

УДК 616.12-008.331.1

DOI 10.21685/2072-3032-2019-1-3

*В. Э. Олейников, Ю. Г. Смирнов, В. А. Галимская,
С. Н. Куприянова, Л. И. Саямова, А. В. Голубева*

НОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДОЛЬНОЙ СОКРАТИМОСТИ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ МЕТОДОМ SPECKLE TRACKING

Аннотация.

Актуальность и цели. Разработаны и обоснованы новые показатели на базе продольной деформации, характеризующих сократительную функцию отдельных сегментов левого желудочка на протяжении сердечного цикла у больных с инфарктом миокарда с подъемом сегмента (ИМпСТ).

Материалы и методы. Новые параметры изучались в группе 86 пациентов ($52,6 \pm 8,9$ года) с ИМпСТ и 104 здоровых субъектах. Эхокардиографию выполняли на ультразвуковом сканере MyLab Esaote (Италия). С помощью программного обеспечения X-Strain (Esaote) вычислялись параметры скорости деформации и скорости деформации. Наряду с глобальными параметрами деформации исследовались новые показатели, учитывающие и пиковую, и постсистолическую сократимость каждого сегмента левого желудочка на протяжении всего сердечного цикла.

Результаты. Предложен постсистолический индекс временной задержки деформации и интегральный индекс сократимости. Интегральный показатель сократимости значительно отличался во всех сегментах в двух группах пациентов.

Выводы. Предложенная концепция с использованием совокупности показателей эффективности сократительной функции миокарда открывает перспективу изучения компенсаторных возможностей сердца с использованием оптимальной лечебно-диагностической тактики.

Ключевые слова: глобальная продольная деформация, сегментарная продольная деформация, острый инфаркт миокарда, спекл трекинг, эхокардиография.

*V. E. Oleynikov, Yu. G. Smirnov, V. A. Galimskaya,
S. N. Kupriyanova, L. I. Salyamova, A. V. Golubeva*

NEW CHARACTERISTICS OF LONG-TERM COVERABILITY DETERMINED BY THE SPECKLE TRACKING METHOD

Abstract.

Background. Development and justification of new indicators on the basis of longitudinal deformation, characterizing the contractile function of individual segments of the left ventricle during the cardiac cycle in patients with myocardial infarction with segment elevation (STEMI).

© Олейников В. Э., Смирнов Ю. Г., Галимская В. А., Куприянова С. Н., Саямова Л. И., Голубева А. В., 2019. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

Materials and methods. The new parameters were studied in a group of 86 patients (52.6 ± 8.9 years) with MISTST and 104 healthy subjects. Echocardiography was performed on an MyLab Esaote ultrasound scanner (Italy). Using the software X-Strain (Esaote), the parameters of speed, strain and strain rate were calculated. Along with the global parameters of deformity, new indicators were studied that take into account both peak and postsystolic contractility of each segment of the left ventricle throughout the entire cardiac cycle.

Results. A post-systolic index of deformation time delay and an integral index of contractility are proposed. The integral contractility index significantly differed in all segments in two groups of patients.

Conclusions. The proposed concept using a set of indicators of the effectiveness of the contractile function of the myocardium opens up the prospect of studying the compensatory capabilities of the heart using the optimal therapeutic and diagnostic tactics.

Keywords: global longitudinal strain, segmental longitudinal strain, acute myocardial infarction, speckle tracking, echocardiography.

Введение

Функция контрактильности имеет два аспекта, которые следует учитывать при ее оценке у больных сердечно-сосудистой патологией. Это сила сокращения миокарда желудочков, обеспечивающая достаточный градиент давления для открытия клапанов сердца и деформацию, которая определяет фактический сердечный выброс [1, 2].

Очевидны ограничения использования традиционных показателей в оценке контрактильной функции сердца, в частности таких, как фракция выброса (ФВ), которая является только глобальным индексом без учета сегментарных взаимодействий, которые вносят немаловажный вклад в насосную функцию сердца.

Современная методика двумерной эхокардиографии, основанная на регистрации спеклов (пятен), образующихся в результате интерференции ультразвука от структур меньших, чем сама длина волны, позволяет получать количественные значения деформации отдельных сегментов левого желудочка (ЛЖ) в продольном, циркулярном и радиальном направлениях, что отличает ее от тканевого доплера [3].

Продольная деформация определяется преимущественно волокнами внутреннего слоя миокарда, которые на протяжении сердечного цикла несколько раз изменяют свою длину и форму, радиальная деформация – в большей степени циркулярной мышцей.

