

ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДИКИ VVI В ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТОЛИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА И ВСЕХ ЕГО СЕГМЕНТОВ

УДК 616.124.2-07
Поступила 23.06.2013 г.



Е.Б. Петрова, к.м.н., доцент кафедры лучевой диагностики ФПКВ

Нижегородская государственная медицинская академия, Н. Новгород, пл. Минина и Пожарского, 10/1

Цель исследования — оценить практические возможности методики Velocity Vector Imaging (VVI) при изучении показателей систолической функции левого желудочка (ЛЖ) и всех его сегментов у здоровых добровольцев для разработки нормативов.

Материалы и методы. В исследовании участвовали 26 здоровых добровольцев без сердечно-сосудистой патологии, средний возраст которых составил $21,7 \pm 3,0$ года. Анализ систолической функции ЛЖ с помощью VVI проводился из апикальных 4-, 5- и 2-камерных позиций и из парастеральной позиции по короткой оси на уровне митрального клапана (базальные сегменты ЛЖ), папиллярных мышц (средние сегменты ЛЖ), верхушки (апикальные сегменты ЛЖ). Анализировали следующие показатели: скорость движения миокарда, стрейн (деформацию), стрейн рейт (скорость деформации), фракцию выброса и объемы ЛЖ.

Результаты. Сравнение показателей систолической функции ЛЖ при стандартном эхокардиографическом исследовании и с помощью методики VVI показало, что значимость VVI в оценке данных показателей достаточно велика и позволяет получить объективные данные по большему числу параметров. С помощью VVI возможна регистрация даже минимальных нарушений функции ЛЖ, а анализ продольных, радиальных и циркулярных волокон позволяет оценить трансмуральное повреждение и выявить механизм дисфункции ЛЖ. Показатели продольной, циркулярной и радиальной деформации составили в среднем $-19,9 \pm 2,6$, $-21,6 \pm 5,5$ и $32,3 \pm 7,6\%$ соответственно. Скорость деформации продольных, циркулярных и радиальных волокон соответствовала $-1,17 \pm 0,26$, $-1,32 \pm 0,44$ и $1,58 \pm 0,32 \text{ с}^{-1}$. Полученные с помощью VVI значения показателей систолической функции ЛЖ могут служить нормой при оценке работы ЛЖ и всех его сегментов.

Ключевые слова: систолическая функция левого желудочка; стрейн; деформация миокарда; стрейн рейт; скорость деформации миокарда; Velocity Vector Imaging; VVI.

English

VVI Technique Possibilities in the Assessment of the Indices of Left Ventricular Systolic Function and All Its Segments

E.B. Petrova, PhD, Associate Professor, the Radiodiagnosis Department, the Faculty of Doctors' Advanced Training

Nizhny Novgorod State Medical Academy, Minin and Pozharsky Square, 10/1, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603000

The aim of the investigation was to estimate Velocity Vector Imaging (VVI) feasibility in the study of left ventricular (LV) and all its segments of systolic function in healthy volunteers when developing standards.

Materials and Methods. 26 healthy volunteers without cardiovascular pathology were recruited and participated in the survey, their mean age being 21.7 ± 3.0 years. LV systolic function using VVI was studied in apical 4-, 5- and 2-chamber views and in parasternal view along a short axis at the level of the mitral valve (LV basal segments), papillary muscles (LV middle segments), and the apex (LV apical segments). We analyzed the following indices: myocardial movement rate, strain (deformation), strain rate (rate of deformation), LV ejection fraction and volume.

Results. The comparison of LV systolic function indices using standard echocardiography and VVI technique showed VVI value in the assessment of the parameters to be rather high and able to acquire objective data on a large number of parameters. VVI enables to record even minimal LV dysfunctions, and the analysis of longitudinal, radial and circular fibers enables to assess transmural damage and reveal LV dysfunction mechanism. The indices of longitudinal, circular and radial deformation averaged -19.9 ± 2.6 , -21.6 ± 5.5 and $32.3 \pm 7.6\%$, respectively. Strain rate of longitudinal, circular and radial fibers were -1.17 ± 0.26 , -1.32 ± 0.44 and $1.58 \pm 0.32 \text{ s}^{-1}$, respectively. LV systolic function indices obtained using VVI can serve as a norm in the assessment of the functioning of LV and all its segments.

Key words: left ventricular systolic function; strain; myocardial deformation; strain rate; myocardial deformation rate; Velocity Vector Imaging; VVI.

Для контактов: Петрова Екатерина Борисовна, e-mail: eshakhova@yandex.ru

Оценка сократительной функции миокарда эхокардиографически основывается на визуальной оценке движения стенок сердца. Систолическая функция левого желудочка (ЛЖ), как правило, определяется по фракции выброса (ФВ), вычисляемой по объемным показателям полости ЛЖ в систолу и диастолу с применением модифицированного метода Симпсона или других методик. Оценка сегментарной сократимости сопряжена со значительно большими сложностями. Движение стенок и их утолщение визуально можно оценить с помощью двухмерной эхокардиографии. Однако данный подход имеет ряд ограничений, связанных с опытом исследователя и, в некоторых случаях, с качеством ультразвуковой аппаратуры. Кроме того, визуальная методика не позволяет выявить незначительные нарушения сократительной функции миокарда [1]. Распознать особенности сократимости миокарда, выявить скрытые зоны ее нарушения позволяет тканевое доплеровское исследование.

Впервые доплеровская технология для анализа движения миокарда была предложена в 60-х годах XX в. [2]. J.B. Kostis с соавт. [3] и E.N. Sonnenblick с соавт. [4] развили идею о применении импульсно-волновой доплерографии в исследовании локальной сократимости, а I. Mirsky и W.W. Parmley [5] сформулировали принципы использования миокардиального стрейна (деформации) для определения «жесткости» миокарда. Была разработана принципиально новая концепция количественного анализа нормального и патологического движения миокарда [6], а в середине 90-х годов XX в. созданы ультразвуковые и доплеровские технологии, позволившие реализовать количественный способ анализа движения миокарда [2]. Цветовое доплеровское картирование (ЦДК) легло в основу будущей технологии тканевого доплеровского изображения в эхокардиографии [7–9]. Почти одновременно с этим был описан принцип определения миокардиального скоростного градиента для оценки движения миокарда [10]. Для изучения особенности движения миокарда в покое и при проведении нагрузочных проб были подробно описаны тканевые технологии в виде методик изучения деформации миокарда [7, 11].

