

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕСТИ АОРТАЛЬНОГО СТЕНОЗА

Зенченко Д.И., к.м.н., ассистент
кафедры лучевой, функциональной и
лабораторной диагностики



EUROPEAN
SOCIETY OF
CARDIOLOGY®

European Journal of Echocardiography
doi:10.1093/ejechocard/jen303

Echocardiographic assessment of valve stenosis: EAE/ASE recommendations for clinical practice

Helmut Baumgartner^{1†}, Judy Hung^{2‡}, Javier Bermejo^{3†}, John B. Chambers^{4†}, Arturo Evangelista^{5†}, Brian P. Griffin^{6‡}, Bernard Jung^{7†}, Catherine M. Otto^{8‡}, Patricia A. Pellikka^{9‡}, and Miguel Quiñones^{10‡}

¹University of Muenster, Muenster, Germany; ²Massachusetts General Hospital, Boston, MA, USA; ³Hospital General Universitario Gregorio Marañón, Barcelona, Spain; ⁴Huy's and St. Thomas' Hospital, London, United Kingdom; ⁵Hospital Vall D'Hebron, Barcelona, Spain; ⁶Cleveland Clinic, Cleveland, OH, USA; ⁷Paris VII Denis Diderot University, Paris, France; ⁸University of Washington, Seattle, WA, USA; ⁹Mayo Clinic, Rochester, MN, USA; and ¹⁰The Methodist Hospital, Houston, TX, USA

ЭТИОЛОГИЯ АОРТАЛЬНОГО СТЕНОЗА

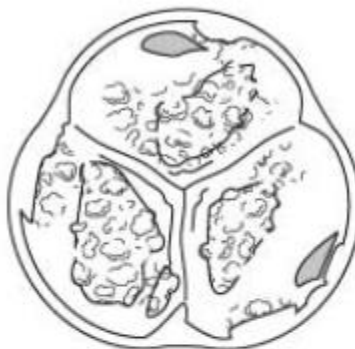
Normal



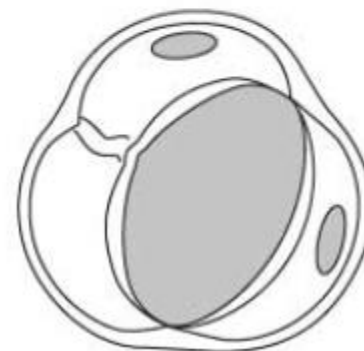
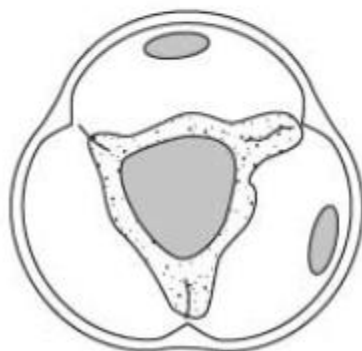
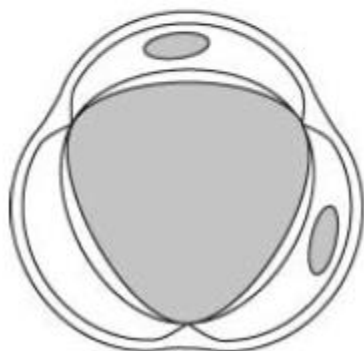
Rheumatic



Calcific



Bicuspid



ЭТИОЛОГИЯ АОРТАЛЬНОГО СТЕНОЗА

Двустворчатый Ао клапан чаще всего происходит из-за сращения правой и левой коронарных створок, что приводит к большой одной и меньшей другой створке с обеими коронарными артериями, исходящими от передней створки (около 80% случаев), или сращения правой коронарной и некоронарной створок, что приводит к большей правой, чем левой, створке с одной коронарной артерией (приблизительно 20% случаев).

Сращение левой коронарной и некоронарной створок наблюдается редко.

ЭТИОЛОГИЯ АОРТАЛЬНОГО СТЕНОЗА

У детей и подростков двустворчатый аортальный клапан может быть стенозирован без обширного кальциноза. У взрослых стеноз двустворчатого аортального клапана, как правило, происходит из-за кальциноза, который часто маскирует число створок, делая определение двустворчатого клапана трудным.

ЭТИОЛОГИЯ АОРТАЛЬНОГО СТЕНОЗА

В США и Европе двухстворчатый аортальный клапан составляет около 50% всех протезированных клапанов. Кальциноз трехстворчатого Ao клапана составляет большую часть остальных случаев, имеется так же небольшое количество случаев ревматического поражения.

Однако, в целом мире, преобладает ревматическое поражение.

ЭТИОЛОГИЯ АОРТАЛЬНОГО СТЕНОЗА

Кальциноз трехстворчатого аортального клапана является очевидным когда *комиссурные сращения отсутствуют*, имеется систолическое отверстие звездообразной формы.

При кальцинозе двустворчатого клапана или трехстворчатого клапана тяжесть кальциноза клапана может быть классифицирована полуколичественно, как незначительная (немного областей плотной эхогенности с небольшой акустической тенью), умеренная, или тяжелая (обширное утолщение и увеличенная эхогенность с выраженной акустической тенью).

Степень кальциноза клапана - предиктор клинического прогноза.

ОЦЕНКА АОРТАЛЬНОГО СТЕНОЗА

Рекомендации по записи данных и измерениям для количественной оценки АС

Измеряемый элемент	Запись	Измерения
LVOT диаметр	<ul style="list-style-type: none">• Позиция 2D парастеральной длинной• Zoom mode• Приспособить увеличение для оптимизации границы между кровью и тканью	<ul style="list-style-type: none">• От внутренней границы до внутренней границы• Середина систолы• Параллельно и непосредственно к аортальному клапану или в месте измерения скорости (см. текст)• Диаметр используется для вычисления круговой CSA
LVOT скорость	<ul style="list-style-type: none">• Пульсовая доплерография• Верхушечная длинная ось или пятикамерная• Контрольный объем устанавливается точно на стороне ЛЖ клапана и двигается осторожно в LVOT, пока не получается кривая ламинарного потока• Базовая линия скорости и шкала подбираются по максимальному размеру кривой скорости• Временная ось (скорость развертки) 100 мм/с• Низкий фильтр стенок сосудов• Гладкая скоростная кривая с хорошо определяемым пиком и узким диапазоном скоростей на максимуме	<ul style="list-style-type: none">• Максимальная скорость пика плотной скоростной кривой• VTI устанавливается из формы скорости
Скорость потока АС	<ul style="list-style-type: none">• CW Допплер (предназначенный датчик• Несколько акустических окон (например, апикальное, супрастернальное, правое парастернальное и т.д.)• Снижение усиления, повышение фильтра стенок сосудов, откорректированная базовая линия и шкала с оптимальным сигналом• Серая спектральная шкала дисплея с расширенной временной осью• Диапазон скоростей и отрегулированная базовая линия так, чтобы скоростной сигнал был приемлем, но помешался в вертикальной шкале	<ul style="list-style-type: none">• Максимальная скорость в пике плотной скоростной кривой• Избегать помех, и ясный линейный сигнал• VTI устанавливается по внешней границе плотного сигнала кривой• Средний градиент вычисляется по обведенной скоростной кривой• Учитывается окно с максимально полученной скоростью
Анатомия клапана	<ul style="list-style-type: none">• Позиции парастеральной длинной и короткой оси• Zoom mode	<ul style="list-style-type: none">• Определяется число створок в систоле, линии соединения, если есть• Оценивается подвижность створок и сращение комиссур• Оценить кальцификацию клапана