Показатель пиковой глобальной продольной деформации (GLS), полученный с помощью двумерной спекл-эхокардиографии, в последнее время подробно изучается в многочисленных исследованиях. Он обладает достаточно высокой чувствительностью в диагностике ишемических поражений, что подтверждено рядом авторов [4]. Однако этот показатель не лишен недостатков, в частности, он не отражает локализацию очаговых поражений и не учитывает вклад отдельных сегментов в общую сократимость сердца на протяжении сердечного цикла. Показатели глобальной деформации могут быть неточными, если слишком много значений сегментарной деформации исключаются из анализа из-за некорректных измерений.

Существующие на данный момент глобальные показатели деформации миокарда, полученные с помощью спекл-эхокардиографии, не дают полной оценки конрактильной функции сердца, что заставляет авторов искать новые более оптимальные характеристики.

Целью настоящего исследования является разработка и обоснование новых показателей на базе продольной деформации, характеризующих сократительную функцию отдельных сегментов ЛЖ на протяжении сердечного цикла у больных с инфарктом миокарда с подъемом сегмента (ИМпST).

1. Материалы и методы

С помощью метода двумерной спекл «трекинг» эхокардиографии исследовали показатели продольной деформации миокарда у здоровых субъектов и больных ИМпST. Это относительно новая методика, обладающая рядом преимуществ перед тканевой доплерографией, в частности, меньшей угловой зависимостью, что позволяет определять деформационные характеристики вдоль трех пространственных осей. Необходимым условием для точного измерения является хорошая визуализация внутрисердечной границы. При плохой визуализации эхограммы пациентов исключали из исследования. Также не анализировали некорректные срезы, такие как промежуточные позиции между длинной и короткой осями из парастерального доступа, отсутствие верхушки или какой-либо стенки ЛЖ.

Эхокардиографию, синхронизированную с ЭКГ, выполняли в положении пациента лежа на левом боку ультразвуковым сканером MyLab Esaote (Италия), секторальным датчиком с частотой 2,5–3,5 МГц. Программное обеспечение X-Strain (Esaote) позволяло регистрировать покадрово смещение ядер (спеклов) в пределах плоскости изображения и получать информацию о локальном смещении, из которых вычислялись параметры скорости, деформации и скорости деформации. Смещение (Displacement) является параметром, определяющим расстояние, на которое спекл смещается между двумя последовательными кадрами и измеряется в сантиметрах. Скорость (Velocity) отражает смещение в единицу времени, т.е. как быстро изменяется положение определенной структуры и измеряется в сантиметрах в секунду (см/с). Деформация (strain) представляет собой безразмерную величину изменения длины объекта, выраженную в процентах по отношению к его начальной форме [5–7]. Скорость деформации (strain rate) – скорость, с которой происходит деформация в единицу времени (с-1) [5–7]. Выделяют также термины «сегментарная деформация», которая описывает локальную величину для конкретного сегмента, и «глобальная деформация», которая рассчитывается как среднее арифметическое значений деформаций в отдельных сегментах стенки ЛЖ.

На основании динамики цифровых значений деформации и скорости деформации программное обеспечение генерирует кривые стрейна для каждого сегмента в течение сердечного цикла (систола-диастола). Также значения деформации и скорости деформации для каждого сегмента представлены на схеме «бычий глаз» с использованием цветовой графики. На панели этих графиков получали значения стрейна в интересующие нас интервалы систолы и диастолы. Новые параметры изучались в группе 86 пациентов ($52,6 \pm 8,9$ года) с ИМпST и 104 здоровых субъектах. Инфаркт миокарда подтверждали ре-

зультатами ЭКГ, диагностически значимыми уровнями кардиоспецифических маркеров некроза миокарда (тропонин Т, КФК-МВ). Критериями включения были: возраст от 35 до 65 лет, отсутствие в анамнезе предшествующих инфарктов и другой сопутствующей патологии со стороны сердечно-сосудистой системы, наличие по данным коронарографии гемодинамически значимого стеноза ПНА или правой коронарной артерии (инфаркт-связанная артерия), подвергшейся реваскуляризации в первые часы от момента начала болевого приступа, при стенозе других артерий не более 50 %, ствола левой коронарной артерии – не более 30 %.

Также в исследование вошли 104 здоровых добровольцев, средний возраст которых составил 40 (26,5; 49) лет. Среди них 53 женщины и 51 мужчина, систолическое артериальное давление составило 124 (120; 126) мм рт.ст.; диастолическое артериальное давление – 80 (70; 80) мм рт.ст., индекс массы тела $26,4 \pm 4,4$ кг/м².

Критериями включения исследуемых лиц 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, соответствие офисного артериального давления нормальным значениям согласно европейским рекомендациям [3].

