

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ
ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ»

Кафедра функциональной диагностики

М.П. Жарихина, Е.А. Вертинский

**ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
СИСТОЛИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ЖЕЛУДОЧКОВ**

Учебно-методическое пособие

Минск, БелМАПО
2023

УДК 616.124-073.43(075.9)

ББК 54.101.3-43я78

Ж 34

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия
НМС Государственного учреждения образования
«Белорусская медицинская академия последипломного образования»
протокол № 11 от 30.12.2022

Авторы:

Жарихина М.П., ст. преп. кафедры функциональной диагностики БелМАПО

Вертинский Е.А., доцент кафедры функциональной диагностики БелМАПО,
к.м.н., доцент

Рецензенты:

Борис А.М., заведующий 2-ой кафедрой внутренних болезней УО «Белорусский
государственный медицинский университет», к.м.н., доцент

*1-ая кафедра внутренних болезней УО «Белорусский государственный
медицинский университет»*

Жарихина М.П.

Ж 34 Эхокардиографическая оценка систолической функции желудочков:
учеб.-метод. пособие / М. П. Жарихина, Е. А. Вертинский. – Минск :
БелМАПО, 2023. – 26 с.

ISBN 978-985-584-875-3

В учебно-методическом пособии приведены эхокардиографические показатели, характеризующие систолическую функцию левого и правого желудочков, критерии диагностики латентной систолической дисфункции желудочков.

Учебно-методическое пособие предназначено для слушателей, осваивающих образовательные программы переподготовки по специальности «Функциональная диагностика» и «Ультразвуковая диагностика», «Терапия», повышения квалификации врачей функциональной и ультразвуковой диагностики, врачей-кардиологов, врачей-кардиохирургов, врачей-терапевтов, врачей-педиатров, врачей-неонатологов, врачей общей практики и иных врачей терапевтического профиля, клинических ординаторов.

УДК 616.124-073.43(075.9)

ББК 54.101.3-43я78

ISBN 978-985-584-875-3

© Жарихина М.П., Вертинский Е.А., 2023

© Оформление БелМАПО, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Сократительная функция желудочков	5
2. Эхокардиографическая оценка глобальной систолической функции левого желудочка	7
2.1. Стандартные показатели систолической функции левого желудочка	7
2.2. Показатели продольной деформации левого желудочка	10
• Систолическая экскурсия движения фиброзного кольца (MAPSE)	12
• Пиковые систолические скорости движения фиброзного кольца митрального клапана (s')	13
• Спекл-трекинг эхокардиография (стрейн, Speckle-tracking echocardiography – STE)	14
3. Эхокардиографическая оценка систолической функции правого желудочка	17
• Фракционное изменение площади (FAC/ФИП).	19
• Систолическая экскурсия трикуспидального кольца (TAPSE)	19
• Скорость систолического движения миокарда ПЖ (S_{mrv}) и кольца трикуспидального клапана (S_{rv})(см/с)	21
• Индекс производительности миокарда ПЖ (TDI Tei)	21
• Индекс эксцентricности	22
• GLS правого желудочка (2D-Speckl-Tracking (2STE))	23
• TAPSE/ СДЛА (TAPSE/sPAP)	23
ЛИТЕРАТУРА	24

ВВЕДЕНИЕ

Количественная оценка массы, размеров, геометрии и систолической функции желудочков важна для правильной диагностики состояния сердечно-сосудистой системы и ведения пациентов.

Трансторакальное эхокардиографическое исследование сердца – один из основных неинвазивных методов диагностики систолической функции миокарда желудочков.

Наиболее распространенным показанием для проведения трансторакальной эхокардиографии является оценка систолической функции желудочков. Это обусловлено тем, что систолическая функция желудочков — наиболее исследованный и понятный параметр функции сердца, обладающий прогностическими свойствами в отношении развития осложнений и смертности.

В учебно-методическом пособии рассмотрены вопросы глобальной сократительной функции желудочков, показатели оценки систолической функции левого и правого желудочков, показатели продольной деформации миокарда, определяемые при рутинной трансторакальной эхокардиографии и при спекл-трекинг эхокардиографии, определены понятия латентной систолической дисфункции левого и правого желудочков.

1. Сократительная функция желудочков

Глобальная сократительная функция желудочка – это широкое понятие, используемое при описании изменений производительности желудочка или функции, которая зависит от сократимости (способности кардиомиоцитов к сокращению), преднагрузки (начального желудочкового объема или давления по механизму Франка-Старлинга), постнагрузки (резистентность аорты/легочной артерии или конечно-систолическое напряжение стенки), желудочковой геометрии.

Классическая концепция трехслойного строения миокарда основана на том, что сократительная способность сердца обеспечивается за счет трех слоев: субэндокарда (внутреннего), миокарда (среднего) и субэпикарда (наружного). Во время систолы желудочков происходит укорочение мышечных волокон во всех трех слоях миокарда, что приводит к сужению полости и изгнанию крови, во время диастолы – расслабление миокарда, расширение и наполнение желудочков.

Благодаря такому строению, желудочки сердца в систолу и диастолу совершают сложное трехмерное движение, включающее различные виды деформации (Рис.1). В настоящее время принято различать следующие **виды деформации:**

1. Продольная деформация (Longitudinal strain – GLS);
2. Радиальная деформация (Radial strain – GRS);
3. Циркулярная деформации (Circumferential strain – GCS);
4. Скручивание (Twisting);
5. Кручение (торсия) (Torsion);
6. Раскручивание (Untwisting).

Скручивание и укорочение волокон влияет на сократительную способность миокарда. В соответствии с укорочением и скручиванием утолщение стенки желудочка способствует изменению объема его полости и созданию ударного объема (УО). На укорочение и утолщение влияют преднагрузка, постнагрузка, сократимость и геометрия желудочков.

Такое трехмерное движение желудочков обеспечивает эффективное систолическое изгнание крови на 60–70%, хотя отдельные саркомеры миокарда укорачиваются только на 15%.

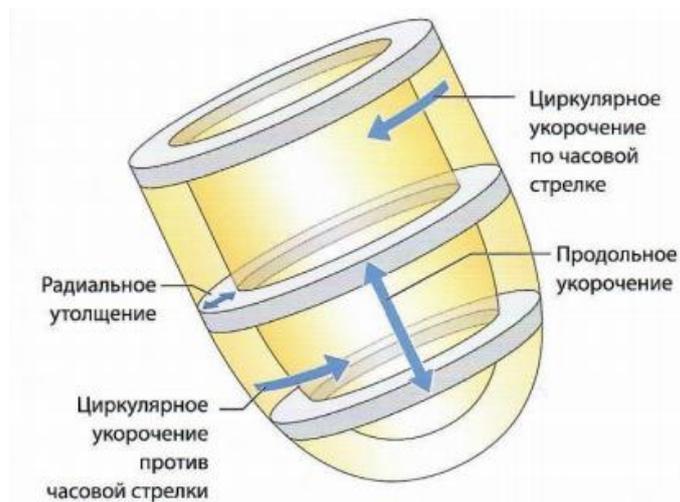


Рис.1. Компоненты систолической деформации миокарда

Сократимость зависит от ряда физиологических факторов: нагрузки, геометрии, частоты сердечных сокращений, метаболических факторов и пр., как и патологических факторов – заболеваний, от фармакологических средств. Таким образом, оценка сократимости включает в себя оценку выброса при различных показателях нагрузок.

Преднагрузка – это сила, необходимая для растяжения миофибрилл, находящихся в покое. О преднагрузке обычно судят по конечно-диастолическому напряжению стенки, рассчитанному по конечно-диастолическому давлению, конечно-диастолическому давлению, конечно-диастолическому размеру (КДР) или конечно-диастолическому объему (КДО).