В современной эхокардиографии используют в основном следующие режимы тканевой доплерографии.

1. Импульсно-волновой спектральный режим — позволяет регистрировать максимальную скорость движения участков миокарда, попадающих в контрольный объем на протяжении всего сердечного цикла.

2. Цветовой режим — отражает среднюю скорость движения. Более яркие оттенки соответствуют более высоким скоростям движения. Преимущество метода — возможность одновременного измерения скорости движения различных сегментов миокарда.

3. Оценка стрейна (деформации) и стрейн рейта (скорости деформации). Данные параметры характеризуют способность пораженного сегмента к самостоятельному сокращению и позволяют получить информацию о систолической и диастолической функции пораженных сегментов.

4. Тканевой трекинг (tissue tracking) — позволяет

быстро диагностировать задержку сокращения какого-либо из анализируемых сегментов миокарда.

5. Тканевое синхронизированное изображение (tissue synchronization imager) — цветное кодированное окрашивание миокарда исходя из времени задержки пика сокращения миокардиальных сегментов по отношению к комплексу QRS.

Тканевая доплер-эхоКГ характеризуется высокой чувствительностью в выявлении движения миокарда с малыми скоростями. Ее применение способствует ранней диагностике минимальных функциональных изменений, которые не удается выявить с помощью показателей, традиционно используемых в эхокардиографии. При помощи тканевой доплер-эхоКГ можно успешно исследовать регионарную функцию ЛЖ, анализировать систолическую и диастолическую функции правого желудочка, проводить дифференциальную диагностику констриктивного перикардита и рестриктивной кардиомиопатии, рассчитывать давление в полостях сердца и легочной артерии, определять показания к сердечной ресинхронизирующей терапии [1, 12].

Однако результаты измерений при тканевой доплерографии ограничены зависимостью от угла сканирования. Источником погрешностей измерений также является сложное параллельное и ротационное движение, которое совершает сердце в грудной клетке в течение всего кардиоцикла.

Появление метода, основанного на определении скорости движения миокарда при помощи отслеживания перемещения так называемых пятнистых структур на стандартном эхокардиографическом изображении в В-режиме, позволило получать информацию о скорости движения миокарда, деформации и скорости деформации окружающих участков миокарда. Данный метод — STE (speckle tracking echocardiography) — значительно проще, чем использование тканевой доплерографии, так как при этом отсутствуют ограничения, связанные с параллельностью движения объекта и ультразвукового луча.

Одним из новых методов оценки деформации миокарда по данным двухмерной эхоКГ является VVI (Velocity Vector Imaging).

Технология визуализации вектора скорости движения миокарда позволяет получить информацию о направлении и величине вектора скорости движения миокарда на протяжении всего сердечного цикла. Эта технология дает возможность оценить деформацию, скорость деформации, показатели систолической и диастолической функции желудочков сердца по длинной и короткой оси без учета угловых ограничений, а также провести анализ диссинхронии миокарда.

Исследование начинается с обведения на мониторе контура эндокарда (рис. 1). Для выполнения обводки желательнее иметь изображения высокого качества, но методика VVI позволяет проводить анализ и у технически сложных пациентов [1]. Единственным условием является наличие в поле зрения всего желудочка или зоны интереса на протяжении всего сердечного цикла.

Параллельно с эхоКГ-исследованием необходима запись ЭКГ. Если изображение было записано без

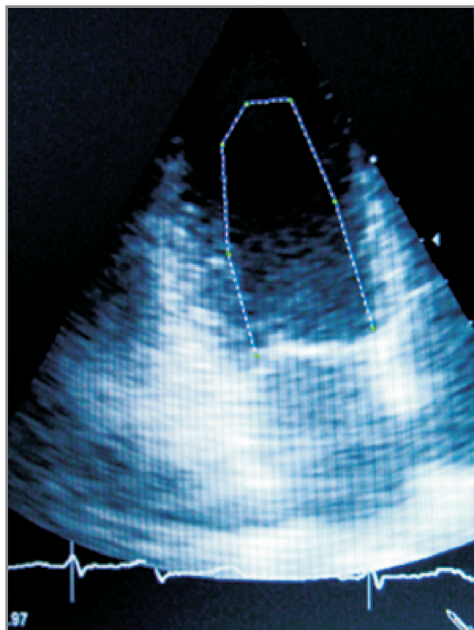


Рис. 1. Апикальная 4-камерная позиция. Обводка эндокарда левого желудочка

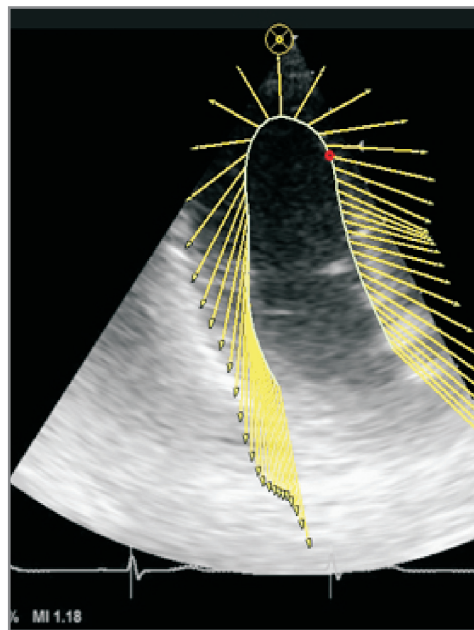


Рис. 2. Апикальная 4-камерная позиция. Векторный анализ движения стенок левого желудочка

сопровождения ЭКГ, пользователь может вручную задать частоту сердечных сокращений или ввести количество сердечных циклов. После обведения контуров эндокарда появляются векторы желтого цвета, наложенные на двухмерное изображение. Векторы дают возможность визуально оценить направление и скорость движения тканей. Более длинные векторы соответствуют более высоким скоростям (рис. 2).

