

## ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИИ И СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ МИОКАРДА МЕТОДОМ ТКАНЕВОЙ ДОППЛЕРОГРАФИИ (ОБЗОР)

**Н. А. Екимова** — ФГБУ Саратовский НИИ кардиологии Минздрава России, отделение функциональной диагностики, врач; **Л. А. Каткова** — ФГБУ Саратовский НИИ кардиологии Минздрава России, лаборатория неотложной кардиологии, старший научный сотрудник, кандидат медицинских наук; **Н. В. Фурман** — ФГБУ Саратовский НИИ кардиологии Минздрава России, заведующий лабораторией неотложной кардиологии, кандидат медицинских наук.

## ASSESSMENT OF MYOCARDIAL STRAIN AND STRAIN RATE BY TISSUE DOPPLER ECHOCARDIOGRAPHY (REVIEW)

**N. A. Ekimova** — Saratov Scientific Research Institute of Cardiology, Department of Functional Diagnostics, Physician; **L. A. Katkova** — Saratov Scientific Research Institute of Cardiology, Laboratory of Emergency Cardiology, Senior Research Assistant, Candidate of Medical Science; **N. V. Furman** — Saratov Scientific Research Institute of Cardiology, Head of Laboratory of Emergency Cardiology, Candidate of Medical Science.

Дата поступления — 1.02. 2013 г.

Дата принятия в печать — 28.02.2013 г.

**Екимова Н. А., Каткова Л. А., Фурман Н. В.** Оценка деформации и скорости деформации миокарда методом тканевой доплерографии (обзор) // Саратовский научно-медицинский журнал. 2013. Т. 9, № 1. С. 50–57.

Представлены современные данные о новом методе количественной оценки сердечной механики (оценка скорости деформации и деформации миокарда по результатам тканевой доплерографии) и перспективах его клинического применения.

**Ключевые слова:** эхокардиография; тканевая доплерография; деформация миокарда, скорость деформации миокарда.

**Ekimova N. A., Katkova L. A., Furman N. V.** Assessment of myocardial strain and strain rate by tissue doppler echocardiography (review) // Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2013. Vol. 9, № 1. P. 50–57.

*The objective of the article* is to review the current data on the method of quantitative evaluation of cardiac mechanics — assessment of myocardial strain and strain rate according to the results of the tissue Doppler echocardiography and prospects of its clinical application.

**Key words:** echocardiography, tissue Doppler imaging, myocardial strain, strain rate

Эхокардиографические (ЭхоКГ) методы исследования идеально подходят для оценки сердечной механики. В последние годы с внедрением современных цифровых технологий стали доступны новые методы количественной оценки сердечной механики, основанные, в частности, на применении тканевой доплерографии и отслеживании пятен серой шкалы ультразвукового изображения миокарда (speckle tracking) [1].

Тканевая доплерография (ТД) — группа доплеровских методик качественной и количественной оценки глобальной и сегментарной функции миокарда.

Доплеровские методы впервые были использованы для получения информации о движении сердца Т. Yoshida с соавторами в 1961 г. [2]. Первой работой, показавшей возможности импульсно-волнового режима ТД в количественной оценке локальной функции миокарда, стала публикация К. Isaaz и соавторов [3].

Метод тканевого доплеровского исследования (ТДИ) основывается на принципах, которые используются в обычном доплеровском формировании изображения кровотока. В основе лежит эффект Допплера — свойство любой волны менять свою частоту при отражении от движущегося объекта. Так

же как и в доплеровском картировании кровотока, при ТДИ требуется подбор адекватной шкалы скорости в зависимости от исследуемой структуры, подбор необходимой позиции, позволяющей поставить ультразвуковой луч максимально параллельно направлению движения ткани, используется такая же кодировка цветом (красный — к датчику, синий — от датчика) и отображение более высокой скорости более ярким цветом [1; 4]. Отличие ТД от обычной состоит в том, что проводится исследование собственной ткани миокарда, а не внутрисердечных потоков. В отличие от кровотока, движение миокарда характеризуется более низкой скоростью (около 5–20 мс/с), а отраженный от тканевых структур сигнал имеет высокую амплитуду [4; 5]. Таким образом, тканевой доплер представляет собой низкочастотный и высокоамплитудный фильтр, который позволяет, исключая высокочастотные и низкоамплитудные сигналы от кровотока, выводить на экран сигналы, получаемые от движения ткани миокарда [4].

ТДИ миокарда позволяет определить скоростные, линейные и временные параметры, а также амплитуду и скорость деформации миокарда. К скоростным параметрам относятся пиковые скорости движения миокарда в разные фазы сердечного цикла, миокардиальный градиент. Амплитуда систолического движения относится к линейным показателям. Временные показатели включают время ускорения и замедления движения, время сокращения и расслабления миокарда [6].

**Ответственный автор** — Екимова Надежда Алексеевна  
Адрес: 410000, г. Саратов, ул. Вольская, 73/75, кв. 41.  
Тел.: +7-917-217-33-61  
E-mail: lidkat80@gmail.com

Тканевой доплер имеет несколько режимов работы. Наиболее простым в использовании является режим импульсной ТД, так как позволяет анализировать движение миокарда без дополнительной обработки, не требует сложного программного обеспечения, позволяет получить графики скоростей практически на любом современном ультразвуковом приборе. Импульсно-волновой спектральный режим позволяют регистрировать скорости движения участков миокарда в реальном времени. Однако, используя данный режим, нельзя исследовать движение нескольких участков миокарда одновременно [6].

Цветовой двухмерный режим характеризуется наилучшим пространственным разрешением и позволяет получать сигнал от любых тканей сердца: миокарда, клапанов сердца, сосудов, предсердий, а также внутрисердечных образований (опухолей, вегетаций, тромбов) [4].

Цветовое картирование также используется в М-режиме, обладающем высоким временным разрешением и позволяющим регистрировать скорости движения миокарда в систолу и диастолу.

В настоящее время наиболее перспективными для клинической практики считаются режимы, позволяющие изучить локальную деформацию миокарда, характеризующуюся показателями strain (рис. 1) и strain rate (рис. 2) [1; 13], которые в отечественной литературе принято обозначать терминами «деформация» и «скорость деформации» соответственно [7].

Данный метод разработан в 1990-х годах и впервые описан А. Heimdal и соавторами в 1998 г. [8]. Группа ученых Норвежского университета внедрила в изучение сократительной функции миокарда анализ деформации и скорости деформации в реальном времени, используя метод ТД [4; 9; 10], что позволяет дифференцировать пассивное движение и активное сокращение каждого сегмента миокарда за счет возможности проанализировать деформацию и скорость деформации миокарда вдоль трех различных пространственных осей [11].

Деформация представляет собой изменение объекта относительно его исходной формы. Для линейных объектов деформацией будет являться изменение их длины: удлинение или укорочение объекта. Деформация миокарда является величиной, отражающей изменение длины миокардиального волокна, выраженной в процентах [1; 13].