Рассчитывались средние значения исследуемых показателей, строились 95 % доверительные интервалы для средних и разности средних. При проверке статистической значимости отличий средних в контрольной и экспериментальной группах использовался критерий Стьюдента. Гипотеза о нормальности каждого распределения проверялась с применением критерия Колмогорова – Смирнова.

2. Результаты исследования

Известные три слоя миокарда сердца в отдельные моменты сердечного цикла находятся в различном функциональном состоянии, которое можно проследить по кривым деформации и скорости деформации, полученным с помощью спекл-эхокардиографии. Продольная деформация определяется удлинением и укорочением продольных волокон, преимущественно внутреннего слоя сердца, в результате чего изменяется геометрия сердца на протяжении сердечного цикла.

Для решения конкретных задач пиковая деформация может быть измерена как пиковая систолическая деформация, пиковая деформация в конце систолы (на момент закрытия аортального клапана) или пиковая деформация, независимая от времени (систола или начало диастолы) [9, 10]. Максимальное систолическое значение стрейна определяется относительно момента закрытия полулунных клапанов (AVC) (рис. 1).

Для графического представления сегментарной сократимости был предложен индивидуальный профиль для каждого конкретного пациента (рис. 2), который представляет собой ломаную кривую взаимосвязи пиковых значений продольной деформации в каждом отдельном сегменте миокарда ЛЖ.

Такой индивидуальный профиль, в отличие от «бычьего глаза», дает возможность визуально определять уровень нормы и отличия от нее и наблюдать динамику контрактильности на различных этапах реабилитации

больного, наглядно отслеживать наличие оглушенного миокарда в конкретных сегментах после реваскуляризации и их выхода из состояния оглушения. На графике указана нижняя граница 95 % доверительного интервала для пиковых значений деформации в каждом сегменте ЛЖ.

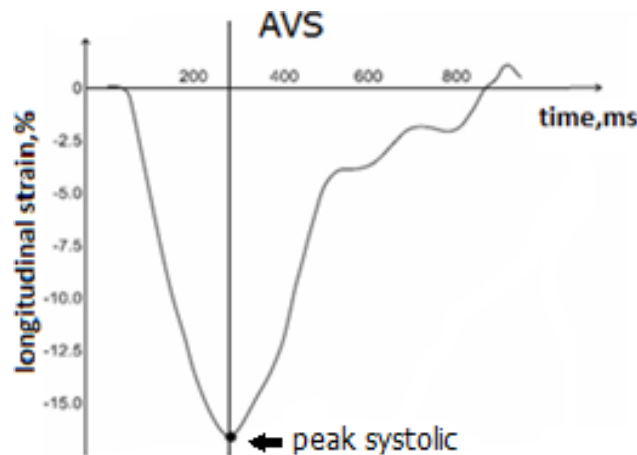


Рис. 1. График продольной деформации отдельного сегмента миокарда ЛЖ в период сердечного цикла. Peak systolik – пиковое систолическое значение продольной деформации, AVC – момент закрытия полулунных клапанов

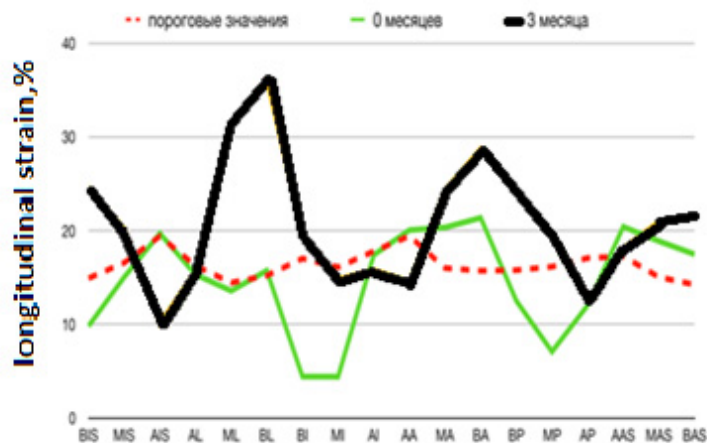


Рис. 2. Индивидуальный профиль контрактильности больного с острым инфарктом миокарда на 7-е сут после реваскуляризации и через 3 месяца. Пиковые показатели деформации представлены в абсолютных значениях. Пунктирная линия означает нижнюю границу 95 % доверительного интервала для пиковых значений деформации в каждом сегменте ЛЖ

По нашему мнению, для более глубокого понимания патофизиологии сокращения миокарда и разработки диагностических критериев при различных заболеваниях сердца недостаточно анализа только максимальных пиковых значений деформации. Необходим комплексный подход к анализу деформационных показателей, в том числе зависимости сократимости сегмента

от времени в течение сердечного цикла. Вероятно, систолическая дисфункция ЛЖ может быть обусловлена как снижением абсолютного значения пиковых показателей деформации, так и несинхронным сокращением отдельных сегментов. Вероятно, наличие сегментов с постсистолическим сокращением у пациентов с ишемией миокарда оказывает влияние на эффективность сердечного выброса.

