

## Обзоры

НИКИФОРОВ В. С., ТЮТИН А. Р.,  
ПАЛАГУТИН М. А., ЕГОРОВА Н. А.,  
СВИСТОВ А. С.

### Неинвазивная оценка гемодинамики с помощью тканевой доплерографии

*Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург*  
*e-mail:*

#### Реферат

В статье рассматриваются вопросы оценки гемодинамики с помощью тканевой доплерографии — современной методики эхокардиографии. Уделено внимание методикам оценки скорости движения миокарда. Подчеркнуты диагностические возможности и ограничения использования тканевой доплерографии миокарда.

**Ключевые слова:** тканевая доплерография миокарда, гемодинамика, скорость движения миокарда, эхокардиография.

Nikiforov V. S., Tyutin A. R., Palagutin M. A.,  
Egorova N. A., Svistov A. S.

### Noninvasive evaluation of hemodynamic by tissue Doppler imaging

*S. M. Kirov's Military Medical Academy, Saint-Petersburg*  
*e-mail:*

#### Abstract

The present article is devoted to evaluation of hemodynamic by tissue Doppler imaging, which is the new echocardiographic technique. Tissue myocardial velocity imaging is described. The article reviews possibilities and limitations of tissue Doppler imaging.

**Keywords:** tissue doppler imaging, hemodynamic, tissue myocardial velocity, echocardiography.

#### Введение

Тканевая доплерография (ТД) миокарда — неинвазивный ультразвуковой метод исследования сердца, основанный на эффекте Доплера, позволяющий количественно оценить скорость движения миокарда и сердечных структур, а также временные характеристики кардиоцикла [10].

В отличие от традиционной эходопплерографии, для выполнения тканевой доплерографии существуют определенные требования к ультразвуковой аппаратуре, что связано с особенностями кинетики миокарда. Так, движение волокон миокарда отличается от внутрисердечного кровотока меньшей амплитудой и большей скоростью [2].

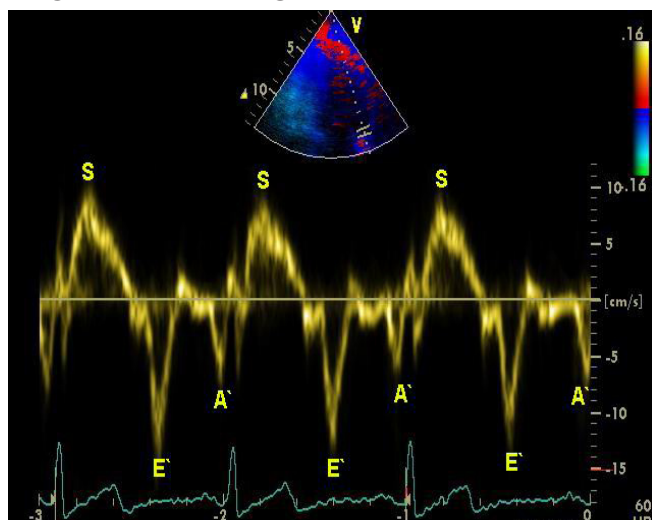
Существует несколько режимов ТД: цветовой двухмерный, цветовой одномерный, импульсно-волновой режим и режимы постобработки — оценка деформации (strain), скорости деформации (strain rate), режимы тканевого следа (tissue tracking), тканевой синхронизации (tissue synchronization imaging).

Благодаря простоте, доступности в большинстве современных ультразвуковых аппаратах и возможности разносторонней оценки гемодинамики в настоящее время в клинической практике наиболее

распространен импульсно-волновой тканевой доплеровский режим [5]. Он представляет собой регистрацию скорости движения миокарда или сердечных структур в конкретной зоне интереса.

Изменение скоростных показателей в течение кардиоцикла регистрируется в виде волнообразной кривой (рис.1), состоящей из положительно направленной систолической волны S (systolic) и двух отрицательно направленных диастолических волн, E' (early) и A' (atrial), которые соответствуют фазам раннего диастолического наполнения и систолы предсердий [7].

Систолическая волна часто имеет два пика S1 и S2. Считается, что пик S1 отражает изоволюмическое систолическое напряжение миокарда, S2 — собственно систолическое сокращение [5]. Волна S обусловлена сокращением миокарда желудочков и отражает систолическую функцию сердца. Волна E' вызвана ранним диастолическим движением волокон миокарда во время раннего диастолического наполнения. Волна A' обусловлена поздним диастолическим движением волокон миокарда и возникает в результате сокращения предсердий [21].