ОЦЕНКА АОРТАЛЬНОГО СТЕНОЗА

Рекомендации по записи данных и измерениям для количественной оценки АС

Скорость потока АС

- CW Допплер (предназначенный датчик)
- Несколько акустических окон(например, апикальное, супрастернальное, правое парастернальное и т.д.)
- Снижение усиления, повышение фильтра стенок сосудов, откорректированная базовая линия и шкала с оптимальным сигналом
- Серая спектральная шкала дисплея с расширенной временной осью
- Диапазон скоростей и отрегулированная базовая линия так, чтобы скоростной сигнал был приемлем, но помешался в вертикальной шкале
- Максимальная скорость в пике плотной скоростной кривой
- Избегать помех, и ясный линейный сигнал
- VTI устанавливается по внешней границе плотного сигнала кривой
- Средний градиент вычисляется по обведенной скоростной кривой
- Учитывается окно с максимально полученной скоростьюю

Анатомия клапана

- Позиции парастернальной длинной и короткой оси
- Zoom mode
- Определяется число створок в систоле, линии соединения, если есть
- Оценивается подвижность створок и сращение комиссур
- Оценить кальцификацию клапана

ОЦЕНКА АОРТАЛЬНОГО СТЕНОЗА

Рекомендации для стандартного клинического применения (Уровень 1, применяется у всех пациентов с АС)

Основные гемодинамические параметры, рекомендованные для оценки тяжести АС:

- пиковая скорость потока
- средний градиент на аортальном клапане
- площадь аортального клапана по уравнению непрерывности потока

ОЦЕНКА АОРТАЛЬНОГО СТЕНОЗА

Рекомендации для стандартного
клинического применения (Уровень 1,
применяется у всех пациентов с АС)

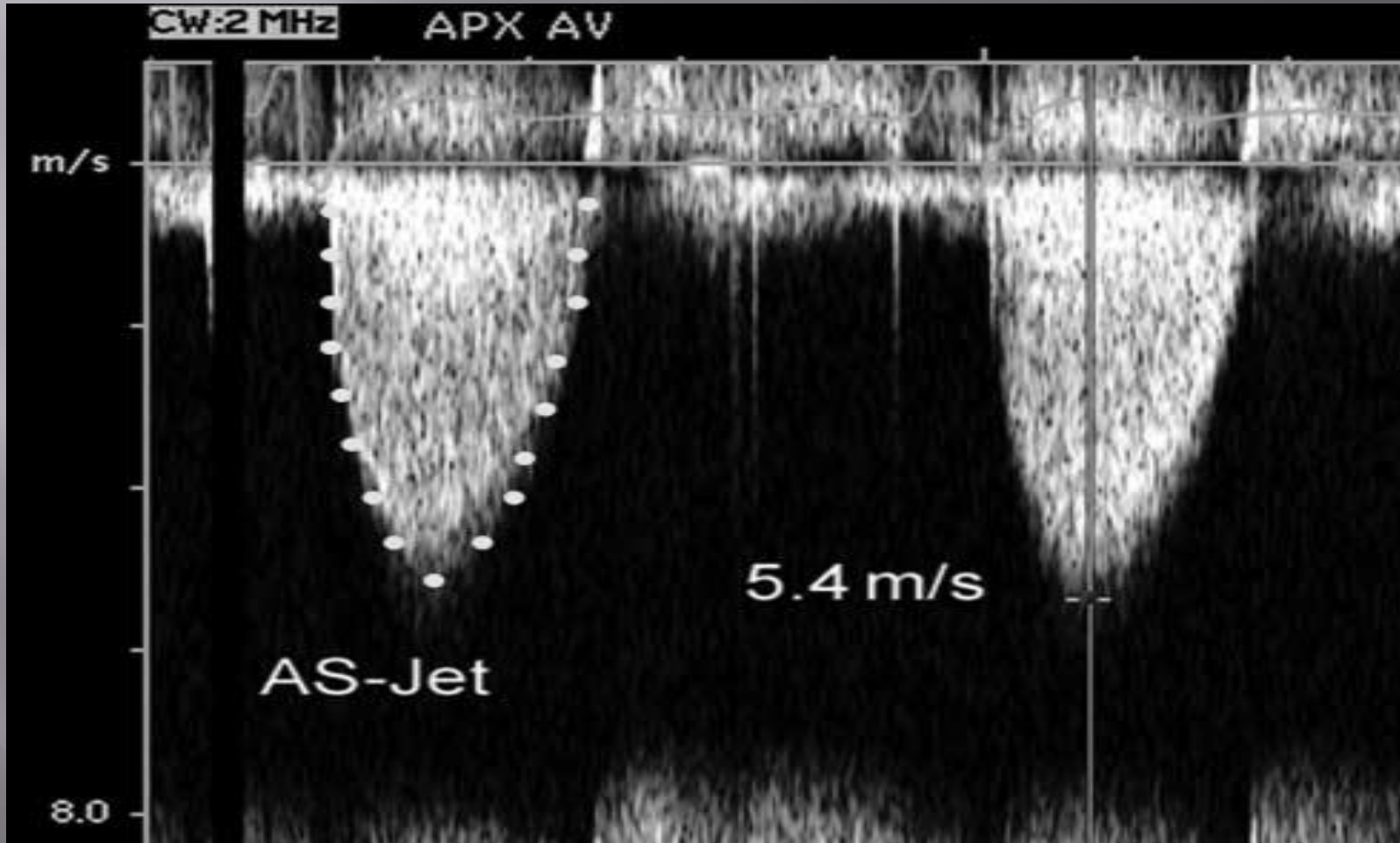
Основные гемодинамические параметры,
рекомендованные для оценки тяжести АС:

- пиковая скорость потока
- средний градиент на аортальном клапане
- площадь аортального клапана по уравнению непрерывности потока
- отношение скоростей ВТЛЖ/АК (VR, DVI)

МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ПОТОКА

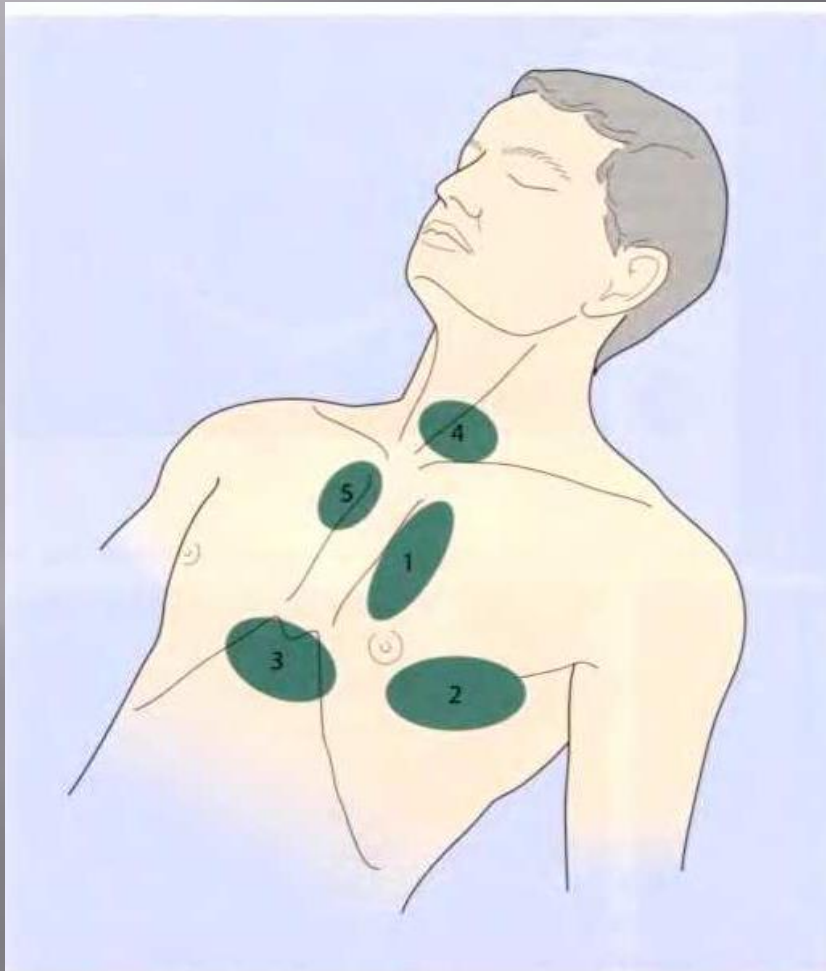
- ▣ Пиковая систолическая скорость через суженный аортальный клапан измеряется с помощью постоянно-волновой (CW) доплерографии
- ▣ Используется *несколько акустических окон*
- ▣ Коррекция угла не должна использоваться, потому что это приводит к большим непредсказуемым ошибкам
- ▣ Максимальная скорость измеряется по внешнему краю сигнала; яркие линейные сигналы на пике кривой возникают из-за эффекта сдвига времени и не должны быть включены в измерения.

Пиковая скорость и средний градиент



Непрерывно-волновая доплерография потока тяжелого аортального стеноза, показывающая измерение максимальной скорости и обведение скоростной кривой для вычисления среднего градиента давления

Акустические окна



Стандартные эхокардиографические доступы. Приблизительное расположение эходоступов показано зеленым цветом. Попробуйте получить наилучшее изображение из разных межреберных промежутков. (1) – левый парастеральный; (2) – апикальный; (3) – субкостальный; (4) – супрастеральный; (5) – правый парастеральный.

Пиковая скорость и средний градиент

- ▣ Градиент давления (ΔP) вычисляется по скорости (v) с использованием упрощенного уравнения Бернулли как: $\Delta P = 4v^2$
- ▣ Максимальный градиент вычисляется по максимальной скорости:
 $\Delta P_{max} = 4v_{max}^2$
- ▣ Средний градиент вычисляется из суммы средних мгновенных градиентов за период изгнания, функция, включенная в наибольший клинический пакет измерения, использующий обведенную кривую скорости.
- ▣ Кроме того, упрощенное уравнение Бернулли предполагает, что соседняя скорость может быть проигнорирована, и имеет значение, когда скорость составляет > 1 м/с, потому что возведение в квадрат величины < 1 делает ее даже меньше. Когда проксимальная скорость составляет более 1.5 м/с, или скорость на АК составляет менее 3.0 м/с, проксимальная скорость должна
- ▣ быть включена в уравнение Бернулли так, чтобы

