

# Современные способы эхокардиографической оценки аортального стеноза

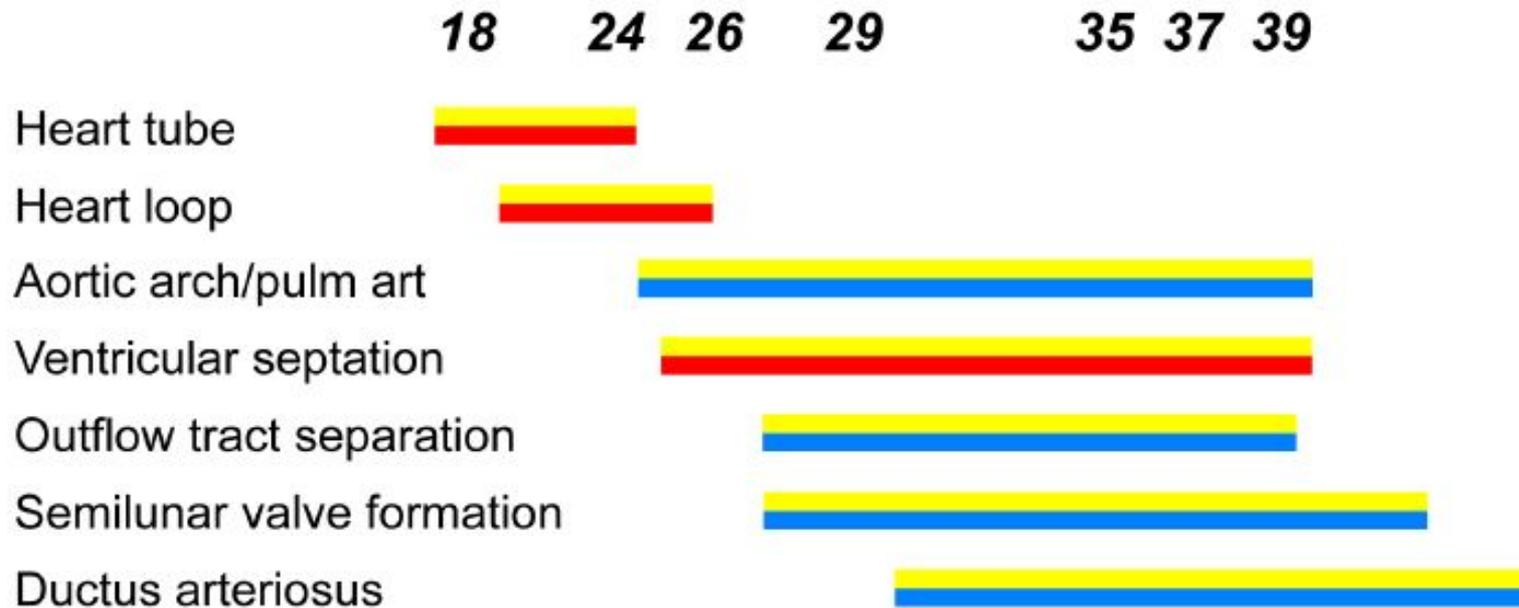
Е.А. Карев, П.С. Козлов, М.Н. Прокудина



**Национальный Медицинский  
Исследовательский Центр им. В.А. Алмазова  
Санкт-Петербург, 2018**

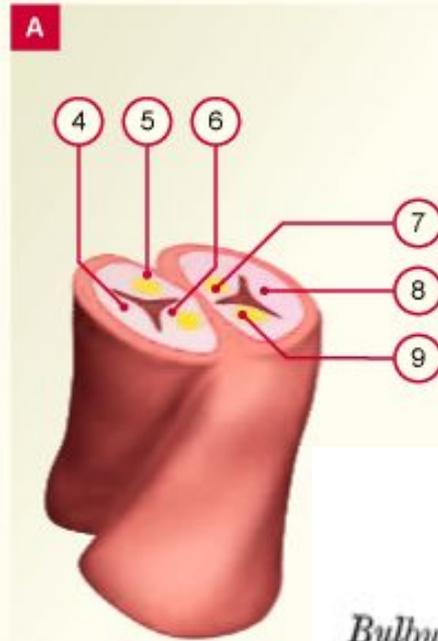
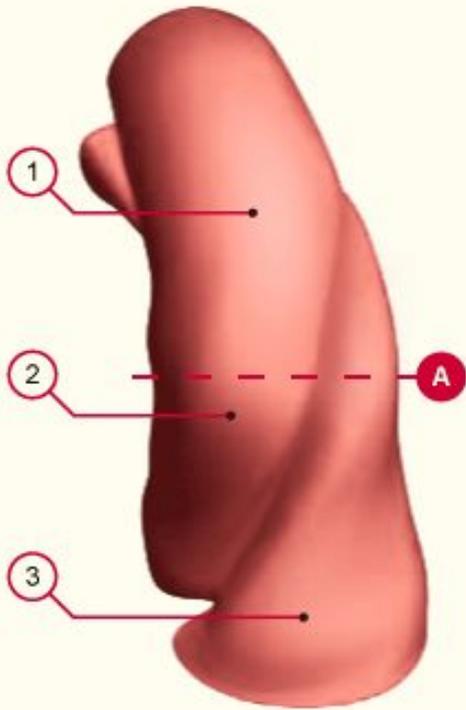
# Эмбриогенез