Деформация трехмерного объекта, например миокарда, происходит в трех плоскостях. В отношении миокарда выделяют следующие направления: продольная, циркулярная и радиальная (круговая) деформация (рис. 3). Как известно, стенка левого желудочка образована радиальными и продольными мышечными волокнами. Продольные волокна миокарда отвечают за продольное укорочение мышечного волокна в систолу, и любой процесс, влияющий на деформацию волокон (например, ишемия миокарда), может привести к уменьшению продольного

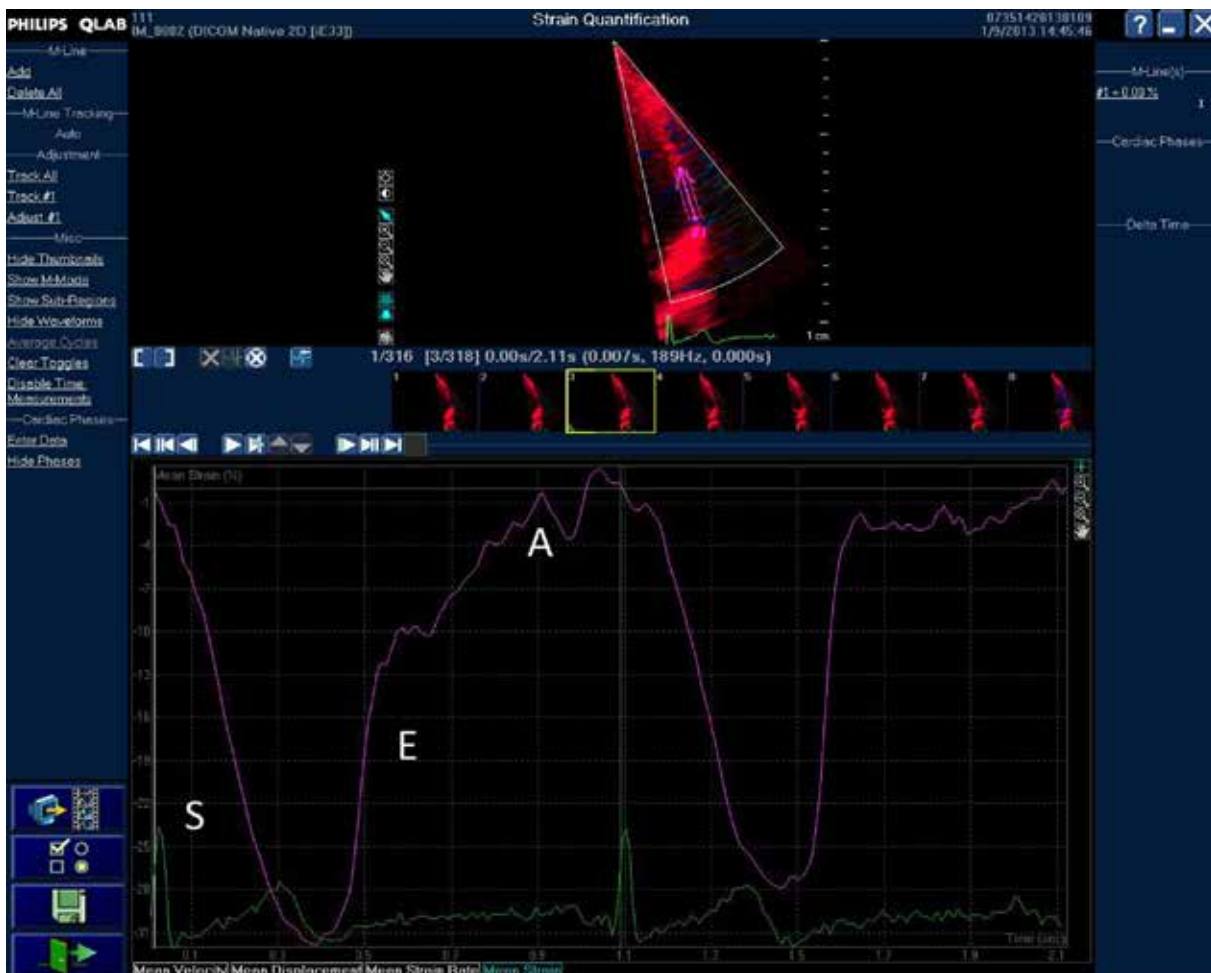


Рис. 1. График деформации на протяжении сердечного цикла:  
S — максимальная систолическая деформация, E — фаза раннего или быстрого наполнения,  
A — фаза предсердного наполнения