$$\Delta P = 4(v_{max}^2 - v_{proximal}^2)$$

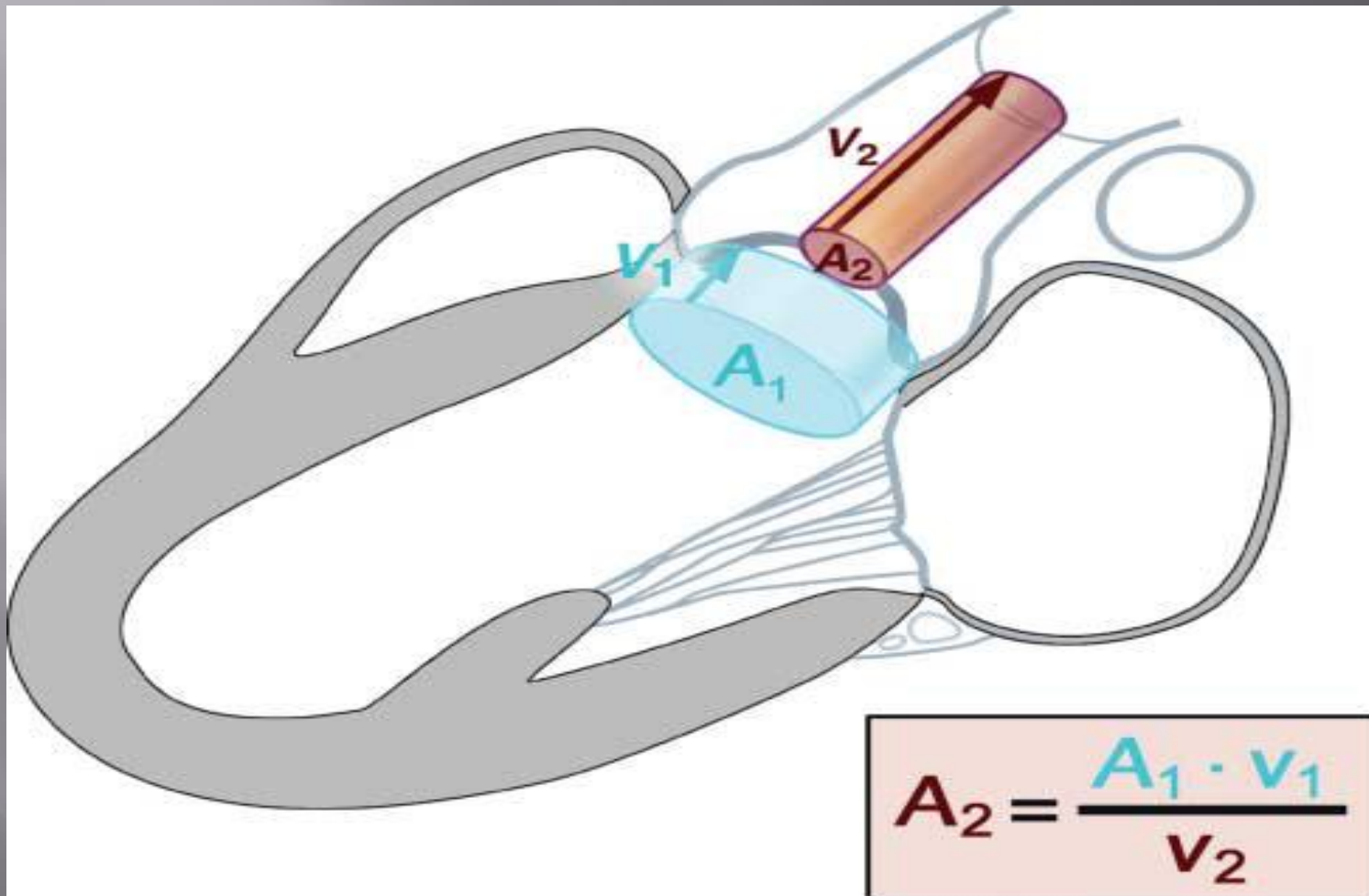
Пиковая скорость и средний градиент

Т.О. При проксимальной скорости более 1,5 м/с или при максимальной скорости менее 3 м/с средний градиент не может быть использован для оценки тяжести стеноза = в этой ситуации используются максимальная скорость и пиковый градиент

Когда аорта имеет диаметр < 30 мм, нужно знать, что начальное снижение давления от ЛЖ до *vena contracta*, как показывается доплеровским измерением, может быть значительно выше, чем фактическое снижение давления через стеноз, которое представляет соответствующее измерение. Выраженность стеноза при этом завышается нашими измерениями

Площадь клапана

Вычисление площади аортального клапана по уравнению непрерывности потока



Схематическая диаграмма уравнения непрерывности

Площадь клапана

Вычисление площади аортального клапана по уравнению непрерывности потока

Вычисление площади аортального клапана основано на уравнении непрерывности:

$$SV_{AV} = SV_{LVOT}$$

Поскольку расход объема через любую CSA равен скорости временных потоков через CSA за период изгнания (VTI систолической скоростной кривой), это уравнение может быть переписано как:

$$AVA \times VTI_{AV} = CSA_{LVOT} \times VTI_{LVOT}$$

Соответственно, площадь АК вычисляется как :

$$AVA = \frac{CSA_{LVOT} \times VTI_{LVOT}}{VTI_{AV}}$$

Площадь клапана

Вычисление площади аортального клапана по уравнению непрерывности потока

Вычисление площади клапана по уравнению непрерывности требует трех измерений:

- Максимальная скорость АС по CWD
- LVOT диаметр для вычисления круглой CSA
- LVOT скорость, зарегистрированная импульсно-волновой доплерографией