## Post-Fertilization Days

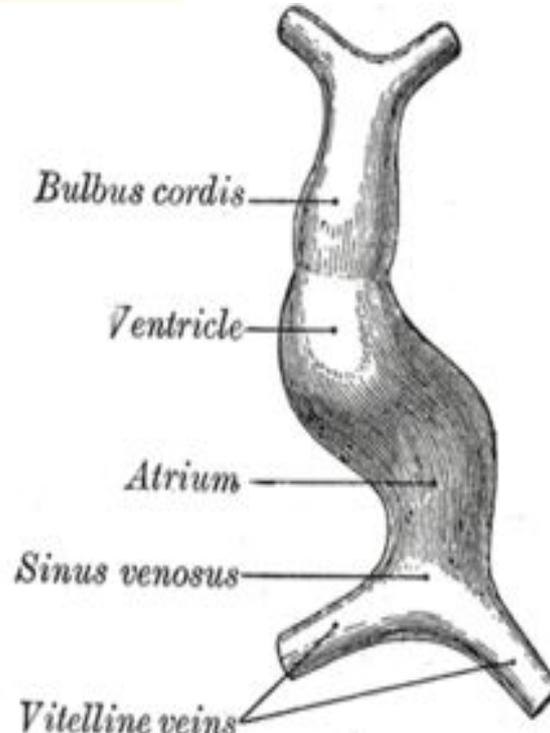


- ❖ Красный – первая сердечная пластина
- ❖ Желтый – вторая сердечная пластина
- ❖ Синий – сердечный нервный гребень