**Рис. 1.** Импульсно-волновая тканевая доплерография митрального кольца в области боковой стенки левого желудочка: S — волна систолической скорости движения миокарда; E' — волна ранней диастолической скорости движения миокарда; A' — волна поздней диастолической скорости движения миокарда (сокращения предсердий)

Данный обзор посвящен основным направлениям оценки гемодинамики с помощью импульсно-волновой тканевой доплерографии.

#### *Оценка с помощью ТД систолической функции*

По мнению ряда авторов, изменение скоростных характеристик движения миокарда, определяемое с помощью ТД, считается лучшим критерием нарушений глобальной систолической функции, по сравнению с таким распространенным эхокардиографическим показателем, как фракция выброса [5, 9].

Оценка глобальной сократимости с помощью ТД основана на измерениях скорости смещения фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов. Поскольку эти измерения выполняют из верхушечных ультразвуковых сечений, в которых регистрируется продольное движение волокон миокарда, то есть тех волокон, которые расположены субэндокардиально, нередко говорят об оценке «продольной» (систолической или диастолической) функции сердца [2, 11].

Показано клиническое значение оценки скоростей движения фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов, амплитуда движения которых коррелирует с глобальной сократимостью желудочков [34]. Определяя продольную функцию левого желудочка (ЛЖ) при помощи ТД, можно выявить субклиническую систолическую дисфункцию ЛЖ даже у бессимптомных больных [24].

Регистрация движения фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов в импульсно-волновом тканевом доплеровском режиме более проста и воспроизводима по сравнению с регистрацией движения различных сегментов миокарда. Этому способствует как наибольшая скорость перемещения фиброзных колец атриовентрикулярных клапанов, так и четкость анатомических ориентиров [7].

По данным ряда авторов, нормальным показателем систолической функции левого желудочка считается пиковая систолическая скорость движения

митрального кольца S в среднем от 9,34 см/с до 18 см/с [2]. При развитии изолированной диастолической дисфункции этот показатель снижается до 6,74 см/с. При развитии же диастолической сердечной недостаточности составляет не более 5,64 см/с [2]. По мнению же других авторов, снижение систолической скорости движения митрального кольца менее 8 см/с уже является показателем нарушения систолической функции продольных волокон ЛЖ [15, 18].

Однако существуют также данные о том, что показатель пиковой систолической скорости движения митрального кольца до 6,5 см/с встречается в норме и только при снижении ее до уровня 5,3 см/с можно говорить о субклинической систолической дисфункции [23]. Значения максимальной систолической скорости движения митрального кольца 5,4 см/с и более с чувствительностью 89 % и специфичностью 85 % могут свидетельствовать о величине фракции выброса более 50 % [2].

Имеются данные о том, что пиковая систолическая скорость движения митрального кольца изменяется обратно пропорционально артериальной постнагрузке [18].

Нередко в клинике дисфункция миокарда отождествляется с ЛЖ. Между тем судить о состоянии правого желудочка (ПЖ), исходя из показателей функции ЛЖ, представляется неправомерным ввиду различий в их конфигурации, механизмах функционирования, наличия различных по структуре и функции малого и большого бассейнов, в которые изгоняется кровь, строения проводящей системы, обуславливающей асинхронность их сокращения [3].

Существует ряд ограничений к исследованию систолической функции правого желудочка с помощью эхокардиографии (ЭхоКГ). Существенную погрешность в измерения вносят сложная форма ПЖ — треугольная в продольном сечении и полумесяца в поперечном, а также существенное отличие сокращения ПЖ от сокращения ЛЖ (из-за своеобразной формы ПЖ с большой площадью стенок, по сравнению с расстояниями между ними, сокращение происходит в основном за счет движения внутрь свободной стенки ПЖ с относительно небольшим движением длинных стенок ПЖ по направлению друг к другу) [7]. Альтернативой традиционной ЭхоКГ в плане оценки функции ПЖ может быть тканевая доплерография [20, 30].

С помощью ТД для оценки систолической функции ПЖ вычисляют пиковую систолическую скорость движения S трикуспидального кольца. В ряде исследований обнаружена прямая и статистически достоверная корреляция между систолической скоростью трикуспидального кольца и фракцией выброса [20].