Как видно из представленных графиков зависимости продольной деформации в течение сердечного цикла, максимальные пиковые значения деформации могут приходиться на период систолы (рис. 3), и тогда сокращение данного сегмента (peak systolic) вносит максимально возможный вклад в работу ЛЖ. Также максимум деформации может приходиться на постсистолический период, тогда потенциальная энергия сокращения такого сегмента (post systolic) лишь частично используется в сердечном выбросе.

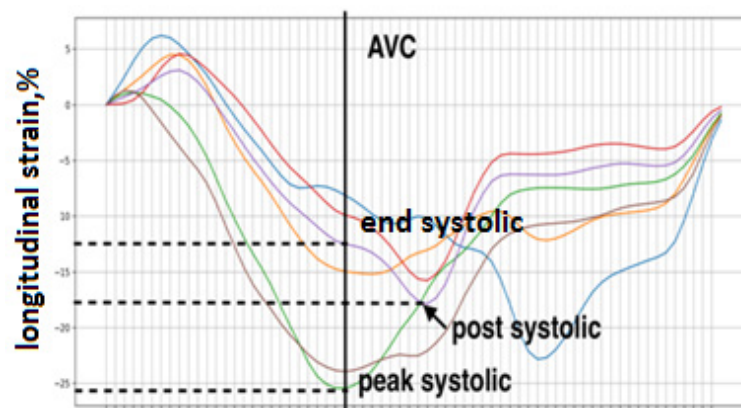


Рис. 3. График временной зависимости продольной деформации с указанием ее пиковых систолических и постсистолических значений в разных сегментах ЛЖ. Peak systolic – пиковое систолическое значение продольной деформации отдельного сегмента, post systolic – максимальная постсистолическая деформация, end systolic – значение продольного стрейна в момент AVC сегмента, в котором максимальное значение деформации приходится на постсистолический период

Мы предполагаем, что при оценке контрактильной функции миокарда ЛЖ необходимо учитывать как значения деформации отдельных сегментов, которые они достигают в момент AVC, так и количество сегментов с отсроченным сокращением.

В работах многих авторов продемонстрировано клиническое и прогностическое значение индекса постсистолической деформации Post-systolic Strain Index – PSI [8–11]. Многочисленные работы Lim et al. продемонстрировали высокое прогностическое значение PSI для оценки эффективности ресинхронизирующей терапии у пациентов с хронической сердечной недостаточностью [8]. Также он может рассматриваться значимым предиктором как для диагностики ишемизированных сегментов у пациентов с коронарной патологией, так и дисфункции ЛЖ при хронической сердечной недостаточности, обусловленной и неишемическими поражениями сердца [9].

Постсистолический индекс деформации для отдельного сегмента может быть рассчитан по формуле

$$PSI^i = \frac{\epsilon_{peak\ ps}^i - \epsilon_{ES}^i}{\epsilon_{peak\ ps}^i},$$

где $\epsilon_{peak\ ps}^i$ – пиковое постсистолическое значение деформации (peak post-systolic) в отдельном (i -м) сегменте, а ϵ_{ES}^i – значение сократимости в момент конца систолы (end systolic).

Глобальный постсистолический индекс деформации рассчитывается как среднее арифметическое сегментарных показателей:

$$PSI = \frac{1}{18} \sum_{i=1}^{18} PSI^i.$$

Однако в предложенном индексе не учитывается временная задержка максимального стрейна, т.е. промежуток времени до момента наступления максимальной пиковой деформации сегмента (рис. 4).

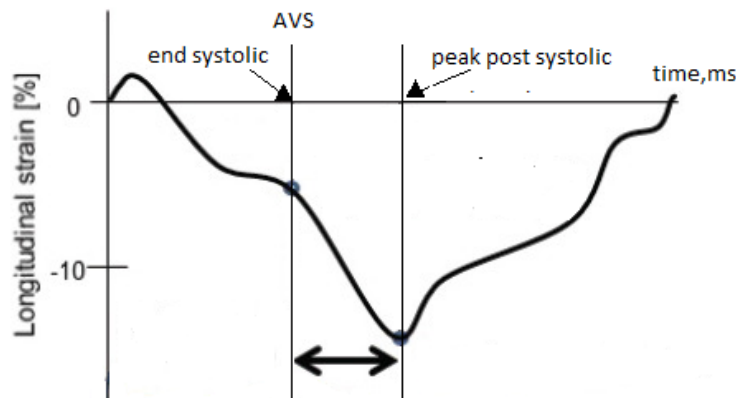


Рис. 4. График временной зависимости продольной деформации с указанием временной задержки ее максимального значения в отдельном сегменте ЛЖ

