



Блинова Е.В.¹, *Сахнова Т.А.¹, Меркулова И.Н.¹, Айду Э.А.И.², Трунов В.Г.²,
Шахнович Р.М.¹, Сухина Т.С.¹, Жукова Н.С.¹, Барышева Н.А.¹, Староверов И.И.¹

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ: ОЦЕНКА ПЛАНАРНОСТИ ВЕКТОРКАРДИОГРАФИЧЕСКОЙ ПЕТЛИ QRS У БОЛЬНЫХ С ИНФАРКТОМ МИОКАРДА

¹ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР КАРДИОЛОГИИ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА Е.И. ЧАЗОВА МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ул. 3-я Черепковская, д. 15 А, г. Москва 121552, Российская Федерация

²ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ
ИМЕНИ А.А. ХАРКЕВИЧА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,
Б. Каретный пер., д. 19, стр. 1, г. Москва 127051, Российская Федерация

***Ответственный автор:** Сахнова Тамара Анатольевна, к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории ЭКГ, институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦ имени академика Е.И. Чазова» Минздрава России, ул. 3-я Черепковская 15а, г. Москва 121552, Россия, E-mail: tamara-sahnova@mail.ru; SPIN-код: 4206-2550, ORCID: 0000-0002-5543-7184

Блинова Елена Валентиновна, к.м.н., научный сотрудник лаборатории ЭКГ, институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦ имени академика Е.И. Чазова» Минздрава России, E-mail: blianova2009.73@mail.ru; SPIN-код: 3306-6128, ORCID: 0000-0001-8725-7084

Меркулова Ирина Николаевна, к.м.н., ведущий научный сотрудник отдела неотложной кардиологии, институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦ имени академика Е.И. Чазова» Минздрава России, E-mail: irina_merkulova@list.ru; SPIN-код: 8864-5161, ORCID: 0000-0003-3577-712X

Айду Эдуард Альфред-Иоханесович, к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории теории передачи информации и управления, E-mail: aidu@iitp.ru; ORCID: 0000-0001-9505-4404

Трунов Владимир Григорьевич, к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории теории передачи информации и управления, E-mail: trunov@iitp.ru; SPIN-код: 6383-6834, ORCID: 0000-0002-6084-1608

Шахнович Роман Михайлович, д.м.н., ведущий научный сотрудник отдела неотложной кардиологии, институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦ имени академика Е.И. Чазова» Минздрава России, E-mail: shakhnovich@mail.ru; SPIN-код: 9864-1107, ORCID: 0000-0003-3248-0224

Сухина Татьяна Сергеевна, к.м.н., старший научный сотрудник отдела неотложной кардиологии, институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦ имени академика Е.И. Чазова» Минздрава России, E-mail: sukhina.t@mail.ru; SPIN-код: 6629-7608, ORCID: 0000-0002-5509-6623

Жукова Наталья Семеновна, к.м.н., старший научный сотрудник отдела неотложной кардиологии, институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦ имени академика Е.И. Чазова» Минздрава России, E-mail: cardionat@gmail.com; SPIN-код: 9033-7228, ORCID: 0000-0002-3547-4527

Барышева Наталья Александровна, к.м.н., младший научный сотрудник отдела неотложной кардиологии, институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦ имени академика Е.И. Чазова» Минздрава России, E-mail: nataly-siu@mail.ru; SPIN-код: 5450-6524, ORCID: 0000-0003-0374-4497

Староверов Игорь Иванович, д.м.н., главный научный сотрудник отдела неотложной кардиологии, институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦ имени академика Е.И. Чазова» Минздрава России, E-mail: i-staroverov@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-0049-6101

РЕЗЮМЕ

Цель работы – оценить планарность петли QRS и ее связь с систолической дисфункцией левого желудочка у больных в подостром периоде инфаркта миокарда (ИМ).

Материалы и методы. Были проанализированы ЭКГ 265 больных с диагнозом «острый инфаркт миокарда». Контрольную группу составили 55 здоровых лиц. Индекс планарности рассчитывали, как соотношение площади проекции петли QRS на плоскость (полярного вектора петли QRS) и истинной площади петли QRS в пространстве с использованием синтезированной векторкардиограммы.

Результаты. У больных ИМ индекс планарности был достоверно меньше, чем у здоровых лиц: 0,87 [0,71; 0,94] и 0,96 [0,93; 0,97], соответственно, $p < 0,0001$. Были выявлены слабые, но достоверные корреляционные связи индекса планарности с фракцией выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ, $r = 0,41$, $p < 0,001$) и с числом пораженных сегментов левого желудочка по данным эхокардиографии ($r = -0,43$, $p < 0,001$). У больных ИМ индекс планарности был меньше при наличии отека легких

в остром периоде ИМ (0,68 [0,54; 0,86]; без отека легких 0,88 [0,76; 0,94], $p < 0,001$), а также при наличии в анамнезе хронической сердечной недостаточности (0,79 [0,61; 0,88]; без хронической сердечной недостаточности 0,88 [0,75; 0,94], $p = 0,007$).

У больных ИМ как передней, так и нижней локализации индекс планарности был достоверно меньше при ФВ ЛЖ $< 50\%$ по сравнению с ФВ ЛЖ $\geq 50\%$. Индекс планарности был достоверно меньше при ИМ передней локализации по сравнению с ИМ нижней локализации.

Заключение. У больных в подостром периоде ИМ отмечается уменьшение индекса планарности петли QRS, которое коррелирует с объемом поражения миокарда, снижением ФВ ЛЖ, наличием острой и хронической сердечной недостаточности. Индекс планарности петли QRS достоверно меньше при ИМ передней локализации по сравнению с ИМ нижней локализации.

Ключевые слова: планарность петли QRS, инфаркт миокарда, синтезированная векторкардиограмма

Вклад авторов: все авторы соответствуют критериям авторства ICMJE, принимали участие в подготовке статьи, наборе материала и его обработке.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование статьи: исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУ «НМИЦ им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, регистрационный номер 121030900367-2.