В норме показатель S ПЖ значительно больше этого же показателя для ЛЖ и, по данным разных авторов, составляет от 15,5 до 21,55 см/с [7, 20]. Систолическая скорость трикуспидального кольца менее 11,5 см/с позволяет предсказать дисфункцию ПЖ (фракция выброса менее 45 %) с чувствительностью 90 % и специфичностью 85 % [20].

*Оценка с помощью ТД диастолической функции*

Импульсно-волновое тканевое доплерографическое измерение позволяет получить ценную информацию и о диастолической функции ЛЖ [16, 25].

В отличие от изменений раннедиастолической волны трансмитрального кровотока, которая увеличивается в фазу псевдонормализации по мере перехода от ригидного к рестриктивному типу нарушений диастолического наполнения ЛЖ, максимальная скорость движения митрального кольца в раннюю диастолу постоянно уменьшается по мере прогрессирования диастолической дисфункции (рис. 2) [26].

По данным ряда авторов, нормальной считается ранняя диастолическая скорость движения митрального кольца  $E'$ , в среднем от 10,84 до 15,2 см/с, а при развитии изолированной диастолической дисфункции у больных этот показатель снижается до 6,54 см/с [2]. При развитии же диастолической сердечной недостаточности этот показатель уже составляет не более 4,94 см/с [23].

При этом в литературе имеются разные критерии диастолической дисфункции ЛЖ по данным ТД. Так, по мнению одних авторов, для диагностики диастолической дисфункции достаточно снижения  $E'$  менее 11 см/с (чувствительность 78 %, специфичность 67 %) [37]. По другим данным этот показатель должен составлять менее 8 см/с [27].

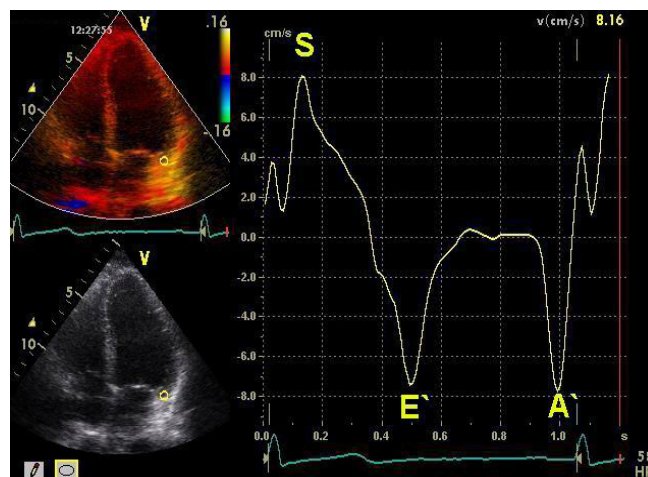
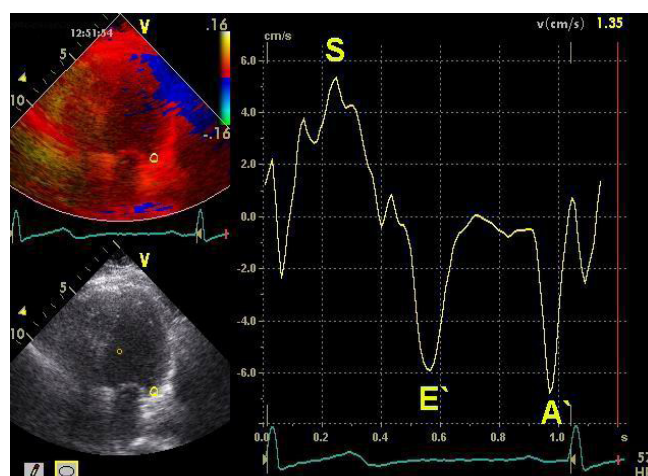
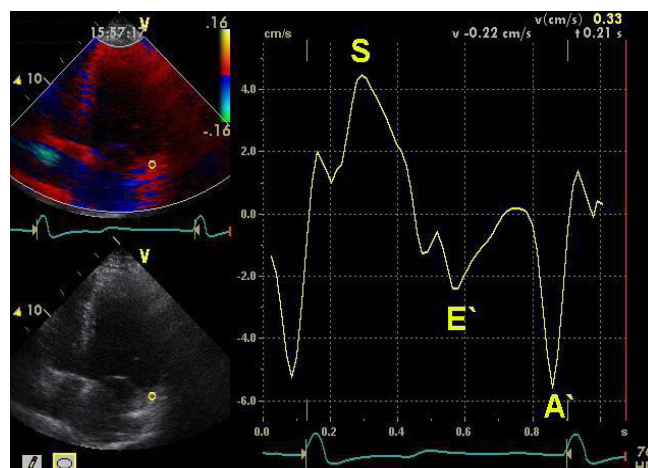
Диастолические скорости движения митрального кольца, по мнению ряда авторов, не зависят от частоты сердечных сокращений, систолического артериального давления и фракции выброса ЛЖ [2].

