

- ment // Eur. J. Cardiothorac. Surg. — 1998. — Vol. 13. — P. 13–20.
66. *Vanninen R., Äikiä M., Könönen M.* et al. Subclinical cerebral complications after coronary artery bypass grafting // Arch. Neurol. — 1998. — Vol. 55. — P. 618–627.
67. *Weintraub M. I., Khoury A.* Cerebral hemodynamic changes induced by simulated tracheal intubation: a possible role in perioperative stroke? Magnetic resonance angiography and flow analysis in 160 cases // Stroke. — 1998. — Vol. 29. — P. 1644–1649.
68. *Wolman R. L., Nussmeier N. A., Aggarwal A.* et al. Cerebral injury after cardiac surgery: identification of a group at extraordinary risk // Ibid. — 1999. — Vol. 30. — P. 514–522.
69. *Zimpfer D., Czerny M., Kilo J.* et al. Cognitive deficit after aortic valve replacement // Ann. Thorac. Surg. — 2002. — Vol. 74. — P. 407–412.
- Поступила 24.01.2007

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В КАРДИОЛОГИИ

© Е. З. ГОЛУХОВА, Н. В. ШАНАУРИНА

УДК 616.126.422:616-008.17

### Роль изучения проксимальной зоны регургитации в количественной оценке недостаточности митрального клапана

*Е. З. Голухова, Н. В. Шанаурина*

Научный центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева  
(дир. — академик РАМН Л. А. Бокерия) РАМН, Москва

Благодаря постоянному совершенствованию ультразвуковых технологий стало возможным получение качественного эхокардиографического изображения, что в свою очередь позволяет лучше понять морфологию структур сердца, патфизиологию возникновения клапанной недостаточности, определить количественные характеристики митральной недостаточности.

*Ключевые слова:* митральная регургитация, трехмерная эхокардиография, магнитно-резонансная томография, перешеек регургитации.

Недостаточность клапанов сердца, безусловно, остается одной из наиболее сложных проблем для оценки вальвулопатий в кардиологической практике [1, 2, 4]. С появлением новых методов трансторакальной и чреспищеводной эхокардиографии (ЭхоКГ) неинвазивная диагностика этой патологии претерпела революционные изменения [2, 23, 41].

Выявление клинических и эхокардиографических признаков недостаточности клапанов связано с большими трудностями.

С одной стороны, даже при выраженной митральной недостаточности клинические и ЭхоКГ-признаки ее крайне скудны, с другой стороны, около 40–60% здоровых людей имеют незначительную митральную регургитацию, определяемую при доплерографическом исследовании митрального клапана. Разграничить эти проявления между собой часто затруднительно, поэтому необходимо не только учет всех клинических данных и динамического эхокардиографического наблюдения,

но и определение параметров количественной оценки выраженности клапанной недостаточности.

Недостаточность митрального клапана (МК) принято делить на органическую и относительную [3, 5, 12, 19]. Причинами органической недостаточности МК чаще всего являются миксоматозная дегенерация МК с его пролапсом, поражения створок МК при ревматизме, атеросклерозе, септическом эндокардите. При этих заболеваниях происходит поражение самих створок МК с формированием митрального порока сердца [7, 44].

Вторая форма недостаточности МК — относительная митральная недостаточность. При этой форме створки МК остаются неизменными. Наиболее частыми ее причинами являются дилатация левых камер сердца и расширение фиброзного клапанного кольца, пролабирование створок МК, кальциноз фиброзного кольца, дисфункция папиллярных мышц, разрыв сухожильных хорд митрального клапана. Такая форма митральной недостаточности встречается у пациентов с дилатационной и ишемической кардиомиопатией, аортальной недостаточностью [16, 32, 40].

Исходя из причин возникновения органической и относительной митральной недостаточности можно понять, что это разделение достаточно условно и возможен переход относительной недостаточности клапана в органическую форму вследствие вовлечения в процесс створок митрального клапана. Кроме того, в клинической практике митральная недостаточность может выступать и как самостоятельный синдром, определяющий клиническую картину заболевания, и в качестве осложнения при многих заболеваниях сердца [3, 5, 18, 19].

Чувствительность и специфичность доплеровских методик в диагностике недостаточности митрального клапана приближаются к 100% [20, 23, 39, 41].

С помощью ЭхоКГ уточняют этиологию и механизм недостаточности МК, и

прежде всего морфологию и кинетику клапана. Для уточнения механизма недостаточности МК необходимо провести анализ различных структур, обеспечивающих запирающую функцию и смыкание створок благодаря синхронной и слаженной работе таких элементов, как створки, кольцо, подклапанный аппарат, состоящий из хорд и папиллярных мышц, и миокарда левого желудочка [1, 2, 4]. Поражения хотя бы одного из этих элементов достаточно для возникновения митральной недостаточности. Неоценимую помощь в понимании характера и природы митральной регургитации вносит классификация Карпантье, основанная на описании движения створок и изучении структурных аномалий [1, 2, 4, 33, 37]:

*Тип I* (преимущественно патология створок) — *нормальное движение створок митрального клапана:*

- 1) деформация фиброзного кольца (дилатация);
- 2) расщепление створок;
- 3) недоразвитие створок, перфорация створок, двойное митральное отверстие.

*Тип II* (преимущественно при поражении подклапанных структур) — *пролабирование створок митрального клапана в полость левого предсердия:*

- 1) удлинение хорд и/или папиллярных мышц и/или их разрывы;
- 2) гипоплазия папиллярных мышц.

*Тип III* — *ограничение подвижности створок митрального клапана* — укорочение хорд или их сращение.

ЭхоКГ-заключение должно учитывать вышеприведенную классификацию еще и потому, что каждому типу недостаточности соответствует определенная хирургическая методика коррекции. Этот этап оценки имеет большое значение, так как он определяет тип вмешательства: пластика или замещение клапана. В случае тяжелой недостаточности у бессимптомного больного, если речь идет о возможности выполнения пластической операции, значение ЭхоКГ

резко возрастает. В ходе обследования по поводу тяжелой митральной недостаточности именно врач, проводящий ультразвуковое исследование, должен попытаться ответить на вопрос: оправданно ли выполнение пластической операции? В этом контексте для уточнения механизма регургитации часто оказывается полезной транспицевоидная ЭхоКГ [29, 31, 35].