✉ TAMARA-SAHNOVA@MAIL.RU

Для цитирования: Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Меркулова И.Н., Айду Э.А.И., Трунов В.Г., Шахнович Р.М., Сухина Т.С., Жукова Н.С., Барышева Н.А., Староверов И.И. Новые возможности электрокардиографии: оценка планарности векторкардиографической петли QRS у больных с инфарктом миокарда. Евразийский кардиологический журнал. 2022;(4):90-97, <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2022-4-90-97>

Рукопись получена: 15.09.2022 | **Рецензия получена:** 25.10.2022 | **Принята к публикации:** 28.10.2022

© Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Меркулова И.Н., Айду Э.А.И., Трунов В.Г., Шахнович Р.М., Сухина Т.С., Жукова Н.С., Барышева Н.А., Староверов И.И. Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией CC BY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike») / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>



Elena V. Blinova¹, *Tamara A. Sahnova¹, Irina N. Merkulova¹, Eduard A.-I. Aidu²,
Vladimir G. Trunov², Roman M. Shahnovich¹, Tat'yana S. Sukhinina¹,
Natalia S. Zhukova¹, Natalia A. Barysheva¹, Igor I. Staroverov¹

NEW POSSIBILITIES OF ELECTROCARDIOGRAPHY: EVALUATION OF THE VECTORCARDIOGRAPHIC QRS LOOP PLANARITY IN PATIENTS WITH MYOCARDIAL INFARCTION

¹E.I. CHAZOV NATIONAL MEDICAL RESEARCH CENTER OF CARDIOLOGY,

3RD CHEREPKOVSKAYA STREET, 15A, MOSCOW, 121552, RUSSIAN FEDERATION;

²INSTITUTE FOR INFORMATION TRANSMISSION PROBLEMS (KHARKEVICH INSTITUTE), RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES, B. KARETNY, 19, MOSCOW, 127051, RUSSIAN FEDERATION.

*Corresponding author: Tamara A. Sahnova, Cand. of Sci. (Med.), Senior Scientist, ECG Laboratory, 1E.I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology; 3rd Cherepkovskaya street, 15a, Moscow, 121552, Russian Federation; E-mail: tamara-sahnova@mail.ru; SPIN: 4206-2550, ORCID: 0000-0002-5543-7184

Elena V. Blinova, Cand. of Sci. (Med.), Research Officer, ECG Laboratory, E-mail: blinova2009.73@mail.ru; SPIN: 3306-6128, ORCID: 0000-0001-8725-7084

Irina N. Merkulova, Cand. of Sci. (Med.), Senior Research Scientist, Department of Urgent Cardiology

Eduard A.-I. Aidu, Cand. of Sci. (Eng.), Senior Scientist, Laboratory of Information Transmission and Control Theory, E-mail: aidu@iitp.ru;

ORCID: 0000-0001-9505-4404

Vladimir G. Trunov, Cand. of Sci. (Eng.), Senior Research Scientist, Laboratory of Information Transmission and Control Theory, E-mail: trunov@iitp.ru;

SPIN: 6383-6834, ORCID: 0000-0002-6084-1608

Roman M. Shahnovich, Dr. of Sci. (Med.), Senior Research Scientist, Department of Urgent Cardiology, E-mail: shahnovich@mail.ru; SPIN: 9864-1107,

ORCID: 0000-0003-3248-0224

Tat'yana S. Sukhinina, Cand. of Sci. (Med.), Senior Scientist, Department of Urgent Cardiology, E-mail: sukhinina.t@mail.ru; SPIN: 6629-7608,

ORCID: 0000-0002-5509-6623

Natalia S. Zhukova, Cand. of Sci. (Med.), Senior Scientist, Department of Urgent Cardiology, E-mail: cardionat@gmail.com; SPIN: 9033-7228,

ORCID: 0000-0002-3547-4527

Natalia A. Barysheva, Cand. of Sci. (Med.), Research Assistant, Department of Urgent Cardiology, E-mail: nataly-siu@mail.ru; SPIN: 5450-6524,

ORCID: 0000-0003-0374-4497

Igor I. Staroverov, Dr. of Sci. (Med.), Chief Researcher, Department of Urgent Cardiology, E-mail: i-staroverov@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-0049-6101

SUMMARY

The aim of the work is to evaluate the planarity of the QRS loop and its relationship with systolic dysfunction of the left ventricle in patients in the subacute period of myocardial infarction (MI).

Materials and methods. The ECG of 265 patients with a diagnosis of acute myocardial infarction were analyzed. The control group consisted of 55 healthy individuals. The planarity index was calculated as the ratio of the area of the QRS loop projection onto the plane (the polar vector of the QRS loop) and the true area of the QRS loop in space using a synthesized vectorcardiogram.

Results. In patients with MI, the planarity index was significantly lower than in healthy individuals: 0.87 [0.71; 0.94] and 0.96 [0.93; 0.97], respectively, $p < 0.0001$. Weak but significant correlations between the planarity index and the left ventricular ejection fraction (LVEF, $r = 0.41$, $p < 0.001$) and with the number of affected segments of the left ventricle according to echocardiography ($r = -0.43$, $p < 0.001$) were found.

In patients with MI, the planarity index was lower in the presence of pulmonary edema in the acute period of MI (0.68 [0.54; 0.86]; without pulmonary edema 0.88 [0.76; 0.94], $p < 0.001$), and in the presence of a history of chronic heart failure (0.79 [0.61; 0.88]; without chronic heart failure 0.88 [0.75; 0.94], $p = 0.007$).

In patients with MI of both anterior and inferior localization, the planarity index was significantly lower with LV EF $< 50\%$ compared with LV EF $\geq 50\%$. The planarity index was significantly lower in anterior MI than in inferior MI.