Программа VVI позволяет получить график «время/скорость» с информацией о скорости относительно выбранной исследователем точки (рис. 3).

Вдоль контура рассчитываются показатели деформации и скорости деформации, значения которых также отображаются на соответствующих графиках. С помощью VVI можно получить анализ функции ЛЖ по длинной и короткой осям (рис. 4).

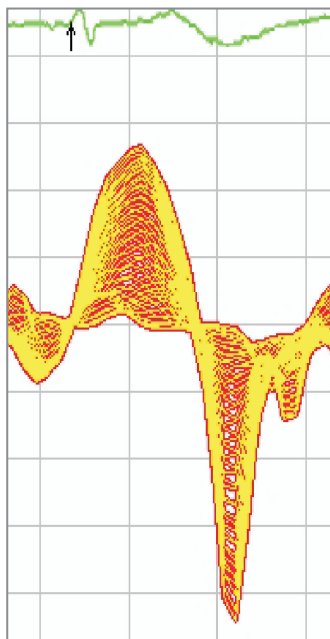


Рис. 3. Суммарный график движения сегментов в апикальной 4-камерной позиции (время — горизонтальная ось, скорость — вертикальная)

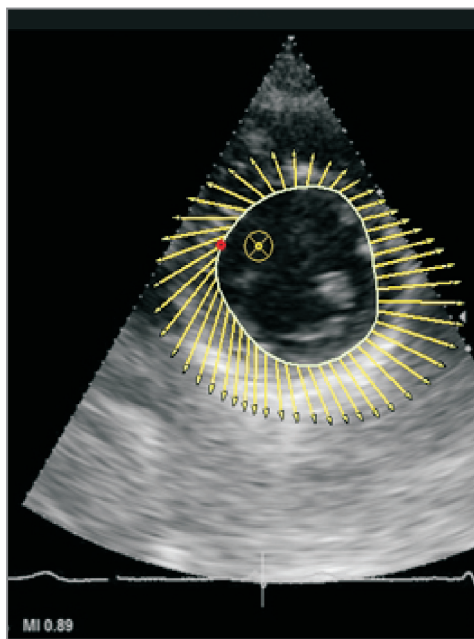


Рис. 4. Анализ функции левого желудочка по короткой оси. Поперечное сечение левого желудочка на уровне папиллярных мышц

В отечественной литературе встречаются лишь единичные исследования, посвященные системе VVI и возможностям ее применения [3]. Больше количество таких исследований содержится в зарубежных источниках [13, 14]. Разработанные зарубежными авторами нормативы, безусловно, дают четкое представление о работе VVI. Подробно проанализированы апикальные 4-, 5- и 2-камерные позиции ЛЖ, рассчитано поперечное сечение ЛЖ на уровне митрального клапана, папиллярных мышц и на уровне верхушки ЛЖ, определены нормативы для базальных, средних и апикальных отделов ЛЖ. Опираясь на рекомендации Sh. Carasso [13], мы использовали те же позиции для изучения систолической функции ЛЖ, однако показатели скорости, деформации и скорости деформации рассчитывали для каждого сегмента ЛЖ. Аналогичных работ в доступной литературе мы не обнаружили. Разработка нормативов показателей систолической функции

каждого сегмента ЛЖ позволит более достоверно оценивать выраженность систолических нарушений у пациентов с ишемической болезнью сердца, а также более детально составлять прогноз относительно поражения коронарного русла.

Цель исследования — оценить практические возможности методики Velocity Vector Imaging при изучении показателей систолической функции левого желудочка и всех его сегментов у здоровых добровольцев для разработки нормативов.

Материалы и методы. В исследовании включено 26 человек без сердечно-сосудистой патологии. Средний возраст обследуемых — 21,7±3,0 года.

Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией (принятой в июне 1964 г. (Хельсинки, Финляндия) и пересмотренной в октябре 2000 г. (Эдинбург, Шотландия)) и одобрено Этическим комитетом НижГМА. От каждого пациента получено информированное согласие.

Эхокардиографическое исследование выполняли на ультразвуковой диагностической системе Siemens Acuson X300 (Германия) секторным датчиком с частотой 1–5 МГц в В-, М-, D-режимах и режиме ЦДК. Были использованы следующие позиции: парастернальная — по длинной оси ЛЖ; парастернальная — по короткой оси ЛЖ на уровне створок митрального клапана и аортального клапана, папиллярных мышц, верхушки; апикальная — в позиции 2-, 4-, 5-камерного изображения.

При анализе эхоКГ в покое оценивали конечно-диастолический объем ЛЖ (КДО), конечно-систолический объем ЛЖ (КСО), фракцию выброса ЛЖ (ФВ) и ударный объем (УО). Объемы полости ЛЖ рассчитывали по модифицированному уравнению Симпсона (1989).

Сократительную функцию ЛЖ определяли согласно рекомендациям Американской ассоциации эхокардиографистов (ASE) в 16 сегментах.

Анализ показателей ЛЖ с помощью методики VVI проводили из апикальной 2-, 4-, 5-камерной позиции и из парастернальной позиции по короткой оси на уровне митрального клапана, папиллярных мышц и на уровне верхушки [13, 14] (рис. 5). Анализировали следующие показатели: скорость движения миокарда, стрейн (деформацию), стрейн реит (скорость деформации), ФВ и объемы ЛЖ.