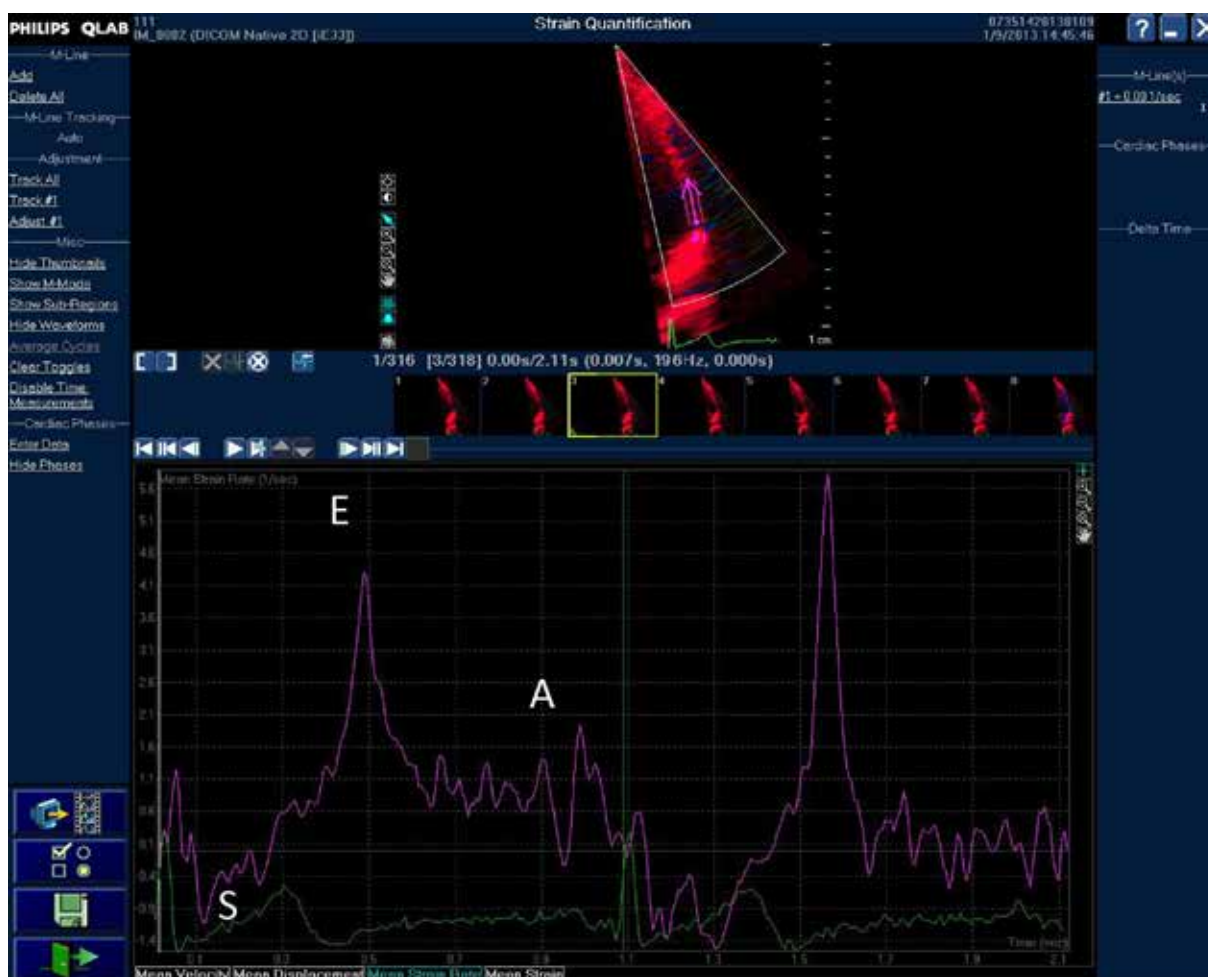


Рис. 2. График скорости деформации на протяжении сердечного цикла:  
S — отрицательная волна в систолу. В диастолу регистрируются две положительные волны E и A, соответствующие максимальной скорости деформации в раннюю и позднюю диастолу

укорочения стенки. Верно и утверждение, что ударный объем и фракция выброса тесно связаны с продольной деформацией, в силу того что продольные волокна главным образом осуществляют изотоническую работу сердца [13].

Во время сокращения желудочка его стенка должна утолщаться для сохранения объема миокарда как постоянной величины. Утолщение стенки желудочка отражает утолщение отдельных мышечных волокон во время систолы. Факт, что во время систолы внешний контур левого желудочка на ультразвуковом изображении меняется незначительно, указывает на

то, что, укорачиваясь, стенки миокарда утолщаются внутри [12; 14]. Таким образом, утолщение стенки желудочка обеспечивается продольным сокращением мышечных волокон и является процентной величиной от диастолической толщины миокарда.

В процессе взаимодействия продольных и радиальных волокон происходит изменение длины окружности левого желудочка, в результате чего выделяют третью составляющую — круговую (циркулярную) деформацию. Данная величина зависит непосредственно от измеряемой окружности. Круговая деформация увеличивается от эпикарда к эндокарду. Так,

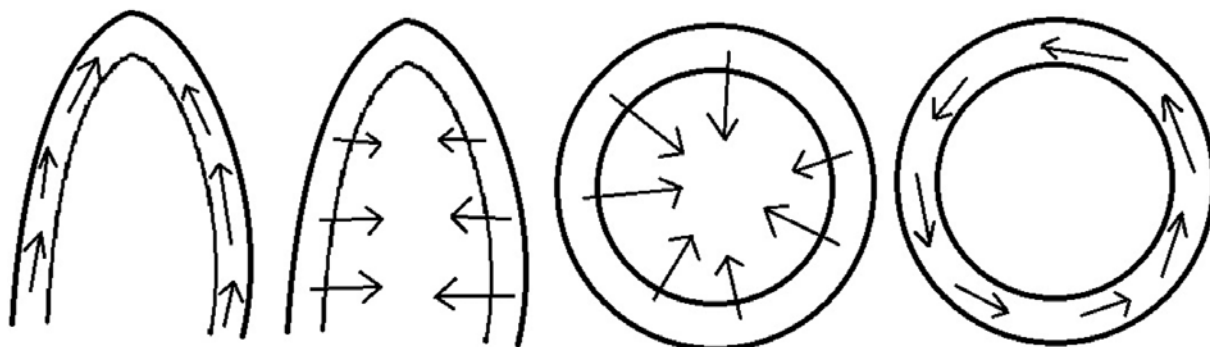


Рис. 3. Деформация стенок левого желудочка в систолу:  
А — продольное укорочение, Б, В — радиальное утолщение, Г — циркулярное укорочение

на уровне эпикарда ее значение близко к нулю, а на уровне эндокарда круговая деформация имеет максимальные значения. В действительности круговая деформация является показателем измерения полости, а не стенки миокарда и зависит от диаметра полости, толщины стенки и степени ее утолщения.

Исходя из укорочения и удлинения мышечных волокон, выделяют отрицательную и положительную деформацию. В норме систолическая деформация продольных волокон является отрицательной, так как продольные волокна в систолу укорачиваются. Деформация радиальных волокон является положительной в силу их утолщения.

Показатели продольной деформации получают в исследовании продольных верхушечных срезов. Радиальная деформация изучается в коротких парастеральных срезах, так же как циркулярная деформация.

Скорость деформации (strain rate) является показателем, характеризующим деформацию миокарда, он отражает скорость укорочения или утолщения миокардиальных волокон во времени [1; 13]. Скорость деформации измеряется между двумя соседними точками миокарда и обозначается символом  $\epsilon$  [15]. При утолщении сегмента миокарда в радиальном направлении  $\epsilon$  принимает положительное значение. При уменьшении же толщины миокардиального волокна в радиальном направлении  $\epsilon$  является отрицательным.

Важно понимать, что деформация и скорость деформации являются независимыми друг от друга показателями. Скорость сокращения волокна может быть замедлена, но это компенсируется степенью его сокращения. Так и скорость деформации может быть снижена, в то время как глобальная деформация остается в норме. Поэтому для общей оценки информации необходимо оценивать оба показателя.

Показатели деформация и скорость деформации позволяют оценить состояние миокарда в каждом его сегменте [1; 13; 16; 17].

Проводя оценку локальной сократимости миокарда, следует помнить о базально-верхушечном

градиенте. При сокращении миокарда основание смещается к верхушке, в связи с этим все показатели, отражающие продольную сократимость, уменьшаются от основания к верхушке [18]. Вследствие этого исследование сократимости верхушечных сегментов достаточно затруднено [19; 20]. Однако систолическая деформация и скорость деформации равномерно распределены по всему миокарду, что принципиально отличает показатели деформации от систолического смещения и скорости миокарда [10; 21; 22; 23].

Деформации и скорость деформации миокарда, измеренные методом ТДИ, хорошо коррелируют с данными, полученными при проведении магнитно-резонансной томографии, как для здорового миокарда, так и для ишемического поражения [24–26].