Conclusion. In patients in the subacute period of MI, there is a decrease in the QRS loop planarity index, which correlates with the volume of myocardial damage, a decrease in LV EF, and the presence of acute and chronic heart failure. The QRS loop planarity index was significantly lower in anterior MI than in inferior MI.

Keywords: QRS loop planarity, myocardial infarction, synthesized vectorcardiogram.

Authors, contributions. All authors meet the ICMJE criteria for authorship, participated in the preparation of the article, the collection of material and its processing.

Conflict of interest. No conflict of interest to declare.

Financing of the article: the study was carried out as part of the state assignment of E.I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology, registration number 121030900367-2.

✉ TAMARA-SAHNOVA@MAIL.RU

For citation: Elena V. Blinova, Tamara A. Sahnova, Irina N. Merkulova, Eduard A.-I. Aidu, Vladimir G. Trunov, Roman M. Shahnovich, Tat'yana S. Sukhinina, Natalia S. Zhukova, Natalia A. Barysheva, Igor I. Staroverov. New possibilities of electrocardiography: evaluation of the vectorcardiographic QRS loop planarity in patients with myocardial infarction. Eurasian heart journal. 2022;(4):90-97 (In Russ.). <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2022-4-90-97>

Received: 15.09.2022 | **Revision Received:** 25.10.2022 | **Accepted:** 28.10.2022

© Elena V. Blinova, Tamara A. Sahnova, Irina N. Merkulova, Eduard A.-I. Aidu, Vladimir G. Trunov, Roman M. Shahnovich, Tat'yana S. Sukhinina, Natalia S. Zhukova, Natalia A. Barysheva, Igor I. Staroverov

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

ВВЕДЕНИЕ

Электрокардиография является одним из основных методов обследования пациентов с подозрением на инфаркт миокарда (ИМ). Такие преимущества электрокардиографии, как простота, экономичность и быстрота в использовании, заставляют искать возможности применения данных этого метода для оценки прогноза пациентов с ИМ.

Одним из общепризнанных маркеров неблагоприятного прогноза у пациентов, перенесших ИМ, считается систолическая дисфункция левого желудочка, которая является независимым предиктором краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной смертности после ИМ, а также связана с более высокой частотой сердечно-сосудистых осложнений (разрыва сердца, повторных инфарктов миокарда, желудочковых аритмий).

В настоящее время перспективным представляется диагностический анализ электрокардиограмм (ЭКГ) по алгоритмам, построенным методами обучения с использованием искусственного интеллекта. Один из таких алгоритмов, нацеленный на распознавание изменений ЭКГ, ассоциированных с тяжелой систолической дисфункцией левого желудочка (фракцией выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) $\leq 35\%$), продемонстрировал чувствительность 82,5-86,3%, специфичность 85,7-86,8% и общую точность 85,7-86,5% [1]. Однако его точность была меньше у пациентов с острым коронарным синдромом, что, по мнению авторов, может потребовать переобучения нейронной сети на популяции подобных больных [2].

Другим подходом к повышению диагностической и прогностической ценности ЭКГ является компьютерная обработка цифровых ЭКГ с изучением variability интервала QT и зубца R, а также «трехмерных» показателей векторкардиографических QRS и Т петель, в частности, характеристики представления их в собственных системах координат, используя метод главных компонент. В одной из работ подобный подход позволил увеличить положительную прогностическую ценность ЭКГ для выявления систолической дисфункции левого желудочка с 53% до 92% ($p < 0,0001$) без ущерба для отрицательной прогностической ценности [3].

Одним из «трехмерных» векторкардиографических показателей, который в последнее время привлекает всё большее внимание исследователей, является так называемая «планарность пространственной петли QRS» (степень ее отклонения от собственной плоскости). Этот показатель предлагают использовать как для диагностики ИМ, так и для прогнозирования желудочковых тахикардий у больных ИМ [4, 5], однако он остается еще недостаточно изученным. Цель нашей работы – оценить планарность петли QRS и ее связь с систолической дисфункцией левого желудочка у больных в подостром периоде ИМ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Были проанализированы ЭКГ 265 больных: 203 (77%) мужчин и 62 (23%) женщин, находившихся в 2016-2017 гг. на лечении в ИКК им. А.Л. Мясникова с диагнозами «Ишемическая болезнь сердца: острый инфаркт миокарда нижней локализа-

Таблица 1. Характеристика пациентов, включенных в исследование
Table 1. Characteristics of patients included in the study

Показатель		Значение
Локализация ИМ	Передняя, n (%)	137 (52%)
	Нижняя, n (%)	128 (48%)
Класс ОН по Killip	I, n (%)	206 (78%)
	II, n (%)	35 (13%)
	III, n (%)	24 (9%)
АГ, n (%)		210 (79%)
ХСН, n (%)		28 (11%)
СД, n (%)		60 (23%)
ПИКС, n (%)		49 (18%)
Ранняя постинфарктная стенокардия, n (%)		14 (5%)
Блокада правой ножки пучка Гиса, n (%)		15 (6%)
КДР ЛЖ, мм		52 [50; 55]
ТМЖП, мм		11 [10; 11,5]
ТЗСЛЖ, мм		10 [10; 11]
ФВ ЛЖ, %		51 [44; 60]
Число пораженных сегментов по ЭхоКГ		4 [2; 5]

Примечание (Note): ИМ – инфаркт миокарда (MI, myocardial infarction), ОН – острая сердечная недостаточность (AHF, acute heart failure), АГ – артериальная гипертония (AH, arterial hypertension), ХСН – хроническая сердечная недостаточность (CHF, chronic heart failure), СД – сахарный диабет (DM, diabetes mellitus), ПИКС – постинфарктный кардиосклероз (PICS, postinfarction cardiosclerosis), КДР ЛЖ – конечный диастолический размер левого желудочка (LV EDD, left ventricular end diastolic dimension), ТМЖП – толщина межжелудочковой перегородки (IVST, interventricular septum thickness), ТЗСЛЖ – толщина задней стенки левого желудочка (LV PWT, left ventricular posterior wall thickness), ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка (LV EF, left ventricular ejection fraction), ЭхоКГ – эхокардиография (EchoCG, echocardiography).