Диаметр LVOT

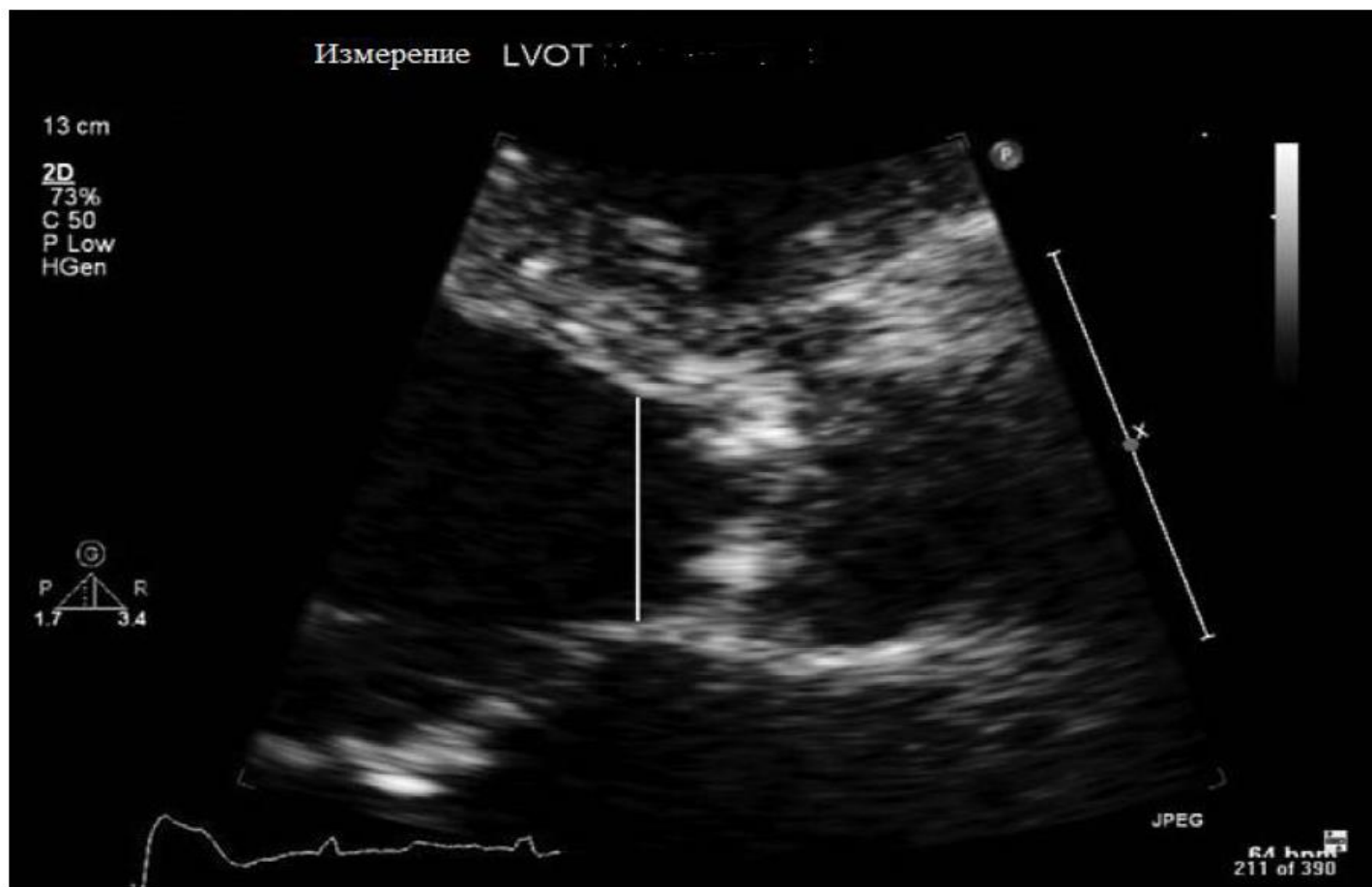
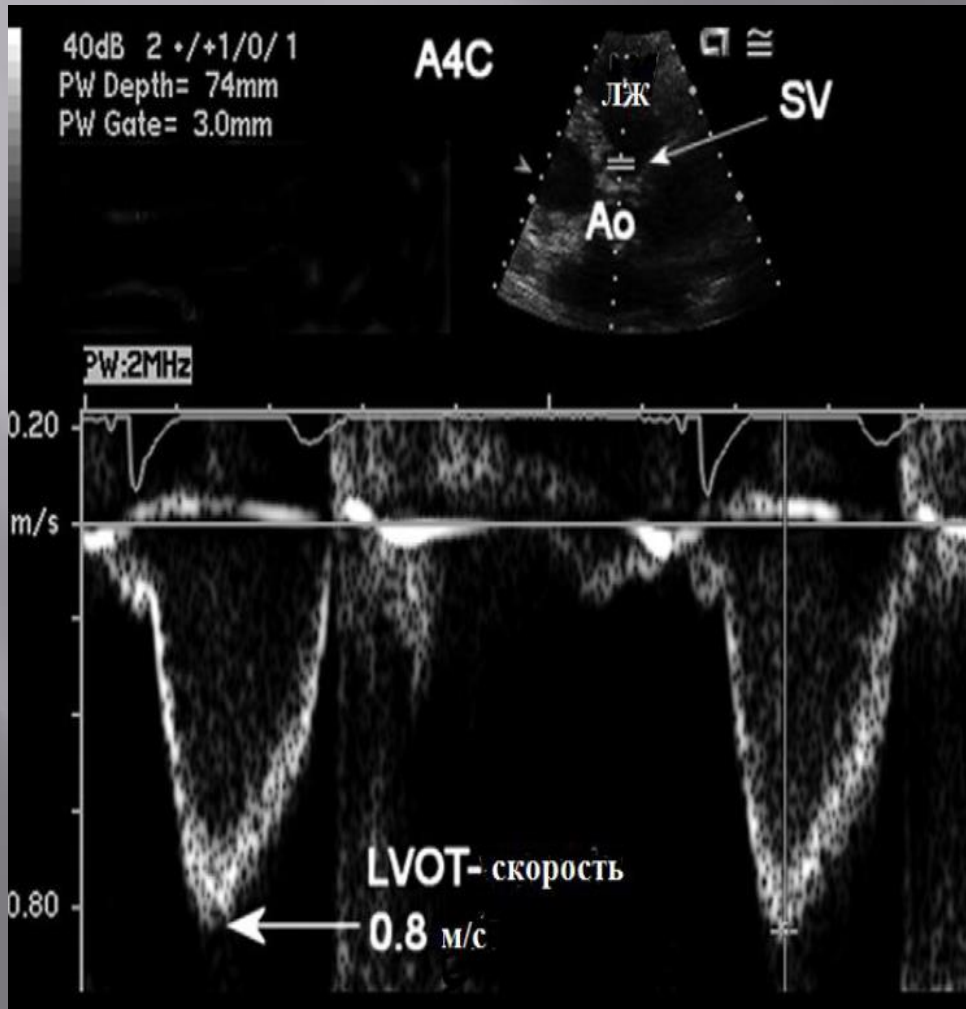


Рисунок 5 Диаметр тракта оттока левого желудочка, измеренный в позиции парастеральной длинной оси в середине систолы, от черно-белого изображения эндокарда перегородки к передней митральной створке, параллельно плоскости аортального клапана и на 0.5–1.0 см от отверстия клапана.

Временно-скоростной интеграл ВТЛЖ



Скорость в тракте оттока левого желудочка (LVOT), измеренная из апикального доступа, как в апикальной позиции длинной оси, так и пятикамерной позиции (как показано здесь).

Оптимальный сигнал представляет гладкую кривую скорости с узким диапазоном скорости в каждый момент времени. Максимальная скорость измеряется как показано. VTI измеряется обведением графика скорости (середина плотного сигнала) для использования в уравнении непрерывности или вычисления ударного объема.

Дополнительные способы оценки тяжести АС (Рекомендации уровень 2)

• Упрощенное уравнение непрерывности основано на понятии, что при стенозе нативного аортального клапана форма кривой скорости в тракте оттока и в аорте подобны, так что отношение LVOT к аортальной VTI почти идентично отношению LVOT к максимальной аортальной скорости (V). Таким образом, уравнение непрерывности может быть

упрощено до:

$$AVA = \frac{CSA_{LVOT} \times V_{LVOT}}{V_{AV}}$$

Отношение скоростей.

Другой подход к уменьшению ошибки имеет отношение к измерению диаметра LVOT: удаляют CSA из упрощенного уравнения непрерывности. Это безразмерное скоростное отношение выражает размер клапанной эффективной площади как пропорции