До настоящего времени нет общепризнанных, «нормальных» значений показателей деформации и скорости деформации миокарда, продолжается накопление данных. Например, известно исследование М. Kowalsky и соавторов, представивших нормативные показатели количественного анализа ТДИ, полученные в результате обследования клинически здоровых лиц (табл. 1) [24].

В ходе самого большого на сегодняшний день исследования HUNT [25], в котором для изучения показателей деформации у здоровых лиц были отобраны 1266 человек без сердечной патологии, гипертонии и сахарного диабета, были получены нормальные значения деформации и скорости деформации для левого желудочка в соответствии с возрастом и полом (табл. 2).

**Возможности клинического применения показателей деформации и скорости деформации миокарда.** Раннее определение повреждения миокарда у пациентов без клинической симптоматики является важным достоинством метода определения деформации миокарда. Изменение показателей деформации миокарда может быть признаком некоторых заболеваний, включая диабет, системную склеродермию, ишемию миокарда, артериальную

Таблица 1

Нормативные показатели деформации и скорости деформации миокарда по результатам тканевого доплеровского исследования

Срез	Стенка	Сегмент	Скорость, см/с	SR c-1	S %
4с	Перегорodka	Базальный	5,69±1,58	1,51±0,35	21±5
		Средний	4,27±1,06	1,49±0,35	21±5
		Верхушечный	3,06±1,0	1,55±0,30	23±4
	Боковая ЛЖ	Базальный	8,66±2,40	1,19±0,26	13±4
		Средний	7,90±2,42	1,12±0,28	14±4
		Верхушечный	7,09±2,44	1,25±0,39	15±5
Боковая ПЖ	Базальный	9,72±2,26	1,50±0,41	19±6	
	Средний	8,65±2,31	1,72±0,27	27±6	
	Верхушечный	6,60±2,05	2,04±0,41	32±6	
3с	Задняя ЛЖ	Базальный	6,39±1,08	1,17±0,33	15±5
		Средний	5,42±1,21	1,23±0,33	16±5
		Верхушечный	4,17±1,43	1,24±0,33	18±5
2с	Передняя ЛЖ	Базальный	7,73±1,97	1,50±0,44	17±6
		Средний	6,28±2,19	1,45±0,54	17±6
		Верхушечный	4,80±2,46	1,51±0,48	18±6

Нормальные значения деформации и скорости деформации левого желудочка в соответствии с возрастом и полом по данным исследования HUNT

	Женщины		Мужчины	
	Конечный систолический strain, %	Пиковый систолический strain rate, s <sup>-1</sup>	Конечный систолический strain, %	Пиковый систолический strain rate, s <sup>-1</sup>
<40 лет	-17,9	-1,09	-16,8	-1,06
40–60 лет	-17,6	-1,06	-18,8	-1,01
> 60 лет	-15,9	-0,97	-15,5	-0,97
	-17,4	-1,05	-15,9	-1,01

гипертензию, неишемическую кардиомиопатию [11]. Их измерение позволяет провести оценку поражения миокарда после перенесенного инфаркта, оценить эффективность реваскуляризации миокарда, помочь в формировании прогноза для пациентов с сердечной недостаточностью [27–40].

При некоторых заболеваниях, например при первичном бессимптомном амилоидозе [41; 42] и при сахарном диабете II типа [43], изменения показателей деформации миокарда наблюдаются до момента появления клинической симптоматики.

Деформация и скорость деформации также могут быть использованы в спортивной медицине для оценки систолической функции левого желудочка у спортсменов, позволяя дифференцировать физиологическую гипертрофию миокарда от гипертрофии миокарда при артериальной гипертензии [28], а также от бессимптомной гипертрофической необструктивной кардиомиопатии, которая является главной причиной внезапной смерти у молодых спортсменов [29; 30; 31, 40], что было продемонстрировано и в экспериментальных работах [38].

По данным S. Yuda и соавторов, максимальная продольная деформация и скорость деформации у больных артериальной гипертензией с сопутствующей гипертрофией левого желудочка уменьшаются независимо от наличия нарушений диастолического наполнения левого желудочка [39].

Наиболее важным показателем для проведения ТДИ с измерением показателей деформации и скорости деформации является оценка жизнеспособности поврежденного миокарда. Например, в диагностике острой ишемии миокарда описан ряд признаков, выявленных в ходе количественного анализа показателей деформации во время стресс-ЭхоКГ, среди которых в первую очередь выделяется снижение значений систолической скорости деформации от  $-0,8 \text{ с}^{-1}$  и деформации от 13% [13].

Измерение параметров деформации миокарда в ходе ТДИ может повысить диагностические возможности стресс-эхокардиографии с добутамином [3; 35; 36]. У здоровых лиц систолические скорости движения ткани, скорости деформации и деформация миокарда увеличиваются при стимуляции добутамином [20; 32]. Эта реакция притупляется в области ишемии миокарда. Низкие скорости движения тканей в момент максимальной нагрузки ( $<5,5 \text{ см/с}$ ) являются признаками аномального движения стенок миокарда и, соответственно, свидетельствуют о наличии ишемической (коронарной) болезни сердца [20; 33].

Изменение показателей деформации, полученных во время проведения стресс-теста с добутамином, помогает дифференцировать оглушенный миокард от ишемии миокарда [34]. Оглушенный миокард характеризуется снижением показателей

деформации в покое, однако в ответ на введение низких доз добутамина наблюдается нормализация показателей систолической деформации и скорости деформации с сопутствующим уменьшением пост-систолической деформации. В ишемизированном же миокарде не происходит нормализации показателей, либо они изменяются незначительно, а постсистолическая деформация возрастает в зависимости от дозы введенного добутамина [34].

Повышение показателей деформации и скорости деформации при введении добутамина указывает на степень жизнеспособности миокарда, при этом скорость деформации является более чувствительным показателем, чем скорость движения ткани миокарда при низких дозах добутамина, для выявления жизнеспособного миокарда [37].

Таким образом, ТДИ с расчетом скорости движения тканей миокарда, деформации и скорости деформации миокарда позволяет достаточно полно оценить региональную и глобальную функции миокарда и существенно дополняет сведения, которые доступны при обычной эхокардиографии, при условии хорошего качества изображения, высокого качества анализа и интерпретации. Показатели деформации миокарда могут быть полезны для ранней диагностики поражений миокарда той или иной этиологии, например при ишемической болезни сердца, при принятии клинических решений и прогнозирования результатов лечения [7; 11; 13; 44; 45].

Неинвазивный характер исследования и возможность количественной оценки показателей деформации миокарда методом тканевой доплерографии позволили активно использовать эти показатели для анализа левого желудочка и других камер сердца при различных его заболеваниях и состояниях.

В клинической практике ТДИ с оценкой деформации и скорости деформации миокарда может применяться в диагностике:

- ишемии и жизнеспособности миокарда у больных ИБС;
- диастолической дисфункции;
- физиологической и патологической гипертрофии левого желудочка;
- кардиомиопатий;
- бессимптомных поражений сердца при системных заболеваниях;
- клапанных пороков сердца;
- диссинхронии миокарда;
- реакции отторжения пересаженного сердца [1; 11; 44; 46].