Существуют косвенные признаки недостаточности митрального клапана, отражающие характерные для этого порока гемодинамические сдвиги:

- несмыкание (сепарация) створок митрального клапана во время систолы ЛЖ;
- увеличение размеров левого предсердия;
- повышение амплитуды открытия митрального клапана;
- дилатация полости ЛЖ, гипертрофия миокарда ЛЖ.

Понятно, что каждый из этих признаков неспецифичен и встречается при множестве других патологических состояний. Только сочетание нескольких из них может иметь значение для ориентировочной диагностики этого порока, причем косвенными показателями степени митральной недостаточности служат объемы левого предсердия и ЛЖ.

Увеличение же диастолического расхождения створок митрального клапана, систолическая сепарация створок клапана, изменение амплитуды и скорости открытия его передней створки далеко не всегда обнаруживаются при митральной регургитации и не являются строго специфичными.

Хроническая недостаточность митрального клапана приводит к растяжению левого предсердия, размеры которого можно оценить из парастернальной или из верхушечной проекции. На практике логичнее всего было бы осуществить планиметрию левого предсердия в четырехкамерной проекции, однако растяжение левого предсердия связано с рядом факторов и зависит от тяжести и длительности

существования митральной недостаточности, а также от наличия аритмии в виде фибрилляции предсердий или сопутствующей артериальной гипертензии [43, 45]. При острой митральной недостаточности левое предсердие обычно растянуто слабо или совсем не дилатировано, а при значительной регургитации часто отмечают лишь систолическое растяжение задней стенки левого предсердия. Итак, хотя измерение диаметра и площади левого предсердия является необходимым элементом оценки недостаточности митрального клапана, определение этих параметров не позволяет произвести достоверную количественную оценку регургитации; например, у больного с длительной фибрилляцией предсердий митральная недостаточность может быть минимальной, а левое предсердие – сильно дилатированным, и наоборот, при выраженной острой митральной регургитации размеры левого предсердия могут оставаться нормальными [7, 9, 15, 24, 44].

Следующий этап – исследование ЛЖ. Изучение функции ЛЖ, основанное на измерении его диаметров, объемов, фракции укорочения и фракции выброса, имеет огромное значение при тяжелой митральной недостаточности, так как часто позволяет сделать выбор между медикаментозным и хирургическим лечением. Хроническая митральная недостаточность, сопровождающаяся увеличением размеров ЛЖ, является поводом для хирургического вмешательства. В некоторых случаях при резком развитии митральной недостаточности (например, вследствие разрыва хорд) ЛЖ дилатирован незначительно, и, напротив, при некоторых кардиомиопатиях с сильным расширением желудочка имеет место минимальная или умеренная функциональная митральная недостаточность [14, 17, 36, 45].

Цветная доплерография дает возможность увидеть внутрисердечный кровоток в режиме реального времени. Это замечательный метод, позволяющий поставить

диагноз митральной недостаточности, более чувствительный, чем ангиография или фонокардиография, с точки зрения выявления минимальных проявлений [21, 22, 38, 45]. Допплеровские методики позволили доказать наличие «микропротечек» у здоровых людей, так называемые физиологические протечки, о существовании которых долгое время не подозревали. При использовании чреспищеводной доплерографии эти физиологические протечки отмечаются в 100% случаев, а ангиография их не показывает [43–45].

Качественная оценка степени митральной регургитации отражена в классификации митральной недостаточности по степени распространения регургитирующей струи в полость левого предсердия:

- I степень – от створок митрального клапана до фиброзного кольца;
- II степень – выше фиброзного кольца до середины предсердия;
- III степень – более чем на половину длины предсердия;
- IV степень – до противоположной клапану стенки левого предсердия.

Картина регургитирующего потока, получаемая с помощью цветной доплерографии, представляет собой исключительно спектр скоростей и зависит не только от объема регургитации, но и от ряда других факторов [14, 23, 38, 42, 45]:

- градиента давления, возникающего во время систолы между левым желудочком и левым предсердием по обе стороны клапана; чем выше скорость кровотока, тем больше будет ширина спектра;
- колебаний пред- и постнагрузки, меняющих поверхность регургитирующего потока;
- размера и комплайнса (растяжимости) принимающей полости, в данном случае – левого предсердия. Volger и соавт. в 1990 г. показали в исследованиях *in vitro*, что уменьшение объема принимающей полости приводит к значительному увеличению поверхности регургитирующего потока. На цветной доплерограм-

ме клапанная недостаточность покажется менее выраженной в случае больших размеров принимающей полости, и наоборот, если размер этой полости уменьшен, то недостаточность покажется более выраженной;

– ориентации потока (эффект Coanda). Когда поток регургитации обтекает стенку левого предсердия, как при пролабировании створок, он оказывает на нее давление и тем самым меняет ее форму. При равном объеме регургитации «примыкающие» потоки на планиметрии будут выглядеть менее широкими и иметь меньшую площадь, чем «свободные» потоки; цветная доплеровская картина также зависит и от ультразвукового окна;

– образование цветной карты доплеровского сканирования зависит от чувствительности приборов и их настройки. К сожалению, стандартов в этой области не существует. Площадь поверхности потока на одном и том же приборе может меняться в зависимости от ритма получения изображений, от настройки усиления, от частоты передачи и приема ультразвуковых сигналов.

В основе количественной оценки с применением цветовой доплерографии лежат картография потока регургитации, изучение величины потока у входа и, наконец, анализ зоны конвергенции [42, 45].

Чтобы получить «трехмерную» картографию потока регургитации и, главное, не пропустить идущий в типичном направлении эксцентрический поток, омывающий стенку предсердия, или не занижить его размеры, следует увеличить число планов. Этот подход остается полуколичественным и не учитывает временные изменения регургитации, так как площадь вычисляется в конкретный момент времени.