Постнагрузка – это сила, развиваемая миокардом желудочка после сокращения. Из закона Лапласа следует, что постнагрузка (систолическое напряжение стенки желудочка) прямо пропорциональна систолическому артериальному давлению и размеру желудочка и обратно пропорциональна толщине стенки. Постнагрузка со временем изменяется, поэтому ее следует рассчитывать в момент открытия полулунных клапанов, в конце выброса (в конце систолы) или в любой момент в течение систолы. Конечно-систолическое напряжение стенки, рассчитанное по конечно-систолическому давлению и конечно-систолический размер (КСР) считают показателем постнагрузки желудочка.

С клинической точки зрения функция желудочка может быть оценена путем расчета ударного объема, фракции выброса, конечного систолического размера и объема.

Изменение сократительной функции миокарда лучше всего отражает фракция выброса (ФВ). Этот термин часто используют как синоним систолической функции желудочков.

2. Эхокардиографическая оценка глобальной систолической функции левого желудочка

2.1. Стандартные показатели систолической функции

Оценка систолической функции миокарда левого желудочка (ЛЖ) с определением фракции выброса является обязательным шагом для надлежащего ведения пациентов. Наиболее используемым и доступным в клинической практике показателем систолической функции ЛЖ является фракция выброса, определяемая по методу Симпсон (Simpson), которая преимущественно отражает циркулярное сокращение и демонстрирует изменение полости ЛЖ между систолой и диастолой.

Фракция выброса (ФВ) определяют как отношение разности объемов ЛЖ (т.е. УО) к исходному объему (т.е. КДО):

$$\text{ФВ} = (\text{КДО} - \text{КСО}) / \text{КДО},$$

где КДО – конечно-диастолический объем; КСО – конечно-систолический объем.

Данные параметры можно оценить с помощью ЭхоКГ в М-режиме и 2D-ЭхоКГ (рис.2).

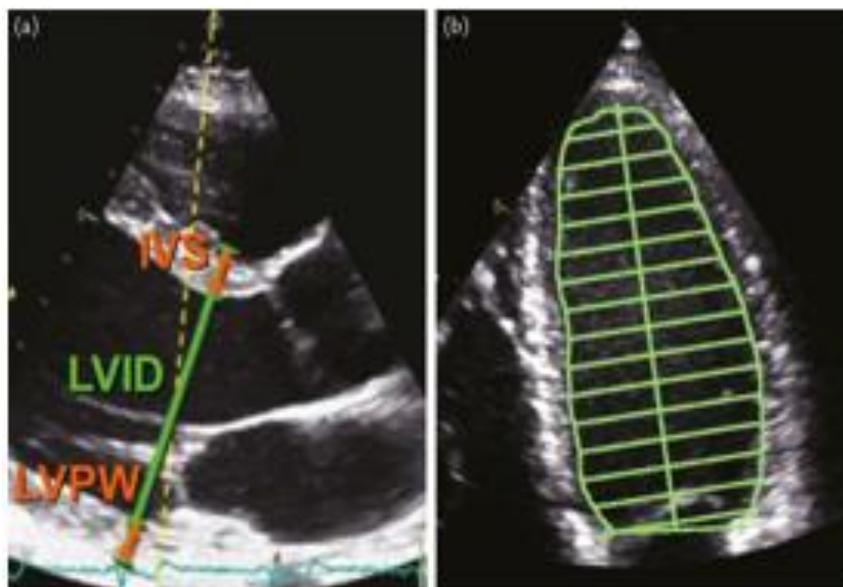


Рис. 2 Измерения объемов левого желудочка по Тейхольц и Симпсон

КДО измеряют в момент времени в диастолу, когда наполнение желудочка кровью максимальное. Конечно-систолическое измерение выполняют в момент времени, непосредственно предшествующий открытию митрального клапана, т.е. желудочек находится в максимально сжатом состоянии. На ЭКГ эти моменты времени соответствуют конечной части зубца Т (конец систолы) и начальной части комплекса QRS (конец диастолы) (Рис.3).

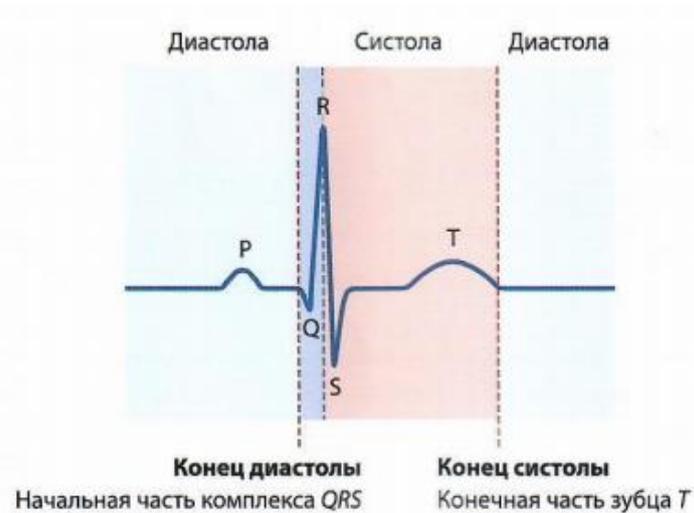


Рис. 3 Систола и диастола на электрокардиограмме

ФВ представляет собой изменение объема, соответствующим образом нормализованного. ФВ можно использовать как показатель функции, не зависимый от роста пациента или размеров желудочка и существенно независимые от пола, возраста и площади поверхности тела.

ФВ, полученная по методу Simpson, в среднем составляет 61–65%. При эхокардиографии фракция выброса от 53% до 73% является нормальной для лиц старше 20 лет.

Нормальные значения фракции выброса левого желудочка (ФВ,%) в 2D-режиме и различные степени их нарушений. Рекомендации Американской и Европейской ассоциации эхокардиографии, 2015

	Норма*	Незначительное нарушение	Умеренное нарушение	Значительное нарушение
Мужчины	52–72	41–51	30–40	< 30
Женщины	54–74	41–53	30–40	< 30

Примечание: * - при эхокардиографическом заключении систолическую функцию левого желудочка рекомендуется трактовать как *удовлетворительная*.

При 3D-ЭхоКГ ФВ ЛЖ в норме у мужчин > 54 %, у женщин > 57%.

ФВ может быть в норме и даже выше ее у пациентов с маленьким сердцем и малым ударным объемом.

Известно, что острые изменения нагрузки на ЛЖ оказывают выраженное влияние на ФВ. Так, резкое увеличение преднагрузки или уменьшение постнагрузки приводит к более высокой ФВ. И наоборот, острое уменьшение преднагрузки или увеличение постнагрузки ведет к снижению ФВ. В таких условиях трудно оценивать нарушения сократительной функции. Однако, если изме-

нение нагрузки приводит к изменению ФВ, не соответствующему ожидаемому, вероятно, одновременно изменилась и сократимость (т.е. инотропный статус).

ФВ дает представление как о глобальной, так и о регионарной сократительной функции миокарда левого желудочка. Недостатком считают большую трудоемкость определения границы эндокарда, а также зависимость от объема ЛЖ. Апикальный доступ часто не позволяет получить качественное изображение эндокарда, необходимое для ручной трассировки контура ЛЖ. Неправильное определение длинной оси ЛЖ приводит к тому, что объем ЛЖ оказывается меньше объема, полученного при контрастной вентрикулографии, 3D-ЭхоКГ и МРТ сердца.

При поражении миокарда стресс-эхокардиография может быть использована для выявления сократительного резерва, измеряемого как увеличение фракции выброса. Недостаток сократительного резерва подразумевает начало нарушения систолической функции, даже если фракция выброса в состоянии покоя все еще находится в пределах нормы.

Определять ФВ ЛЖ, который в сечении имеет форму, приближающуюся к эллипсу, проще, чем правого, форма которого более сложная. По этой причине на практике ФВ ЛЖ не определяют эхокардиографическим методом.

Ударный объем (УО) левого желудочка может быть рассчитан несколькими способами. Наибольшее практическое применение получили следующие расчеты:

1. математический расчет, как разница конечно диастолического и конечно систолического объемов, определяемых в М- и 2D-режимах;
2. определение величины объемного кровотока в выносящем тракте левого желудочка в систолу (рис.4).