#### Библиографический список

1. 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. M. Lang, L. P. Badano [et al.] // *European Journal of Echocardiography*. 2011. Vol. 12. P. 167–205.
2. Characteristics of mitral and tricuspid annular velocities determined by pulsed wave Doppler tissue imaging in healthy subjects / M. Alam, J. Wardell, E. Andersson [et al.] // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1999. Vol. 12. P. 618–628.
  3. Simonson J. S., Schiller N. B. Descent of the base of the left ventricle: an echocardiographic index of left ventricular function // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1989. Vol. 2. P. 25–35.
  4. Алехин М. Н. Тканевой доплер в клинической эхографии. М., 2006.
  5. Алехин М. Н. Возможности практического использования тканевого доплера. Лекция 1: Тканевой доплер: принципы метода и его особенности. Основные режимы, методика регистрации и анализа // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2002. № 3. С. 115–125.
  6. Хадзегова А. Б., Копелева М. В., Ющук Е. Н.. Современные возможности тканевой доплерографии и области ее применения // *Сердце: журнал для практикующих врачей*. 2010. № 4 (54). С. 251–261.
  7. Олейников В. Э., Галимская В. А., Донченко И. А. Оценка деформационных характеристик миокарда у здоровых лиц различных возрастных групп эхокардиографическим методом X-Strain // *Кардиология*. 2012. № 2. № 65–69.
  8. Tissue tracking allows rapid and accurate visual evaluation of left ventricular function / C. Pan, R. Hoffman, H. Kuhl [et al.] // *Eur. J. Echocardiography*. 2001. Vol. 2. P. 197–202.
  9. Афанасьева Е., Грушевская Е. Методика оценки систоло-диастолической деформации миокарда // *Новая медицина тысячелетия*. Киев, 2007. С. 2–3.
  10. Ткаченко С. Б., Берестень Н. Ф. Тканевое доплеровское исследование миокарда. М: Реальное время, 2006.
  11. Strain and Strain Rate Imaging by Echocardiography — Basic Concepts and Clinical Applicability / M. Dandel, H. Lehmkuhl, C. Knosalla [et al.] // *Current Cardiology Review*. 2009. Vol. 5. P. 133–148.
  12. Lundback S. Cardiac pumping and function of the ventricular septum // *Acta Physiol. Scand. Suppl.* 1986. Vol. 550. P. 1–101.
  13. Stoylen A. Strain rate imaging: Cardiac deformation imaging by ultrasound echocardiography: Tissue Doppler and Speckle tracking. URL: // <http://folk.ntnu.no/stoylen/strainrate/index.html#PSS>.
  14. Hoffman E.A., Ritman E.L. Invariant total heart volume in the intact thorax // *Am. J. Physiol.* 1985. Vol. 249. P. 883–890.
  15. Райдинг Э. Эхокардиография / пер. с англ. (Д. Струтинский). М: МЕДпресс-информ, 2010.
  16. Рыбакова М. К., Алехин М. Н., Митьков В. В. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике: Эхокардиография. М: ВИДАР-М, 2008.
  17. Abraham T.P., Dimaano V.L., Liang H.Y. Role of tissue Doppler and strain echocardiography in current clinical practice // *Circulation*. 2007. Vol. 116. P. 2597–2609.
  18. Regional mean systolic myocardial velocity estimation by real-time color Doppler myocardial imaging: a new technique for quantifying regional systolic function / U.M. Wilkenshoff, A. Sovany, L. Wigstrom [et al.] // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1998. Vol. 11 (7). P. 683–692.
  19. Pasquet A., Armstrong G. Use of segmental tissue Doppler velocity to quantitate exercise echocardiography. 1999. Vol. 12 (11). P. 901–912.
  20. Katz W.E., Gulati V.K., Mahler C.M., Gorcsan J. Quantitative evaluation of the segmental left ventricular response to dobutamine stress by tissue Doppler echocardiography // *Am. J. Cardiol.* 1997. Vol. 79. P. 1036–1042.
  21. Heimdal A., Stoylen A., Torp H., Skjaerpe T. Real-time strain rate imaging of the left ventricle by ultrasound // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1998. Vol. 11 (11). P. 1013–1019.
  22. Strain rate imaging by ultrasound in the diagnosis of regional dysfunction of the left ventricle / A. Stoylen, A. Heimdal, K. Bjornstad [et al.] // *Echocardiography*. 1999. Vol. 16 (4). P. 321–329.
  23. Strain rate imaging by ultrasound in the diagnosis of coronary artery disease / A. Stoylen, A. Heimdal, K. Bjornstad [et al.] // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2000. Vol. 13 (12). P. 1053–1064.
  24. Can natural strain and strain rate quantify regional myocardial deformation? A study in healthy subjects / M. Kowalski, T. Kukulski, F. Jamal [et al.] // *Ultrasound Med. Biol.* 2001. Vol. 27. P. 1087–1097.
  25. Segmental and global longitudinal strain and strain rate based on echocardiography of 1266 healthy individuals: the HUNT study in Norway / H. Dalen, A. Thorstensen, S. A. Aase [et al.] // *Eur. J. Echocardiogr.* 2010. Vol. 11 (2). P. 176–183.
  26. Marwick T.H. Measurement of strain and strain rate by echocardiography: ready for prime time? // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2006. Vol. 47 (7). P. 1313–1327.
  27. Yu C.M., Sanderson J.E., Marwick T.H., Oh J.K. Tissue Doppler imaging a new prognosticator for cardiovascular diseases // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2007. Vol. 15? № 49 (19). P. 1903–1914.
  28. Saghir M., Areces M., Makan M. Strain rate imaging differentiates hypertensive cardiac hypertrophy from physiologic cardiac hypertrophy (athlete's heart) // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2007. Vol. 20 (2). P. 151.
  29. Left atrial myocardial function in either physiologic or pathologic left ventricular hypertrophy: a two-dimensional speckle strain study / A. D'Andrea, G. De Corato, R. Scarafilo [et al.] // *Br. J. Sports. Med.* 2008. Vol. 42 (8). P. 696–702.
  30. Strain rate and tissue tracking imaging in quantification of left ventricular systolic function in endurance and strength athletes / S. H. Poulsen, S. Hjortshoj, E. Korup [et al.] // *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2007. Vol. 17 (2). P. 148–155.
  31. An ultrasound speckle tracking (two-dimensional strain) analysis of myocardial deformation in professional soccer players compared with healthy subjects and hypertrophic cardiomyopathy / V. Richard, S. Lafitte, P. Reant [et al.] // *Am. J. Cardiol.* 2007. Vol. 100 (1). P. 128.
  32. Strain-rate imaging during dobutamine stress echocardiography provides objective evidence of inducible ischemia / J.U. Voigt, B. Exner, K. Schmiedehausen [et al.] // *Circulation*. 2003. Vol. 107 (16). P. 2120–2126.
  33. Non-invasive diagnosis of coronary artery disease by quantitative stress echocardiography: optimal diagnostic models using off-line tissue Doppler in the MYDISE study / C.F. Madler, N. Payne, U. Wilkenshoff, A. Cohen [et al.] // *Eur. Heart. J.* 2003. Vol. 24. P. 1584–1594.
  34. Assessment of nonuniformity of transmural myocardial velocities by color-coded tissue Doppler imaging: characterization of normal, ischemic, and stunned myocardium / G. Derumeaux, M. Ovize, J. Loufoua [et al.] // *Circulation*. 2000. Vol. 101. P. 1390–1395.
  35. Prognostic value of longitudinal strain after primary reperfusion therapy in patients with anterior-wall acute myocardial infarction / Y.H. Park, S. J. Kang, J.K. Song [et al.] // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2008. Vol. 21 (3). P. 262.
  36. Automated analysis of myocardial deformation at dobutamine stress echocardiography: an angiography validation / C.B. Ingul, A. Stoylen, S. A. Slordahl [et al.] // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2007. Vol. 49. (15). P. 1651.
  37. Strain rate measurement by Doppler echocardiography allows improved assessment of myocardial viability in patients with depressed left ventricular function / R. Hoffmann, E. Altiok, B. Nowak [et al.] // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2002. Vol. 39. P. 443–449.
  38. Tissue Doppler imaging consistently detects myocardial contraction and relaxation abnormalities, irrespective of cardiac hypertrophy, in a transgenic rabbit model of human hypertrophic cardiomyopathy / S. F. Nagueh, H.A. Kopelen, D. S. Lim [et al.] // *Circulation*. 2000. Vol. 102. P. 1346–1350.
  39. Yuda S., Short L., Leano R., Marwick T.H. Myocardial abnormalities in hypertensive patients with normal and abnormal left ventricular filling: a study of ultrasound tissue characterization and strain // *Clin. Sci.* 2002. Vol. 130. P. 283–293.
  40. Differences in myocardial velocity gradient measured throughout the cardiac cycle in patients with hypertrophic cardiomyopathy, athletes and patients with left ventricular hypertrophy due to hypertension / P. Palka, A. Lange, A.D. Fleming [et al.] // *J. Am. Coll. Cardiol.* 1997. Vol. 30. P. 760–768.
  41. Koyama J., Ray-Sequin P. A., Davidoff R., Falk R.H. Usefulness of pulsed tissue Doppler imaging for evaluating systolic and diastolic left ventricular function in patients with AL (primary) amyloidosis // *Am. J. Cardiol.* 2002. Vol. 89. P. 1067–1071.
  42. Koyama J., Ray-Sequin P. A., Falk R.H. Longitudinal myocardial function assessed by tissue velocity, strain, and strain rate tissue Doppler echocardiography in patients with