ТД может быть полезна и для оценки диастолической функции правого желудочка. Анализ диастолических скоростей движения трикуспидального кольца дает дополнительную диагностическую информацию как при патологии правых отделов сердца, так и при состояниях, связанных с поражением левого желудочка [35].

Миокардиальная ранняя диастолическая скорость движения для ПЖ в норме выше аналогичного показателя для ЛЖ и составляет в среднем 18–20 см/с [39].

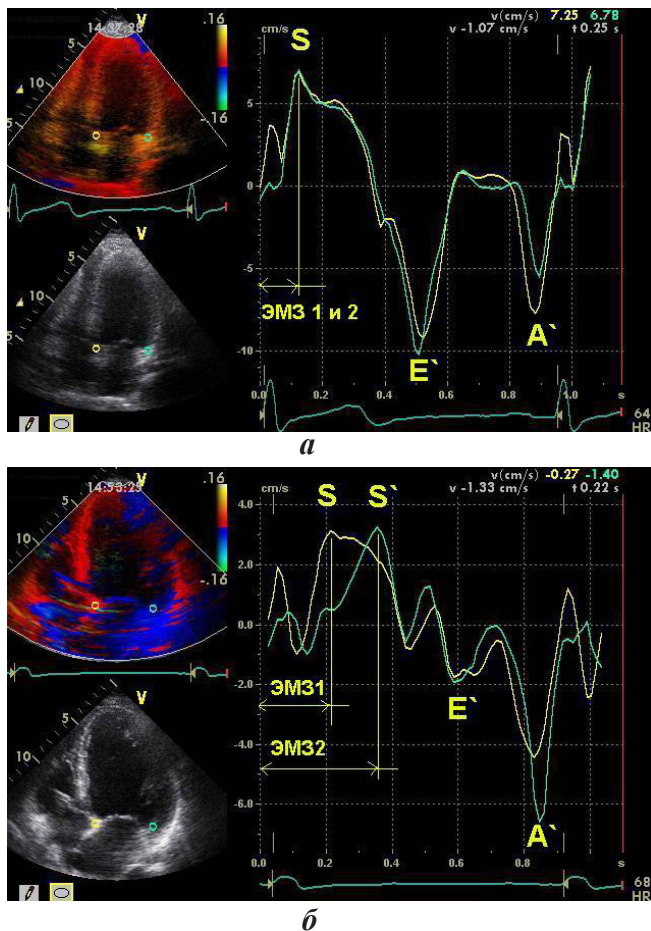
*Оценка гемодинамической функции предсердий*

Гемодинамическая роль предсердий в условиях нормосистолии и при отсутствии нарушений диастолического расслабления относительно невелика: вклад систолы предсердий в сердечный выброс составляет не более 15–30 %, что позволяет характеризовать их лишь дополнительным насосом для наполнения желудочков, однако на ранних этапах дисфункции миокарда систола предсердий приобретает принципиально важную компенсаторную роль [1, 14]. Для того чтобы в диастолу обеспечить достаточное наполнение желудочка кровью из-за неспособности его адекватно расслабиться и тем самым обеспечить необходимое снижение давления внутри его полости за счет пассивного перетекания крови из предсердия (фаза раннего наполнения), требуется дополнительное возрастание силы предсердного сокращения (фаза позднего наполнения) [32].