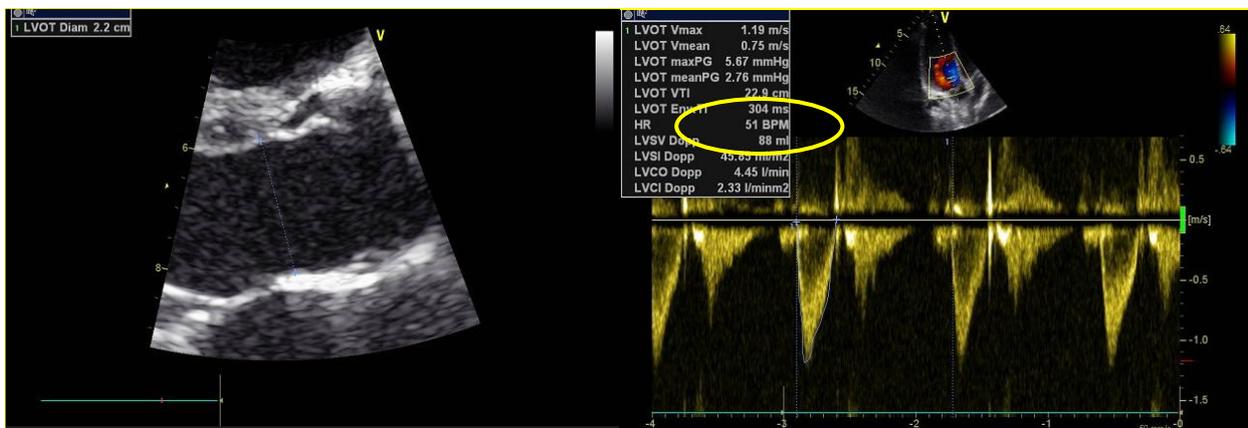


Рис.4 Эхокардиографические измерения для определения ударного объема левого желудочка

Для корректного расчета УО в выносящем тракте левого желудочка необходимо учитывать базовые принципы эхокардиографии:

- точное измерение диаметра выносящего тракта левого желудочка;
- ламинарный профиль потока в выносящем тракте левого желудочка;
- параллельность направления потока и ультразвукового луча в режиме доплерографии;
- скорость потока и диаметр ВТЛЖ должны быть измерены на одном анатомическом уровне.

В норме ударный объем составляет 70–100 мл.

Оценка функции ЛЖ с помощью доплерографии зависит от скорости внутрисердечного кровотока и не зависит от измерений желудочка, следовательно, геометрические ограничения и погрешности исключены. Полученная информация включает показатели УО, сердечного выброса (СВ) и максимальной скорости аортального потока, каждый из которых, являясь параметром фазы изгнания, зависит от постнагрузки.

У пациентов с нарушениями ритма изменяется с каждым сокращением. Измерить диаметр выходного тракта ЛЖ может быть трудно, особенно при гипертрофии базальных сегментов перегородки.

Фракция укорочения (ФУ) волокон эндокарда – наиболее часто определяемый параметр для оценки систолической функции сердца в детской кардиологии.

В среднем ФУ в норме > 28%.

ФУ < 28 % свидетельствует о снижении сократительной функции левого желудочка, а ФУ > 45% характеризуют как гипердинамическую сократимость.

У лиц, старше 18 лет, нормативные значения ФУ волокон эндокарда в М-режиме составляет у мужчин в норме 25–43%, у женщин – 27–45%

Недостатком этого параметра является то, что оценка проводится только по двум сегментам. ФУ отражает только циркулярное укорочение и утолщение миокарда, но не продольное укорочение и торсионное сокращение миокарда. Поэтому ФУ не позволяет судить о регионарной и глобальной сократимости. ФУ зависит от объема ЛЖ, что необходимо учитывать при исследовании пациентов с митральной и аортальной регургитацией.

2.2. Показатели продольной деформации левого желудочка

В качестве более объективных методов количественной оценки локальной и глобальной систолической функций ЛЖ было предложено использовать тканевую доплерографию и спекл-трекинг ЭхоКГ, отражающие преимущественно продольную деформацию левого желудочка. Глобальная продольная

деформация отражает сокращение продольно расположенных субэндокардиальных волокон.

Нормальная систолическая функция предполагает смещение фиброзного кольца митрального клапана по направлению к относительно неподвижной верхушке. Таким образом, ЛЖ во время систолы укорачивается по длинной оси. Оценить такое укорочение можно в М-режиме и 2D-режиме. Такой принцип применяют для расчета продольной деформации.

С современных позиций глобальная систолическая функция ЛЖ оценивается двумя способами:

1. оценка фракции выброса;
2. оценка продольной деформации.

Деформация – это изменение формы. Деформация миокарда представляет собой показатель для количественной оценки функции миокарда.

Количественная оценка функции миокарда на основании его деформации и скорости деформации проводится давно.

Нарушение продольной функции является чувствительным показателем в диагностике механической дисфункции левого желудочка, позволяющим диагностировать дисфункцию до снижения ФВ.

Срединные и эпикардиальные участки миокарда могут не затрагиваться патологическим процессом на начальных этапах, и вследствие этого циркулярная деформация левого желудочка и его скручивание могут оставаться в норме или даже компенсаторно увеличиваться с целью поддержания систолической функции левого желудочка.

ФВ определяемая по Simpson остается сохраненной при латентной дисфункции миокарда.

Систолическая функция, определяемая фракцией выброса ЛЖ, может быть относительно поздним маркером дисфункции миокарда и может даже подразумевать необратимое повреждение миокарда.

В норме в ЛЖ преобладают циркулярно ориентированные волокна. В систолу короткоосевое укорочение ЛЖ превышает укорочение по длинной оси. Следовательно, сферичность ЛЖ в норме в систолу уменьшается больше по короткой оси, чем по его длинной оси (рис. 5).

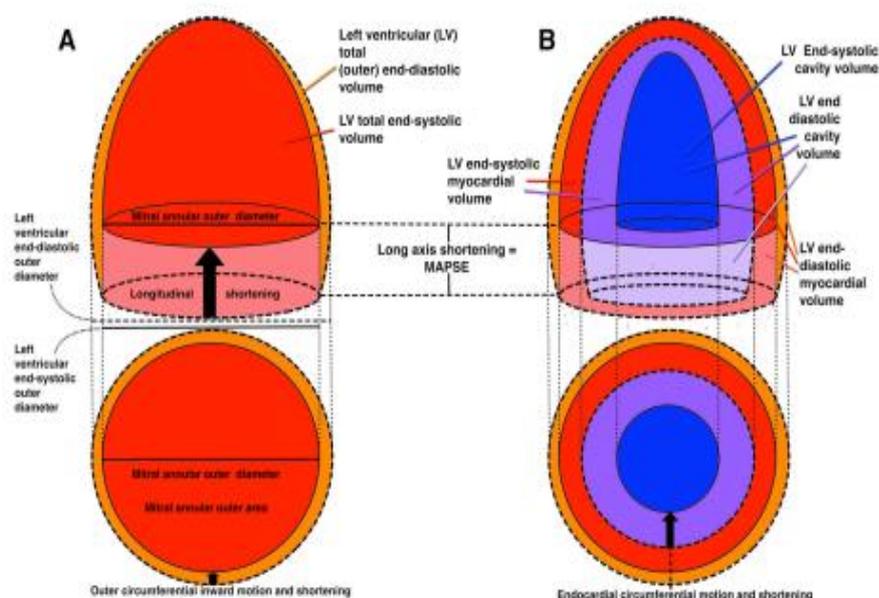


Рис.5 Схематическая диаграмма систолической деформации ЛЖ

Однако продольная функция является важной и вносит вклад в выброс ЛЖ и глобальную функцию. Радиальные волокна способствуют продольному сокращению волокон. Выявлено, что внутрижелудочковая нагрузка давлением больше оказывает влияние на продольную функцию, чем на циркулярную и радиальную. Этим объясняется тот факт, что пациенты с аортальным стенозом имеют более значительные отклонения в продольной функции, чем в радиальной и циркулярной, что проявляется снижением показателей продольной деформации, при сохраненной ФВ ЛЖ.