Результаты и обсуждение. Традиционно оценка показателей систолической функции ЛЖ при проведении стандартного эхоКГ-исследования в В-режиме

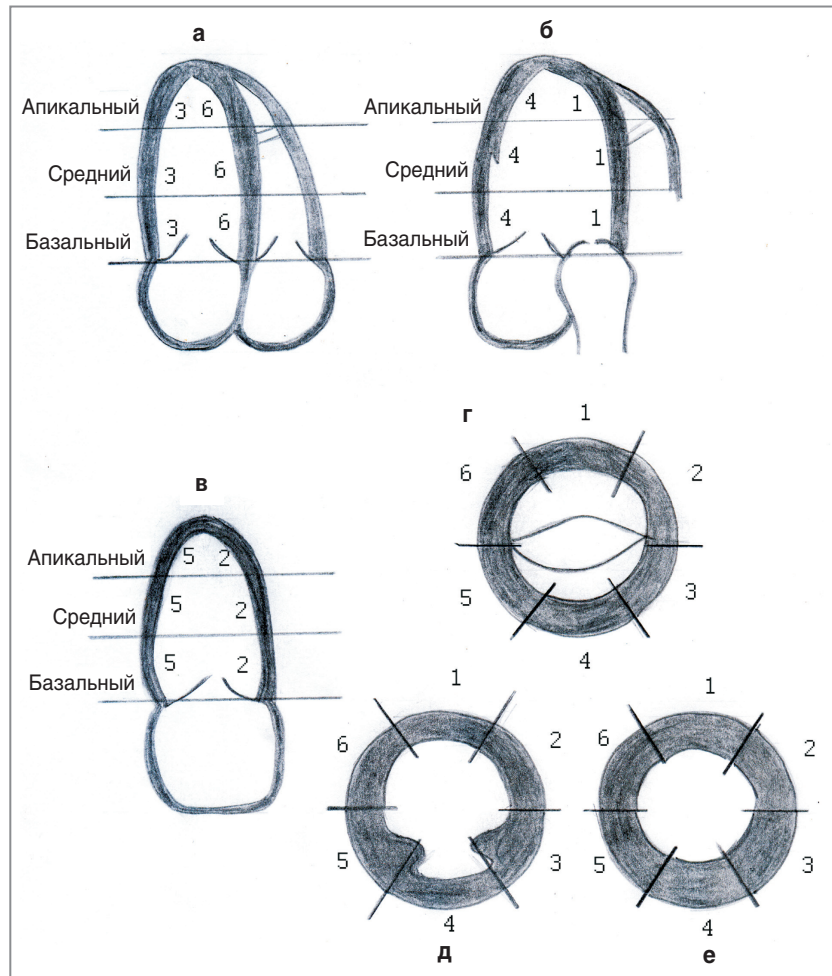


Рис. 5. Сегментарное строение левого желудочка (рекомендации ASE; Garasso Sh. et al., 2012): а — апикальная 4-камерная позиция; б — апикальная 5-камерная позиция; в — апикальная 2-камерная позиция; г — поперечное сечение ЛЖ на уровне митрального клапана (базальные сегменты); д — поперечное сечение ЛЖ на уровне папиллярных мышц (средние сегменты); е — поперечное сечение ЛЖ на уровне верхушки (апикальные сегменты); 1 — переднеперегородочный сегмент; 2 — передний сегмент; 3 — переднебоковой сегмент; 4 — заднебоковой сегмент; 5 — нижний сегмент; 6 — нижнеперегородочный сегмент

в большинстве случаев основана на методе Симпсона (1989) и включает в себя объемы ЛЖ в систолу (КСО) и в диастолу (КДО), расчет показателей ФВ и УО. Использование технологии VVI позволяет оценить не только объемные показатели, но и сегментарный вклад в изменение объемов [1].

При сравнении показателей систолической функции ЛЖ при стандартном эхоКГ-исследовании (методом Симпсона) и с помощью VVI получены близкие значения (табл. 1). Это значит, что VVI можно использовать для оценки изображений, полученных ранее.

Поскольку методика VVI позволяет оценить объемы и ФВ каждого изучаемого сегмента, это дает возможность идентифицировать сегменты с нарушенной сократимостью [1].

У всех 26 обследованных не обнаружено отклонений от нормы сегментарных объемов и ФВ. Ценность данной опции иллюстрируется при сравнении картины ФВ

Таблица 1

Сравнение показателей систолической функции левого желудочка с использованием метода Симпсона и VVI у здоровых добровольцев (n=26)

Показатель	Метод Симпсона	VVI	p
КДО, мл	69,02±18,86	65,24±20,47	<0,49
КСО, мл	26,42±7,27	28,60±8,70	<0,37
ФВ, %	60,34±0,04	56,84±0,03	<0,002

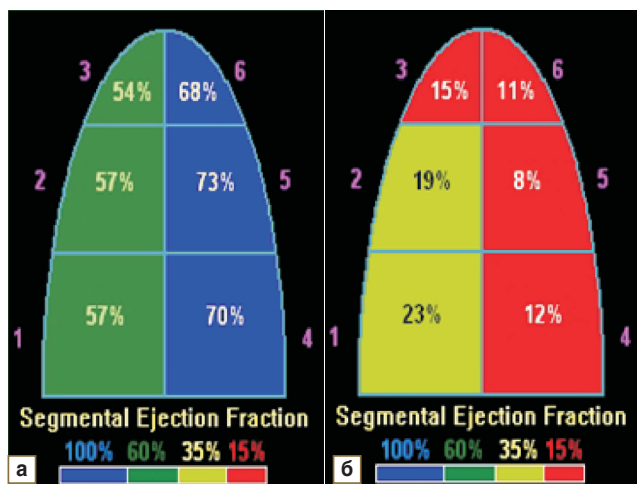


Рис. 6. Апикальная 4-камерная позиция. Сегментарная фракция выброса у здорового добровольца (а) и пациента с дилатационной кардиомиопатией (б): 1 — базальный переднебоковой сегмент; 2 — средний переднебоковой сегмент; 3 — верхушечный переднебоковой сегмент; 4 — базальный нижнеперегородочный сегмент; 5 — средний нижнеперегородочный сегмент; 6 — апикальный нижнеперегородочный сегмент

у пациента с дилатационной кардиомиопатией и у здорового обследуемого (рис. 6).