AL (primary) cardiac amyloidosis // *Circulation*. 2003. Vol. 107. P. 2446–2452.

43. Decreased left ventricular longitudinal contraction in normotensive and normoalbuminuric patients with Type II diabetes mellitus: a doppler tissue tracking and strain rate echocardiography study / N.H. Andersen, S. H. Poulsen, H. Eiskjaer [et al.] // *Clin. Sci*. 2003. Vol. 105 (1). P. 59–66.

44. Алехин М. Н. Ультразвуковые методики оценки деформации миокарда и их клиническое значение. Клиническое значение показателей деформации и вращения миокарда (лекция 3) // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2012. № 1. С. 95–115.

45. Hoit B.D. Strain and Strain Rate Echocardiography and Coronary Artery Disease *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2011. Vol. 4. P. 179–190.

46. Strain and strain rate imaging: a new clinical approach to quantifying regional myocardial function / G.R. Sutherland, G. Di Salvo, P. Claus [et al.] // *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2004. Vol. 17. P. 788–802.

### Translit

1. 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.M. Lang, L.P. Badano [et al.] // *European Journal of Echocardiography*. 2011. Vol. 12. P. 167–205.

2. Characteristics of mitral and tricuspid annular velocities determined by pulsed wave Doppler tissue imaging in healthy subjects / M. Alam, J. Wardell, E. Andersson [et al.] // *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 1999. Vol. 12. P. 618–628.

3. Simonson J.S., Schiller N.B. Descent of the base of the left ventricle: an echocardiographic index of left ventricular function // *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 1989. Vol. 2. P. 25–35.

4. Aljohin M.N. Tkanevoj doppler v klinicheskoj jehografii. M., 2006.

5. Alehin M.N. Vozmozhnosti prakticheskogo ispol'zovaniya tkanevogo dopplera. Lekcija 1: Tkanevoj doppler: principy metoda i ego osobennosti. Osnovnye rezhimy, metodika registracii i analiza // Ul'trazvukovaja i funkcional'naja diagnostika. 2002. № 3. S. 115–125.

6. Hadzegova A.B., Kopeleva M.V., Jushhuk E.N.. Sovremennye vozmozhnosti tkanevoj dopplerografii i oblasti ee primeneniya // *Serdce: zhurnal dlja praktikujushhijh vrachej*. 2010. № 4 (54). S. 251–261.

7. Olejnikov V. Je., Galimskaja V.A., Donchenko I.A. Ocenka deformatsionnykh harakteristik miokarda u zdorovykh lic razlichnykh vozrastnykh grupp jehokardiograficheskim metodom X-Strain // *Kardiologija*. 2012. № 2. № 65–69.

8. Tissue tracking allows rapid and accurate visual evaluation of left ventricular function / C. Pan, R. Hoffman, H. Kuhl [et al.] // *Eur. J. Echocardiography*. 2001. Vol. 2. P. 197–202.

9. Afanas'eva E., Grushevskaja E. Metodika ocenki sistolo-diaistolicheskoj deformatsii miokarda // *Novaja medicina tyszachetija*. Kiev, 2007. S. 2–3.

10. Tkachenko S. B., Beresten N.F. Tkanevoe dopplerovskoe issledovanie miokarda. M: Real'noe vremja, 2006.

11. Strain and Strain Rate Imaging by Echocardiography — Basic Concepts and Clinical Applicability / M. Dandel, H. Lehmkühl, C. Knosalla [et al.] // *Current Cardiology Review*. 2009. Vol. 5. P. 133–148.

12. Lundback S. Cardiac pumping and function of the ventricular septum // *Acta Physiol. Scand. Suppl*. 1986. Vol. 550. P. 1–101.

13. Stoylen A. Strain rate imaging: Cardiac deformation imaging by ultrasound echocardiography: Tissue Doppler and Speckle tracking. URL: //http://folk.ntnu.no/stoylen/strainrate/index.html#PSS.