Продольная деформация ЛЖ при рутинном клиническом исследовании может быть оценена с помощью показателей тканевой доплерографии (таких как, пиковые систолические скорости движения фиброзного кольца митрального клапана) (s'), экскурсии движения фиброзного кольца (MAPSE) и показателей спекл-трекинг эхокардиографии.

Систолическая экскурсия движения фиброзного кольца (MAPSE)

M-модальное сканирование позволяет в режиме реального времени оценить размеры сердца и систолическую функцию сердца.

Скорость развертки изображения в M-режиме должна быть не менее 50 см/с.

Для оценки продольной деформации левого желудочка определяют амплитуду движения фиброзного кольца митрального клапана (MAPSE) от нижней точки фиброзного кольца в диастолу до закрытия аортального клапана. Линии M-режима проводятся параллельно стенке левого желудочка в апикальном четырехкамерном сечении или 2-камерном сечении, что легко достигается с

использованием функции Free Xros в современных ультразвуковых аппаратах. Предпочтительнее использовать определение MAPSE через латеральную часть фиброзного кольца митрального клапана (рис. 6).

У взрослых в среднем MAPSE колеблется от 10 до 15 мм. В норме составляет ≥ 8 мм.

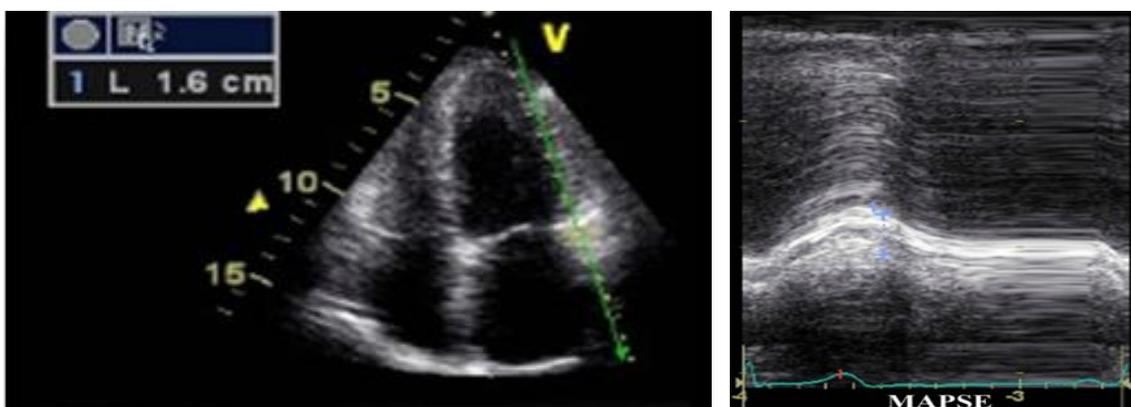


Рис.6 Определение амплитуды движения латерального края фиброзного кольца митрального клапана

Амплитуда движения митрального кольца в систолу в сторону верхушки пропорциональна степени укорочения длины левого желудочка и отражает его продольную систолическую функцию.

Уменьшение амплитуды движения митрального фиброзного кольца указывает на снижение фракции выброса < 50 %.

Параметр зависит от размера сердца, объемов желудочков, состоятельности АВ-клапанов. У пациентов с повышенной постнагрузкой ЛЖ включая артериальную гипертензию и аортальный стеноз, снижение продольной функции, несмотря на сохраненную фракцию выброса, может быть ранним признаком желудочковой дисфункции. Заболевания, связанные с повышенным отношением массы к объему (например, артериальная гипертензия, аортальный стеноз или гипертрофическая кардиомиопатия) связаны с повышенным укорочением по короткой оси волокон миокарда и уменьшением по длинной оси продольной функции. MAPSE зависит от нагрузки, на него влияет клапанная регургитация и поступательные движения миокарда сердца в груди во время сокращения.

Пиковые систолические скорости движения фиброзного кольца митрального клапана (s')

Пиковая систолическая скорость движения миокарда (S) в латеральной зоне фиброзного кольца митрального клапана служит показателем продольной систолической функции и имеет высокую корреляцию с показателями фракции выброса ЛЖ. Уменьшение систолической скорости миокарда может быть вы-

явлено в течение 15 с от начала ишемии миокарда, и локальное уменьшение S коррелирует с нарушениями региональной сократимости миокарда. Снижение максимальной систолической скорости движения митрального фиброзного кольца может предшествовать снижению фракции выброса.

Методика оценки:

1. Контрольный объем малых размеров (обычно 5–10 мм) располагается параллельно ультразвуковому лучу;
2. Апикальная 4-камерная (4С) или 2-камерная (2С) позиции;
3. Предел Найквиста 20-24 см/с;
4. Допплерограмма регистрируется при спокойном дыхании пациента или во время кратковременной задержки дыхания для исключения влияния дыхательных колебаний на усредненный вектор движения миокарда.

Нормальный спектр тканевой доплерограммы имеет характерный вид: он состоит из систолической волны Sm и двух диастолических волн – Em и Am. Систолическая волна часто имеет два пика – S1 и S2.

S1 отражает изоволюмическое систолическое напряжение миокарда, S2 – собственно систолическое сокращение. Систолическая волна S может варьировать по форме и скорости в зависимости от сегментов миокарда. У пациентов с объемной перегрузкой или у молодых лиц с высокой ЧСС максимальная систолическая скорость может быть больше. Для межжелудочковой перегородки и для нижней стенки ЛЖ более характерен монофазный систолический пик.

В продольном сечении максимальная скорость составляет в норме от 8 до 18 см/с.

Ограничениями методики оценки глобальной сократимости желудочка по систолическому пику движения фиброзного атриовентрикулярного кольца являются объемная перегрузка желудочка со значительной трансклапанной регургитацией, кальциноз фиброзного кольца, протезы клапанов, анатомические особенности и функциональное состояние левого предсердия. Скорость движения фиброзного кольца зависит от длины левого желудочка.

Спекл-трекинг эхокардиография (стрейн, Speckle-tracking echocardiography – STE)

GLS чувствителен к незначительным изменениям функции ЛЖ и обладает превосходной воспроизводимостью по сравнению с фракцией выброса. Различные производители одновременно определяют GLS как деформацию эндокарда или средней стенки. Преобладание имеющихся в настоящее время данных относится к GLS со средней стенкой. Несмотря на усилия по стандартиза-

ции, нормальные значения для GLS различаются в зависимости от поставщика. В качестве приблизительного ориентира можно ожидать, что пик GLS составляет $-20\% \pm 2\%$ при нормальном сердце.

Двухмерная спекл-трекинг эхокардиография (2D-стрейн, 2 STE) – количественная ультразвуковая недоплеровская, угол-независимая методика, представляющая данные о деформации миокарда путем анализа движения спеклов, более чувствительная для выявления глобальных и региональных функций миокарда, чем традиционная эхокардиография (рис. 7,8).