При анализе сегментарной ФВ у здорового добровольца (рис. 6, а) установлено, что ее значение во всех шести сегментах укладывается в нормативы (зеленый и синий цвета на цветовой шкале), однако детальное рассмотрение показывает, что значения ФВ 4, 5 и 6-го сегментов выше, чем 1, 2 и 3-го сегментов. На основании этого можно предположить о более выраженной сократительной функции межжелудочковой перегородки у данного здорового добровольца.

Показатели ФВ во всех сегментах у пациента с дилатационной кардиомиопатией (рис. 6, б) ниже нормальных значений (красный и желтый цвета на шкале). Общее значение ФВ у данного пациента, полученное с помощью методики VVI, — 12%. Исследование ФВ каждого сегмента показало, что существенно выше ее значения в 1-м и 2-м сегментах (соответственно 23 и 19%), следовательно, можно предположить, что сократимость переднебоковой стенки ЛЖ в базальных и средних отделах активнее по сравнению с остальными сегментами.

Количественная оценка сократительной функции миокарда ЛЖ получена с помощью оценки скорости движения миокарда и деформации миокарда.

Скорости движения миокарда при исследовании в верхушечном срезе в норме снижаются от основания к верхушке [1, 2, 4]. При их оценке необходимо учитывать пространственную ориентацию продольных и радиальных волокон миокарда ЛЖ. Программа VVI позволяет оценить продольные и радиальные скорости из апикальных 4-, 5- и 2-камерных позиций (табл. 2).

Анализ продольных и радиальных скоростей движения эндокарда ЛЖ показал большие скорости движения базальных сегментов по сравнению с апикальными, а также выявил тенденцию к уменьшению скоростей от основания ЛЖ к верхушке.

Комплексное эхоКГ-исследование с использованием современных технологий включает в себя не только оценку скоростей движения стенок ЛЖ, но и оценку стрейна. Деформация определяется как изменение длины отрезка, отнесенное к его исходной длине. Она является безразмерной величиной, которая представляет собой процент изменения размера миокардиального волокна за период от состояния покоя до состояния после приложения усилия. Деформация — дифференцированное движение. В миокарде это продольное, поперечное и круговое движение. В систолу происходит продольное укорочение, радиальное утолщение и циркулярное укорочение волокон. С помощью ультразвуковых технологий в один момент времени можно исследовать только одно направление движения [2], с помощью методики VVI — все движения одновременно.

Принципиальным отличием скоростных показателей от показателей деформации является следующий момент: значения скорости миокарда при исследовании в

Таблица 2

Продольные и радиальные скорости сегментов левого желудочка здоровых добровольцев (апикальный доступ)

Сегменты	Скорость движения миокарда, см/с, в разных позициях		
	4-камерной	5-камерной	2-камерной
Продольные скорости			
1-й	4,1±1,2	3,9±1,5	4,4±1,4
2-й	3,1±1,0	3,1±1,0	3,0±0,9
3-й	1,6±0,5	1,4±0,7	1,2±0,5
4-й	4,7±1,2	4,5±2,0	4,0±1,0
5-й	2,7±0,6	2,4±1,3	2,2±0,9
6-й	1,1±0,4	0,9±0,5	0,8±0,5
Средняя скорость	2,9±0,5	2,7±0,8	2,6±0,5
Радиальные скорости			
1-й	3,1±1,0	2,6±0,8	3,3±1,2
2-й	2,2±1,0	2,3±0,9	3,0±1,5
3-й	1,3±0,6	1,3±0,8	1,7±1,2
4-й	3,0±0,6	2,1±1,2	3,0±1,0
5-й	2,3±0,6	1,6±0,9	1,9±0,7
6-й	1,4±0,4	0,9±0,5	0,9±0,4
Средняя скорость	2,2±0,4	1,8±0,5	2,3±0,6

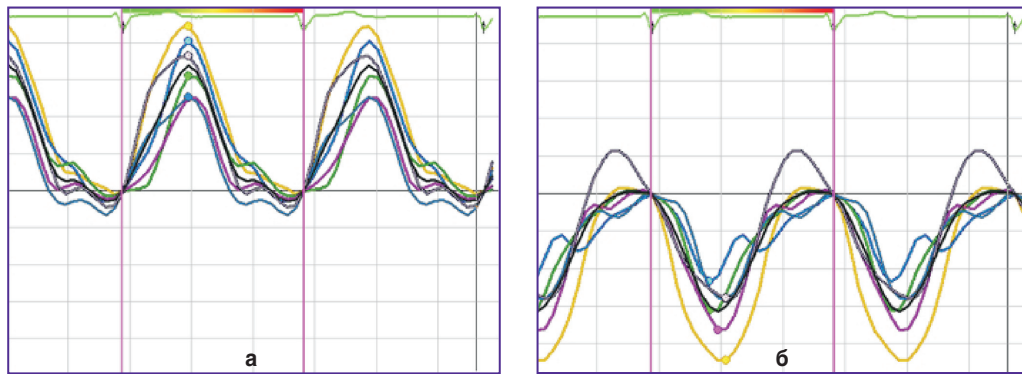


Рис. 7. Радиальная (положительная) (а) и продольная (отрицательная) (б) деформация миокарда

верхушечном срезе снижаются от основания к верхушке, а систолическая деформация равномерно распределена по всему миокарду. Ее оценка в стандартных сегментах позволяет судить об их сократимости [2, 15, 16]. Продольная деформация оценивается из верхушечного доступа, циркулярная — по короткой оси ЛЖ. Радиальную деформацию можно оценивать из верхушечного доступа и по короткой оси.

При интерпретации данных VVI-исследования следует учитывать, что продольные и циркулярные волокна в систолу укорачиваются (отрицательная деформация), а радиальные — утолщаются (удлиняются) (положительная деформация) (рис. 7). В норме среднее значение систолического стрейна миокардиального волокна составляет в среднем около 20% [2, 13, 17]. При анализе деформации всех сегментов ЛЖ в нашем исследовании выявлено, что среднее значение продольной деформации у всех обследованных составило $-19,9 \pm 2,6\%$ (табл. 3).