На наш взгляд, временная задержка деформации имеет большое значение при оценке диастолической функции ЛЖ, потому что постсистолическое сокращение происходит во время энергетически сложной и уязвимой фазы сердечного цикла. В результате высокой энергетической зависимости диастолической релаксации миокарда постсистолическое сокращение усугубляет нарушенные метаболические процессы в ишемизированном миокарде.

Постсистолический индекс временной задержки деформации для отдельного сегмента может быть рассчитан по формуле

$$PSI^i(T) = \frac{t_{peak}^i - t_{ES}^i}{T},$$

где t_{ES}^i – момент закрытия клапана аорты в i -м сегменте; t_{peak}^i – момент наблюдения пикового значения деформации, T – время сердечного цикла.

Глобальный постсистолический индекс временной задержки деформации определяется формулой

$$PSI(T) = \frac{1}{18} \sum_{i=1}^{18} PSI^i(T).$$

Насосная функция ЛЖ определяется изменением длины и формы миокардиальных волокон на протяжении всего сердечного цикла. Было бы неправильным учитывать только одномоментные пиковые значения сократимости сегментов, оставляя без внимания особенности деформации их в постсистолический период. Согласно классической теории механики сокращения сердца в течение сердечного цикла укорочение продольных волокон миокарда продолжается и в диастолу. У здоровых лиц имеются единичные сегменты, максимальная деформация которых приходится на постсистолический период. У пациентов с сердечно-сосудистой патологией таких сегментов значительно больше [1, 2]. Очень трудно оценить вклад потенциальной энергии каждого сегмента в насосную функцию сердца. Авторами был предложен принципиально новый показатель, отражающий сократимость каждого сегмента в отдельности и миокарда в целом за сердечный цикл.

Эффективное сокращение сегмента пропорционально площади фигуры, ограниченной осью времени и графиком сократимости $\epsilon_i(t)$, рассматриваемым на временном промежутке одного сердечного цикла (рис. 5). Эта площадь вычисляется как интеграл от абсолютной величины временной зависимости деформации в конкретном сегменте $\epsilon_i(t)$ в пределах сердечного цикла.

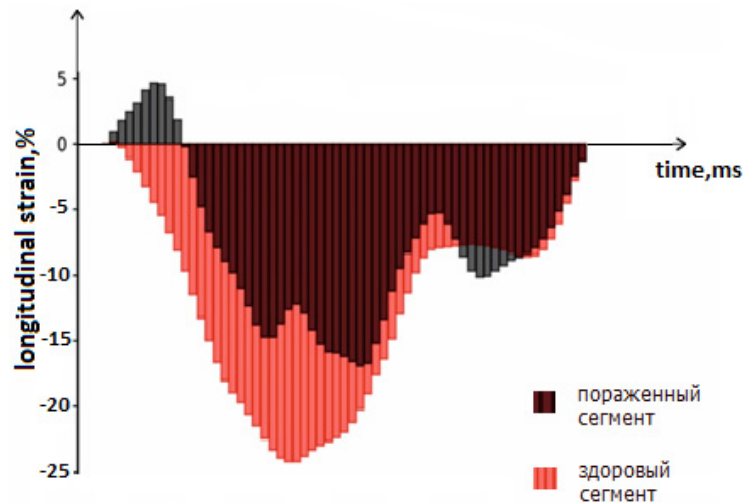


Рис. 5. Сравнение показателей «площади под графиком» временной зависимости продольной деформации в течение сердечного цикла здорового сегмента и одноименного пораженного у больного ИМПСТ

Очевидно, для отдельного сегмента площадь под графиком может быть вычислена с помощью интеграла от абсолютной величины деформации, функционально зависящей от времени; T — длительность сердечного цикла:

$$S_i = \int_0^T |\varepsilon_i(t)| dt.$$

Интегральный индекс сократимости сегмента (segmental integral index)

$$I_{INT}^i = \frac{\int_0^T |\varepsilon_i(t)| dt}{\int_0^T |\varepsilon_i^{norm}(t)| dt}.$$

Интегральный индекс определяет эффективность сократимости данного сегмента от нормы, которая принимается за единицу. Норма интегрального показателя для каждого сегмента определяется по выборке здоровых добровольцев, включенных в исследование.