ции с подъемом сегмента ST» и «Ишемическая болезнь сердца: острый инфаркт миокарда передней локализации с подъемом сегмента ST». Медиана и межквартильный размах возраста составили 61 [52; 69] лет. Больные получали терапию согласно текущим рекомендациям. В остром периоде заболевания им была проведена ангиопластика со стентированием инфаркт-связанной артерии.

В исследование не включались больные с искусственным ритмом желудочков и с блокадой левой ножки пучка Гиса.

Контрольную группу составили 55 практически здоровых лиц (29 женщин и 26 мужчин, медиана возраста и межквартильный размах 56 [50; 63] лет).

ЭКГ в 12 отведениях регистрировались на компьютерном электрокардиографе Easy ECG (Атес Медика, Россия) и обрабатывались с использованием программного обеспечения того же производителя. В данном исследовании анализировались ЭКГ, зарегистрированные перед выпиской пациента из стационара, то есть, в подостром периоде ИМ (на 8 [6; 11] день от начала его развития).

Трехмерная петля QRS строилась на основе синтезированных ортогональных отведений X, Y, и Z, которые автоматически вычислялись при помощи специальных линейных преобразований.

Индекс планарности пространственной петли QRS (ИП) рассчитывали, как соотношение площади проекции петли QRS на плоскость (полярного вектора петли QRS) и истинной площади петли QRS в пространстве. Индекс планарности может принимать значения от 0 до 1; он равен 1, если петля плоская.

Трансторакальная эхокардиография (ЭхоКГ) проводилась на ультразвуковом приборе Vivid 9, США, в соответствии с современными рекомендациями. Для вычисления ФВ ЛЖ использовался биплановый метод дисков (модифицированный метод Симпсона) в В-режиме.

Статистический анализ данных проводился с использованием программного обеспечения MedCalc, (MedCalc Software

BVBA, Остенде, Бельгия). Непрерывные переменные представлены в виде медианы и межквартильного размаха (25-й и 75-й перцентили). Качественные переменные представлены в абсолютных и относительных величинах. Для оценки различий двух независимых количественных переменных в зависимости от типа распределения использовались непарный t-тест или критерий Манна-Уитни. Для оценки различий независимых качественных переменных использовался метод хи-квадрат; в случае четырехпольных таблиц со значениями ожидаемого явления менее 10 – двусторонний точный критерий Фишера. Для определения взаимосвязи между переменными проводился корреляционный анализ Спирмена. Для описания информативности показателей использовали характеристические кривые (ROC-кривые). Чувствительность и специфичность критериев вычисляли по общепринятым формулам. За уровень статистической значимости принимали $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристика пациентов, включенных в исследование, представлена в таблице 1.

У больных ИМ индекс планарности был достоверно меньше, чем у здоровых лиц: 0,87 [0,71; 0,94] и 0,96 [0,93; 0,97], соответственно, $p < 0,0001$.

У больных ИМ как передней, так и нижней локализации индекс планарности был достоверно меньше при ФВ ЛЖ $< 50\%$ по сравнению с ФВ ЛЖ $\geq 50\%$. При этом независимо от ФВ ЛЖ индекс планарности был достоверно меньше при ИМ передней локализации по сравнению с ИМ нижней локализации. Значения индекса планарности у больных ИМ в зависимости от локализации ИМ и ФВ ЛЖ представлены в таблице 2.

У больных ИМ были выявлены слабые, но достоверные корреляционные связи индекса планарности с ФВ ЛЖ ($r = 0,41$, $p < 0,001$) и с числом пораженных сегментов левого желудочка по данным эхокардиографии ($r = -0,43$, $p < 0,001$).

Таблица 2. Значения индекса планарности у больных ИМ в зависимости от локализации ИМ и ФВ ЛЖ

Table 2. Values of the planarity index in patients with MI depending on the location of MI and LV EF

		Локализация ИМ		Сравнение ИМ передней и нижней локализации
		Передняя	Нижняя	
ФВ ЛЖ	$\geq 50\%$	0,91 [0,78; 0,95]	0,93 [0,87; 0,96]	$p = 0,04$
	$< 50\%$	0,74 [0,61; 0,85]	0,86 [0,63; 0,92]	$p = 0,02$
Сравнение ФВ ЛЖ $\geq 50\%$ и $< 50\%$		$p < 0,0001$	$p = 0,0002$	

Примечание (Note): ИМ – инфаркт миокарда (MI, myocardial infarction), ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка (LV EF, left ventricular ejection fraction)

Таблица 3. Результаты ROC-анализа при выявлении низкой ФВ ЛЖ у больных ИМ с помощью индекса планарности петли QRS

Table 3. Results of ROC analysis in detecting low LV EF in patients with MI using the QRS loop planarity index

	Порог	Чувствительность, %	Специфичность, %	AUC (95%ДИ)
ФВ ЛЖ $< 50\%$, вся группа ИМ	$\leq 0,87$	75	68	0,76 (0,70-0,81)
ФВ ЛЖ $< 40\%$, вся группа ИМ	$\leq 0,79$	71	71	0,70 (0,64-0,75)
ФВ ЛЖ $< 50\%$, передний ИМ	$\leq 0,87$	82	59	0,71 (0,63-0,79)
ФВ ЛЖ $< 50\%$, нижний ИМ	$\leq 0,89$	68	67	0,71 (0,63-0,79)
ФВ ЛЖ $< 40\%$, передний ИМ	$\leq 0,76$	77	61	0,66 (0,57-0,74)
ФВ ЛЖ $< 40\%$, нижний ИМ	$\leq 0,79$	57	85	0,66 (0,57-0,74)

Примечание (Note): AUC – площадь под ROC-кривой (AUC – area under the ROC-curve), ДИ – доверительный интервал (CI – confidence interval), ИМ – инфаркт миокарда (MI – myocardial infarction), ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка (LV EF – left ventricular ejection fraction)

У больных ИМ индекс планарности был меньше при наличии отека легких в остром периоде ИМ (0,68 [0,54; 0,86]; без отека легких 0,88 [0,76; 0,94], $p < 0,001$), а также при наличии в анамнезе хронической сердечной недостаточности (0,79 [0,61; 0,88]; без хронической сердечной недостаточности 0,88 [0,75; 0,94], $p = 0,007$).