CSA LVOT

$$\text{Отношение скоростей} = \frac{V_{LVOT}}{V_{AV}}$$

Оценка тяжести АС

Рекомендации 3 уровня, не рекомендуется для клинического использования

% снижения работы выброса ЛЖ 27	%	$\%SWL = \frac{\overline{\Delta P}}{\Delta P + SBP} \cdot 100$	25	Работа сердца тратится каждую систолу на поток через аортальный клапан, и выражается как 1% от общей систолической работы	Очень легко измеряется. Относительно результатов проверялась в одном продолжительном исследовании.	Зависит от потока. Ограничены данные длительного наблюдения.
Восстановленный градиент давления 13, 32	мм рт.ст.	$P_{\text{rest}} - P_a = 4 \cdot v^2 \cdot 2 \frac{AVA}{AA} \left(1 - \frac{AVA}{AA} \right)$	-	Давление различается между ЛЖ и аортой, немного дистальнее чепса contracta, где дистальное давление повышено.	Более близко к общей гемодинамической тяжести, вызванной АС, с точки зрения адаптации сердечно-сосудистой системы. Уместно при высоких потоках и у пациентов с маленькой восходящей аортой	Вносит сложность и вариабельность, связанную с измерениями в восходящей аорте. Нет проспективных исследований, показывающих реальные преимущества над установленными
Индекс потери энергии 35	см ² /с ²	$ELI = \frac{AVA \cdot AA}{AA - AVA} / BSA$	0.5	Эквивалент принципа AVA, но откорректирован для дистального восстановленного давления в восходящей аорте	(Как выше) Больше требуется при измерении АС с точки зрения гемодинамики. Повышенное прогностическое значение в одном долгосрочном исследовании	Вносит сложность и вариабельность, связанную с измерениями в восходящей аорте.
Клапано-артериальный импеданс 31	мм рт.ст./мл/м ²	$Z_{VA} = \frac{\overline{\Delta P} + SBP}{SVI}$	5	Общая гемодинамическая нагрузка, навязанная ЛЖ, где числитель представляет точную оценку общего давления ЛЖ	Объединение информации об артериальном русле и гемодинамической нагрузки АС с системной гипертензией есть частая находка при кальцинозной дегенерации	Хотя называется 'импеданс', рассматривается только компонент стандартного потока (т.е. среднее сопротивление). Нет достаточных долгосрочных проспективных исследований
Аорто-клапанная резистентность 28, 29	дина/с/см ⁵	$AVR = \frac{\overline{\Delta P}}{Q} = \frac{4 \cdot v^2}{\cdot v_{\text{aort}}^2 \cdot v_{\text{mitr}}} \cdot 1333$	280	Сопротивление кровотоку, вызванное АС, предполагал гидродинамику тубулярного (а не плоского) стеноза.	Изначально предполагается меньшая зависимость при низкотоковом АС, но впоследствии не ведет к истинным данным	Зависит от потока. Ограниченная прогностическая ценность. Нереалистичное математическое моделирование динамики потока АС.
Предполагаемая площадь клапана при нормальной скорости кровотока 30	см ²	$AVA_{\text{calc}} = AVA_{\text{mitr}} + VC \cdot (250 - Q_{\text{mitr}})$	1.0	Оценка AVA при нормальной скорости кровотока по графическому изображению AVA против вычисления по наклону регрессии потока (DSE).	Рассчитывается для различных изменений в кровотоке в течение DSE при низкопоточном низкоградиентном АС, обеспечивается улучшение интерпретации изменений AVA	Клинический эффект все же показан. Результаты низкопоточного АС, похоже, близко связаны с наличием/отсутствием сократительного резерва ЛЖ.

Рекомендации по классификации тяжести АС

	Аортальный склероз	Незначительный	Умеренный	Тяжелый
Максимальная скорость в аорте	≤ 2.5 м/с	2.6-2.9	3.0-4.0	> 4.0
Средний градиент (мм рт.ст.)	–	< 20 ($< 30^a$)	20-40 ^b (30-50 ^a)	$> 40^b$ ($> 50^a$)
AVA (см ²)	–	> 1.5	1.0-1.5	< 1.0
Индекс AVA (см ² /м ²)		> 0.85	0.60-0.85	< 0.6
Отношение скоростей		> 0.50	0.25-0.50	< 0.25

a ESC Guidelines.

b AHA/ACC Guidelines.

Рекомендации по классификации тяжести АС

При оценке пациента с клапанным пороком сердца нельзя использовать только одну расчетную величину для окончательного решения. Вместо этого строго рекомендуется комплексный подход с рассмотрением AVA, скорости/ градиента вместе с функцией ЛЖ и клинической картиной.

Рекомендации по классификации тяжести АС

Роль индексации по размеру тела спорна, прежде всего потому что текущие алгоритмы с учетом размера тела [такой как площадь поверхности тела (BSA)] не обязательно отражают нормальную площадь АК у тучных пациентов. Однако, индексация площади клапана по BSA важна у детей, подростков, и маленьких взрослых, так как площадь клапана может казаться сильно суженной, в то время как присутствует только незначительной стеноз.

Разрешение очевидных несоответствий при измерении тяжести АС

Скорость АС > 4 м/с и AVA > 1.0 см²

1. Проверить измерение диаметра LVOT и сравнить с предыдущими исследованиями
2. Проверить скоростной сигнал LVOT на ускорение потока
3. Вычислить индекс AVA, когда
 - а. Рост < 135 см
 - б. ППТ < 1.5 м²
 - в. ИМТ < 22 (эквивалентно 55 кг при таком росте)
4. Оценить тяжесть АР
5. Оценить высокий сердечный выброс
 - а. Ударный объем LVOT
 - б. ФВ ЛЖ и ударный объем в 2D

Вероятные причины: состояние высокого выброса, от умеренной к тяжелой АР, большая площадь тела

Разрешение очевидных несоответствий при измерении тяжести АС

Скорость АС ≤ 4 м/с и АВА ≤ 1.0 см²

1. Проверить измерение диаметра LVOT и сравнить с предыдущими исследованиями
2. Проверить скоростной сигнал LVOT на дистанции от клапана
3. Вычислить индекс АВА, когда
 - а. Рост < 135 см
 - б. ППТ < 1.5 м²
 - в. ИМТ < 22 (эквивалентно 55 кг при таком росте)
4. Оценить низкий трасаортальный объем потока
 - а. Ударный объем LVOT
 - б. ФВ ЛЖ и ударный объем в 2D
 - в. Тяжелая МР
 - г. Митральный стеноз
5. Когда ФВ $< 55\%$
 - а. Оценить степень кальциноза клапана
 - б. Рассмотреть добутаминовую стресс-эхокардиографию

Вероятные причины: низкий сердечный выброс, маленькая площадь тела, тяжелая МР



ip
01 21.9 mm

HITACHI

IPS DEMO
BAGMET

20130620002

Adult Cardiology K 20-JUN-13 12:24:26
1.85m2 P:100% MI 0.8 TIS<0.4

HR:77

(H)