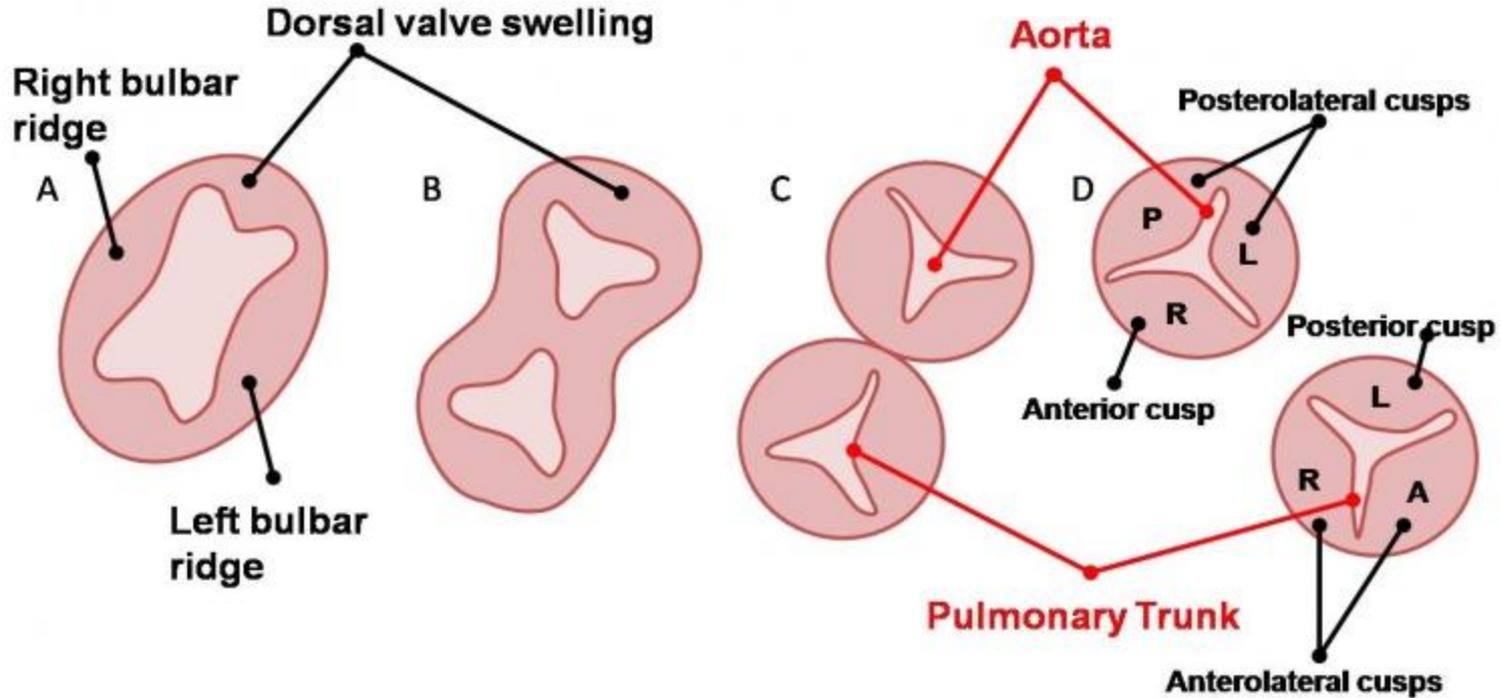
# Эмбриогенез



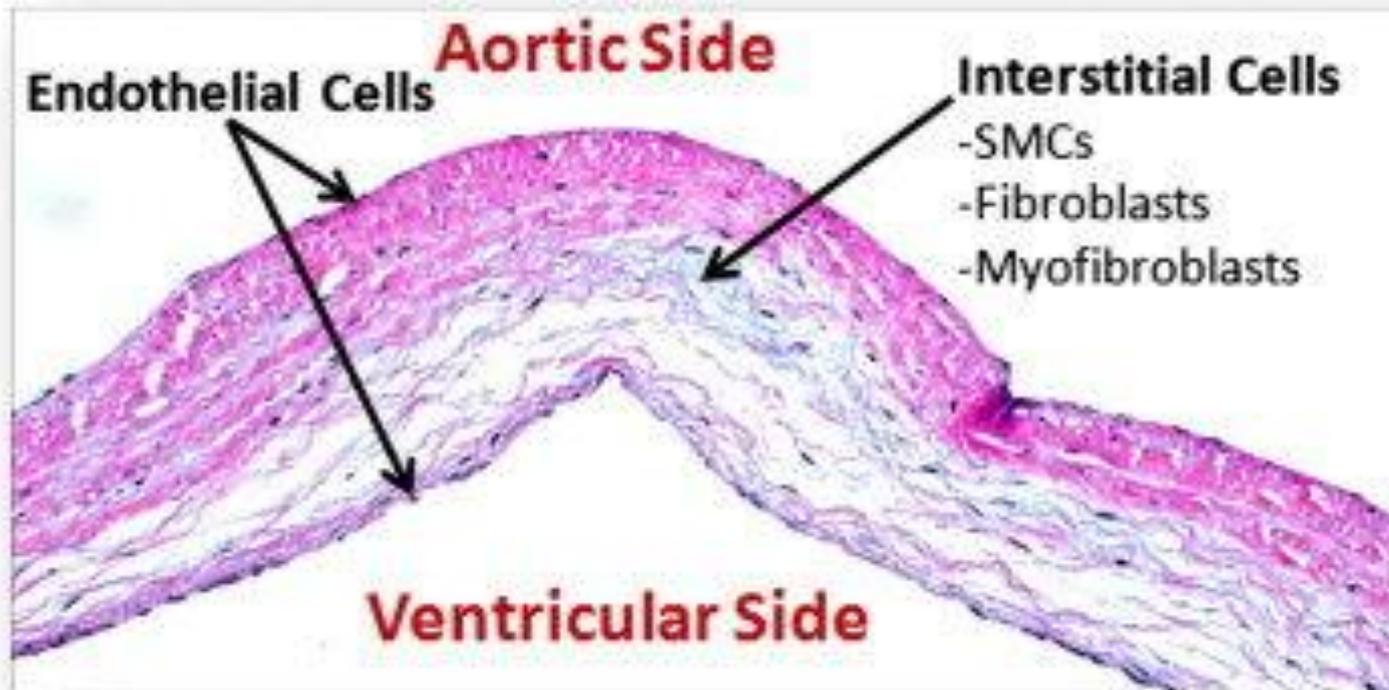
- 1 Аорта
- 2 Конотрункальная складка
- 3 Лёгочный ствол
- 4 Задняя аортальная створка
- 5 Левая аортальная створка
- 6 Правая аортальная створка
- 7 Правая створка ПК
- 8 Передняя створка ПК
- 9 Левая створка ПК