В 1987 г. было предложено сравнивать максимальную площадь поверхности цветного потока с площадью левого предсердия, измеренной на том же кадре в трех ортогональных проекциях: левой парастернальной позиции по длинной оси ЛЖ,

левой парастернальной позиции по короткой оси ЛЖ и верхушечной четырехкамерной позиции [38, 42]. Для сравнения берется самая большая площадь поверхности, полученная в одной из проекций. На основании отношения площади струи митральной регургитации к площади левого предсердия полуколичественно оценивается выраженность митральной недостаточности: I степень – менее 20%; II степень – 20–40%; III степень – 40–80%; IV степень – более 80%.

Но эта методика не дает желаемых результатов при наличии пристеночных потоков, если мы хотим отличить регургитацию средней степени тяжести от тяжелой, ввиду зависимости цветной картинки от многочисленных независимых факторов, определяющих тяжесть регургитации. Более того, воспроизводимость результатов, полученных разными исследователями и одним и тем же исследователем в ходе различных измерений площади поверхности цветного доплеровского потока регургитации, далеко не идеальна, коэффициент вариабельности составляет от 15 до 20%.

Все вышеперечисленные ограничения побуждали к поиску новых способов оценки клапанной регургитации.

Изучение проксимальной зоны регургитации (proximal isovelocity surface area – PISA) и перешейка регургитации (vena contracta) является одним из основных методологических подходов, характеризующих выраженность митральной недостаточности [14, 16, 17, 34].

Наличие дефекта систолического смыкания створок МК приводит к тому, что во время систолы полость ЛЖ, давление в которой повышено, сообщается с полостью левого предсердия, где давление более низкое. Таким образом, во время систолы имеет место повышенный градиент давления, объясняющий высокую скорость потока митральной регургитации в левое предсердие. Исследования *in vitro* показали, что регургитирующий поток состоит из четырех частей [5–8, 18, 38, 44]:

– зона конвергенции кровотока, расположенная непосредственно перед регургитирующим отверстием с желудочковой стороны. В этой зоне эритроциты, постепенно наращивая скорость, устремляются к отверстию. Размеры зоны конвергенции пропорциональны величине кровотока на уровне отверстия. Схематически можно представить зону конвергенции как последовательность концентрических полушарий с центром вокруг регургитирующего отверстия с расходящимися радиусами, соответствующими все более высоким скоростям эритроцитов по мере приближения к отверстию (рис. 1, 2);

– центральная конвергентная зона, где поток носит ламинарный характер и основание которой расположено на уровне регургитирующего отверстия. В этой зоне скорость всех эритроцитов одинакова и равна скорости у входа в регургитирующее отверстие. В этой зоне ламинарного кровотока постепенно развивается турбулентность, возникающая при проникновении потока в неподвижный объем крови, что объясняет коническую форму зоны;

– вторичные потоки, окружающие периферию основания потока, идущего в левое предсердие, возникающие вследствие силы притяжения центрального потока у его основания, действующей на периферические слои крови;

– расходящиеся турбулентности нижней части потока, созданные при проникновении ламинарного потока в почти неподвижный объем крови в левом предсердии. На уровне отверстия турбулентный слой незначителен, но по мере удаления от него увеличивается и становится максимальным на уровне вершины центрального конвергентного конуса.

При изучении зоны конвергенции основное внимание уделяется не потоку, идущему в левое предсердие, а той области внутри ЛЖ, где происходит конвергенция потоков крови перед их попаданием в МК. При увеличении скорости

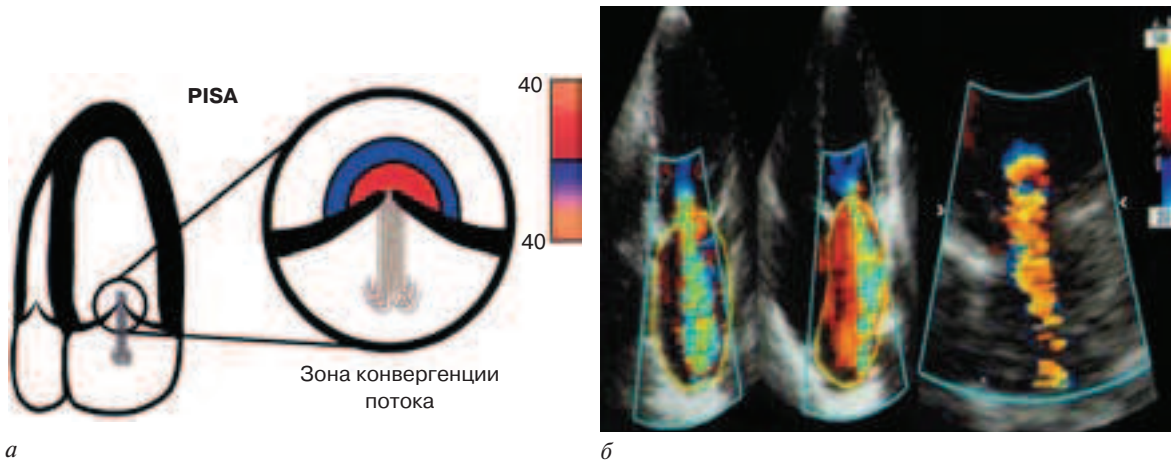


Рис. 1. Проксимальная зона регургитации – PISA.

*a* – схема проксимальной зоны регургитации – часть цветного спектра митральной регургитации на желудочковой стороне клапана (красным цветом показана зона конвергенции регургитирующего потока в ЛЖ); *б* – количественная оценка недостаточности митрального клапана в двухмерном режиме (планиметрия регургитирующей струи, площадь струи и перешейка регургитирующего потока).