У больных ИМ индекс планарности был меньше при наличии блокады правой ножки пучка Гиса (0,69 [0,61; 0,81]; без блокады правой ножки пучка Гиса 0,88 [0,74; 0,94], $p = 0,003$).

Пороговое значение индекса планарности $\leq 0,93$ позволяло диагностировать наличие ИМ с чувствительностью 68%, специфичностью 82% (площадь под ROC-кривой 0,80; 95% доверительный интервал 0,75-0,84).

ROC-анализ продемонстрировал, что индекс планарности позволяет выделять среди больных ИМ пациентов как с ФВ ЛЖ $< 50\%$, так и пациентов с ФВ ЛЖ $< 40\%$. Площади под ROC-кривой не отличались при ИМ разных локализаций, но оптимальные пороговые значения индекса планарности при ИМ передней локализации были несколько ниже, чем при ИМ нижней локализации. Результаты ROC-анализа при выявлении низкой ФВ ЛЖ у больных ИМ с помощью индекса планарности петли QRS представлены в таблице 3.

Выявленные закономерности иллюстрируются следующими клиническими примерами.

Пример 1. Больной ИМ передней локализации с низким значением ИП (ЭКГ и векторкардиограмма, рис. 1).

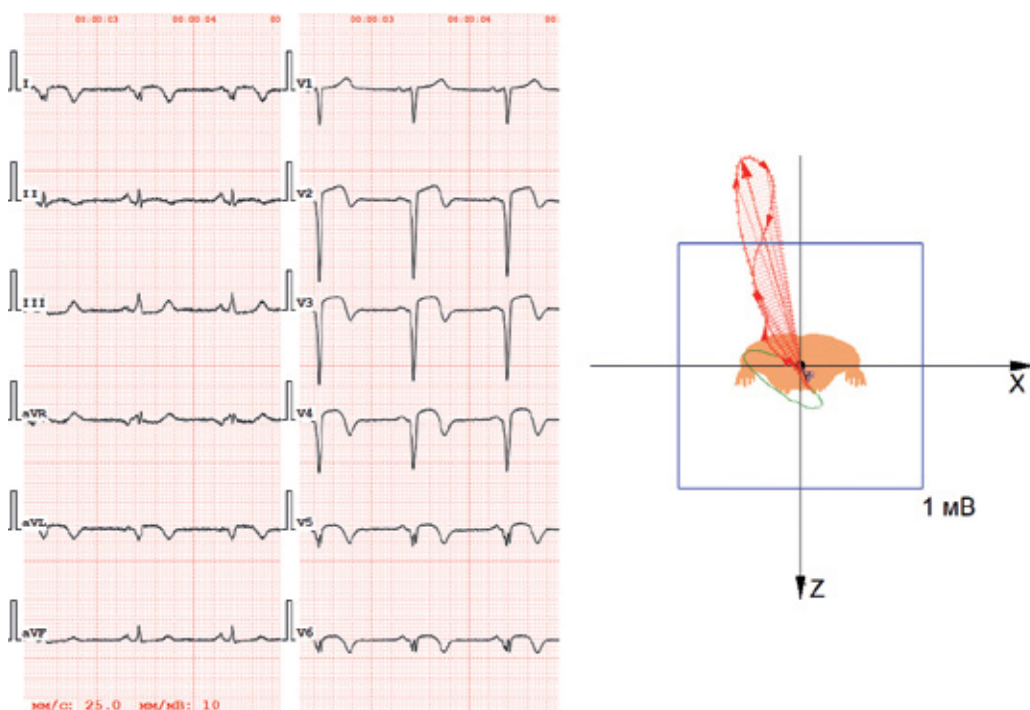


Рисунок 1. ЭКГ и векторкардиограмма больного 58 лет на 10-й день после развития острого ИМ передней локализации. ИП 0,22
 Figure 1. ECG and vectorcardiogram of a 58-year-old patient on the 10th day after the development of acute anterior MI. PI 0,22