# Эмбриогенез



# Нормальная гистология аортального клапана



# Нормальная анатомия аортального клапана

❖ 3 створки в форме полумесяца

3 комиссуры

3 синуса

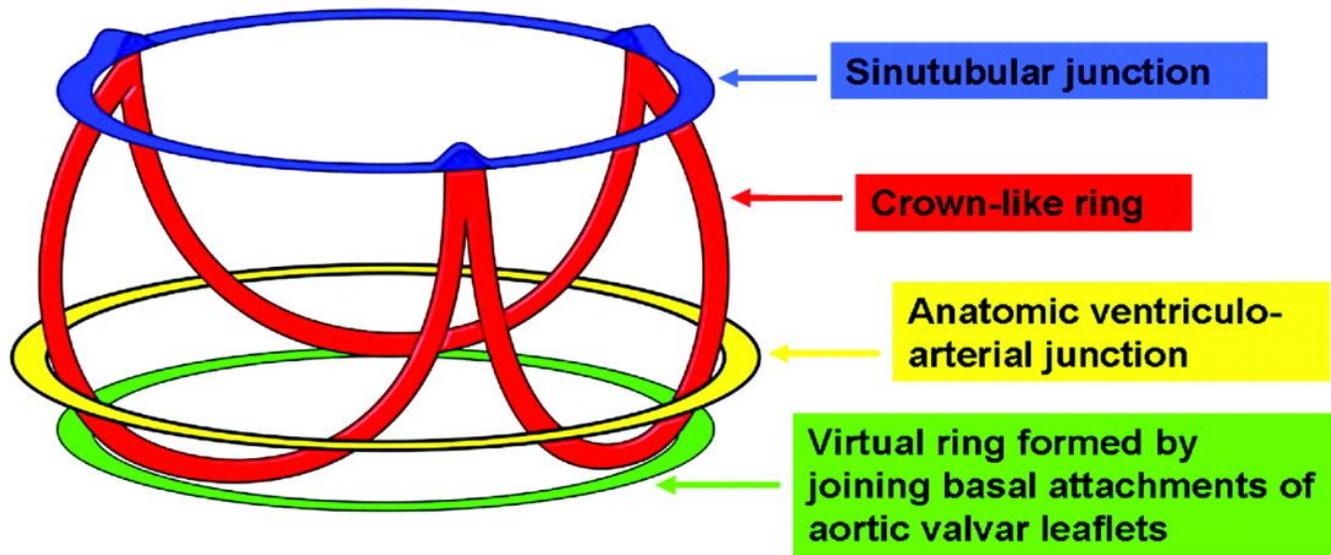
фиброзное кольцо

❖ AVA 3.0 - 4.0 cm<sup>2</sup>

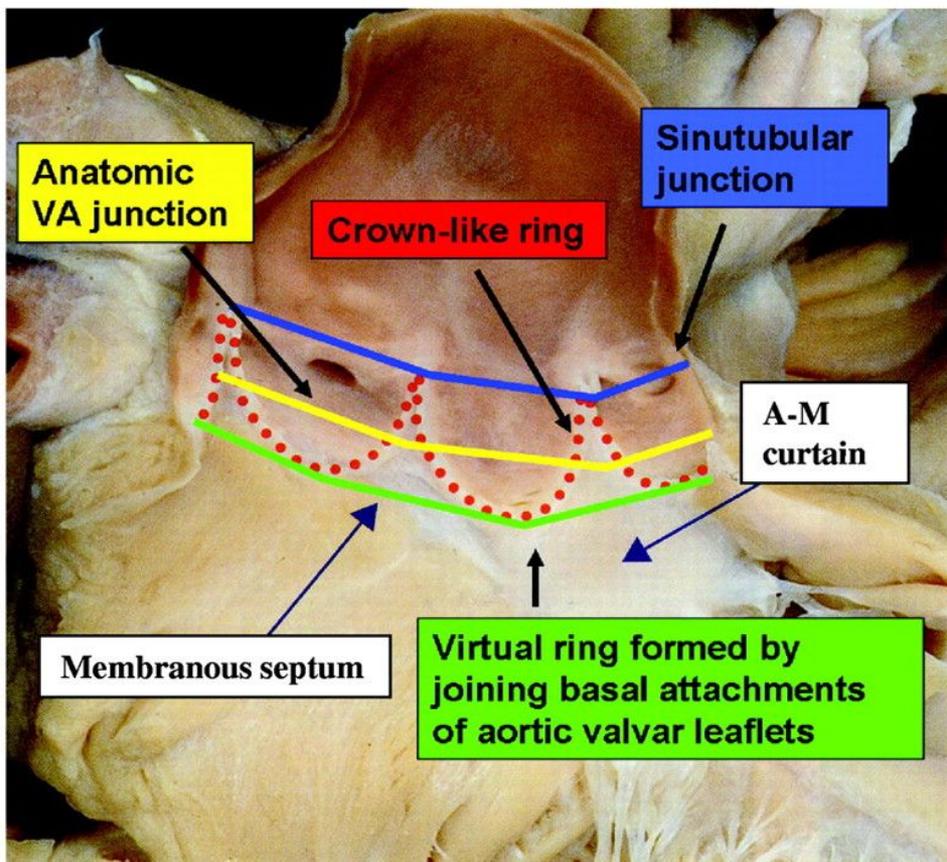
❖ Узелки Аранция



A

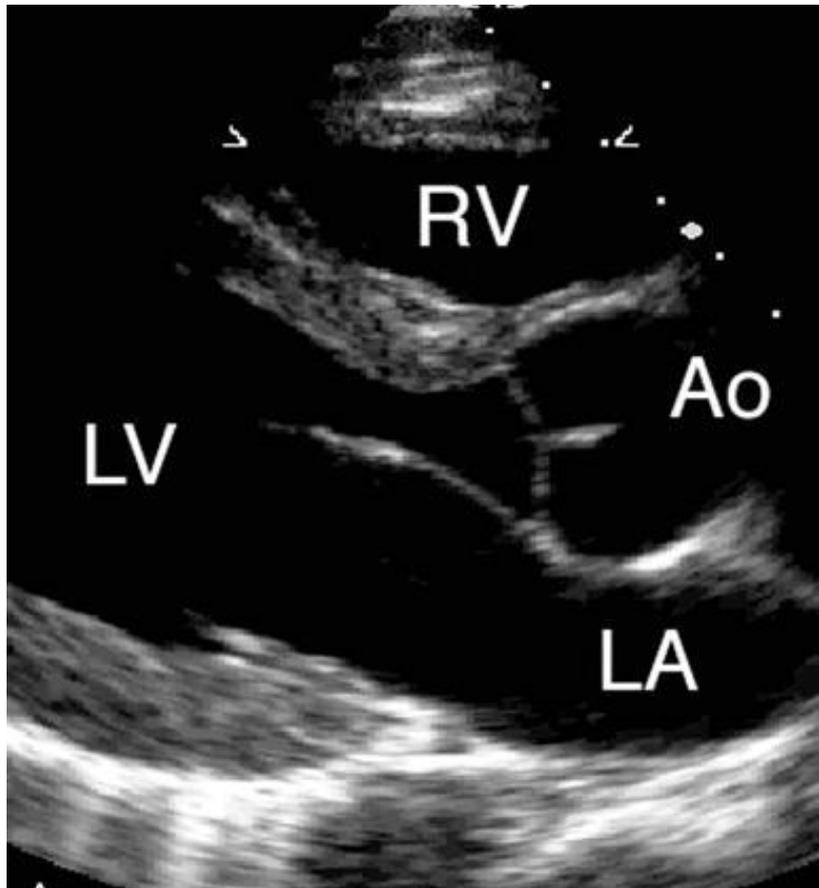