*a**б**в*

**Рис. 2.** Импульсно-волновая тканевая доплерография митрального кольца в области боковой стенки левого желудочка в режиме количественного анализа. *a* — у здорового человека; *б* — у пациента с начальными проявлениями дисфункции миокарда; *в* — у пациента с выраженной сердечной недостаточностью: S — волна систолической скорости движения миокарда;  $E'$  — волна ранней диастолической скорости движения миокарда;  $A'$  — волна поздней диастолической скорости движения миокарда (сокращения предсердий)





**Рис. 3.** Импульсно-волновая тканевая доплерография митрального кольца в режиме количественного анализа. **а** — у здорового человека без гемодинамически значимой внутрисердечной диссинхронии: S — волны (пики сливаются) систолической скорости движения миокарда в области задних отделов межжелудочковой перегородки и боковой стенки левого желудочка; E' — волна ранней диастолической скорости движения миокарда; A' — волна поздней диастолической скорости движения миокарда (сокращения предсердий); ЭМЗ 1 и 2 — электромеханическая задержка миокарда задних отделов межжелудочковой перегородки и боковой стенки левого желудочка. **б** — у пациента с сердечной недостаточностью с выраженной внутрисердечной диссинхронией: S — волна систолической скорости движения миокарда в области задних отделов межжелудочковой перегородки; S' — волна систолической скорости движения миокарда в области боковой стенки левого желудочка; E' — волна ранней диастолической скорости движения миокарда; A' — волна поздней диастолической скорости движения миокарда (сокращения предсердий); ЭМЗ 1 — электромеханическая задержка миокарда задних отделов межжелудочковой перегородки; ЭМЗ 2 — электромеханическая задержка миокарда боковой стенки левого желудочка

В настоящее время для анализа гемодинамической функции предсердий используется оценка миокардиальной поздней диастолической скорости движения A' [5]. При помощи ТД ЛП выявлено, что у больных артериальной гипертензией по сравнению со здоровыми более высокие показатели активного сокращения предсердий A' [38].

### Оценка давления в полостях камер сердца

В настоящее время ТД используется для оценки внутрисердечного давления. Предложены критерии, характеризующие среднее давление заклинивания в легочной артерии, конечное диастолическое давление в левом желудочке и среднее давление в правом предсердии [8, 12, 19, 22, 31]. В их основе лежит совместный анализ кровотока через атриовентрикулярные клапаны и ТД фиброзных колец этих клапанов [2].

Так, заключение о величине конечного диастолического давления в левом желудочке может быть сделано по отношению пиковых скоростей раннего диастолического наполнения (доплерография трансмитрального кровотока) и раннего диастолического движения митрального кольца E/E' [12]. Значение E/E' менее 8 свидетельствует о нормальном давлении, а значение E/E' более 15 соответствует повышенному конечному диастолическому давлению в ЛЖ (давление заклинивания более 12 мм рт. ст.) [2, 12]. Промежуточные значения считаются неинформативными [26].

Имеются данные о том, что значение E/E' трикуспидального кольца > 6 свидетельствует о повышении среднего давления в правом предсердии (на 10 мм рт. ст. и больше) с чувствительностью 79 % и специфичностью 73 % [2].

Ограничением использования такого рода оценки внутрисердечного давления может быть выраженная недостаточность исследуемого атриовентрикулярного клапана.

### Оценка с помощью ТД гемодинамической значимости диссинхронии миокарда

Глобальная сократимость желудочков зависит не только от состояния локальной сократимости, но и от синхронности сокращения отдельных участков миокарда желудочков. Строение электрической проводящей системы сердца обуславливает определенную физиологическую электрическую диссинхронию. Однако в норме достаточно выраженная физиологическая электрическая диссинхрония сердца не приводит к серьезной механической диссинхронии (разобщенности сокращений камер и сегментов миокарда), в связи с существованием физиологической электромеханической задержки (времени от начала электрического возбуждения (зубец Q ЭКГ) до момента регистрации механического движения миокарда в зоне интереса), которая нивелирует особенности распространения электрической активации камер сердца, обеспечивая конкордантное сокращение миокарда и изгнание крови из желудочков [4].

Сопоставление электромеханической задержки, измеренной на разных участках миокарда, дает возможность анализировать выраженность, а следовательно, гемодинамическую значимость межжелудочковой и внутрижелудочковой диссинхронии [6].

Внутрикамерная и межкамерная асинхрония обнаруживаются при большинстве сердечно-сосудистых заболеваний, обусловленных изменением пред- и постнагрузки желудочков, нарушением электрических и механических свойств камер. И они же являются одними из ключевых моментов формирования

насосной и сократительной дисфункции миокарда [13].