Глобальный интегральный индекс сократимости (global integral index) определяется как среднее арифметическое сегментарных индексов:

$$I_{INT} = \frac{1}{18} \sum_{i=1}^{18} I_{INT}^i.$$

Данный индекс характеризует эффективность контрактильной функции миокарда ЛЖ с глобальных позиций производительности ЛЖ.

В табл. 1 представлены средние значения и 95 % доверительный интервал для интеграла, рассчитанного в каждом из 18 сегментов в популяции здоровых лиц и больных с острым инфарктом миокарда. В контрольной группе ($n_1 = 104$) для каждого сегмента вычислялось среднее значение площади по формуле

$$S_i^{\text{сред контр}} = \frac{\int_0^T |\varepsilon_i^{norm}(t)| dt}{n_1}.$$

Аналогично, в группе больных STEMI ($n_2 = 86$) для каждого сегмента было получено среднее значение площади по формуле

$$S_i^{\text{сред больн}} = \frac{\int_0^T |\varepsilon_i(t)| dt}{n_2}.$$

Интегральный индекс сократимости определялся как отношение

$$I_{INT}^i = \frac{S_i^{\text{сред больн}}}{S_i^{\text{сред контр}}}.$$

Как видно из табл. 1, интегральный показатель значимо отличался во всех сегментах в двух группах пациентов. При наличии соответствующего программного обеспечения интегральный показатель сократимости может быть использован для составления индивидуальной карты пациента для визуализации эффективности работы каждого сегмента на протяжении всего сердечного цикла.

Таблица 1
Значения интегрального показателя сократимости в группе здоровых лиц и пациентов с ИМПСТ

Сегменты	Контрольная группа ($n_1 = 104$)	Больные ИМПСТ ($n_2 = 86$)	Различие, Δ	Значимость, p	Интегральный индекс сократимости
BAS INFSEP	8590 (7301; 9878)	4792 (4073; 5511)	3798 (3228; 4368)	0,001	0,55 (0,47; 0,63)
MID INFSEP	8708 (7402; 10014)	5414 (4602; 6226)	3294 (2800; 3788)	0,001	0,62 (0,53; 0,71)
APIC INFSEP	8714 (7407; 10021)	5684 (4831; 6537)	3030 (2576; 3485)	0,001	0,65 (0,55; 0,75)
BAS LAT	7990 (6792; 9189)	5505 (4679; 6331)	2485 (2112; 2858)	0,001	0,68 (0,58; 0,78)
MID LAT	8185 (6957; 9413)	5149 (4377; 5921)	3036 (2581; 3491)	0,001	0,62 (0,53; 0,71)
APIC LAT	8152 (6929; 9375)	4827 (4103; 5551)	3325 (2826; 3824)	0,001	0,59 (0,50; 0,68)
BAS INF	7418 (6305; 8531)	6685 (5682; 7688)	733 (623; 843)	0,120	0,41 (0,35; 0,47)
MID INF	8802 (7482; 10122)	6291 (5347; 7235)	2511 (2134; 2888)	0,001	0,71 (0,60; 0,82)
APIC INF	8760 (7446; 10074)	6218 (5285; 7151)	2542 (2161; 2923)	0,001	0,70 (0,59; 0,81)
BAS ANT	9873 (8392; 11354)	6802 (5782; 7822)	3071 (2610; 3532)	0,001	0,68 (0,58; 0,78)
MID ANT	8926 (7587; 10265)	6360 (5406; 7314)	2566 (2181; 2951)	0,001	0,71 (0,60; 0,82)
APIC ANT	7189 (6111; 8267)	5784 (4916; 6652)	1405 (1194; 1616)	0,001	0,80 (0,68; 0,92)
BAS POST	7806 (6635; 8977)	5613 (4771; 6455)	2193 (1864; 2522)	0,001	0,71 (0,60; 0,72)
MID POST	7060 (6001; 8119)	4922 (4183; 5660)	2138 (1817; 2459)	0,001	0,69 (0,59; 0,79)
APIC POST	6843 (5817; 7869)	4902 (4167; 5637)	1941 (1650; 2232)	0,001	0,71 (0,60; 0,82)
BAS ANTSEP	8732 (7422; 10042)	5608 (4767; 6449)	3124 (2655; 3593)	0,001	0,64 (0,54; 0,74)
MID ANTSEP	9807 (8336; 11278)	5849 (4971; 6726)	3958 (3364; 4552)	0,001	0,59 (0,50; 0,68)
APIC ANTSEP	9741 (8280; 11202)	6019 (5116; 6922)	3722 (3164; 4280)	0,001	0,61 (0,52; 0,70)
Глобальный показатель	8350 (7098; 9603)	5691 (4837; 6545)	2659 (2260; 3058)	0,001	0,68 (0,58; 0,78)

Примечание: 18 сегментов ЛЖ, имеющих определенные названия по уровням: BAS – базальные, MID – средние, APIC – верхушечные, по стенкам: INFSEP – нижне-перегородочные, LAT – боковые, INF – нижние, ANT – передние, POST – задние, ANTSEP – передне-сетчатые, значения представлены в виде среднего и 95 % доверительного интервала.