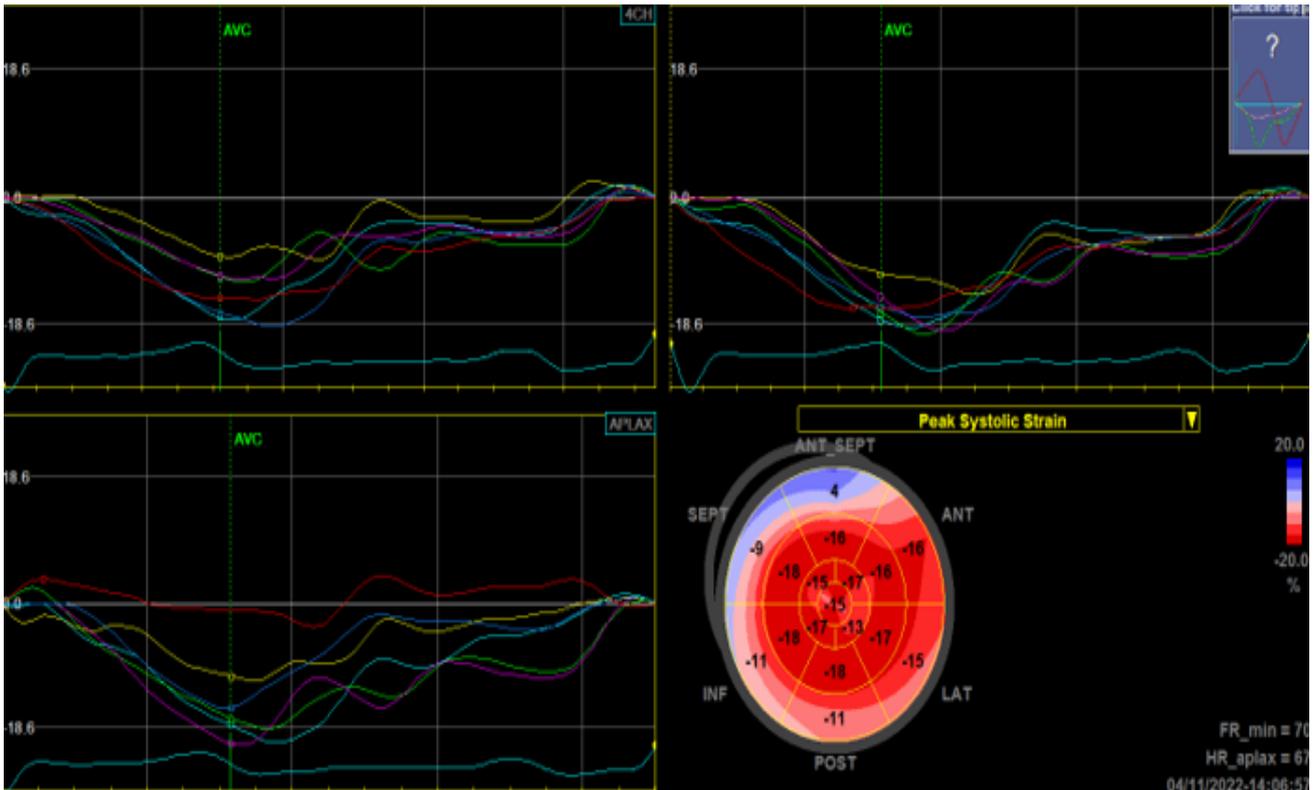


Рис. 7 Оценка продольной деформации миокарда левого желудочка с помощью 2STE

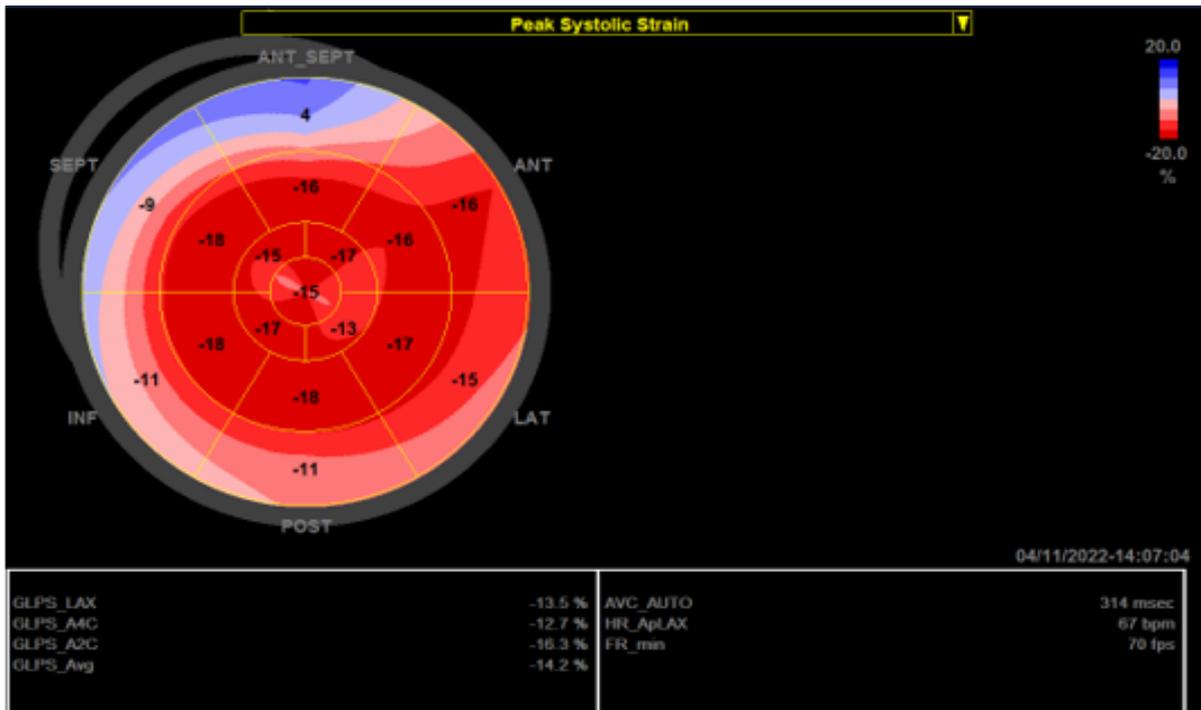


Рис. 8 Диаграмма Bull's Eye

Глобальная продольная деформация утверждена в качестве количественного показателя для оценки глобальной функции ЛЖ.

В настоящее время, согласно рекомендациям Европейской Ассоциации специалистов по сердечно-сосудистой визуализации (EACVI,2018) года референтные значения GLS составляют -20% при проведении 2D-спекл трекинг эхокардиографии. Снижение показателя менее 20 в абсолютных значениях свидетельствует о субклинической дисфункции миокарда левого желудочка.

Использование показателей глобальной продольной систолической деформации миокарда в дополнение к стандартным методикам оценки геометрии и функции ЛЖ позволяет более точно количественно идентифицировать субклинические нарушения сократительной функции ЛЖ у пациентов без признаков выраженного глобального ремоделирования сердца.

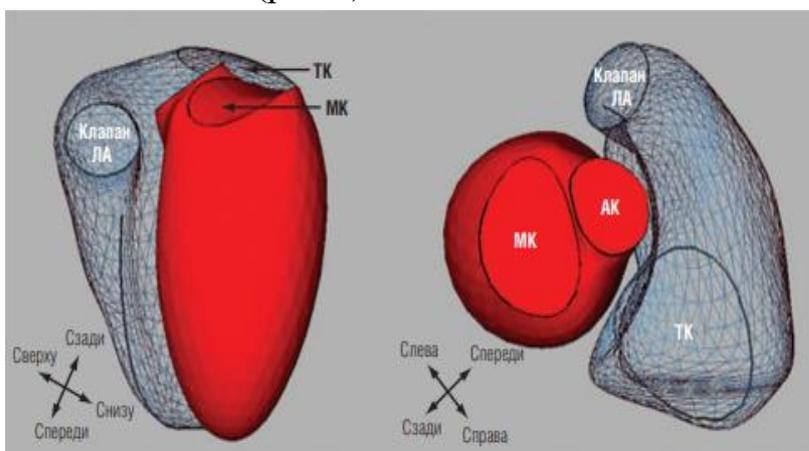
Для оценки глобальной сократительной функции левого желудочка необходимо применять комплексный подход с оценкой не только циркулярной сократительной функции ЛЖ, которую отражает ФВ ЛЖ, определяемой по Simpson, но и продольной деформации, которую количественно отражают показатели спекл-трекинг эхокардиографии – GLS и показатели тканевой доплерографии и экскурсии фиброзного кольца.

Снижению значений показателей продольной деформации менее нормативных при сохраненной фракции выброса расценивать как *латентную (скрытую) систолическую дисфункцию миокарда левого желудочка*.