Установлено, что удлинение комплекса QRS ЭКГ более 120 мс является маркером межжелудочковой и/или внутрижелудочковой десинхронии и прогностически связано с развитием сердечной недостаточности [17]. Однако некоторые авторы считают, что такой критерий для оценки ЛЖ диссинхронии не является корректным показателем механической диссинхронии [29]. Считается, что механическая диссинхрония сердца может существовать без ее электрической манифестации на ЭКГ. В подобных случаях ЭКГ не является основным методом определения наличия диссинхронии у пациентов с ХСН [33].

Имеются данные о возможности определения выраженности диссинхронии миокарда с помощью импульсно-волновой доплерографии, синхронизированной с ЭКГ, по времени возникновения и продолжительности потоков в выносящем тракте аорты и легочной артерии [17].

В то же время ТД позволяет не только выявлять внутри- и межжелудочковую диссинхронию, но и определить участки миокарда, в которых временные отклонения более выражены [36]. Графики пиковой скорости движения миокарда в импульсно-волновом режиме могут быть получены от всех сегментов ЛЖ: межжелудочковой перегородки, боковой, передней, нижней, передне-перегородочной, задней стенок, ПЖ и предсердий, благодаря чему ТД занимает лидирующее положение в оценке диссинхронии миокарда [40].

Измеренный с помощью ТД интервал от зубца Q на ЭКГ до пиковой систолической скорости исследуемого сегмента левого желудочка или до начала

положительного компонента систолической скорости позволяет оценить электромеханическую задержку (рис. 3) [17, 29]. Локальную диастолическую диссинхронию определяют на основании дисперсии интервала QE (от начала Q до момента регистрации пика диастолической волны, соответствующей фазе быстрого наполнения ЛЖ) [4]. Тканевые критерии гемодинамической значимости диссинхронии остаются в стадии разработки.

#### *Ограничения использования тканевой доплерографии*

В настоящее время ТД не включена в отечественные протоколы стандартного эхокардиографического исследования. Постоянное совершенствование соответствующей эхокардиографической аппаратуры, множество количественных показателей, а также отсутствие их общепринятых нормативов ограничивают использование этой методики в широкой клинической практике [7]. К недостаткам ТД следует отнести погрешности измерений, характерные для методик, основанных на эффекте Допплера [2].

#### **Заключение**

Применение тканевой доплерографии расширяет диагностические возможности традиционной эхокардиографии в оценке гемодинамики. Однако ввиду обилия количественных показателей и отсутствия их общепринятых критериев тканевая доплерография пока не нашла широкого применения в клинической практике. В настоящее время продолжается поиск информативных параметров ТД для оценки эффективности лечебных мероприятий и прогноза при заболеваниях сердечно-сосудистой системы.

#### **Литература**

1. Алексеева, О. А. Возможности доплерографии в оценке функционального состояния сердца у больных артериальной гипертензией с нарушением диастолической функции сердца / О. А. Алексеева, М. Н. Алехин, Б. А. Сидоренко // *Кардиология*. — 2009. — Т. 49. — № 9. — С. 39–43.
2. Алехин, М. Н. Тканевой доплер в клинической эхокардиографии / М. Н. Алехин. — М.: Инсвязьиздат, 2005. — 110 с.
3. Димов, А. С. О соотношении правожелудочковой и левожелудочковой хронической сердечной недостаточности: клинический и исторический аспекты / А. С. Димов // *Сердечная недостаточность*. — 2007. — Т. 8. — № 4. — С. 193–194.
4. Марцинкевич, Г. И. Электромеханическая асинхронность и гетерогенность сердца при сердечной недостаточности / Г. И. Марцинкевич, А. А. Соколов // *Сердечная недостаточность*. — 2005. — Т. 6. — № 3. — С. 120–123.
5. Никитин, Н. П. Применение тканевой миокардиальной доплер-эхокардиографии в кардиологии / Н. П. Никитин, Д. Ф. Клиланд // *Кардиология*. — 2002. — Т. 42. — № 3. — С. 66–77.
6. Никифоров, В. С. Роль эхокардиографических ме-

тодик в оптимизации электрофизиологической ресинхронизации работы сердца у больных с хронической сердечной недостаточностью / В. С. Никифоров, Д. С. Лебедев, А. С. Свистов // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. — 2006. — № 4. — С. 118–128.

7. Рыбакова, М. К. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике / М. К. Рыбакова, М. Н. Алехин, В. В. Митьков // *Эхокардиография*. — М.: Видар-М, 2008. — 512 с.