Заключение

Безопасность, финансовая доступность, мобильность делают применение методики спекл-трекинг очень актуальной для оценки сократимости у больных сердечно-сосудистой патологией. Однако известные характеристики, в частности показатели глобальной продольной деформации, полученные с помощью 2D-спекл-эхокардиографии, в настоящий момент времени не рекомендованы для широкого клинического применения.

В данной работе предложен анализ сократимости миокарда ЛЖ с учетом вклада в нее отдельных сегментов. Глобальные индексы сократимости, разработанные в данной работе, были получены на основании анализа значений продольной деформации отдельных сегментов.

Предложенные характеристики, с одной стороны, описывают сократимость каждого сегмента в отдельности, с другой – позволяют судить о контрактильной функции всего миокарда ЛЖ. Новые показатели, характеризующие контрактильную функцию миокарда, требуют дальнейшего изучения и клинического тестирования у больных сердечно-сосудистой патологией.

Индивидуальный профиль контрактильности, разработанный авторами данной статьи, открывает новую перспективу динамического наблюдения сегментарной контрактильности у больных инфарктом миокарда на различных этапах их реабилитации.

Библиографический список

1. Normal values of regional and global myocardial wall motion in young and elderly individuals using navigator gated tissue phase mapping Holloway / I. Codreanu, T. Pegg, J. Selvanayagam, M. Robson, O. Rider et al. // American Aging Association. – 2013. – Vol. 36 (1). – P. 231–241.
2. Tracking Imaging, Principles and Clinical Applications: A Review for Clinical Cardiologist / I. Fabiani, N. R. Pugliese., V. Santini, L. Conte, V. Bello // Echocardiography in Heart Failure and Cardiac Electrophysiology. – IntechOpen, 2016. – С. 1–104.
3. Current and Evolving Echocardiographic Techniques for the Quantitative Evaluation of Cardiac Mechanics: ASE/EAE Consensus Statement on Methodology and Indications Endorsed by the Japanese Society of Echocardiography / V. Mor-Avi, R. Lang, L. P. Badano, M. Belohlavek et al. // European Journal of Echocardiography. – 2011. – Vol. 12 (3). – P. 167–205.
4. **Perk, G.** Non-Doppler two-dimensional strain imaging by echocardiography-from technical considerations to clinical applications / G. Perk, P. A. Tunick, I. Kronzon // J Am Soc Echocardiogr. – 2007. – Vol. 20. – P. 234–243.
5. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging / J. U. Voigt, G. Pedrizzetti, P. Lysyansky, T. H. Marwick et al. // European Heart Journal – Cardiovascular Imaging. – 2015. – Vol. 16. – P. 1–11.
6. Speckle tracking echocardiography: a new technique for assessing myocardial function / S. Mondillo, M. Galderisi, D. Mele, M. Gameli, V. S. Lomoriello, V. Zaca et al. // J Ultrasound Med. – 2011. – Vol. 30. – P. 71–83.
7. Assessment of Myocardial Mechanics Using Speckle Tracking Echocardiography: Fundamentals and Clinical applications / H. Geyer, G. Caracciolo, H. Abe et al. // Journal of the American Society of Echocardiography. – 2010. – Vol. 23. – P. 351–369.
8. Longitudinal Strain Delay Index by Speckle Tracking Imaging A New Marker of Response to Cardiac Resynchronization Therapy / P. Lim, A. Buakhamsri, Z. B. Popovic et al. // Circulation. – 2008. – Vol. 118. – P. 1130–1137.

9. Postsystolic strain index is associated with delayed diastolic lengthening and diastolic dysfunction of the left ventricle in untreated hypertension / W. C. Tsai, Y. W. Liu, J. Y., Chen Y. Y. Huang, J. Y. Shih et al. // *J Hypertens.* – 2012. – Vol. 30 (4). – P. 787–793.
10. Abstract 10163: Post-systolic Strain Index Derived From the Left Ventricular Strain Curves Predicts Congestive Heart Failure in Very Elderly Patients: A 2D Speckle Tracking Echocardiographic Study / H. Kato, S. Kubota, T. Kumamoto, T. Haba, M. Yamamotom // *Circulation.* – 2018. – Vol. 128. – A10163.
11. A Prospective Multicenter Study Evaluating Bleeding Risk after Endoscopic Ultrasound-Guided Fine Needle Aspiration in Patients Prescribed Antithrombotic Agents / K. Kawakubo, K. Yane, K. Eto, H. Ishiwatari, Ehira N., S. Haba, R. Matsumoto et al. // *Gut Liver.* – 2018. – Vol. 12 (3). – P. 353–359.