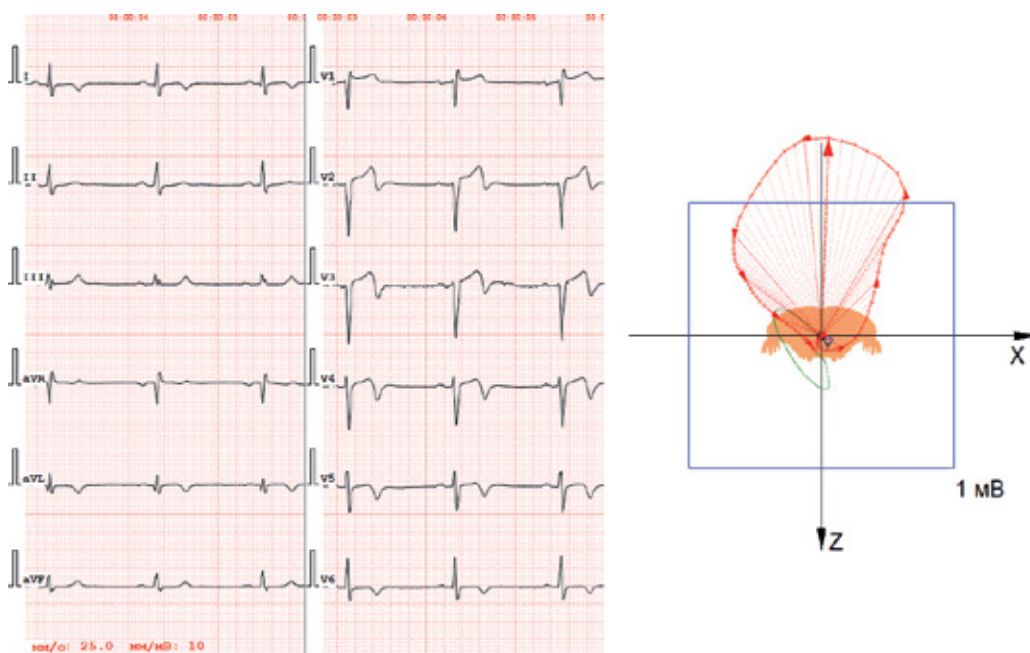


Рисунок 2. ЭКГ и векторкардиограмма больного 55 лет на 8-й день после развития острого ИМ передней локализации. ИП 0,96
 Figure 2. ECG and vectorcardiogram of a 55-year-old patient on the 8th day after the development of acute anterior MI. PI 0,96

Диагноз: ишемическая болезнь сердца: ИМ передней локализации от 08.05.2017, ангиопластика со стентированием передней нисходящей артерии от 08.05.2017. Гипертоническая болезнь III стадии, артериальная гипертония 2 степени. Риск 4 (очень высокий). Хроническая сердечная недостаточность 2а стадии, II функционального класса (NYHA).

Коронарография: ствол левой коронарной артерии стенозирован на 40%. Передняя нисходящая артерия: тромботическая окклюзия среднего сегмента. Огибающая артерия: с неровными контурами. Правая коронарная артерия: в средней трети субтотально стенозирована.

ЭхоКГ: ФВ ЛЖ 40%, акинез верхушечных сегментов всех стенок ЛЖ с элементами дискинеза.

Пример 2. Больной ИМ передней локализации с высоким значением ИП (ЭКГ и векторкардиограмма, рис. 2).

Диагноз: ишемическая болезнь сердца: ИМ передней локализации от 24.08.2016, ангиопластика со стентированием передней нисходящей артерии от 24.08.16. Гипертоническая болезнь III стадии, артериальная гипертония 2 степени. Риск 4 (очень высокий).

Коронарография: передняя нисходящая артерия: тромботическая окклюзия среднего сегмента. Огибающая артерия с неровными контурами. Правая коронарная артерия с неровными контурами.

ЭхоКГ: ФВ ЛЖ 60%, гипокинез апикального и среднего сегмента передней стенки.

Пример 3. Больной ИМ нижней локализации с низким значением ИП (ЭКГ и векторкардиограмма, рис. 3).

Диагноз: ишемическая болезнь сердца: ИМ нижней локализации от 01.02.2017, ангиопластика со стентированием правой коронарной артерии от 01.02.2017. Постинфарктный кардиосклероз: инфаркт миокарда передней локализации от 2009 г. Гипертоническая болезнь III стадии, артериальная гипертония 2 степени. Риск 4 (очень высокий). Сахарный диабет 2 типа, компенсация.

Коронарография: передняя нисходящая артерия в среднем сегменте окклюзирована. Огибающая артерия в проксимальной трети стенозирована на 90%. Правая коронарная артерия: в среднем сегменте тромботическая окклюзия.

ЭхоКГ: ФВ ЛЖ 42%, гипоакинез базального сегмента нижней стенки; апикального, среднего сегмента передней стенки.

Пример 4. Больная ИМ нижней локализации с высоким значением ИП (ЭКГ и векторкардиограмма, рис. 4).

Диагноз: ишемическая болезнь сердца: ИМ нижней локализации от 19.07.2016, ангиопластика со стентированием правой коронарной артерии от 19.07.2016. Постинфарктный кардиосклероз: интрамуральный инфаркт миокарда от 2009 г. Гипертоническая болезнь III стадии, артериальная гипертония 2 степени. Риск 4 (очень высокий).

Коронарография: передняя нисходящая артерия в дистальном сегменте стенозирована на 60%. Огибающая артерия в средней трети стенозирована на 90%. Правая коронарная артерия в дистальном сегменте протяженный субтотальный стеноз.

ЭхоКГ: ФВ ЛЖ 60%, акинез базального сегмента нижней стенки.

ОБСУЖДЕНИЕ

В последние годы растет понимание того, что пространственный анализ электрических явлений сердца, может дать дополнительную информацию, которую не дает традиционная «одномерная» ЭКГ. Кроме того, развитие компьютерных технологий, математических и вычислительных инструментов сделали построение векторкардиограмм более простым и стандартизированным.

Характеристикой трехмерной петли QRS у здоровых лиц является то, что она лежит примерно в одной «предпочтительной плоскости». Впервые на этот факт обратил внимание еще Ф. Шеллонг в 1936 году. В последующие годы для оценки планарности петли QRS был предложен целый ряд геометрических процедур [6]. Однако хотя феномен планарности петли QRS