8. Abbas, A. Noninvasive assessment of right atrial pressure using Doppler tissue imaging / A. Abbas [et al] // *J. Am. Soc. Echocardiogr.* — 2004. — Vol. 17. — № 11. — P. 1155–1160.

9. Abraham, J. The role of echocardiography in hemodynamic assessment in heart failure / J. Abraham, T. P. Abraham // *Heart Fail. Clin.* — 2009. — Vol. 5. — № 2. — P. 191–208.

10. Anavekar, N. S. Doppler echocardiography: a contemporary review / N. S. Anavekar, J. K. Oh // *J. Cardiol.* — 2009. — Vol. 54. — № 3. — P. 347–358.

11. Borges, M. C. Longitudinal mitral annulus velocities are reduced in hypertensive subjects with or without left ventricle hypertrophy / M. C. Borges // *Hypertension*. — 2006. — Vol. 47. — № 5. — P. 854–860.



## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

12. Cecilia, W. G. The E/e filling index and right ventricular pressure in relation to applied international Doppler recommendations of left ventricular filling / W. G. Cecilia [et al] // *Eur. J. Echocardiography*. — 2005. — Vol. 6. — № 6. — P. 419–428.
13. Ciampi, Q. Effect of intraventricular dyssynchrony on diastolic function and exercise tolerance in patients with heart failure / Q. Ciampi [et al] // *Eur. J. Echocardiogr.* — 2009. — Vol. 10. — № 8. — P. 907–913.
14. Daneshvar, D. Diastolic dysfunction: improved understanding using emerging imaging techniques / D. Daneshvar [et al] // *Am. Heart J.* — 2010. — Vol. 160. — № 3. — P. 394–404.
15. Hegazy, A. M. Usefulness of pulsed-wave tissue Doppler imaging of mitral valve annulus for assessment of left ventricular longitudinal fibers in hypertensive patients / A. M. Hegazy, B. A. Abdulkader // *Eur. J. Echocardiography*. — 2005. — Vol. 6. — Suppl. 1. — P. S149.
16. Kartalis, A. The association of Tissue Doppler Imaging with cardiac mass index in hypertensive patients / A. Kartalis [et al] // *Eur. J. Echocardiography*. — 2006. — Vol. 7. — Suppl. 1. — P. S109.
17. Kass, D. A. Ventricular resynchronization: pathophysiology and identification of responders / D. A. Kass // *Rev. Cardiovasc. Med.* — 2003. — Vol. 4. — Suppl. 2. — P. S3–S13.
18. Kobayashi, T. Myocardial systolic function of the left ventricle along the long axis in patients with essential hypertension: a study by pulsed tissue Doppler imaging / T. Kobayashi // *J. Cardiol.* — 2003. — Vol. 41. — № 4. — P. 175–182.
19. Mansencal, N. Value of tissue Doppler imaging to predict left ventricular filling pressure in patients with coronary artery disease / N. Mansencal [et al] // *Echocardiogr.* — 2004. — Vol. 21. — № 2. — P. 133–138.
20. Meluzin, J. Pulsed Doppler tissue imaging of the velocity of tricuspid annular systolic motion / J. Meluzin [et al] // *Eur. Heart J.* — 2001. — Vol. 22. — P. 340–348.
21. Mottram, P. M. Assessment of diastolic function: what the general cardiologist needs to know / P. M. Mottram, T. H. Marwick // *Heart*. — 2005. — Vol. 91. — № 5. — P. 681–695.
22. Mousavi, N. The utility of tissue Doppler imaging for the noninvasive determination of left ventricular filling pressures in patients with septic shock / N. Mousavi [et al] // *J. Intensive Care Med.* — 2010. — Vol. 25. — № 3. — P. 163–167.
23. Niculescu, N. Patients with arterial hypertension and no coronary heart disease had subclinical left ventricular dysfunction as assessed by tissue Doppler echocardiography / N. Niculescu [et al] // *Eur. J. Echocardiography*. — 2006. — Vol. 7. — Suppl. 1. — P. S110–S111.
24. Nishikage, T. Subclinical left ventricular longitudinal systolic dysfunction in hypertension with no evidence of heart failure / T. Nishikage [et al] // *Circ. J.* — 2008. — Vol. 72. — № 2. — P. 189–194.
25. Palecek, T. Comparison of early diastolic mitral annular velocity and flow propagation velocity in detection of mild to moderate left ventricular diastolic dysfunction / T. Palecek [et al] // *Eur. J. Echocardiography*. — 2004. — Vol. 5. — № 3. — P. 196–204.