References

1. Codreanu I., Pegg T., Selvanayagam J., Robson M., Rider O. et al. *American Aging Association.* 2013, vol. 36 (1), pp. 231–241.
2. Fabiani I., Pugliese N. R., Santini V., Conte L., Bello V. *Echocardiography in Heart Failure and Cardiac Electrophysiology.* IntechOpen, 2016, pp. 1–104.
3. Mor-Avi V., Lang R., Badano L. P., Belohlavek M. et al. *European Journal of Echocardiography.* 2011, vol. 12 (3), pp. 167–205.
4. Perk G., Tunick P. A., Kronzon I. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007, vol. 20, pp. 234–243.
5. Voigt J. U., Pedrizzetti G., Lysyansky P., Marwick T. H. et al. *European Heart Journal – Cardiovascular Imaging.* 2015, vol. 16, pp. 1–11.
6. Mondillo S., Galderisi M., Mele D., Gameli M., Lomoriello V. S., Zaca V. et al. *J Ultrasound Med.* 2011, vol. 30, pp. 71–83.
7. Geyer H., Caracciolo G., Abe H. et al. *Journal of the American Society of Echocardiography.* 2010, vol. 23, pp. 351–369.
8. Lim P., Buakhamsri A., Popovic Z. B. et al. *Circulation.* 2008, vol. 118, pp. 1130–1137.
9. Tsai W. C., Liu Y. W., Chen J. Y., Huang Y. Y., Shih J. Y. et al. *J Hypertens.* 2012, vol. 30 (4), pp. 787–793.
10. Kato H., Kubota S., Kumamoto T., Haba T., Yamamotom M. *Circulation.* 2018, vol. 128, A10163.
11. Kawakubo K., Yane K., Eto K., Ishiwatari H., Ehira N., Haba S., Matsumoto R. et al. *Gut Liver.* 2018, vol. 12 (3), pp. 353–359.

Олейников Валентин Эливич

доктор медицинских наук, профессор,
заведующий кафедрой терапии,
Медицинский институт, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: v.oleynikof@gmail.com

Oleynikov Valentin Elivich

Doctor of medical sciences, professor,
head of the sub-department of therapeutics,
Medical Institute, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Смирнов Юрий Геннадьевич

доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой
математики и суперкомпьютерного
моделирования, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: smirnovyug@mail.ru

Smirnov Yuriy Gennad'evich

Doctor of physical and mathematical
sciences, professor, head of the sub-
department of mathematics
and supercomputer modeling,
Penza State University (40 Krasnaya
street, Penza, Russia)

Галимская Вера Александровна

кандидат медицинских наук, доцент,
кафедра терапии, Медицинский
институт, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: Vera-budanova@mail.ru

Galimskaya Vera Aleksandrovna

Candidate of medical sciences, associate
professor, sub-department of therapeutics,
Medical Institute, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Куприянова Светлана Николаевна

кандидат физико-математических наук,
доцент, кафедра математики
и суперкомпьютерного моделирования,
Медицинский институт, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: snkupr@yandex.ru

Kupriyanova Svetlana Nikolaevna

Candidate of physical and mathematical
sciences, associate professor,
sub-department of mathematics
and supercomputer modeling, Medical
Institute, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Салямова Людмила Ивановна

кандидат медицинских наук, доцент,
кафедра терапии, Медицинский
институт, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: l.salyamova@yandex.ru

Salyamova Lyudmila Ivanovna

Candidate of medical sciences, associate
professor, sub-department of therapeutics,
Medical Institute, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Голубева Алена Владимировна

ассистент, кафедра терапии,
Медицинский институт, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: Fialmy@mail.ru

Golubeva Alena Vladimirovna

Assistant, sub-department of therapeutics,
Medical Institute, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Образец цитирования:

Новые характеристики продольной сократимости, определенные методом Speckle Tracking / В. Э. Олейников, Ю. Г. Смирнов, В. А. Галимская, С. Н. Куприянова, Л. И. Салямова, А. В. Голубева // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2019. – № 1 (49). – С. 27–39. – DOI 10.21685/2072-3032-2019-1-3.