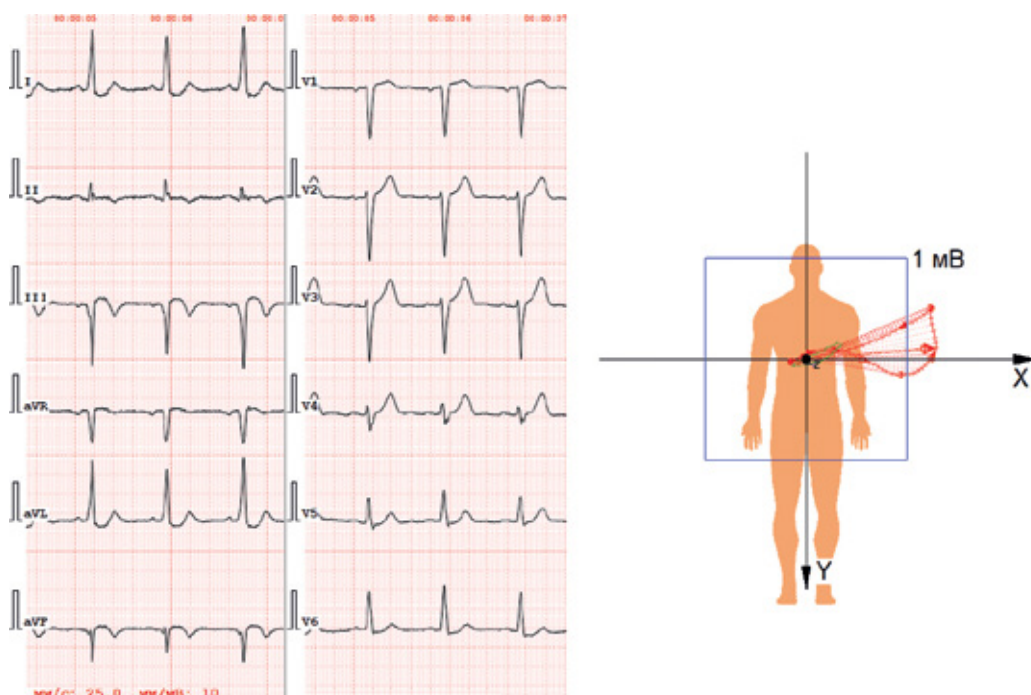


Рисунок 3. ЭКГ и векторкардиограмма больного 50 лет на 8-й день после развития острого ИМ нижней локализации. ИП 0,47
Figure 3. ECG and vectorcardiogram of a 50-year-old patient on the 8th day after the development of acute inferior MI. PI 0,47

был обнаружен давно, применения в широкой клинической практике он пока не нашел.

Структура миокарда желудочков довольно сложная; возможные пути, по которым проходит деполяризация, многочисленны; но при этом последовательные моментные вектора лежат почти в одной плоскости. Правильное объяснение этого удивительного наблюдения, вероятно, невозможно без более фундаментальных физиологических знаний о взаимосвязи между плоскостью QRS и путем активации желудочков.

То, что в норме пространственная петля QRS лежит в одной плоскости, объясняют тем, что компоненты электрической волны в сердце и в окружающей среде распространяются в трех взаимно перпендикулярных направлениях равномерным образом; скорость их распространения в любом направлении остается почти постоянной и однородной [4, 6].

Острый ИМ приводит к нарушению структурно-функциональной целостности различных слоев сердца, нарушению проводимости, развитию токов повреждения. Все это отрицательно сказывается на однородности распространения волн деполяризации и приводит к утрате планарности трехмерной петли QRS.

Наши данные об уменьшении планарности петли QRS у больных ИМ совпадают как с давними [7, 8, 9], так и с более современными работами [5, 6]. Данные литературы об изменениях планарности петли QRS при ИМ разных локализаций достаточно противоречивы. В прошлом ряд авторов выявлял более выраженные изменения этой характеристики петли QRS у больных с ИМ передней локализации, особенно, обширным [7, 8]; другие авторы – при ИМ нижней локализации [9]. К сожалению, сопоставлять эти работы сложно, поскольку разные авторы использовали разные математические подходы к описанию планарности петли QRS, изучали этот показатель в разные сроки развития ИМ. Также приходится иметь в виду, что в те годы подходы к диагностике и лечению ИМ существенно отличались от современных. Более выраженные изменения планарности петли QRS у больных с ИМ передней локализации по сравнению с ИМ нижней локализации, возможно, могут быть объяснены более обширным поражением миокарда у этой категории больных.

Данных о связи планарности петли QRS с сократительной функцией левого желудочка у больных ИМ в доступной нам литературе обнаружить не удалось. Известно, что у пациентов с ИМ наличие фрагментаций QRS на ЭКГ при поступлении является предиктором смертности и ухудшения систолической функции левого желудочка [10, 11]. Фрагментация QRS – это качественный показатель, который, возможно, отражает те же процессы, что и уменьшение планарности петли QRS, однако не всегда совпадает с изменением количественных показателей, описывающих морфологию пространственной петли QRS [12].

Наше исследование имеет ряд ограничений. Мы изучали связь планарности петли QRS с ФВ ЛЖ, однако не оценивали прогностической значимости этого показателя у больных ИМ. Кроме того, в данной работе мы не сопоставляли планарность петли QRS с другими сходными по смыслу электрокардиографическими показателями, в частности, фрагментацией QRS. Фрагментация QRS – показатель хотя и качественный, но уже имеющий доказательную базу в отношении прогностического значения, в том числе, у больных ИМ.

В дальнейшем было бы целесообразным изучать морфологию пространственной петли QRS у больных острым ИМ на протяжении всего течения заболевания, а также в отдаленном периоде наблюдения. В частности, интересными представляются вопросы, на каком этапе развития острого коронарного синдрома начинает изменяться этот показатель, как на него влияет реперфузия миокарда, можно ли ожидать его изменений у больных с перенесенным ИМ под влиянием лекарственной терапии и немедикаментозных методов лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У больных в подостром периоде ИМ отмечается уменьшение индекса планарности петли QRS, которое коррелирует с объемом поражения миокарда, снижением ФВ ЛЖ, наличием острой и хронической сердечной недостаточности. Индекс планарности петли QRS был достоверно меньше при ИМ передней локализации по сравнению с ИМ нижней локализации. Индекс планарности петли QRS также уменьшался у больных ИМ при наличии блокады правой ножки пучка Гиса.

