность инокардиографии в определении сократительной функции миокарда.

### Материалы и методы исследования

Чувствительность и специфичность ИКГ изучалась при сопоставлении данных с результатами эхокардиографического исследования. Всего обследовано 230 пациентов, из них 160 мужчин и 70 женщины, находившихся в стационаре. Все обследованные были в возрасте от 19 до 92 лет (средний возраст составил  $60,7 \pm 14,5$  лет). Пациенты были разделены по данным ЭХОКГ на 3 группы: в первую группу вошли 126 пациентов (55%) с нормальной систолической функцией ЛЖ (фракция выброса 55–75% по данным ЭХОКГ), вторую группу составили 76 пациентов (33%) с умеренно сниженной систолической функцией ЛЖ (фракция выброса 35–54%), третью группу составили 28 пациентов (12%) с резко сниженной систолической функцией ЛЖ (фракция выброса менее 35%). В качестве контрольного метода определения насосной функции сердца использовался эхокардиографический модифицированный двухплоскостной метод Симпсона на аппарате Acuson Sequoia 512. Непосредственно после ЭХОКГ всем обследуемым выполнена ИКГ с использованием аппаратно-программного комплекса «Инокард», предоставленного для проведения исследований Конструкторским технологическим бюро «Биофизприбор» (г. Санкт-Петербург).

Для регистрации физиологических показателей обследуемый пациент размещался в одежде и обуви в кресле 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 ИКГ комплекс, в котором по оси ординат отражалась динамика силы давления, а по оси абсцисс – время основных фаз сердечного цикла (рис. 1).

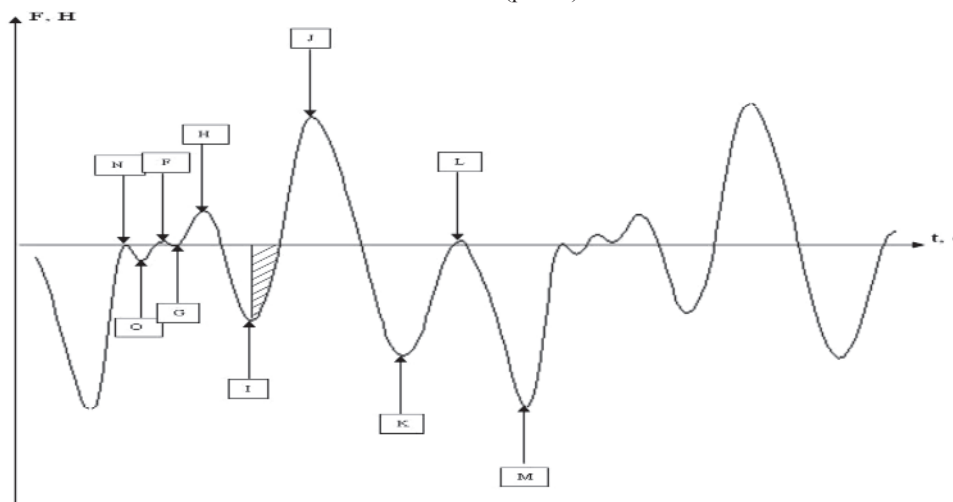


Рис. 1. Нормальная динамика вертикальной составляющей силы по данным инокардиографии в различные фазы сердечного цикла

Волны ИКГ трактовали следующим образом [2, 6]:  
Пресистолические (регистрируются только при брадикардии) волны:

F – систола предсердий.

G – удар крови из предсердий о стенки желудочков.

Систолические волны:

H – изометрическое сокращение желудочков.

I – начало фазы быстрого изгнания крови из желудочков;

J – средне-систолический выброс, удар крови о дугу аорты и бифуркация легочной артерии;

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

Диастолические волны:

L – изометрическое расслабление, отдача после опорожнения содержимого предсердий, замедление скорости венозного притока в больших венах в начале диастолы;

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

N – «гидравлический удар» при прекращении быстрого наполнения желудочков;

O – послеколебания.

Впервые при интерпретации и оценке инокардиограммы использовался количественный анализ волн, измерения проводились в международной системе единиц (СИ): Ньютонах (N) и секундах (S). Из-

мерялись такие характеристики волн, как амплитуда волны (a), время волны (t), и площадь волны (s) с последующим формированием обучающей выборки.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакета прикладных программ Statistica 7.0. Выполнялся дискриминантный анализ, где номинальной переменной выступали группы с различной величиной фракции выброса по данным ЭХОКГ, а независимыми переменными являлись совокупность признаков ИКГ. Из отобранных наиболее информативных признаков осуществлялось построение решающего правила с вычислением обобщенного показателя состояния сократительной функции миокарда. По полученным величинам проводилась интерпретация различий между группами с проверкой непротиворечивости выбранной классификации по степени нарушения сократимости миокарда: нормальной, умеренно и резко сниженной.

### Результаты исследования и их обсуждение

После предварительной оценки совокупности признаков ИКГ были отобраны амплитудные и временные характеристики систолических волн H, I, J, K (табл. 1) как наиболее информативные переменные в нашей модели.