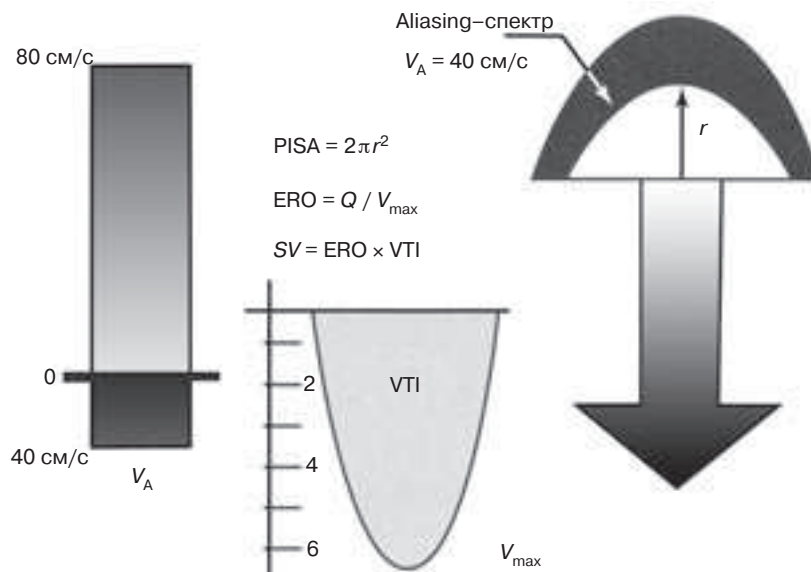


Рис. 2. Схема расчета площади проксимальной зоны регургитации (PISA,  $\text{cm}^2$ ), объема проксимальной струи регургитации ( $Q$ ,  $\text{мл/с}$ ), эффективной площади отверстия регургитации (ERO,  $\text{cm}^2$ ) и ударного объема на основании теории ускорения проксимального потока ( $SV$ ,  $\text{мл}$ ).  
*r* – радиус проксимальной струи от створок митрального клапана до области алайзинг-спектра;  $V_A$  – показатель скорости алайзинговой струи; VTI – интеграл линейной скорости митральной регургитации (непрерывно-волновой доплер);  $V_{max}$  – пиковая среднесистолическая скорость митральной недостаточности (непрерывно-волновой доплер).

потока по мере приближения к суженному отверстию регургитации отмечается алайзинг-эффект (наложение спектров), что приводит к образованию ряда многоцветных колец, расположенных проксимальнее места сужения. В конкретной полусфере (изоскоростной области) все эритроциты обладают одинаковой скоростью.

Чем ближе к отверстию оказываются эритроциты, тем меньше становятся радиус  $r$  и площадь  $S_r$  полусферы, тем больше

становится скорость эритроцитов  $V_A$  на этом уровне, а произведение  $S_r$  и  $V_A$  остается постоянным на уровне всех полусфер изоскорости.

На основании принципа непрерывности потока можно считать, что объемная скорость регургитации в области сужения равна объемной скорости кровотока, измеренной на уровне проксимальной изоскоростной полусферы. Зная радиус ( $r$ ,  $\text{см}$ ) проксимальной изоскоростной области, можно вычислить площадь ( $S$ ,  $\text{cm}^2$ ) про-

ксимальной изоскоростной поверхности регургитирующего потока (PISA) по классической формуле:

$$S = 2\pi r^2$$

При наличии митральной недостаточности после уменьшения предела Найквиста («скорости изменения») обычно без труда удается визуализировать зону конвергенции, имеющую приблизительно полусферическую форму. В большинстве случаев применяют верхушечную проекцию с приближением, ширину цветного сектора устанавливают на минимум. Определяют радиус ( $r$ ) зоны конвергенции, чаще всего — в середине систолы; этот радиус представляет собой расстояние между регургитирующим отверстием (или створками митрального клапана, если отверстие увидеть не удастся) и первым изменением на цветном доплеровском изображении (переход от синего цвета к желто-оранжевому).

Визуализацию плоскости регургитирующего отверстия можно упростить путем снятия цветовой кодировки на остановленном изображении [3, 5, 10, 13, 42]. Показатель скорости алайзинговой струи ( $V_A$ ) на уровне этой полусферы соответствует пределу Найквиста, определяемому аппаратом и показываемому на экране. На большинстве аппаратов можно при желании уменьшить предел Найквиста, что часто бывает необходимо для получения удовлетворительного изображения зоны конвергенции. Чаще всего, чтобы обеспечить оптимальную визуализацию этой зоны, работают с показателями предела Найквиста от 25 до 40 см/с, убедившись при этом, что отношение  $V_A$  к максимальной скорости митральной недостаточности на продолжительной доплерограмме ниже 10%.

Объем проксимальной струи регургитации ( $Q$ , мл/с) равен произведению площади проксимальной струи регургитации на скорость алайзинговой струи ( $V_A$ , см/с):

$$Q = 2\pi r^2 \times V_A.$$

Помимо объема проксимальной струи регургитации, этот метод позволяет вычислить и другие количественные параметры:

— эффективную площадь регургитирующего отверстия (ERO, см<sup>2</sup>) путем простого деления объема проксимальной струи регургитации ( $Q_r$ ), измеренного в середине систолы, на пиковую скорость ( $V_{\max}$ ) потока митральной недостаточности, зафиксированного на непрерывной доплерограмме, которую принимают за среднесистолическую:

$$ERO = Q/V_{\max}$$

P. Vandervoort и соавт. обосновали этот подход на модели потока *in vitro* и у человека [42];

— ударный объем регургитации ( $SV$ , мл) за конкретный сердечный цикл, путем умножения эффективной площади регургитирующего отверстия на интеграл линейной скорости потока митральной регургитации (VTI), зафиксированного на непрерывно-волновой доплерограмме:

$$SV = ERO \times VTI_{mr}.$$

Вычисление интеграла линейной скорости (VTI) без труда осуществляется на современных машинах путем планиметрии потока митральной недостаточности. Значение VTI, а также значение максимальной скорости потока автоматически появляется на экране;

— фракцию регургитации можно определить путем умножения ударного объема регургитации на частоту сердечных сокращений ( $HR$ ):

$$FR = SV \times HR$$

У метода PISA есть свои преимущества и ограничения.