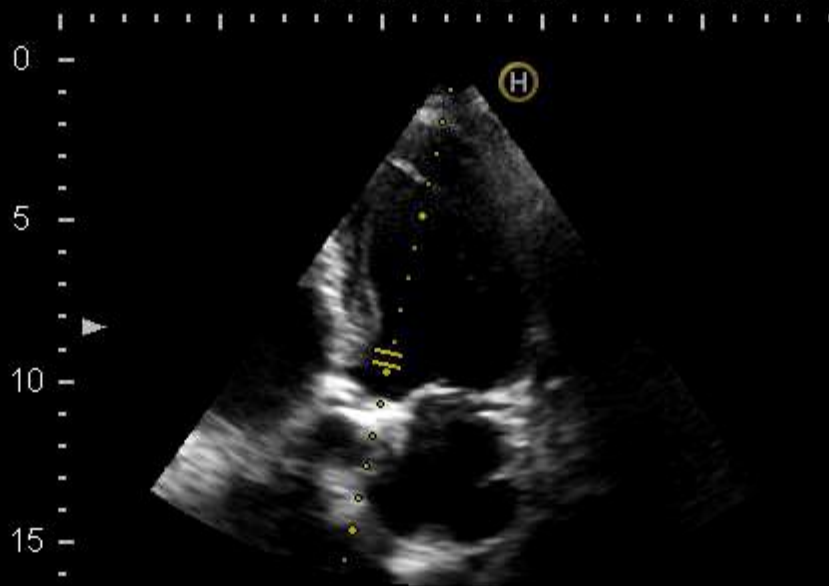


- 4
-
- 6
-
- 8
-
- 10
-
- 12



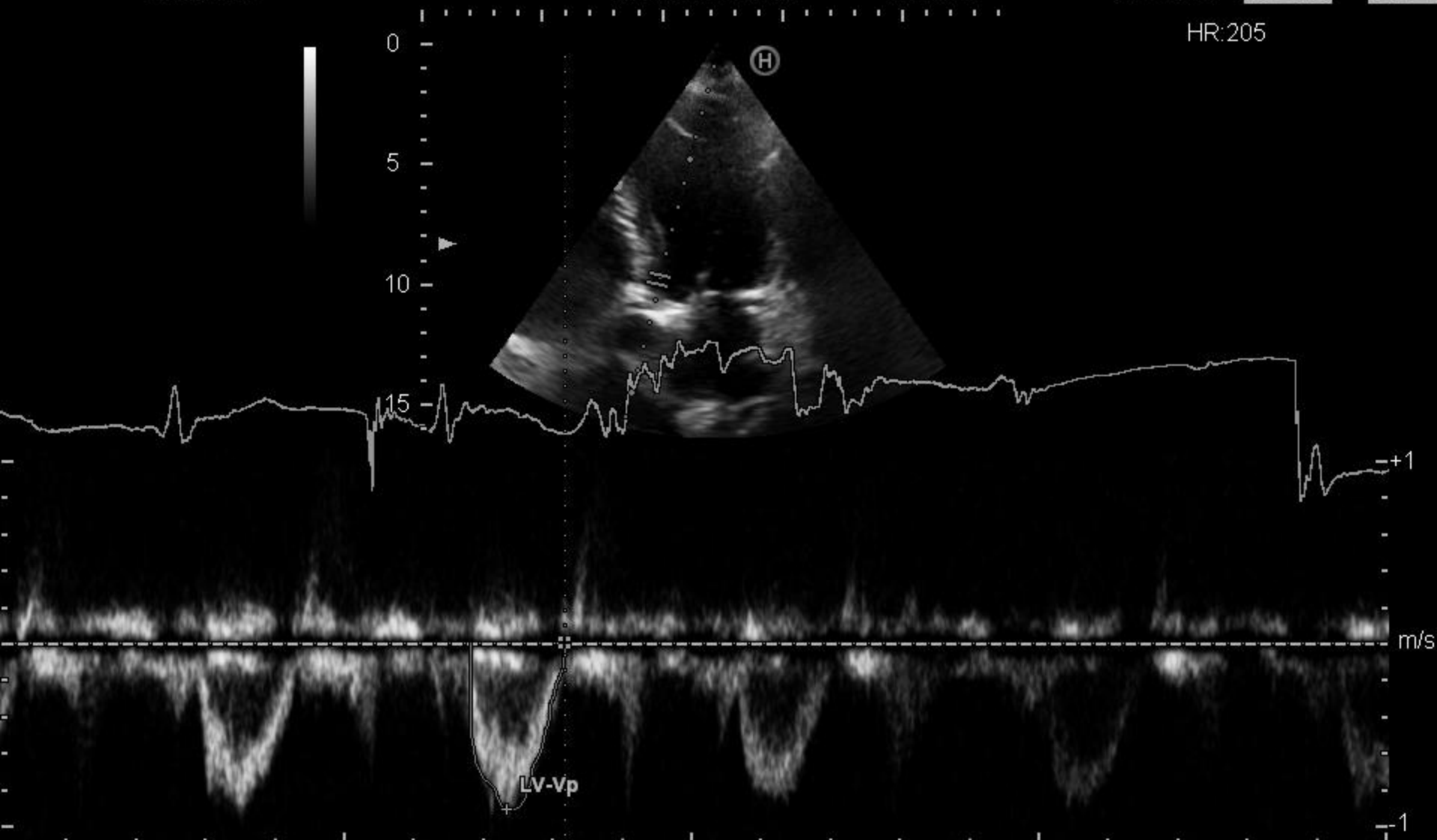
Calip			
+ D1	18.3 mm	+ D2	0.0 mm

FR:133 BG:20 DR:60
S70 T:5-2MHz dTHI-P



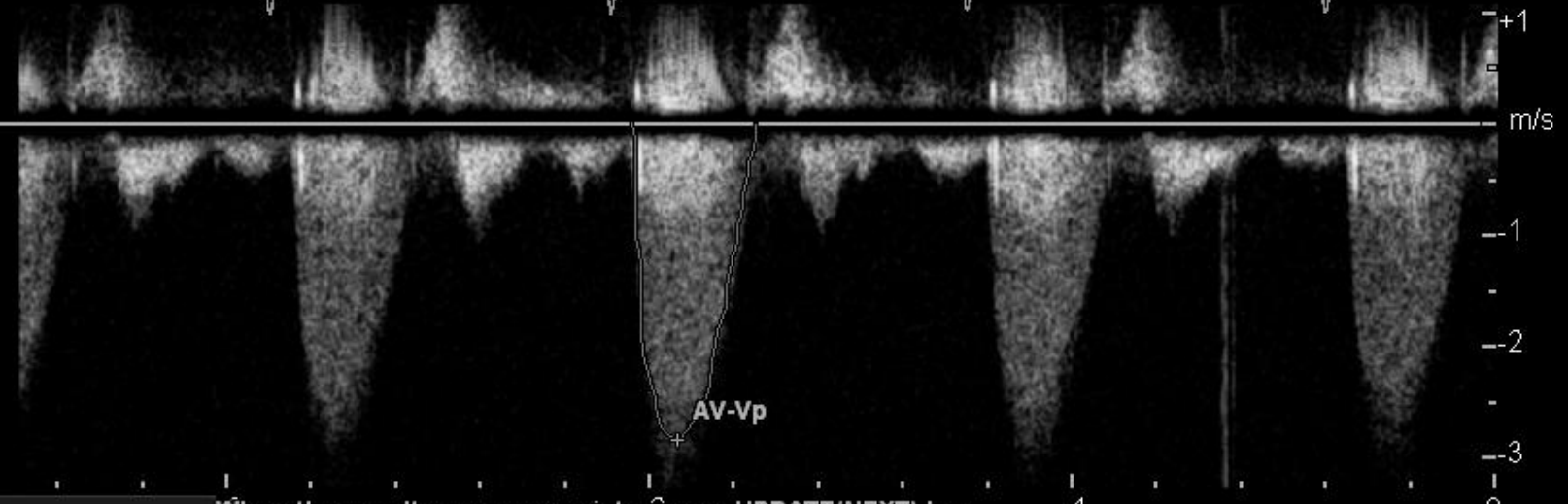
-
-+2
-
-+1
-
- m/s
-
--1
-
--2
-
-3
0

V-Area		-3		-2		-1			
LVOT-PW	m/s		LVOT-VTI	m		LV-Vp	m/s	PGmLV	mmHg
GLV	mmHg		AV-CW	m/s		AV-VTI	m	AV-Vp	m/s
GmAV	mmHg		PGAV	mmHg		Diam.	cm	LVOT-CSA	cm2



AV-Area	-0.59 m/s	LVOT-VTI	0.16 m	LV-Vp	-0.91 m/s	PGmLV	1.62 mmHg
LVOT-PW	3.33 mmHg	AV-CW	m/s	AV-VTI	m	AV-Vp	m/s
PGmAV	mmHg	PGAV	mmHg	Diam.	cm	LVOT-CSA	cm2
AV-Area	cm2						

HR:72



When the results are appropriate, press UPDATE(NEXT) key.