14. Hoffman E.A., Ritman E.L. Invariant total heart volume in the intact thorax // *Am. J. Physiol*. 1985. Vol. 249. P. 883–890.

15. Rajding Je. Jekardiografija / per. s angl. (D. Strutynskij). M: MEDpress-inform, 2010.

16. Rybakova M. K., Alehin M. N., Mit'kov V. V. Prakticheskoe rukovodstvo po ul'trazvukovoj diagnostike: Jekardiografija. M: VIDAR-M, 2008.

17. Abraham T.P., Dimaano V.L., Liang H.Y. Role of tissue Doppler and strain echocardiography in current clinical practice // *Circulation*. 2007. Vol. 116. P. 2597–2609.

18. Regional mean systolic myocardial velocity estimation by real-time color Doppler myocardial imaging: a new technique for quantifying regional systolic function / U.M. Wilkenshoff, A. Sovany, L. Wigstrom [et al.] // *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 1998. Vol. 11 (7). P. 683–692.

19. Pasquet A., Armstrong G. Use of segmental tissue Doppler velocity to quantitate exercise echocardiography. 1999. Vol. 12 (11). P. 901–912.

20. Katz W.E., Gulati V.K., Mahler C.M., Gorcsan J. Quantitative evaluation of the segmental left ventricular response to dobutamine stress by tissue Doppler echocardiography // *Am. J. Cardiol*. 1997. Vol. 79. P. 1036–1042.

21. Heimdal A., Stoylen A., Torp H., Skjaerpe T. Real-time strain rate imaging of the left ventricle by ultrasound // *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 1998. Vol. 11 (11). P. 1013–1019.

22. Strain rate imaging by ultrasound in the diagnosis of regional dysfunction of the left ventricle / A. Stoylen, A. Heimdal, K. Bjornstad [et al.] // *Echocardiography*. 1999. Vol. 16 (4). P. 321–329.

23. Strain rate imaging by ultrasound in the diagnosis of coronary artery disease / A. Stoylen, A. Heimdal, K. Bjornstad [et al.] // *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2000. Vol. 13 (12). P. 1053–1064.

24. Can natural strain and strain rate quantify regional myocardial deformation? A study in healthy subjects / M. Kowalski, T. Kukulski, F. Jamal [et al.] // *Ultrasound Med. Biol*. 2001. Vol. 27. P. 1087–1097.

25. Segmental and global longitudinal strain and strain rate based on echocardiography of 1266 healthy individuals: the HUNT study in Norway / H. Dalen, A. Thorstensen, S. A. Aase [et al.] // *Eur. J. Echocardiogr*. 2010. Vol. 11 (2). P. 176–183.

26. Marwick T.H. Measurement of strain and strain rate by echocardiography: ready for prime time? // *J. Am. Coll. Cardiol*. 2006. Vol. 47 (7). P. 1313–1327.

27. Yu C.M., Sanderson J.E., Marwick T.H., Oh J.K. Tissue Doppler imaging a new prognosticator for cardiovascular diseases // *J. Am. Coll. Cardiol*. 2007. Vol. 15? № 49 (19). P. 1903–1914.

28. Saghir M., Areces M., Makan M. Strain rate imaging differentiates hypertensive cardiac hypertrophy from physiologic cardiac hypertrophy (athlete's heart) // *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2007. Vol. 20 (2). P. 151.

29. Left atrial myocardial function in either physiologic or pathologic left ventricular hypertrophy: a two-dimensional speckle strain study / A. D'Andrea, G. De Corato, R. Scarafite [et al.] // *Br. J. Sports. Med*. 2008. Vol. 42 (8). P. 696–702.

30. Strain rate and tissue tracking imaging in quantification of left ventricular systolic function in endurance and strength athletes / S. H. Poulsen, S. Hjortshoj, E. Korup [et al.] // *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2007. Vol. 17 (2). P. 148–155.

31. An ultrasound speckle tracking (two-dimensional strain) analysis of myocardial deformation in professional soccer players compared with healthy subjects and hypertrophic cardiomyopathy / V. Richand, S. Lafitte, P. Reant [et al.] // *Am. J. Cardiol*. 2007. Vol. 100 (1). P. 128.

32. Strain-rate imaging during dobutamine stress echocardiography provides objective evidence of inducible ischemia / J.U. Voigt, B. Exner, K. Schmiedehausen [et al.] // *Circulation*. 2003. Vol. 107 (16). P. 2120–2126.

33. Non-invasive diagnosis of coronary artery disease by quantitative stress echocardiography: optimal diagnostic models using off-line tissue Doppler in the MYDISE study / C.F. Madler, N. Payne, U. Wilkenshoff, A. Cohen [et al.] // *Eur. Heart. J*. 2003. Vol. 24. P. 1584–1594.

34. Assessment of nonuniformity of transmural myocardial velocities by color-coded tissue Doppler imaging: characterization of normal, ischemic, and stunned myocardium / G. Derumeaux, M. Ovize, J. Loufoua [et al.] // *Circulation*. 2000. Vol. 101. P. 1390–1395.

35. Prognostic value of longitudinal strain after primary reperfusion therapy in patients with anterior-wall acute myocardial infarction / Y.H. Park, S. J. Kang, J.K. Song [et al.] // *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2008. Vol. 21 (3). P. 262.

36. Automated analysis of myocardial deformation at dobutamine stress echocardiography: an angiography validation / C.B. Ingul, A. Stoylen, S. A. Stordahl [et al.] // *J. Am. Coll. Cardiol*. 2007. Vol. 49. (15). P. 1651.

37. Strain rate measurement by Doppler echocardiography allows improved assessment of myocardial viability in patients with depressed left ventricular function / R. Hoffmann, E. Altiok, B. Nowak [et al.] // *J. Am. Coll. Cardiol*. 2002. Vol. 39. P. 443–449.

38. Tissue Doppler imaging consistently detects myocardial contraction and relaxation abnormalities, irrespective of cardiac hypertrophy, in a transgenic rabbit model of human hypertrophic cardiomyopathy / S. F. Nagueh, H.A. Kopelen, D.S. Lim [et al.] // *Circulation*. 2000. Vol. 102. P. 1346–1350.

39. Yuda S., Short L., Leano R., Marwick T.H. Myocardial abnormalities in hypertensive patients with normal and abnormal left ventricular filling: a study of ultrasound tissue characterization and strain // *Clin. Sci.* 2002. Vol. 130. P. 283–293.

40. Differences in myocardial velocity gradient measured throughout the cardiac cycle in patients with hypertrophic cardiomyopathy, athletes and patients with left ventricular hypertrophy due to hypertension / P. Palka, A. Lange, A.D. Fleming [et al.] // *J. Am. Coll. Cardiol.* 1997. Vol. 30. P. 760–768.

41. Koyama J., Ray-Sequin P.A., Davidoff R., Falk R.H. Usefulness of pulsed tissue Doppler imaging for evaluating systolic and diastolic left ventricular function in patients with AL (primary) amyloidosis // *Am. J. Cardiol.* 2002. Vol. 89. P. 1067–1071.