Вычисление объема проксимальной струи, регургитирующей в середине систолы, по показателям зоны конвергенции обладает тем преимуществом, что его производят с помощью единственного параметра — радиуса  $r$  [34, 37, 42]. Получение непрерывно-волновой доплеровской

кривой митральной недостаточности хорошего качества позволяет вычислить эффективную площадь регургитирующего отверстия и ударный объем регургитации за одно сокращение. Этот метод применим у больных с фибрилляцией предсердий, в таких случаях необходимо устанавливать среднее значение из 5 или 10 показателей ввиду колебаний объема регургитации в зависимости от продолжительности цикла. Изучение зоны конвергенции обладает и тем преимуществом, что теоретически может применяться в случае митрального порока, но для доказательства этого потребуются дополнительные исследования [14–16]. Аортальная вальвулопатия не создает препятствий к применению метода, который мало зависит от вязкости крови и от условий нагрузки, в отличие от максимальной площади потока, регургитирующего в левое предсердие. Более того, этот метод может быть применен быстро, и обучиться ему можно за относительно короткое время.

Преимущества изучения зоны конвергенции связаны также с ограничениями других методов количественной оценки митральной недостаточности. Необходимо заметить, что размеры левых полостей сердца отнюдь не отражают величину регургитации, а установление площади регургитирующего потока по показаниям цветной доплерографии обладает множеством ограничений, и ширину потока у основания не всегда можно измерить из трансторакального доступа.

Метод изучения проксимальной зоны регургитации имеет следующие ограничения:

– риск занижения степени регургитации – вблизи от регургитирующего отверстия на цветной доплерограмме происходит потеря полусферической формы зоны конвергенции с тенденцией к уплощению изоскоростной поверхности, что может привести к значительному занижению объема проксимальной струи и площади на уровне регургитирующего отверстия

[14–16, 34, 38, 42, 45]; чтобы получить полусферическую зону конвергенции и избежать занижения показателей, «идеальная» для последующих вычислений скорость изменения не должна превышать 10%, а еще лучше – 5% максимальной скорости митральной недостаточности [32, 37];

– риск завышения степени регургитации в случае измерения максимального радиуса зоны конвергенции у больных со значительными изменениями радиуса в течение систолы, соответствующими реальным изменениям объема проксимальной струи регургитации [5, 41, 42]. Завышение особенно часто встречается при пролапсе клапана, когда нередко констатируют явное увеличение объема проксимальной струи регургитации и эффективной регургитирующей площади в середине и в конце систолы [14–16, 42, 44]. При ревматической митральной недостаточности отмечают либо стабильный объем проксимальной струи регургитации в течение всей систолы, либо слабое увеличение в середине систолы, тогда как при функциональной митральной недостаточности в случае ДКМП чаще всего констатируют короткий протосистолический пик с последующим явным снижением объема проксимальной струи регургитации, а затем – второй пик меньшей амплитуды в систолу; при ревматической или функциональной митральной недостаточности хорошие результаты приносит измерение радиуса зоны конвергенции в середине систолы;

– препятствие, создаваемое стенкой желудочка при наличии неплоского регургитирующего отверстия (как, например, при пролапсе задней створки митрального клапана), может привести к тому, что зона конвергенции будет иметь форму усеченного полуэллипса. В этом случае можно измерять альфа-угол зоны конвергенции с использованием транспортира [40–43]. Объем и площадь на уровне регургитирующего отверстия вычисляют, приняв зону конвергенции за полусферу (угол  $180^\circ$ ).



Затем делают поправку вычисленного объема проксимальной струи на отношение измеренного альфа-угла/ $180^\circ$ . Таким образом, этот простой метод позволяет осуществлять поправку завышенных результатов, получаемых главным образом при явных пролапсах, пролапсах задней створки митрального клапана [2, 5, 14, 27, 35]. Тем не менее подобное измерение угла достаточно сложно и может производиться в одной плоскости;

– измерение радиуса ( $r$ ) иногда представляет технические трудности из-за плохого разрешения плоскости регургитирующего отверстия. При плохом эхокардиографическом окне иногда бывает трудно визуализировать зону конвергенции. Оценку радиуса ( $r$ ) следует проводить с особой тщательностью, так как любая ошибка будет возведена в квадрат при вычислении объема проксимальной струи регургитации, необходимого для определения эффективной площади регургитирующего отверстия и ударного объема регургитации. Чтобы ограничить риск такой ошибки, следует систематически использовать зуммер и брать для вычисления среднее арифметическое минимум из пяти последовательных измерений. Перед какими-либо вычислениями нужно убедиться, что изоскоростная поверхность имеет удовлетворительную форму, в целом полусферическую и симметричную, не деформированную сдавливанием со стороны прилегающих структур, что могло бы стать поводом для угловой поправки.

Ширина струи митральной регургитации в месте ее формирования, так называемый перешеек регургитации (*vena contracta*), – параметр, который, как и радиус проксимальной зоны регургитации, в меньшей степени зависит от давлений в желудочке и предсердиях и от сердечного выброса, чем глубина проникновения регургитирующей струи в предсердие. Если ширина перешейка менее 3 мм, митральная регургитация незначительная, а при

ширине перешейка 6 мм – недостаточность МК выраженная.

Хотя трансторакальная ЭхоКГ в большинстве случаев позволяет оценить тяжесть митральной недостаточности, иногда, если сомнения относительно тяжести поражения остаются, все же бывает полезно дополнить обследование проведением ЭхоКГ из чреспищеводного доступа. Более того, чреспищеводная ЭхоКГ позволяет лучше проанализировать механизм регургитации, а также более точно определить, удастся ли провести хирургическое вмешательство типа пластики.