AV-Area		LVOT-VTI	0.16 m	LV-Vp	-0.87 m/s	PGmLV	1.38 mmHg
LVOT-PW	-0.53 m/s	AV-CW	-1.68 m/s	AV-VTI	0.49 m	AV-Vp	-2.86 m/s
PGLV	3.05 mmHg	PGAV	32.76 mmHg	Diam.	1.97 cm	LVOT-CSA	3.06 cm ²
PGmAV	14.29 mmHg						
AV-Area	0.98 cm ²						



ACHI

IPS DEMO
BAGMET

20130620002

Adult Cardiology K
1.85m2

20-JUN-13 12:27:47
P:100% MI 0.8 TIS<0.4

HR:76



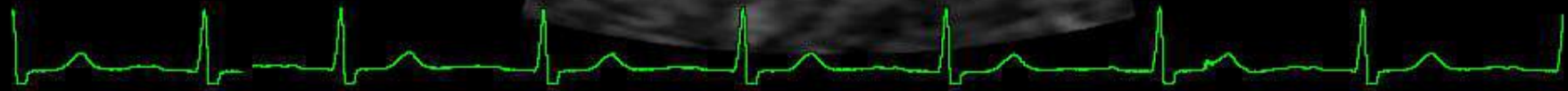
- 4

- 6

- 8

- 10

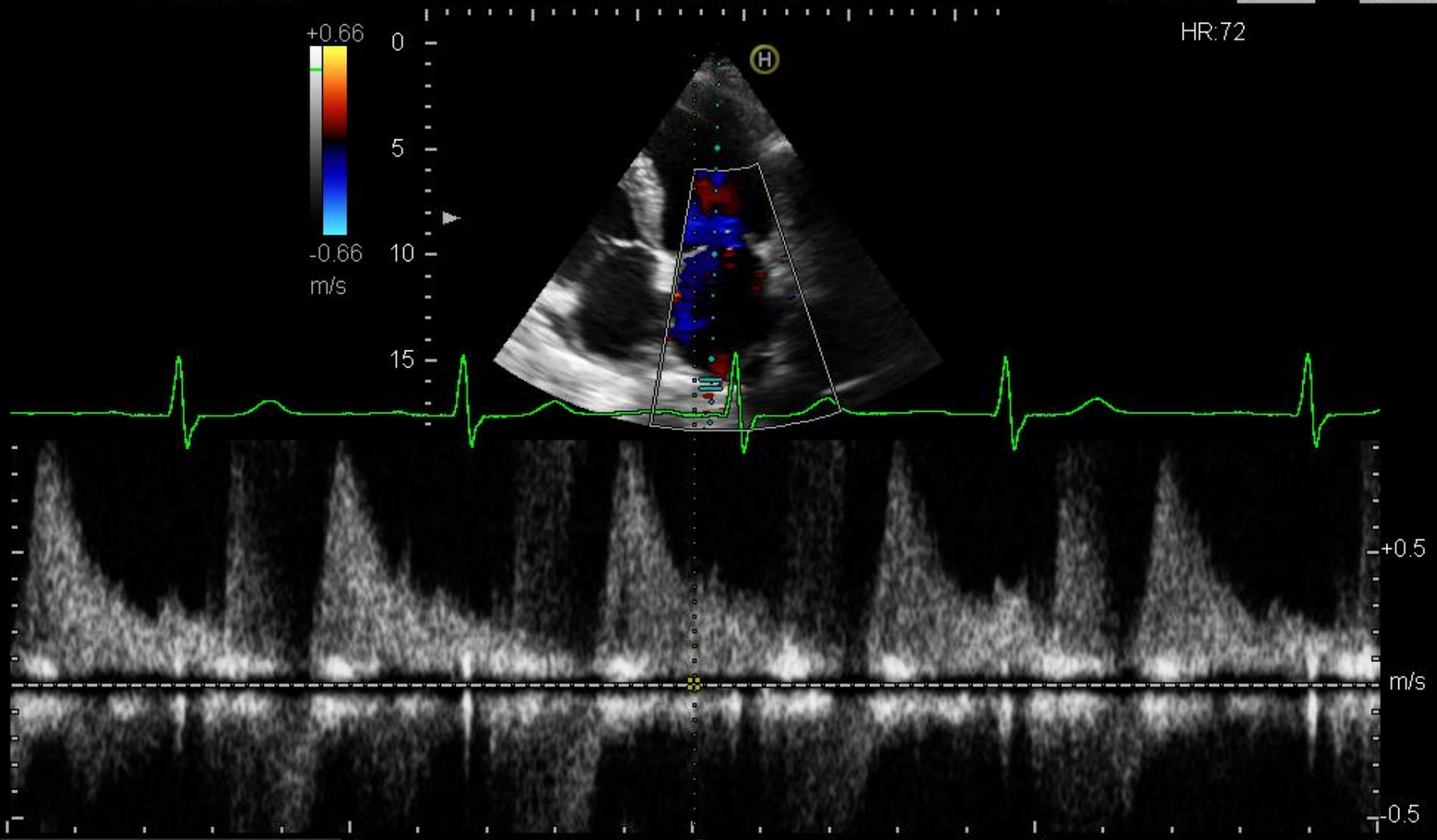
- 12



Trace				
C1	6.81 cm	A1	0.97 cm2	

FR:133 BG:20 DR:60
S70 T:5-2MHz dTHI-P

HR:72



AV-Area	-0.53 m/s	LVOT-VTI	0.16 m	LV-Vp	-0.87 m/s	PGmLV	1.38 mmHg
LVOT-PW	3.05 mmHg	AV-CW	m/s	AV-VTI	m	AV-Vp	m/s
PGmAV	mmHg	PGAV	mmHg	Diam.	1.97 cm	LVOT-CSA	3.06 cm ²
AV-Area	cm ²						