42. Koyama J., Ray-Sequin P.A., Falk R.H. Longitudinal myocardial function assessed by tissue velocity, strain, and strain

rate tissue Doppler echocardiography in patients with AL (primary) cardiac amyloidosis // *Circulation*. 2003. Vol. 107. P. 2446–2452.

43. Decreased left ventricular longitudinal contraction in normotensive and normoalbuminuric patients with Type II diabetes mellitus: a doppler tissue tracking and strain rate echocardiography study / N.H. Andersen, S. H. Poulsen, H. Eiskjaer [et al.] // *Clin. Sci.* 2003. Vol. 105 (1). P. 59–66.

44. Aljohin M. N. Ul»trazvukovye metodiki ocenki deformacii miokarda i ih klinicheskoe znachenie. Klinicheskoe znachenie pokazatelej deformacii i vrashhenija miokarda (lekcija 3) // Ul»trazvukovaja i funkcional'naja diagnostika. 2012. № 1. S. 95–115.

45. Hoit B.D. Strain and Strain Rate Echocardiography and Coronary Artery Disease *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2011. Vol. 4. P. 179–190.

46. Strain and strain rate imaging: a new clinical approach to quantifying regional myocardial function / G. R. Sutherland, G. Di Salvo, P. Claus [et al.] // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2004. Vol. 17. P. 788–802.

УДК:616.33–002.44–08:615.846.19 (04)

Оригинальная статья

## ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ТЕСТОВ В ДИАГНОСТИКЕ ИНФЕКЦИИ *HELICOBACTER PYLORI*

**И. В. Маев** — ГБОУ ВПО Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова Минздрава России, заведующий кафедрой пропедевтики внутренних болезней и гастроэнтерологии лечебного факультета, первый проректор, проректор по учебной работе, член-корреспондент РАМН, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный врач РФ, профессор, доктор медицинский наук; **А. А. Самсонов** — ГБОУ ВПО Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова Минздрава России, кафедра пропедевтики внутренних болезней и гастроэнтерологии лечебного факультета, профессор, доктор медицинский наук; **Р. А. Айвазова** — ГБОУ ВПО Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова Минздрава России, кафедра пропедевтики внутренних болезней и гастроэнтерологии лечебного факультета, ассистент, кандидат медицинских наук; **С. И. Рапопорт** — ГБОУ ВПО Первый Московский ГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России, заведующий лабораторией «Хрономедицина и новые технологии в клинике внутренних болезней», заслуженный деятель науки РФ, профессор, доктор медицинский наук; **В. Б. Гречушников** — Центральная клиническая больница ОАО «РЖД» № 6, заведующий эндоскопическим отделением, врач высшей категории, кандидат медицинских наук; **Б. В. Афонин** — Государственный научный центр РФ Институт медико-биологических проблем РАН, ведущий научный сотрудник, кандидат медицинских наук; **Л. В. Сакович** — ООО TSD ISOTOPES Ltd, генеральный директор.

### RESPIRATORY TESTS IN THE DIAGNOSTICS OF *HELICOBACTER PYLORI* INFECTION

**I. V. Mayev** — Moscow State Medico-stomatological University n.a. A. I. Evdokimov, Head of Department of Propaedeutics of Internal Diseases and Gastroenterology of Medical Faculty, Professor, Doctor of Medical Science; **A. A. Samsonov** — Moscow State Medico-stomatological University n.a. A. I. Evdokimov, Department of Propaedeutics of Internal Diseases and Gastroenterology of Medical Faculty, Professor, Doctor of Medical Science; **R. A. Ayvazova** — Moscow State Medico-stomatological University n.a. A. I. Evdokimov, Department of Propaedeutics of Internal Diseases and Gastroenterology of Medical Faculty, Assistant, Candidate of Medical Science **S. I. Rapoport** — First Moscow State Sechenov University, Head of Laboratory «Chronomedicine and New Technologies in Treatment of Internal Diseases», Professor, Doctor of Medical Science; **V. B. Grechushnikov** — Moscow Central Hospital № 6, Head of Endoscopic Department, Candidate of Medical Science; **B. V. Afonin** — State Scientific Center of Medico-biological Problems, Chief Research Assistant, Candidate of Medical Science; **L. V. Sakovich** — Director of «TSD ISOTOPES Ltd».

Дата поступления — 12.01.2013 г.

Дата принятия в печать — 28.02.2013 г.

**Маев И. В., Самсонов А. А., Айвазова Р. А., Рапопорт С. И., Гречушников В. Б., Афонин Б. В., Сакович Л. В.** Диагностическая значимость дыхательных тестов в диагностике инфекции *Helicobacter pylori* // Саратовский научно-медицинский журнал. 2013. Т. 9, № 1. С. 57–64.

**Цель:** сравнительная оценка информативности различных методик уреазного дыхательного теста в диагностике *H. pylori*. **Материал и методы.** Исследование наличия *H. pylori* в желудке было проведено дыхательными тестами у 106 больных с различными заболеваниями желудка и двенадцатиперстной кишки. Все исследования проводились амбулаторно, не зависящими друг от друга врачами. После выполнения дыхательных тестов всем обследованным была проведена эзофагогастродуоденоскопия с биопсией слизистой и последующим определением в биоптатах *H. pylori* гистологическим методом. Проводились <sup>13</sup>C- и <sup>14</sup>C- уреазные дыхательные тесты. Полученные результаты сравнивали с аммиачными уреазными дыхательными тестами ООО «Ассоциация Медицины и Аналитики» (ООО «АМА»), Россия, Санкт-Петербург) и газоанализатором «Helico-Sense» (НТП «ТКА», Россия, Санкт-Петербург). **Результаты.** Проведенные исследования показали, что уреазные дыхательные тесты, используемые для диагностики *H. pylori*, методически просты в исполнении, не вызывают негативного отношения у пациентов, позволяют получить ответ в течение одного часа. **Заключение.** Результаты сравнительных исследований показали, что аммиачные уреазные дыхательные тесты определения *H. pylori* в желудке в модификации Хелик-тест (индикаторные трубки), «Хелиак-аппарат» (НПА) «Helico-Sense» (НТП «ТКА») обладают меньшей чувствительностью, чем <sup>13</sup>C-уреазный дыхательный тест, и могут использоваться для первичной диагностики, результаты которой требуют проведения дополнительных методов диагностики. Низкая специфичность этих методик и, как следствие, высокая частота ложноположительных результатов не допускают использование их для контроля эффективности эрадикации *H. pylori* или проведения диспансеризации населения.

**Ключевые слова:** *Helicobacter pylori*, <sup>13</sup>C-уреазный дыхательный тест (<sup>13</sup>C-УДТ), <sup>14</sup>C-уреазный дыхательный тест (<sup>14</sup>C-УДТ).