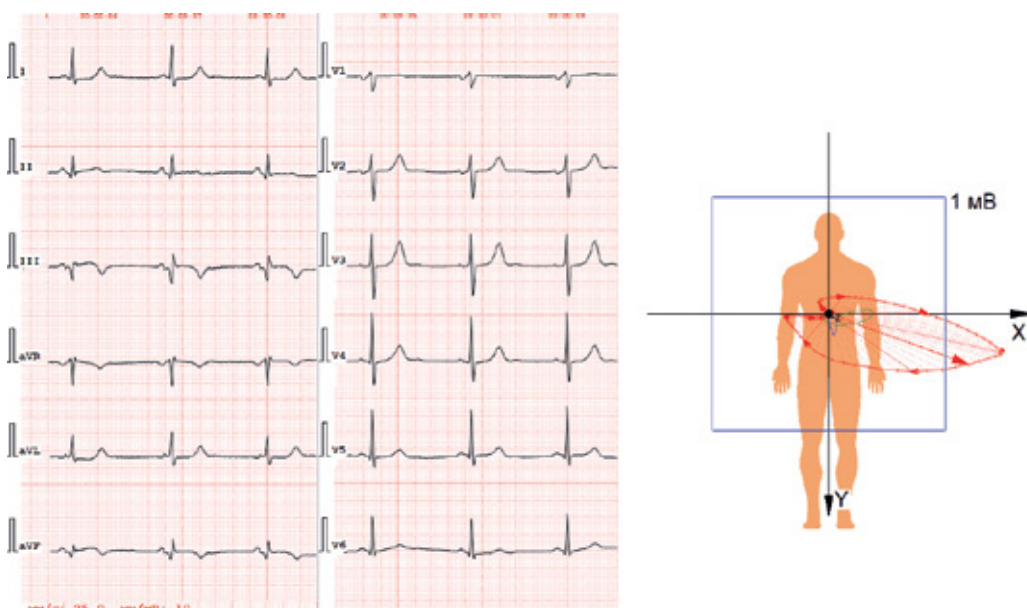


Рисунок 4. ЭКГ и векторкардиограмма больной 78 лет на 5-й день после развития острого ИМ нижней локализации. ИП 0,99
 Figure 4. ECG and vectorcardiogram of a 78-year-old patient on the 5th day after the development of acute inferior MI. PI 0,99

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Attia ZI, Kapa S, Yao X, Lopez-Jimenez F, Mohan TL, Pellikka PA, Carter RE, Shah ND, Friedman PA, Noseworthy PA. Prospective validation of a deep learning electrocardiogram algorithm for the detection of left ventricular systolic dysfunction. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2019;30(5):668-674. <https://doi.org/10.1111/jce.13889>
2. Jentzer JC, Kashou AH, Attia ZI, Lopez-Jimenez F, Kapa S, Friedman PA, Noseworthy PA. Left ventricular systolic dysfunction identification using artificial intelligence-augmented electrocardiogram in cardiac intensive care unit patients. *Int J Cardiol*. 2021;326:114-123. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2020.10.074>
3. Schlegel TT, Kulecz WB, Feiveson AH, Greco EC, DePalma JL, Starc V, Vrtovec B, Rahman MA, Bungo MW, Hayat MJ, Bauch T, Delgado R, Warren SG, Núñez-Medina T, Medina R, Jugo D, Arheden H, Pahlm O. Accuracy of advanced versus strictly conventional 12-lead ECG for detection and screening of coronary artery disease, left ventricular hypertrophy and left ventricular systolic dysfunction. *BMC Cardiovasc Disord*. 2010;10:28. <https://doi.org/10.1186/1471-2261-10-28>
4. Choudhuri S, Ghosal T, Goswami DP, Sengupta A. Planarity of the spatial QRS loop of vectorcardiogram is a crucial diagnostic and prognostic parameter in acute myocardial infarction. *Med Hypotheses*. 2019;130:109251. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2019.109251>
5. Tereshchenko LG, Waks JW, Kabir M, Ghafoori E, Shvilkin A, Josephson ME. Analysis of speed, curvature, planarity and frequency characteristics of heart vector movement to evaluate the electrophysiological substrate associated with ventricular tachycardia. *Comput Biol Med*. 2015;65:150-160. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2015.03.001>
6. Ray D, Hazra S, Goswami DP, Macfarlane PW, Sengupta A. An evaluation of planarity of the spatial QRS loop by three dimensional vectorcardiography: Its emergence and loss. *J Electrocardiol*. 2017;50(5):652-660. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2017.03.016>
7. Yamauchi K. Computer analysis of vectorcardiograms in myocardial infarction with special reference to polar vector and planarity of the QRS and T loops. *Jpn Heart J*. 1979;20(5):587-601. <https://doi.org/10.1536/ihj.20.587>
8. Arnaud P, Morlet D, Rubel P. Planarity of the spatial QRS loop. Comparative analysis in normals, infarcts, ventricular hypertrophies, and intraventricular conduction defects. *J Electrocardiol*. 1989;22(2):143-152. [https://doi.org/10.1016/0022-0736\(89\)90084-8](https://doi.org/10.1016/0022-0736(89)90084-8)
9. Horinaka S, Yamamoto H, Yagi S. Spatial orientation of the vectorcardiogram in patients with myocardial infarction. *Jpn Circ J*. 1993 Feb;57(2):109-16. <https://doi.org/10.1253/jcj.57.109>
10. Güngör B, Özcan KS, Karataş MB, Şahin İ, Öztürk R, Bolca O. Prognostic Value of QRS Fragmentation in Patients with Acute Myocardial Infarction: A Meta-Analysis. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2016;21(6):604-612. <https://doi.org/10.1111/anec.12357>
11. Luo G, Li Q, Duan J, Peng Y, Zhang Z. The Predictive Value of Fragmented QRS for Cardiovascular Events in Acute Myocardial Infarction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Physiol*. 2020;11:1027. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.01027>
12. Sedaghat G, Ghafoori E, Waks JW, Kabir MM, Shvilkin A, Josephson ME, Tereshchenko LG. Quantitative Assessment of Vectorcardiographic Loop Morphology. *J Electrocardiol*. 2016;49(2):154-163. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2015.12.014>