Циркулярная и радиальная деформации оценивались из поперечного сечения ЛЖ на уровне митрального клапана (базальные сегменты ЛЖ), папиллярных мышц (средние сегменты ЛЖ) и на уровне верхушки (апикальные сегменты ЛЖ) (табл. 4). Средний показатель циркулярного стрейна составляет $-21,6 \pm 5,5\%$ [13].

Таблица 3

Продольная деформация левого желудочка здоровых добровольцев (апикальный доступ), по данным VVI

Сегменты	Продольная деформация ЛЖ, %, в разных позициях		
	4-камерной	5-камерной	2-камерной
1-й	$-21,1 \pm 4,1$	$-19,5 \pm 3,4$	$-20,1 \pm 4,8$
2-й	$-20,7 \pm 4,8$	$-18,3 \pm 2,4$	$-19,9 \pm 4,6$
3-й	$-20,0 \pm 4,0$	$-18,4 \pm 4,8$	$-20,3 \pm 3,6$
4-й	$-21,0 \pm 5,0$	$-20,5 \pm 4,6$	$-20,7 \pm 1,4$
5-й	$-20,2 \pm 3,8$	$-19,4 \pm 5,0$	$-18,8 \pm 3,6$
6-й	$-20,2 \pm 4,6$	$-18,5 \pm 4,1$	$-20,2 \pm 4,2$
Среднее сегментарное значение	$-20,5 \pm 2,7$	$-19,3 \pm 2,9$	$-20,0 \pm 1,9$
Общее среднее значение	$-19,9 \pm 2,6$		

Таблица 4

Циркулярная и радиальная деформации левого желудочка здоровых добровольцев (короткая ось левого желудочка), %, по данным VVI

Сегменты	Базальные отделы	Средние отделы	Апикальные отделы
Циркулярная деформация			
1-й	$-21,6 \pm 6,8$	$-22,2 \pm 6,1$	$-20,7 \pm 5,5$
2-й	$-19,7 \pm 5,7$	$-22,7 \pm 5,1$	$-20,1 \pm 5,2$
3-й	$-19,4 \pm 6,4$	$-19,8 \pm 5,3$	$-19,9 \pm 5,0$
4-й	$-21,7 \pm 7,1$	$-18,5 \pm 8,4$	$-18,9 \pm 3,6$
5-й	$-20,5 \pm 7,6$	$-21,2 \pm 4,7$	$-19,8 \pm 4,0$
6-й	$-21,4 \pm 8,0$	$-20,5 \pm 1,1$	$-22,1 \pm 5,1$
Среднее сегментарное значение	$-20,7 \pm 5,5$	$-21,9 \pm 2,6$	$-19,5 \pm 2,8$
Общее среднее значение	$-21,6 \pm 5,5$		
Радиальная деформация			
1-й	$27,2 \pm 10,3$	$34,7 \pm 8,1$	$30,9 \pm 2,6$
2-й	$26,1 \pm 9,7$	$33,4 \pm 11,1$	$35,3 \pm 5,2$
3-й	$28,7 \pm 11,0$	$28,8 \pm 8,1$	$27,4 \pm 7,4$
4-й	$27,0 \pm 10,1$	$28,1 \pm 10,0$	$26,2 \pm 10,6$
5-й	$29,4 \pm 7,6$	$31,5 \pm 4,7$	$30,2 \pm 4,0$
6-й	$28,2 \pm 8,0$	$34,3 \pm 5,1$	$37,1 \pm 5,1$
Среднее сегментарное значение	$29,3 \pm 9,4$	$33,96 \pm 7,80$	$32,4 \pm 5,8$
Общее среднее значение	$32,3 \pm 7,6$		

Как видно из табл. 3 и 4, значения продольной и циркулярной деформации находятся в среднем в пределах от -18 до -22% . По данным ряда авторов [2, 17, 18], допустимыми значениями нормальных показателей стрейна в боковой и задней стенках являются $15 \pm 5\%$. Так, Sh. Carasso с соавт. [13] в своем исследовании функции ЛЖ у здоровых добровольцев получали значения показателей продольной деформации в пределах от -17 до -21% .

Значения радиальной деформации по сравнению с продольной и циркулярной несколько выше (см.

табл. 4). Среднее значение — $32,3 \pm 7,6\%$ — сопоставимо с литературными данными ($30,1 \pm 7,5\%$ [13]).

Установлено, что величина деформации позволяет количественно оценить степень нарушения сократимости миокарда [1, 2, 19]. В сегментах, акинетичных по данным эхоКГ, значение деформации статистически значимо меньше по модулю, чем в гипокинетичных. Критерий менее -13% имеет высокую чувствительность (86%) и специфичность (85%) в плане выявления зон нарушения сократимости при ишемии миокарда и остром инфаркте миокарда [1, 2, 19].

Наряду со значением деформации методика VVI позволяет рассчитать так называемую скорость дефор-

мации (стрейн реит). Это пространственный градиент скорости между двумя соседними точками миокарда, движущимися с определенной скоростью в точке А и точке Б [2]. Показатели продольной скорости рассчитываются из апикального доступа (4-, 5-, 2-камерные позиции), циркулярной и радиальной — из короткой оси ЛЖ (базальные, средние и апикальные сегменты). В систолу происходит систолическое укорочение продольных и циркулярных волокон миокарда ЛЖ (негативная скорость деформации) и утолщение (удлинение) радиальных волокон (позитивная скорость). Эти показатели являются диагностически важными в выявлении ишемии миокарда ЛЖ. Так, по данным литературы [2, 19], значения систолической скорости деформации менее $-0,8 \text{ с}^{-1}$ могут быть критериями острого инфаркта миокарда.

При анализе показателей продольной скорости деформации у здоровых людей среднее значение составило $-1,17 \pm 0,26 \text{ с}^{-1}$ (табл. 5). В исследовании [13] оно равнялось $-1,02 \pm 0,12 \text{ с}^{-1}$.