Таблица 1

Вклад переменных инокардиограммы в формирование модели по оценке сократительной способности миокарда

Характеристика волн	Лямбда Уилкса	Частная-Лямбда	F-критерий	p-уровень	Толерантность	Толерантность (R-кв)
J(a)	0,251272	0,638543	56,04058	0,000000	0,210390	0,789610
H(t)	0,218766	0,733423	35,98351	0,000000	0,241160	0,758841
K(s)	0,195706	0,819843	21,75485	0,000000	0,333276	0,666724
H(a)	0,189419	0,847054	17,87570	0,000000	0,667280	0,332720
I(t)	0,185945	0,862880	15,73209	0,000000	0,371249	0,628751
K(a)	0,172472	0,930285	7,41902	0,000782	0,303099	0,696901
J(t)	0,172141	0,932070	7,21518	0,000945	0,136851	0,863149
I(a)	0,169538	0,946383	5,60878	0,004272	0,452119	0,547880
J(s)	0,167736	0,956551	4,49682	0,012306	0,714549	0,285451
K(t)	0,167443	0,958224	4,31616	0,014629	0,157454	0,842546
I(s)	0,163682	0,980238	1,99585	0,138623	0,410011	0,589989
H(s)	0,162878	0,985080	1,49942	0,225784	0,325623	0,674377

По выбранным признакам максимальный уровень критерия значимости составил  $F = 24,69$  при  $P < 0,0001$ , что свидетельствует о высокой чувствительности сформиро-

ванной модели. Проведение анализа структуры взаимосвязи между группами также подтвердило высокое качество ее классификации (табл. 2).

Таблица 2

Структура взаимосвязи между исследуемыми группами (Квадраты расстояния Махаланобиса)

Исследуемые группы	Группа 1 (ФВ > 55%)	Группа 2 (35% < ФВ < 55%)	Группа 3 (ФВ < 35%)
Группа 1 (ФВ > 55%)	0,00000	11,23460 (p < 0,00001)	17,30494 (p < 0,00001)
Группа 2 (35% < ФВ < 55%)	11,23460 (p < 0,00001)	0,00000	6,46203 (p < 0,00001)
Группа 3 (ФВ < 35%)	17,30494 (p < 0,00001)	6,46203 (p < 0,00001)	0,00000

При определении решающего правила были рассчитаны линейные классификационные функции (ЛКФ).

Данные проверки чувствительности решающих правил дискриминации как дополнительная мера оценки различий между группами свидетельствуют о хорошей разделительной способности выбранной модели (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что в матрицу классификации из 230 пациентов под дискриминацию попало 212 человек, что составляет 92,17% от общего числа пациентов, 18 пациентов (7,83%) после дискриминации не вошли ни в одну из трех групп. Это, вероятнее всего, обусловлено искажением волн ИКГ вследствие погрешностей при проведении регистрации.

**Таблица 3**

Матрица классификации, отражающая процент правильности решений при оценке различий между исследуемыми группами

Группы	Процент правильности решения	Группа 1 (ФВ > 55%)	Группа 2 (35% < ФВ < 55%)	Группа 3 (ФВ < 35%)
Группа 1 (ФВ > 55%)	97,32143	109	3	0
Группа 2 (35% < ФВ < 55%)	88,88889	4	64	4
Группа 3 (ФВ < 35%)	96,42857	0	1	27
Всего	94,33962	113	68	31

В целях выяснения природы дискриминации был проведен канонический анализ, в ходе которого применили две канонические функции (КЛДФ), с суммарным вкладом в дисперсию признаков 83,27 и 100% соответственно.

На рис. 2 представлен график положения объектов трех групп в координатах первой и второй канонических КЛДФ. Различие между группами отчетливое.

Таким образом, разработанный алгоритм аппаратно-програмного анализа амплитудно-временных параметров волн ИКГ позволяет качественно отнести обследуемого к группам с различной выраженностью сердечной слабости. Предлагаемая методика не подходит для количественного определения ФВ в абсолютных величинах.

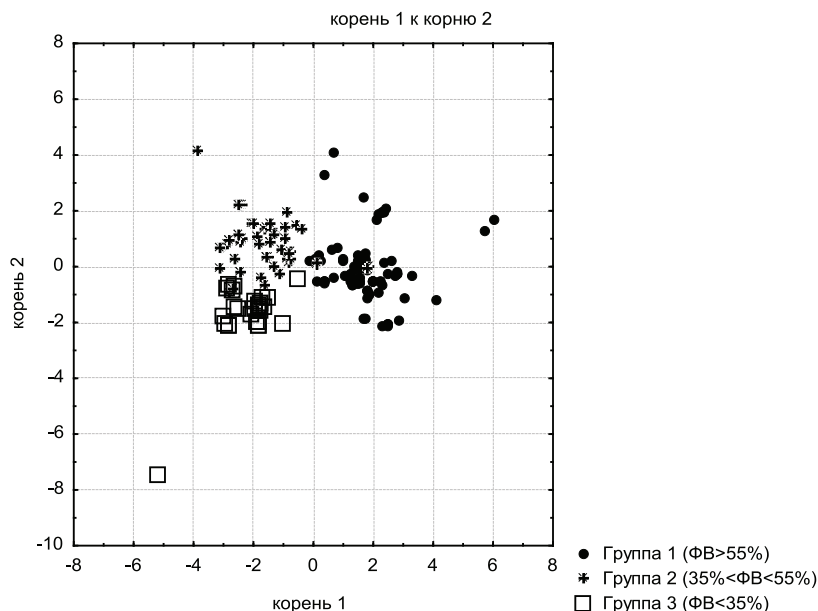


Рис. 2. График положения объектов трех групп в координатах первой и второй канонических КЛДФ