3. Эхокардиографическая оценка систолической функции правого желудочка

ПЖ содержит свободную стенку и внутрижелудочковую перегородку, которые на продольном срезе вместе образуют форму полумесяца. Входной отдел пирамидной формы с трабекулярной поверхностью образован передней и задней свободными стенками и межжелудочковой перегородкой (МЖП). Выводной отдел является гладким и цилиндрическим по форме. Входной отдел отделен от выводного отдела наджелудочковым гребнем, который является мышечным отростком, идущим вдоль трикуспидального отверстия, МЖП, мышечной перекладки и передней стенки ПЖ (рис.9).

Рис. 9 Нормальная анатомия
правого желудочка



Входной отдел ПЖ является сократительной структурой, которая ограничивает трикуспидальное отверстие, тянет свободную стенку внутрь в фазу систолы и участвует в систолическом взаимодействии. Кровоснабжение ПЖ осуществляется преимущественно правой коронарной артерией. Важно отметить, что коронарный кровоток в ПЖ осуществляется как в фазу диастолы, так и систолы в нормальном ПЖ, что обусловлено меньшим давлением на стенку, а также внутривентрикулярного напряжения, развиваемого ПЖ во время сокращения. Величина систолической работы, осуществляемой ПЖ, приблизительно равна четверти таковой ЛЖ, а также имеет место более низкая экстракция кислорода. В нормальных условиях ПЖ более устойчив к ишемии, что обусловлено избыточным снабжением кровью ПЖ наряду с его низкой метаболической потребностью. Однако, гипертрофированный ПЖ, сталкиваясь с увеличенной нагрузкой, становится намного более чувствителен и неприспособлен к условиям ишемии.

Ротация и циркулярное сокращение в случае правого желудочка сердца имеют гораздо меньшую роль. Адекватный выброс правого желудочка обеспечивают сразу несколько механизмов. Это и продольное сокращение, в ходе которого фиброзное кольцо трикуспидального клапана притягивается по направ-

лению к верхушке, и движение свободной стенки правого желудочка к центру, а также движение межжелудочковой перегородки.

Форма ПЖ в виде асимметричного полумесяца, эндокард, гетерогенность которого характеризуется наличием диффузных трабекул, влияют на определение размера и функции правого желудочков.

Правый желудочек имеет ряд особенностей:

- Сложное анатомическое строение (приносящий и выносящий тракты располагаются в разных плоскостях);
- Менее подвержен ишемии (чем ЛЖ);
- Легче переносит перегрузку объемом, чем давлением;
- Более низкая нормальная ФВ обеспечивает больший КДО;
- Сложность определения границ эндокарда тонкой свободной стенки ПЖ при эхокардиографии.

Систолическая функция ПЖ имеет ряд особенностей:

- Сокращение происходит в основном в продольном направлении преимущественно за счет субэндокардиального слоя;
- Зависит от функционального состояния левого желудочка;
- Ротационное движение играет незначительную роль в сократительной функции правого желудочка;
- Вариабельность условий нагрузки.

Фракция выброса ПЖ и масса желудочка связаны с клиническими исходами, их трудно измерить с помощью двумерной эхокардиографии из-за формы полумесяца и множественных трабекуляций. Трехмерная эхокардиография, однако, может обеспечить лучшую оценку объемов ПЖ и может быть сопоставима с магнитно-резонансной томографией сердечно-сосудистой системы с лучшей воспроизводимостью.

В настоящее время систолическая функция правого желудочка при трансторакальной эхокардиографии оценивается по следующим параметрам:

- фракционное изменение площади (FAC/ ФИП);
- систолическая экскурсия трикуспидального кольца (TAPSE);
- систолическая (s) скорость движения трикуспидального кольца с помощью импульсной тканевой доплерографии;
- индекс производительности миокарда ПЖ;
- индекс эксцентричности;
- GLS (2D-Speckl-Tracking (2STE));
- TAPSE/ СДЛА (TAPSE/sPAP).

Фракционное изменение площади (ФАС/ ФИП)

Расчеты конечно-диастолической и конечно-систолической площади проводят в четырехкамерной апикальной позиции. При расчете ФИП трабекулы и вершушка включаются в полость ПЖ (рис. 10).

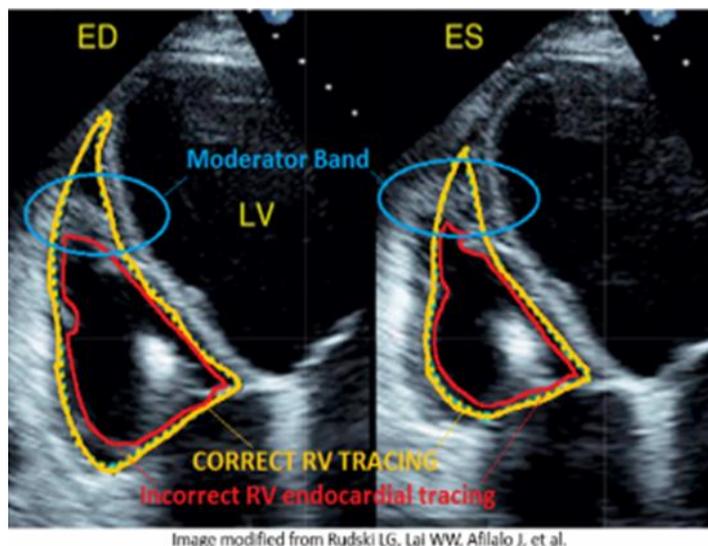


Рис. 10 Определение КДПпж и КСП пж

Примечание: желтым цветом правильное контурирование эндокарда правого желудочка, красным цветом-неправильное.

$$\text{ФИПпж} = (\text{КДПпж} - \text{КСПпж}) / \text{КДПпж} \times 100 \%,$$

где ФИПпж – фракция изменения площади,

КДПпж – конечно-диастолическая площадь правого желудочка (нормальные значения у мужчин 10–24 см², у женщин – 8–20 см²),

КСПпж – конечно-систолическая площадь правого желудочка (нормальные значения у мужчин 3–15 см², у женщин – 3–11 см²).

Для нормального ПЖ фракция изменения площади равна 49 ± 7%.

Минимальным референтным уровнем фракции изменения площади правого желудочка является 35%.

При ФИП < 35% регистрируется систолическая дисфункция ПЖ.

Отражает как продольный, так и радиальный компоненты сокращения ПЖ. ФИП ПЖ коррелирует с фракцией выброса ПЖ, измеренной при проведении МРТ.

Надежных нормативных значений ФИП у детей пока не существует.

Систолическая экскурсия трикуспидального кольца (TAPSE)

TAPSE остается общим и относительно простым альтернативным методом для количественного анализа функции ПЖ. Оценка продольной систолической функции правого желудочка может основываться на определении ампли-

туды движения трикуспидального фиброзного кольца в систолу к верхушке. Систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана показала хорошую корреляцию с параметрами глобальной систолической функции правого желудочка, оценивается в четырехкамерной апикальной позиции в М-режиме путем формирования среза через латеральную часть трикуспидального фиброзного кольца (рис. 11).