Среднее значение циркулярной скорости деформации составило $-1,32 \pm 0,44 \text{ с}^{-1}$, по данным литературы [13] — $1,66 \pm 0,33 \text{ с}^{-1}$ (табл. 6).

Значение радиальной скорости деформации в нашем исследовании выше, чем циркулярной и продольной. Среднее ее значение составило $1,58 \pm 0,32 \text{ с}^{-1}$, тогда как по данным литературы [13] — $1,33 \pm 0,28 \text{ с}^{-1}$.

Кроме рассмотренных показателей методика VVI позволяет оценивать вращательные движения ЛЖ (Rotational mechanics), приводящие к уменьшению продольных и радиальных длин полости ЛЖ. В систолу базальные отделы ЛЖ вращаются по часовой стрелке (отрицательные значения), средние и апикальные отделы — против часовой стрелки (положительные значения) [13, 20]. Вращение — это угловое смещение сегмента миокарда. Измерение проводится по короткой оси ЛЖ на уровне базальных, средних и апикальных сегментов. При анализе вращения ЛЖ встречаются трудности с оптимальным выбором эхоКГ-позиции. Так, по данным М.Н. АLEXИНА [20], существующие ориентиры для выбора позиций при анализе вращения достаточно условны. Для базальных отделов ЛЖ должны регистрироваться кончики створок митрального клапана. Для верхушечных отделов должна быть круглая форма полости ЛЖ без видимых папиллярных мышц. Следует отметить, что для базальных и средних отделов ЛЖ характерен значительный разброс вращения в разных сегментах в отличие от апикальных, для которых свойственна минимальная разница вращения [20, 21]. В нашем исследовании (при использовании VVI) показатели вращения у здоровых обследованных составили в среднем в базальных отделах $-4,6 \pm 2,69^\circ$, в средних отделах — $3,83 \pm 1,87^\circ$, в апикальных — $4,52 \pm 1,69^\circ$. В исследовании [13] показатель вращения соответствовал в среднем в базальных отделах $-3,4 \pm 2,1^\circ$, в средних — $2,2 \pm 2,0^\circ$, в апикальных — $7,01 \pm 3,3^\circ$. Такое расхождение значений может

Таблица 5

Продольная скорость деформации левого желудочка здоровых добровольцев (апикальный доступ), по данным VVI

Сегменты	Продольная скорость деформации, с^{-1} , в разных позициях		
	4-камерной	5-камерной	2-камерной
1-й	$-1,31 \pm 0,43$	$-1,50 \pm 0,79$	$-1,10 \pm 0,33$
2-й	$-1,21 \pm 0,32$	$-1,05 \pm 0,51$	$-1,07 \pm 0,37$
3-й	$-1,29 \pm 0,35$	$-1,09 \pm 0,44$	$-1,14 \pm 0,37$
4-й	$-1,31 \pm 0,63$	$-1,41 \pm 0,73$	$-1,11 \pm 0,40$
5-й	$-1,24 \pm 0,34$	$-1,09 \pm 0,60$	$-1,03 \pm 0,20$
6-й	$-1,27 \pm 0,38$	$-1,12 \pm 0,44$	$-1,04 \pm 0,44$
Среднее сегментарное значение	$-1,22 \pm 0,22$	$-1,18 \pm 0,36$	$-1,08 \pm 0,17$
Общее среднее значение	$-1,17 \pm 0,26$		

Таблица 6

Циркулярная и радиальная скорости деформации левого желудочка здоровых добровольцев (короткая ось ЛЖ), с^{-1}

Сегменты	Базальные отделы	Средние отделы	Апикальные отделы
Циркулярная скорость деформации			
1-й	$-1,47 \pm 0,70$	$-1,51 \pm 0,47$	$-1,42 \pm 0,60$
2-й	$-1,18 \pm 0,59$	$-1,47 \pm 0,49$	$-1,37 \pm 0,49$
3-й	$-1,32 \pm 0,52$	$-1,38 \pm 0,47$	$-1,26 \pm 0,47$
4-й	$-1,37 \pm 0,70$	$-1,33 \pm 0,56$	$-1,16 \pm 0,40$
5-й	$-1,25 \pm 0,60$	$-1,53 \pm 0,50$	$-1,23 \pm 0,50$
6-й	$-1,37 \pm 0,67$	$-1,59 \pm 0,49$	$-1,60 \pm 0,68$
Среднее сегментарное значение	$-1,30 \pm 0,39$	$-1,40 \pm 0,31$	$-1,25 \pm 0,57$
Общее среднее значение	$-1,32 \pm 0,44$		
Радиальная скорость деформации			
1-й	$1,57 \pm 0,57$	$1,51 \pm 0,38$	$1,52 \pm 0,47$
2-й	$1,59 \pm 0,59$	$1,64 \pm 0,42$	$1,52 \pm 0,50$
3-й	$1,76 \pm 0,78$	$1,68 \pm 0,36$	$1,51 \pm 0,52$
4-й	$1,47 \pm 0,56$	$1,52 \pm 0,47$	$1,39 \pm 0,41$
5-й	$1,45 \pm 0,62$	$1,36 \pm 0,43$	$1,57 \pm 0,42$
6-й	$1,40 \pm 0,51$	$1,53 \pm 0,53$	$1,77 \pm 0,31$
Среднее сегментарное значение	$1,61 \pm 0,44$	$1,57 \pm 0,23$	$1,55 \pm 0,24$
Общее среднее значение	$1,58 \pm 0,32$		

быть обусловлено тем, что в исследовании зарубежных авторов возраст обследуемых находился в пределах от 19 до 84 лет, тогда как у нас возраст здоровых добровольцев составлял от 21 до 23 лет, при этом в литературе имеются указания, что показатели вращения ЛЖ в значительной степени зависят от возраста [20].