Количественная оценка митральной недостаточности при наличии значительного митрального стеноза сопряжена с рядом дополнительных сложностей:

– вычисление фракции регургитации, используемое при чистой митральной недостаточности и основанное на измерении объема проксимальной струи митральной регургитации (и аортального выброса) по классическим методикам, в случае митрального порока не обосновано;

– использование соотношения интеграла линейной скорости митрального кровотока к интегралу линейной скорости аортального кровотока уже не оправданно, так как митральный стеноз сам по себе приводит к росту интеграла линейной скорости митрального кровотока;

– показатель максимальной площади потока регургитации или его площади относительно площади левого предсердия на цветной доплерограмме может применяться, но с известными ограничениями;

– изучение зоны конвергенции представляет особый интерес в данной ситуации, так как сохраняется значение этого показателя для количественной оценки регургитации. Измерение диаметра потока регургитации у основания также сохраняет свою значимость при митральном пороке [5, 12, 24, 42].

Учитывая все вышеперечисленное и долю субъективизма эхокардиографических методик, нами было проведено

сравнение эхокардиографических данных и результатов магнитно-резонансной томографии (МРТ) сердца – «золотого стандарта» диагностики.

В исследовании детально изучался характер и объем поражения клапанного аппарата с помощью трансторакальной, трансэзофагеальной и трехмерной ЭхоКГ (система «Philips iE33»), МРТ, рентгенологического исследования. Наряду с общепринятыми эхокардиографическими методами оценки клапанной недостаточности определяли радиус проксимальной зоны регургитации ( $r$ ), рассчитывали площадь проксимальной струи регургитации (PISA), объем проксимальной струи

регургитации, эффективную площадь отверстия регургитации, перешеек регургитации (VC), ударный объем и фракцию регургитации (см. рис. 2). С помощью МРТ исследовали проксимальную зону митральной регургитации, перешеек регургитации, площадь и объем непосредственно самой регургитации (рис. 3).

Была выявлена абсолютная корреляция эхокардиографических (метод PISA) и МРТ-измерений:  $r=0,92$  для  $r$  MR ( $p=0,001$ ) и  $r=0,93$  для VC MR ( $p<0,001$ ). Данные результаты свидетельствуют о достоверности изучения проксимальной зоны и перешейка регургитации эхокардиографическими методами, независимо

от того, через какой доступ они выполнены. При этом необходимо отметить, что традиционные эхокардиографические методики оценки выраженности клапанной недостаточности с помощью цветной доплерографии при сравнении с результатами МРТ уступают, хотя и незначительно, методу PISA и измерению перешейка регургитации.

Недостаточность МК количественно оценивали и с помощью трехмерной ЭхоКГ (планиметрия струи, вена контракта, объем регургитации). Измерение объема регургитации оказалось возможным в 83% случаев, а планиметрии – в 86%. Соотношение данных объема регургитации по результатам трехмерной ЭхоКГ оказалось выше, а планиметрии – незначительно ниже результатов двухмерной ЭхоКГ (рис. 4).

В нашем исследовании в большинстве случаев при проведении трехмерной ЭхоКГ зона конвергенции имела не



Рис. 3. МРТ пациента N., 44 лет, с пролапсом митрального клапана. Митральная регургитация II степени; в систолу в левом предсердии обширная зона низкоинтенсивного МР-сигнала (стрелка); vena contracta – 4 мм, радиус проксимальной зоны регургитации – 7,6 мм, ERO – 0,3 см<sup>2</sup>.

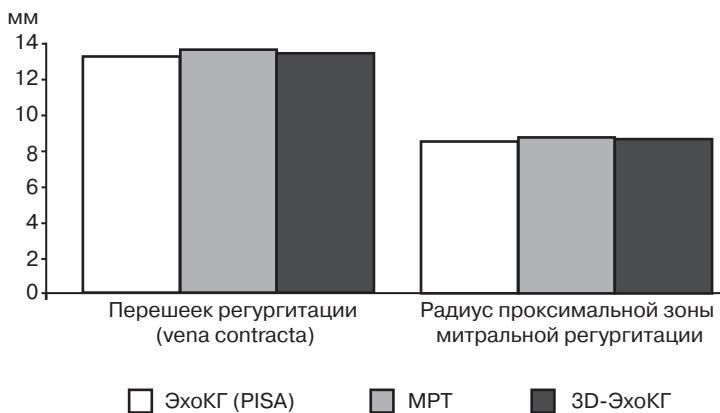


Рис. 4. Количественная оценка недостаточности митрального клапана с помощью двухмерной и трехмерной ЭхоКГ и МРТ.

полусферическую форму, а скорее полуэллипсоидную, что заставило пересмотреть данные, полученные методом двухмерной ЭхоКГ. При этом результаты количественной оценки митральной недостаточности, полученные с помощью трехмерной ЭхоКГ, абсолютно коррелировали с результатами МРТ.

Проведенное исследование доказало, что с помощью двухмерной ЭхоКГ (метод PISA) можно проводить оценку клапанной недостаточности сердца.

На практике количественная оценка митральной недостаточности с помощью эходопплерографии основана на ряде параметров. Ни один из них не является достаточно чувствительным и специфичным настолько, чтобы на основании только одного этого параметра можно было оценить степень регургитации. Каждый из показателей имеет свои ограничения. Эти параметры следует рассматривать в совокупности с имеющимися показаниями эхографии и доплерографии. Следует учитывать все эти показатели, чтобы верифицировать полученный результат и сделать его валидным. В повседневной практике эходопплерография позволяет отделить умеренную митральную недостаточность от тяжелой. После подтверждения степени тяжести регургитации на основании клинических данных, показателей функции ЛЖ и легочного давления, а также уточнения механизма регургитации, определяется необходимость и вид хирургического вмешательства. Все эти данные можно получить на основании эходопплеровского исследования.

Итак, на основании проведенных исследований и данных литературного обзора можно сделать вывод, что при проведении ЭхоКГ подтверждением выраженной митральной недостаточности служат следующие критерии:

– максимальная площадь потока митральной регургитации более  $8 \text{ см}^2$  или относительная площадь более 40%. Следует

обратить внимание на эксцентрические потоки при пролапсе створок МК – площадь регургитации на цветной доплерограмме может выглядеть меньше действительной при тяжелой митральной недостаточности;

– диаметр потока у основания более 6 мм (иногда его бывает трудно измерить из трансторакального доступа);

– в зоне конвергенции объем проксимальной струи регургитации более 140 мл/с, эффективная площадь регургитирующего отверстия – более  $35 \text{ мм}^2$ ; ударный объем регургитации – более 50–60 мл;

– соотношение митрального и аортального интегралов линейной скорости более 1,3;

– фракция регургитации более 40%.