26. Paulus, W. J. How to diagnose diastolic heart failure: a consensus statement on the diagnosis of heart failure with normal left ventricular ejection fraction by the Heart Failure and Echocardiography Associations of the European Society of Cardiology / W. J. Paulus [et al] // *Eur. Heart J.* — 2007. — Vol. 28. — № 20. — P. 2539–2550.
27. Pavlopoulos, H. Early diastolic velocity of the mitral annulus in relation with segmental diastolic dysfunction and remodelling in hypertension / H. Pavlopoulos, R. Showkathali, M. Tayebjee // *Eur. J. Echocardiography*. — 2006. — Vol. 7. — Suppl. 1. — P. S24.
28. Pelà, G. Doppler Tissue Echocardiography: Myocardial Wall Motion Velocities in Essential Hypertension / G. Pelà [et al] // *Eur. J. Echocardiography*. — 2001. — Vol. 2. — № 2. — P. 108–117.
29. Ghio, S. Interventricular and intraventricular dyssynchrony are common in heart failure patients, regardless of QRS duration / S. Ghio [et al] // *Eur. Heart J.* — 2004. — Vol. 25. — № 7. — P. 571–578.
30. Lindqvist, P. Effect of age on the right ventricular function. A Doppler tissue imaging study / P. Lindqvist [et al] // *Eur. J. Echocardiography*. — 2003. — Vol. 4. — Suppl. 1. — P. S73.
31. Ommen, S. R. Clinical utility of Doppler echocardiography and tissue Doppler imaging in the estimation of left ventricular filling pressures: a comparative simultaneous Doppler-catheterization study / S. R. Ommen [et al] // *Circulation*. — 2000. — Vol. 102. — P. 1788–1794.
32. Qirko, S. Is the slowed left ventricular relaxation or augmented atrial transport function the primary abnormality of filling in mild hypertension? / S. Qirko, T. Goda // *Eur. J. Echocardiography*. — 2003. — Vol. 4. — Suppl. 1. — P. S10.
33. Schuster, P. Techniques for Identification of Left Ventricular Asynchrony for Cardiac Resynchronization Therapy in Heart Failure / P. Schuster, S. Faerstrand // *Indian Pacing and Electrophysiology J.* — 2005. — Vol. 5. — № 3. — P. 175–185.
34. Seo, J. S. Peak systolic velocity of mitral annular longitudinal movement measured by pulsed tissue Doppler imaging as an index of global left ventricular contractility / J. S. Seo [et al] // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* — 2010. — Vol. 298. — № 5. — P. H1608–H1615.
35. Seyfeli, E. The effect of septum and right ventricular free-wall on right ventricular diastolic function in mild hypertension — a colour tissue Doppler echocardiographic study / E. Seyfeli [et al] // *Eur. J. Echocardiography*. — 2006. — Vol. 7. — Suppl. 1. — P. S201.
36. Sogaard, P. Tissue Doppler imaging as a guide to resynchronization therapy in patients with congestive heart failure / P. Sogaard, C. Hassager // *Curr. Opin. Cardiol.* — 2004. — Vol. 19. — № 5. — P. 447–451.
37. Srivastava, P. M. Lateral vs medial mitral annular tissue Doppler in the echocardiographic assessment of diastolic function and filling pressures: which should we use? / P. M. Srivastava, L. M. Burrella, P. Calafiore // *Eur. J. Echocardiography*. — 2005. — Vol. 6. — № 2. — P. 97–106.
38. Strand, A. Tissue Doppler imaging describes diastolic function in men prone to develop hypertension over twenty years / A. Strand [et al] // *Eur. J. Echocardiography*. — 2008. — Vol. 9. — № 1. — P. 34–39.
39. Tumuklu, M. M. The impact of hypertension and hypertension-related left ventricle hypertrophy on right ventricle function / M. M. Tumuklu, U. Erkorkmaz, A. Ocal // *Echocardiography*. — 2007. — Vol. 24. — № 4. — P. 374–384.
40. Yu, C. M. Echocardiographic evaluation of cardiac dyssynchrony for predicting a favourable response to cardiac resynchronisation therapy / C. M. Yu [et al] // *Heart*. — 2004. — Vol. 90. — Suppl. 6. — P. vi17–vi22.