Таким образом, значимость метода VVI в оценке показателей систолической функции ЛЖ достаточно велика и позволяет получить объективные данные по большему числу параметров по сравнению со стандартным эхокардиографическим исследованием. С помощью VVI возможна регистрация даже минимальных нарушений функции ЛЖ, а анализ продольных, радиальных и циркулярных волокон позволяет оценить трансмуральное повреждение и выявить механизм дисфункции ЛЖ.

Заключение. Методика VVI (Velocity Vector Imaging) позволяет провести оценку объемов левого желудочка в систолу и диастолу, а также рассчитать общую и сегментарную фракцию выброса. Сравнение данных показателей со стандартным эхокардиографическим исследованием (метод Симпсона) показало получение близких данных. При использовании этой методики возможна оценка продольных, радиальных и циркулярных скоростей движения левого желудочка, а также стрейна (деформации) и стрейн рейта (скорости деформации), которые по сравнению со стандартным эхоКГ-исследованием позволяют объективно оценить сократительную функцию левого желудочка, а также у пациентов с ишемической болезнью сердца выявить скрытые зоны нарушения сократимости, которые при визуальном эхоКГ-исследовании не определяются.

Разработанные с помощью VVI нормативы основных показателей систолической функции для каждого сегмента левого желудочка позволяют более объективно оценить объем повреждения и зарегистрировать даже минимальные нарушения.

Финансирование исследования. Работа проведена на личные средства автора.

Конфликт интересов. У автора нет конфликта интересов.

Литература

1. Функциональная диагностика в кардиологии: клиническая интерпретация. Под ред. Васюка Ю.А. М: Практическая медицина, 2009; 312 с.
2. Ткаченко С.Б., Берестень Н.Ф. Тканевое доплеровское исследование миокарда. М: «Реал Тайм», 2006; 176 с.
3. Kostis J.B., Mavrogeorgis E., Slater A., et al. Use of range-gated, pulsed ultrasonic Doppler technique for continuous measurement of velocity of the posterior heart wall. *Chest* 1972; 62: 597–604.
4. Sonnenblick E.H., Parmley W.W., Urschel C.W., Brutsaert D.L. Ventricular function: evaluation of myocardial contractility in health and disease. *Prog Cardiovasc Dis* 1970; 12: 449–466.

5. Mirsky I., Parmley W.W. Assessment of passive elastic stiffness for isolated heart muscle and the intact heart. *Circ Res* 1973; 33: 233–243.

6. Isaza K., Thompson A., Ethevenot G., et al. Doppler echocardiographic measurement of low velocity motion of the left ventricular posterior wall. *Am J Cardiol* 1989; 64: 66–75.

7. Sutherland G.R., Stewart M.J., Groundstroem K.W., et al. Color Doppler myocardial imaging: a new technique for the assessment of myocardial function. *J Am Soc Echocardiogr* 1994; 7: 441–458.

8. Yamazaki N., Mine Y., Sano A., et al. Analysis of ventricular wall motion using color — coded tissue Doppler imaging system. *Jpn J Appl Phys* 1994; 33: 3141–3146.

9. Miyatake K., Yamagishi M., Tanaka N., et al. New method for evaluating left ventricular wall motion by color — coded tissue Doppler imaging: in vitro and in vivo studies. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 717–724.

10. Fleming A.D., Xia X., McDicken W.N., et al. Myocardial velocity gradients detected by Doppler imaging. *Br J Radiol* 1994; 67: 679–688.

11. Heimdal A., Dhogge J., Bijnens B., et al. In vitro validation of in-plane strain rate imaging. A new ultrasound technique for evaluating regional myocardial deformation based on tissue Doppler imaging. *Echocardiography* 1998; 15(8-II): S 40.

12. Никитин Н.П., Клиланд Д.Д. Применение тканевой миокардиальной доплер-эхокардиографии в кардиологии. *Кардиология* 2002; 3: 66–79.

13. Carasso Sh., Biaggi P., Rakowski H., et al. Velocity vector imaging: standard tissue — tracking results acquired in normals — the VVI — strain study. *Am Soc Echocardiography* 2012; 25(5): 543–552.

14. Mani A. Vannan., Gianni Pedrizzetti, Peng Li., et al. Effect of cardiac resynchronization therapy on longitudinal and circumferential left ventricular mechanics by velocity vector imaging: description and initial clinical application of a novel method using high — frame rate B-mode echocardiographic images. *Echocardiography* 2005; 10: 826–830.

15. Сыволоп В.В., Колесник М.Ю. Оценка продольной и радиальной систолической деформации миокарда левого желудочка при дилатационной кардиомиопатии (клиническое наблюдение). *Внутренняя медицина* 2008; 5–6(11–12).

16. Voight J.U., Flachskampf F.A. Strain and strain rate. New and clinically relevant echo parameters of regional myocardial function. *Z Kardiol* 2004; 93: 249–258.

17. Алехин М.Н. Возможности практического использования тканевого доплера. Лекция 1. Тканевой доплер, принципы работы и его особенности. *Ультразвуковая и функциональная диагностика* 2002; 3: 90–98.

18. Kowalski M., Kukulski T., Jamal F., et al. Can natural strain and strain rate quantify regional myocardial deformation? A study in healthy subjects. *Ultrasound Med Biol* 2001; 27: 1087–1097.

19. Garot J., Derumeaux G.A., Monin J.L., et al. Quantitative systolic and diastolic transmyocardial velocity gradients assessed by M-mode colour Doppler tissue imaging as reliable indicators of regional left ventricular function after myocardial infarction. *Eur Heart J* 1999 Apr; 20(8): 593–603.

20. Алехин М.Н. Возможности практического использования тканевого доплера. Лекция 2. Тканевой доплер фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов. *Ультразвуковая и функциональная диагностика* 2002; 4: 112–118.

21. Notomi Y., Srinath G., Shiota T., et al. Maturational and adaptive modulation of left ventricular torsional biomechanics: Doppler tissue imaging observation from infancy to adulthood. *Circulation* 2006; 113(21): 2534–2541.