В сомнительных случаях можно дополнить обследование чреспищеводной ЭхоКГ, облегчающей измерение диаметра потока у основания. На практике чреспищеводная ЭхоКГ выполняется у большинства больных для более точного определения механизма регургитации и возможности выполнения пластической операции. Кроме того, это обследование часто проводят для подтверждения точности трансторакальной оценки.

Изучение проксимальной зоны регургитации и перешейка регургитации заслуживает включения метода в количественную оценку недостаточности митрального клапана. Этот метод не требует больших затрат времени, ему относительно легко обучиться, не забывая о ряде ограничений – расчеты показателей PISA неприменимы в случаях сочетания митральной недостаточности с гемодинамически значимыми аортальными пороками, митральным стенозом.

В свою очередь, трехмерная ЭхоКГ позволяет лучше понять патофизиологию возникновения митральной регургитации и соответственно помогает в выработке новой стратегии в лечении функциональной митральной регургитации.

Литература

1. Бокерия Л. А., Голухова Е. З., Иваницкий А. В. (ред.) Функциональная диагностика в кардиологии. Т. 1. — М.: Изд-во НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН, 2002. — С. 333–371.
2. Дземешкевич С. Л., Стивенсон Д. У. Болезни митрального клапана. Функция, диагностика, лечение. — М.: Гэотар Медицина, 2000. — С. 11–109.
3. Митьков В. В., Сандрикова В. А. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике. Т. V. — М.: Видар, 1998. — С. 86–119.
4. Скопин И. И., Мироненко В. А., Перепилица А. А. Новый вариант хирургического воздействия при дилатационной кардиомиопатии: сближение папиллярных мышц и редукция полости левого желудочка петлей PTFE, аннулопластика митрального и трикуспидального клапанов // Грудная и серд.-сосуд. хир. — 2005. — № 4. — С. 65–67
5. Фейгенбаум Х. Эхокардиография. — М.: Видар, 1999. — С. 177–233.
6. Bargiggia G., Tronconi L., Sahn D. et al. A new method for quantitation of mitral regurgitation based on color flow Doppler imaging of flow convergence proximal to regurgitation orifice // Circulation. — 1991. — Vol. 84. — P. 1481–1489.
7. Baumgartner H., Schima H., Kuhn P. Value and limitations of proximal jet dimensions for the quantitation of valvular regurgitation // Circulation. — 1993. — Vol. 87. — P. 841–848.
8. Boon N., Bloomfield P. Medical management of valve heart disease // Ibid. — 2002. — Vol. 87. — P. 395–400.
9. Breithardt O. A., Sinha A. M., Schwammenthal E. et al. Acute effects of cardiac resynchronization therapy on functional mitral regurgitation in advanced systolic heart failure // J. Amer. Coll. Cardiol. — 2003. — Vol. 41. — P. 765–770.
10. Burwash I., Blackmore G., Koilpillari C. Usefulness of left atrial and left ventricular chambers sizes as predictors of the severity mitral regurgitation // Amer. J. Cardiol. — 1992. — Vol. 70. — P. 774–779.
11. Castello R., Lenzen P., Aguirre F. et al. Quantitation of mitral regurgitation by transesophageal echocardiography with Doppler color flow mapping: Correlation with cardiac catheterization // J. Amer. Coll. Cardiol. — 1992. — Vol. 19. — P. 1516–1521.
12. Chen C., Koschyk D., Brockhoff C. et al. Noninvasive estimation of regurgitation flow rate and volume in patients with mitral regurgitation by Doppler color mapping of accelerating flow field // Ibid. — 1993. — Vol. 21. — P. 374–383.
13. Eguchi K., Ohtaki E., Matsumura T. et al. Pre-operative atrial fibrillation as the key determinant of outcome mitral valve repair for degenerative mitral regurgitation // Eur. Heart J. — 2005. — Vol. 26. — P. 1866–1872.
14. Enriquez-Sarano M., Miller F., Haynes S. et al. Effective mitral regurgitation orifice area: clinical use and pitfalls of the proximal isovelocity surface area method // J. Amer. Coll. Cardiol. — 1995. — Vol. 25. — P. 703–709.
15. Enriquez-Sarano M., Schaff H., Frye R. L. Mitral regurgitation: what cause the leakage is fundamental to the outcome of valve repair // Circulation. — 2003. — Vol. 108. — P. 253–256.
16. Enriquez-Sarano M., Sinak L., Tajik A. et al. Changes in effective regurgitation orifice throughout systole in patients with mitral valve prolapse. A clinical study using proximal isovelocity surface area method // Circulation. — 1995. — Vol. 92. — P. 2951–2958.
17. Giga V., Ostojic M., Vujisic-Tesic B. et al. Exercise-induced changes in mitral regurgitation in patients with prior myocardial infarction and left ventricular dysfunction: relation to mitral deformation and left ventricular function and shape // Eur. Heart J. — 2005. — Vol. 26. — P. 1860–1865.
18. Gottdiener J. S., Panza J. A., John S. M. et al. Testing the test: the reliability of echocardiography in the sequential assessment of valvular regurgitation // Amer. Heart J. — 2002. — Vol. 144. — P. 115–121.
19. Grigioni F., Enriquez-Sarano M., Zehr K. J. et al. Ischemic mitral regurgitation: long-term outcome and prognostic implications with quantitative Doppler assessment // Circulation. — 2001. — Vol. 103. — P. 1759–1764.
20. Grossman G., Giesler M., Schmidt A. et al. Quantification of mitral regurgitation — comparison of the proximal convergence method and the jet area method // Clin. Cardiol. — 1995. — Vol. 18. — P. 512–518.
21. Hall S., Brickner E., Willett D. et al. Assessment of mitral regurgitation severity by Doppler color flow mapping of the vena contracta // Circulation. — 1997. — Vol. 95. — P. 636–642.
22. Heinle S. K., Hall S. A., Brickner E. et al. Comparison of vena contracta width by multiplane transesophageal echocardiography with quantitative Doppler assessment of mitral regurgitation // Amer. J. Cardiol. — 1998. — Vol. 81. — P. 175–179.
23. Lewis J., Kuo L., Nelson J. et al. Pulsed Doppler echocardiographic determination of stroke volume and cardiac output: clinical of two new methods using the apical window // Circulation. — 1984. — Vol. 70. — P. 425–431.
24. Matsumura T., Ohtaki E., Tanaka K. et al. Echocardiographic prediction of left ventricular dysfunction after mitral valve repair for mitral regurgitation as an indicator to decide the optimal timing of repair // J. Amer. Coll. Cardiol. — 2003. — Vol. 42. — P. 458–463.
25. McGee E., Gillinov A., Blackstone E. et al. Recurrent mitral regurgitation after annuloplasty for functional ischemic mitral regurgitation // J. Thorac. Cardiovasc. Surg. — 2004. — Vol. 128. — P. 916–924.
26. Mele D., Vandervoort P., Palacios I. et al. Proximal jet size by Doppler color flow mapping predicts severity of mitral regurgitation // Circulation. — 1995. — Vol. 91. — P. 746–754.
27. Messika-Zeitoun D., Yiu SF., Cormier B. et al. Sequential assessment of mitral valve area during