**Выводы**

Инокардиография обладает существенной диагностической ценностью для определения систолической функции левого же-

лудочка. Разработанные решающие правила позволяют методу инокардиографии с высокой степенью достоверности распределять обследуемых на группы с нормальной, умеренно сниженной и резко сниженной

сократительной способностью миокарда. Данная методика может использоваться в современных скрининговых диагностических комплексах для обследования пациентов.

#### Список литературы

1. Баевский Р.М., Поляков В.В., Мозер М., Никулина Г.А., Фунтова И.И., Черникова А.Г. Адаптация системы кровообращения к условиям длительной невесомости: баллистокardiографические исследования во время 14-месячного космического полета // *Авиакосм. и экол. Медицина.* – 1998. – № 3. – С. 23–30

2. Баевский Р.М., Талаков А.А. Баллистокardiография // *Медицина и физкультура.* – София, 1971. – 265 с.

3. Деев И.А., Ермолаев В.И., Саморуков И.А., Семенин А.Т., Степнякова Л.И. Автоматизированная система массовых кардиологических обследований на основе модифицированной баллистокardiографии // *Проблемы создания технических средств для диагностики и лечения заболеваний сердечно-сосудистой системы: Всесоюз. Конф. Тез. Докл.* – Львов, 1990. – С. 115.

4. Патент № 2089095 Российская Федерация, МПК А61В5.00. Способ оценки сократительной функции миокарда человека / Деев И.А., Ермолаев В.И., Семенин А.Т., Агафонов В.И.; опубликован 10.09.1997.

5. Элиседэйр Райдинг. Эхокардиография. Практическое руководство. – 2-е изд. – М.: МЕДпресс-информ, 2012. – С. 7.

6. Brotmacher L. The normal Ballistocardiogram. *Brit. Heart J.* – 1960. – P. 18, 2, 148–152.

7. Cossio P., Berreta J.A., Mosso H.E., Perianes I. Ballistocardiogram in experimental myocardial lesion. *Cardiologia.* – 1954. – P. 24, 6, 372–377.

#### References

1. Baevskij R.M., Poljakov V.V., Mozer M., Nikulina G.A., Funtova I.I., Chernikova A.G. Adaptacija sistemy kro-

voobrashhenija k uslovijam dlitel'noj nevesomosti: ballistokardiograficheskie issledovanija vo vremja 14 mesjachnogo kosmicheskogo poleta // *Aviakosm. i jekol. Medicina.* 1998. no. 3. pp. 23–30

2. Baevskij R.M., Talakov A.A. Ballistokardiografija. *Medicina i fizkul'tura Sofija.* 1971. 265 p.

3. Deev I.A., Ermolaev V.I., Samorukov I.A., Semeni A.T., Stepnjakova L.I. Avtomatizirovannaja sistema massovyh kardiologicheskikh obsledovanij na osnove modifitsirovannoj ballistokardiografii // *Problemy sozdaniya tehnikeskikh sredstv dlja diagnostiki i lechenija zabojevanij serdechno-sosudistoj sistemy: Vsesojuz. Konf. Tez. Dokl. L'vov.* 1990. pp. 115.

4. Patent no. 2089095 Rossijskaja Federacija, MPK A61B5.00. Sposob ocenki sokratitel'noj funkcii miokarda cheloveka / Deev I.A., Ermolaev V.I., Semeni A.T., Agafonov V.I.; opublikovan 10.09.1997.

5. Jelisdejr Rajding. Jehokardiografija. Prakticheskoe rukovodstvo. Vtoroe izdanie MEDpress-inform Moskva. 2012. pp. 7.

6. Brotmacher L. The normal Ballistocardiogram. *Brit. Heart J.* – 1960. – P. 18, 2, 148–152.

7. Cossio P., Berreta J.A., Mosso H.E., Perianes I. Ballistocardiogram in experimental myocardial lesion. *Cardiologia.* – 1954. – P. 24, 6, 372–377.

#### Рецензенты:

Маляков В.В., д.м.н., профессор, проректор по научной работе и связям с общественностью, заведующий кафедрой клинической медицины, НОУ ВПО «Саратовский медицинский институт «РЕАВИЗ», г. Саратов;

Громов М.С., д.м.н., профессор, генеральный директор ООО «Частная клиника № 1», г. Саратов.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.