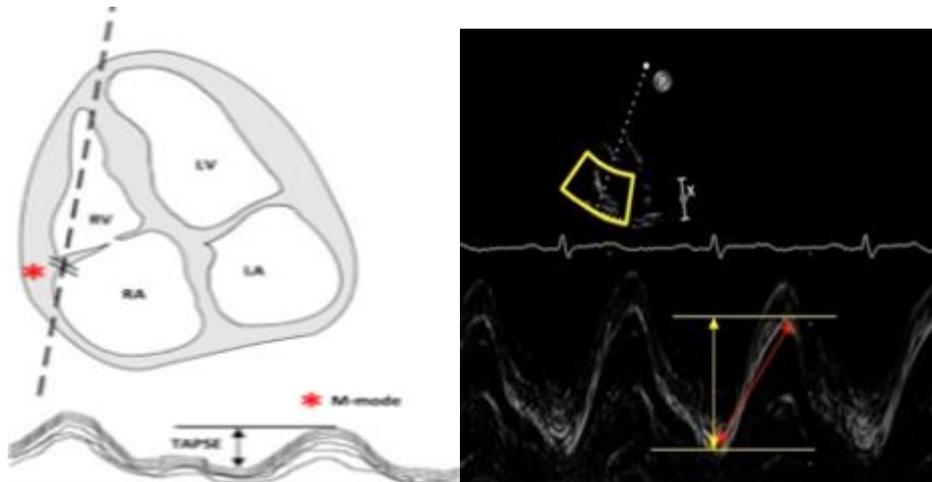


Рис.11 Определение TAPSE из 4-камерной апикальной позиции

Эта оценка продольной функции ПЖ хорошо выполняется вследствие преобладающей в норме продольной природы сокращения ПЖ.

В норме TAPSE > 18 мм.

У детей различных возрастных групп используются номограммы с нормативными значениями систолической экскурсии трикуспидального клапана.

Движение кольца трикуспидального клапана ≤ 17 мм у взрослых указывает на латентную систолическую дисфункцию правого желудочка. Ограничениями данной методики являются пластика и протезирование трикуспидального клапана, зависимость от объемной перегрузки правого желудочка, угла сканирования.

Скорость систолического движения миокарда ПЖ (S_{mrv}) и кольца трикуспидального клапана (S_{rv})(см/с)

Контрольный объем помещают в центре базального сегмента свободной стенки правого желудочка или на латеральной части трикуспидального кольца.

Это измерение коррелирует с TAPSE и может также использоваться для количественной оценки систолической функции ПЖ. Показатель зависим от угла сканирования и не учитывает вклад показателей радиальной деформации в систолическую функцию ПЖ.

Минимальный референтный уровень показателя скорости систолического движения кольца трикуспидального клапана и миокарда правого желудочка в режиме импульсно-волновой тканевой доплерографии составляет более 9,5 мм/с. Значения скорости систолического движения кольца трикуспидального клапана менее 9,5 см/с указывают на латентную систолическую дисфункцию правого желудочка.

Ограничения данной методики: зависимость от угла сканирования, кинетики близлежащих сегментов, общего движения сердца, возрастной вариабельности. Показатели отражают только продольную сократимость правого желудочка.

Индекс производительности миокарда ПЖ (TDI Tei)

Важным показателем оценки систолической функции правого желудочка является доплеровский эхокардиологический индекс производительности миокарда – индекс Tei. Это соотношение общего времени изоволюмической активности к времени, затраченному на систолическое изгнание, который рассчитывается по формуле:

$$\text{Индекс Tei} = (\text{IVRT} + \text{IVCT}) / \text{ET},$$

где IVRT – время изоволюмической релаксации правого желудочка, IVCT – время изоволюмического сокращения правого желудочка, а ET – время изгнания правого желудочка.

Показатели могут быть измерены с помощью либо импульсно-волнового, либо тканевого доплеровского исследования пульсовой доплеровской волной, либо тканевой доплерографией.

Индекс Tei при тканевой доплерографии ПЖ может быть получен от латеральной части фиброзного кольца трикуспидального клапана вместе с IVRT, IVCT и ET, измеренных при этом же сердечном цикле (рис. 12)

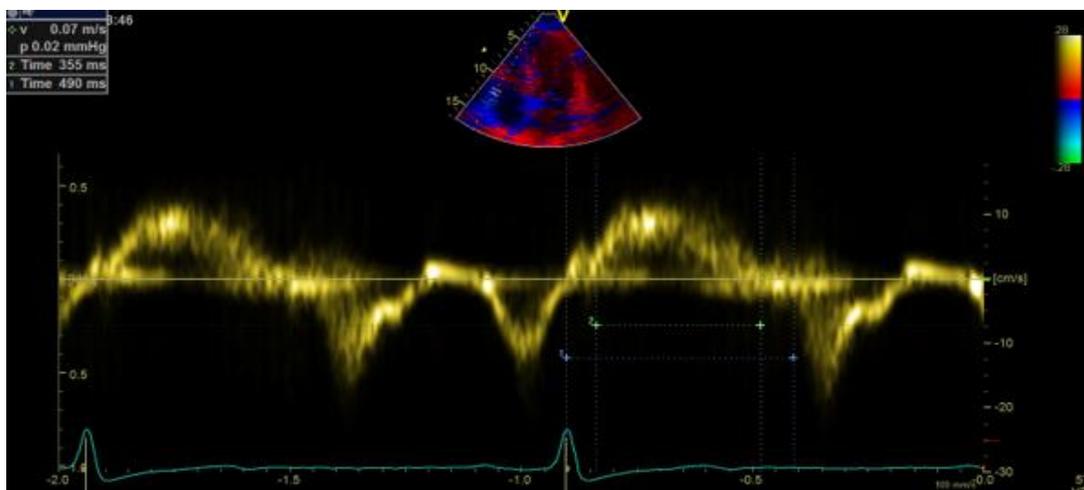


Рис. 12 Оценка индекса Tei правого желудочка при тканевой доплерографии

Референтные значения индекса Tei при тканевой доплерографии составляют менее 0,54 в норме.

Необходимо учитывать, что индекс Tei определяется объединением в нем как систолического, так и диастолического компонентов сердечного цикла.

Увеличение индекса Tei за счет увеличения длительности $IVRT$ свидетельствует в пользу диастолической дисфункции, за счет увеличения длительности $IVST$ свидетельствует в пользу систолической дисфункции.

Показатель зависит от величины преднагрузки и постнагрузки. Неприменим у пациентов с нарушением функции проводящей системы сердца, например с полной блокадой ножек пучка Гиса. Ограничение диагностических возможностей индекса является причиной отказа от его рутинного определения при выполнении ЭхоКГ.

Индекс эксцентricности

Перегрузка правого желудочка объемом или давлением с дилатацией полости и/или гипертрофией является основной причиной нарушения движения межжелудочковой перегородки. Индекс эксцентricности является мерой относительного градиента давления между ПЖ и ЛЖ. При перегрузке ПЖ исключительно давлением, в конце систолы происходит уплощение межжелудочковой перегородки, что приводит к увеличению индекса эксцентricности ЛЖ в конце систолического периода.

Он измеряется в парастернальной позиции по короткой оси на уровне сосочковых мышц ЛЖ как отношение малой оси ЛЖ, параллельной перегородке, к малой оси, перпендикулярной перегородке. Индекс измеряется в конце диастолы и в конце систолы (рис. 13).

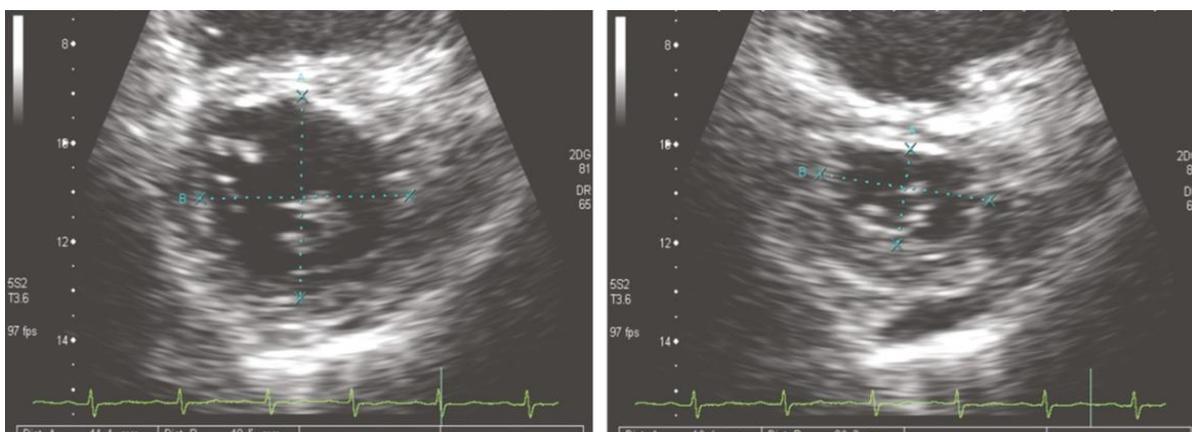


Рис.13 Измерение индекса эксцентricности левого желудочка

Индекс эксцентricности является патологическим и предполагает перегрузку ПЖ, когда это соотношение больше 1,0.