B

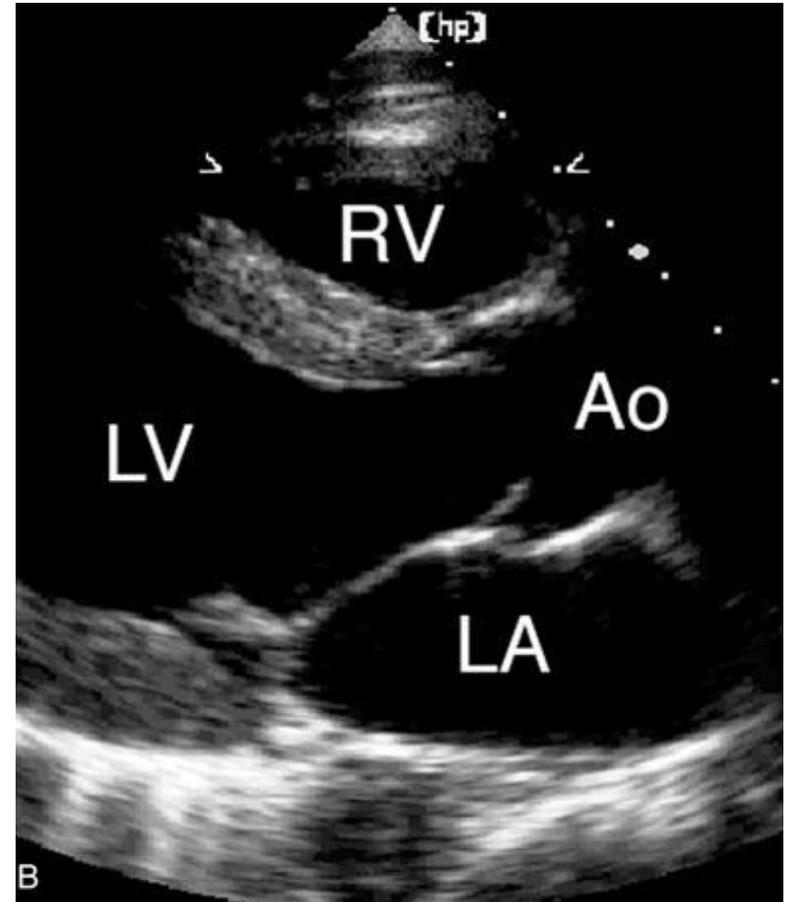


# Парастернальная продольная ось

- Диастола



- Систола



# Короткая ось

- Диастола

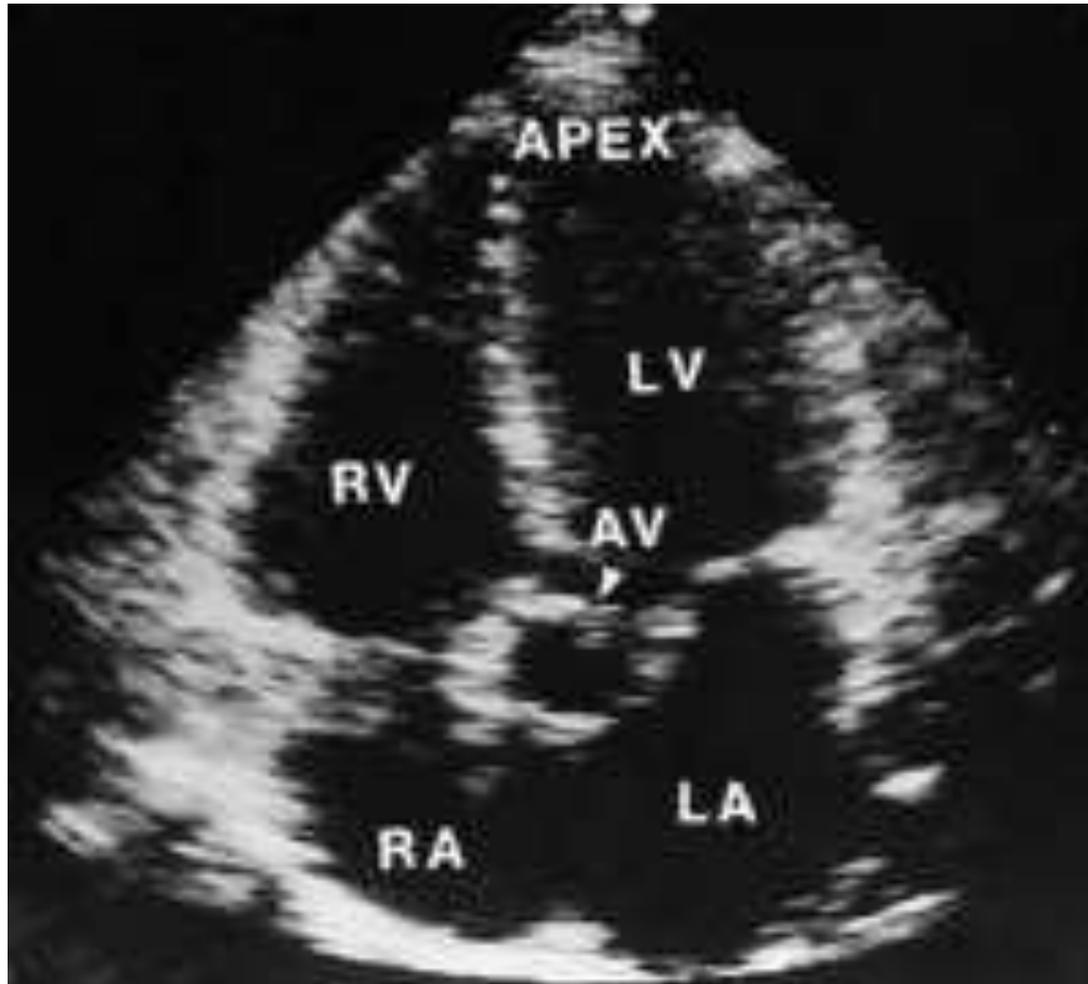