- diastole colour M-mode flow convergence analysis: new insights into mitral stenosis physiology // *Eur. Heart J.* – 2003. – Vol. 24. – P. 1244–1253.
28. *Otto C.* Textbook of clinical echocardiography. – Elsevier Inc, 2004. – P. 227–231, 315–354.
  29. *Pepi M., Barbier P., Doria E.* et al. Intraoperative multiplane vs biplane transesophageal echocardiography for the assessment of cardiac surgery // *Chest.* – 1996. – Vol. 109. – P. 305–311.
  30. *Perier P., Stumpf J., Gotz C.* et al. Valve repair for mitral regurgitation caused by isolated prolapse of the posterior leaflet // *Ann. Thorac. Surg.* – 1997. – Vol. 64. – P. 445–450.
  31. *Perrault L., Cossette R.* Facteurs predictifs de la survie apres valvuloplastie mitrale // *Ann. Chir.* – 1994. – Vol. 48. – P. 755.
  32. *Polsen J. K., Kim W. Y.* Measurement of volumetric flow with no angle correction using multiplanar pulsed Doppler ultrasound // *IEEE Trans. Biomed. Eng.* – 1996. – Vol. 43. – P. 589–599.
  33. *Recusani F., Bargiggia G., Yoganathan A.* et al. A new method for quantification of regurgitation flow rate using color Doppler flow imaging of the flow convergence region proximal to discreted orifice: an in vitro study // *Circulation.* – 1991. – Vol. 83. – P. 594–604.
  34. *Rifkin R., Harper K., Tighe D.* Comparison of proximal isovelocity surface area method with pressure half-time and planimetry in evaluation of mitral stenosis // *J. Amer. Coll. Cardiol.* – 1995. – Vol. 26. – P. 458–465.
  35. *Rivera J., Vandervoort P., Mele D.* et al. Quantification of tricuspid regurgitation by means of the proximal flow convergence method: A clinical study // *Amer. Heart J.* – 1994. – Vol. 127. – P. 1354–1362.
  36. *Robert B. J., Grayburn P. A.* Color flow imaging of the vena contracta in mitral regurgitation: Technical considerations // *J. Amer. Soc. Echocardiogr.* – 2003. – Vol. 16. – P. 1002–1006.
  37. *Rodriguez L., Thomas J., Monterroso V.* Validation of the proximal flow convergence method. Calculation of orifice area in patients with mitral stenosis // *Circulation.* – 1993. – Vol. 88. – P. 1157–1166.
  38. *San J. P., Yang X. S., Qin J. X.* et al. Quantification of mitral regurgitation by automated cardiac output measurement: experimental and clinical validation // *J. Amer. Coll. Cardiol.* – 1998. – Vol. 32. – P. 1074–1082.
  39. *Schwammenthal E., Chen C., Benning F.* et al. Dynamics of mitral regurgitation flow and orifice area. Physiologic application of the proximal flow convergence method // *Circulation.* – 1994. – Vol. 90. – P. 307–322.
  40. *Seiler C., Aeschbacher B. A., Meier B.* Quantitation of mitral regurgitation using the systolic/diastolic pulmonary venous flow velocity ratio // *J. Amer. Coll. Cardiol.* – 1998. – Vol. 31. – P. 1383–1390.
  41. *Van Camp G., Carlier S., Cosyns B.* et al. Quantification of mitral regurgitation by the automated cardiac output method: an in vitro and in vivo study // *J. Amer. Soc. Echocardiogr.* – 1998. – Vol. 11. – P. 643–651.
  42. *Vandervoort P., Rivera J., Mele D.* et al. Application of colour Doppler flow mapping to calculate the regurgitation orifice area // *Circulation.* – 1993. – Vol. 88. – P. 1150–1156.
  43. *Xie G., Berk M., Hixson C.* et al. Quantification of mitral regurgitation volume by the color Doppler proximal isovelocity surface area method: a clinical study // *J. Amer. Soc. Echocardiogr.* – 1995. – Vol. 8. – P. 48–54.
  44. *Zhange J., Jones M., Shandas R.* et al. Accuracy of flow convergence estimates of mitral regurgitation flow rates obtained by use of multiple color flow Doppler M-mode aliasing boundaries: an experimental animal study // *Amer. Heart J.* – 1993. – Vol. 125. – P. 449–458.
  45. *Zoghbi W. A., Enriquez-Sarano M., Foster E.* et al. Recommendations for evaluation of the severity of native valvular regurgitation with two-dimensional and Doppler echocardiography // *J. Amer. Soc. Echocardiogr.* – 2003. – Vol. 16. – P. 777–802.

Поступила 23.01.2007