GLS правого желудочка (2D-Speckl-Tracking (2STE))

Для оценки деформации правого желудочка используют также показатели strain и strain rate. Деформация (Strain) выявляет количество (амплитуду) локальной мгновенной деформации, в то время как скорость деформации (Strain rate) отражает скорость укорочения волокон, обеспечивая независимые от преднагрузки маркеры сократительной функции. Глобальную деформацию ПЖ определяют в апикальной четырехкамерной позиции как среднюю максимальную систолическую деформацию трех сегментов боковой стенки ПЖ.

Их измерения проводят в четырехкамерной апикальной позиции.

Пиковая глобальная продольная деформация правого желудочка имеет прогностическую ценность при различных заболеваниях, таких как сердечная недостаточность, острый инфаркт миокарда, легочная гипертензия, амилоидоз. Термин пиковая глобальная продольная деформация правого желудочка обычно относится либо к среднему значению продольной деформации свободной стенки правого желудочка и перегородочных сегментов или только к сегментам свободной стенки. В норме глобальная продольная деформация свободной стенки правого желудочка составляет $-29 \pm 4,5$. Ведущим патофизиологическим механизмом снижения глобальной продольной деформации правого желудочка является механическая дисперсия и диссинергия сегментарных пиковых систолических деформаций, которые формируются вследствие наличия областей фиброза, рубца или отека миокарда.

Глобальный продольный стрейн свободной стенки ПЖ в норме более 23%.

TAPSE/ СДЛА (TAPSE/sPAP)

Соотношение амплитуды движения фиброзного кольца к систолическому давлению в легочной артерии (TAPSE/ СДЛА; ratio TAPSE / sPAP) – показатель, характеризующий глобальную систолическую функцию правого желудочка.

В норме $> 0,55$ мм /мм рт.ст.

Снижение соотношения менее 0,55 – свидетельствует о систолической дисфункции правого желудочка.

При снижении показателей продольной деформации правого желудочка ниже нормативных можно говорить о *субклинической (латентной) систолической дисфункции правого желудочка*.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Проблема диагностики скрытой систолической дисфункции миокарда левого желудочка у пациентов с выраженной органической митральной регургитацией [Электронный ресурс] / М. П. Жарихина [и др.] // Радиология-2017 : материалы XI Всерос. нац. конгр. лучевых диагностов и терапевтов, Москва, 23–25 мая 2017 г. – М., 2017. – С. 200–201. – Режим доступа: https://www.mediexpo.ru/fileadmin/user_upload/content/pdf/thesis/thesis_rad17.pdf. – Дата доступа: 24.03.2023.
2. Оценка ремоделирования левого желудочка и систолической функции у асимптомных пациентов с органическим поражением клапанов сердца [Электронный ресурс] / М. П. Жарихина [и др.] // Радиология-2020 : материалы XIV Всерос. нац. конгр. лучевых диагностов и терапевтов, Моск. обл., г. Красногорск, 16–18 сент. 2020 г. – М., 2020. – С. 97. – Режим доступа: https://www.mediexpo.ru/fileadmin/user_upload/content/pdf/thesis/rad2020-abstracts.pdf. – Дата доступа: 24.03.2023.
3. Жарихина, М. П. Оценка глобальной продольной систолической функции левого желудочка у асимптомных пациентов с органическим поражением клапанов сердца [Электронный ресурс] / М. П. Жарихина, Е. А. Вертинский, Э. И. Шкробнева // Радиология-2020 : материалы XIV Всерос. нац. конгр. лучевых диагностов и терапевтов, Моск. обл., г. Красногорск, 16–18 сент. 2020 г. – М., 2020. – С. 98. – Режим доступа: https://www.mediexpo.ru/fileadmin/user_upload/content/pdf/thesis/rad2020-abstracts.pdf. – Дата доступа: 24.03.2023.
4. Жерко, О. М. Клиническая трансторакальная эхокардиография : практ. рук. для врачей / О. М. Жерко. – 2-е изд., доп. и перераб. – Минск : Альфа-книга, 2020. – 848 с.
5. Жерко, О. М. Ультразвуковая диагностика глобального ремоделирования органов-мишеней при хронической сердечной недостаточности : монография / О. М. Жерко. – Минск : БелМАПО, 2020. – 292 с.
6. Метод оценки сократительной функции миокарда левого желудочка у пациентов с поражением клапанов сердца : инструкция по применению № 171-1219 : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 26.12.2019 / сост.: М. П. Жарихина [и др.]. – Минск, 2019. – 5 с.
7. Edvardsen, T. Strain Echocardiography From Variability to Predictability / T. Edvardsen, K. H. Naugaa // JACC. Cardiovasc. Imaging. – 2018. – Vol. 11, № 1. – P. 35–37.

8. Standardization of adult transthoracic echocardiography reporting in agreement with recent chamber quantification, diastolic function, and heart valve disease recommendations: an expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging / M. Galderisi [et al.] // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. – 2017. – Vol. 18, № 12. – P. 1301–1310.
9. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging / R. M. Lang [et al.] // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. – 2015. – Vol. 16, № 3. – P. 233–370.
10. Variability and reproducibility of segmental longitudinal strain measurement: a report from the EACVI-ASE Strain Standardization Task Force / O. Mirea [et al.] // *JACC. Cardiovasc. Imaging*. – 2018. – Vol. 11, № 1. – P. 15–24.
11. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging / J. U. Voigt [et al.] // *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. – 2015. – Vol. 16, № 1. – P. 1–11.
12. *The Esc Textbook of Cardiovascular Medicine* / A. J. Camm [et al.]. – Third ed. – Oxford : Oxford University Press/European Society of Cardiology, 2019. – 3162 p.
13. Клайдайтер, У. Детская эхокардиография. Ультразвуковое исследование сердца у детей. Ультразвуковая диагностика врожденных пороков сердца : пер. с нем. / У. Клайдайтер, Р. Д. Поцца, Н. А. Хаас. – М. : МЕДпресс-информ, 2022. – 420 с.
14. Отто, К. М. Клиническая эхокардиография : практ. рук. : пер. с англ. / К. М. Отто. – М. : Логосфера, 2019. – 1320 с.
15. Stoylen, A. Left ventricular longitudinal shortening: relation to stroke volume and ejection fraction in ageing, blood pressure, body size and gender in the HUNT3 study [Electronic resource] / A. Stoylen, H. Dalen, H. E. Molmen // *Open Heart*. – 2020. – Vol. 7, № 2. – e001243. – Mode of access: <https://openheart.bmj.com/content/7/2/e001243.long>. – Date of access: 24.03.2023.
16. Жарихина, М. П. Эхокардиографическая оценка деформации миокарда левого желудочка : учеб.-метод. пособие / М. П. Жарихина, Е. А. Вертинский, Л. Ю. Ушакова. – Минск : БелМАПО, 2021. – 27 с.

Учебное издание

Жарихина Марина Петровна
Вертинский Евгений Анатольевич

ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СИСТОЛИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ЖЕЛУДОЧКОВ

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 13.04.2023. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать ризография. Гарнитура «Times New Roman».

Печ. л. 1,63. Уч.- изд. л. 1,65. Тираж 100. Заказ 112.

Издатель и полиграфическое исполнение –

государственное учреждение образования «Белорусская медицинская академия
последипломного образования».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/136 от 08.01.2014.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1275 от 23.05.2016.

220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 3, корп.3.