- Систола



*Y or inverted Mercedes-Benz sign*



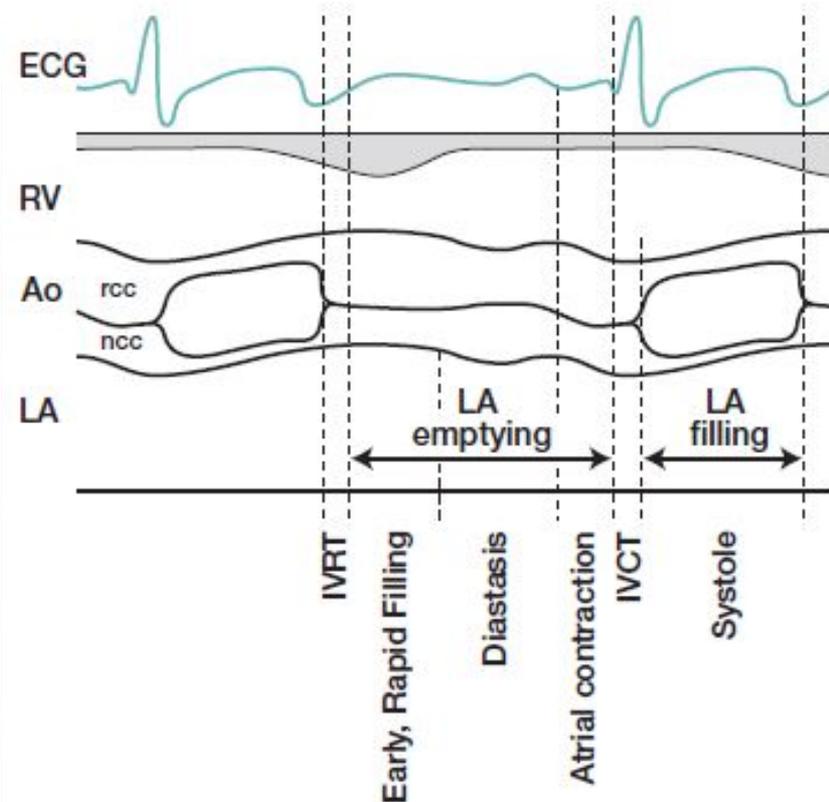
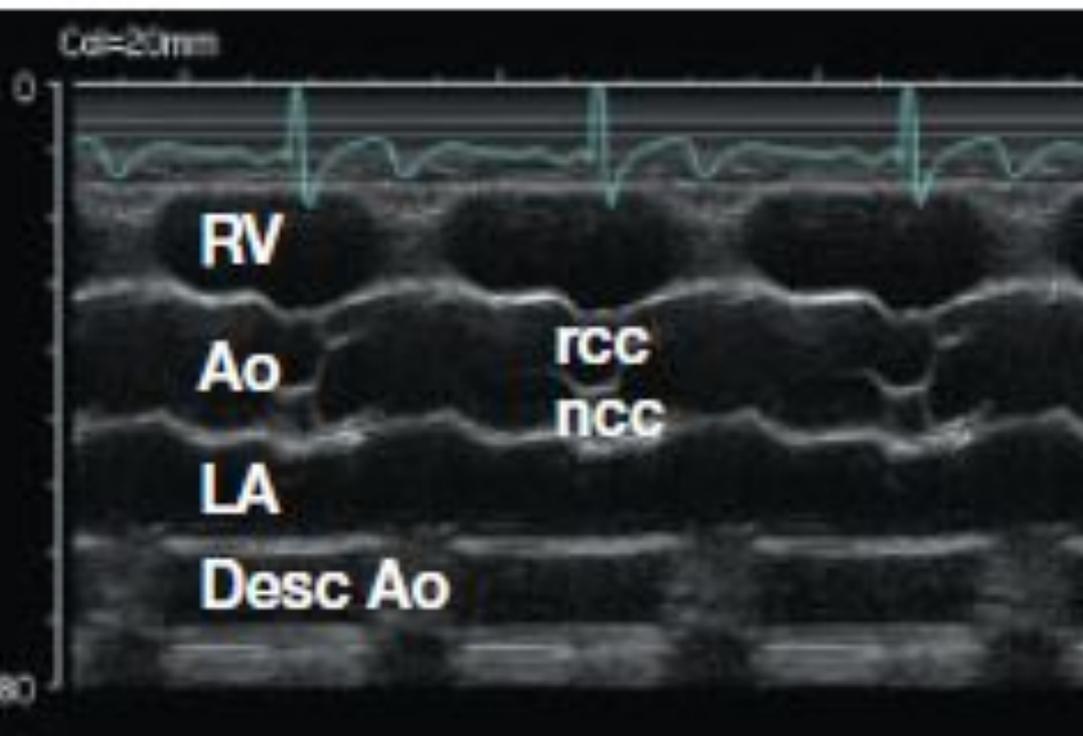
# Апикальное «пятикамерное» сечение



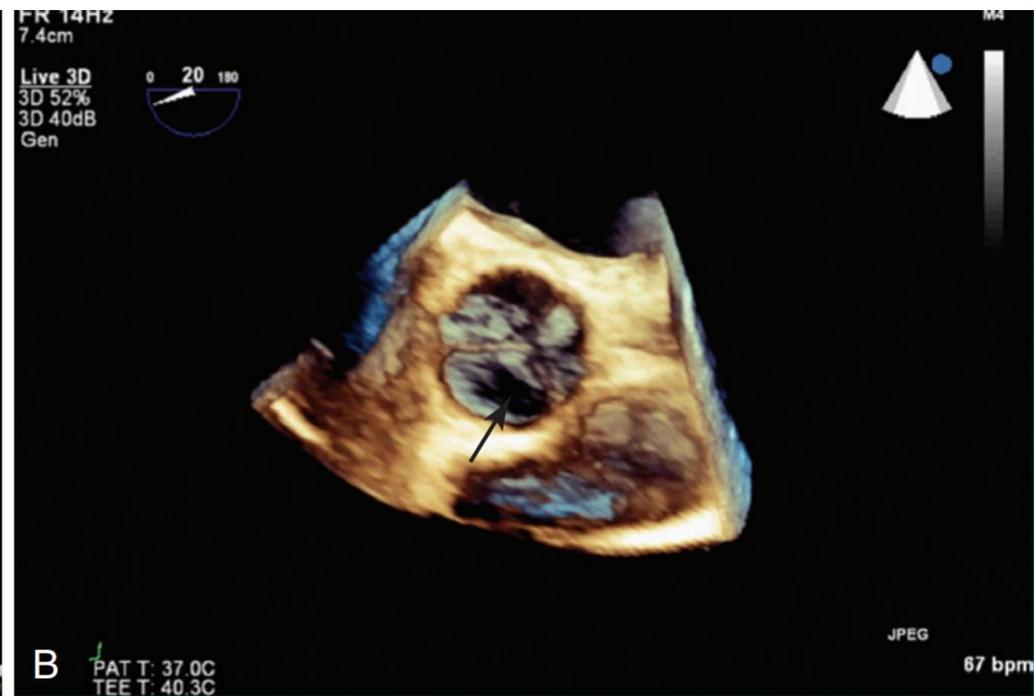
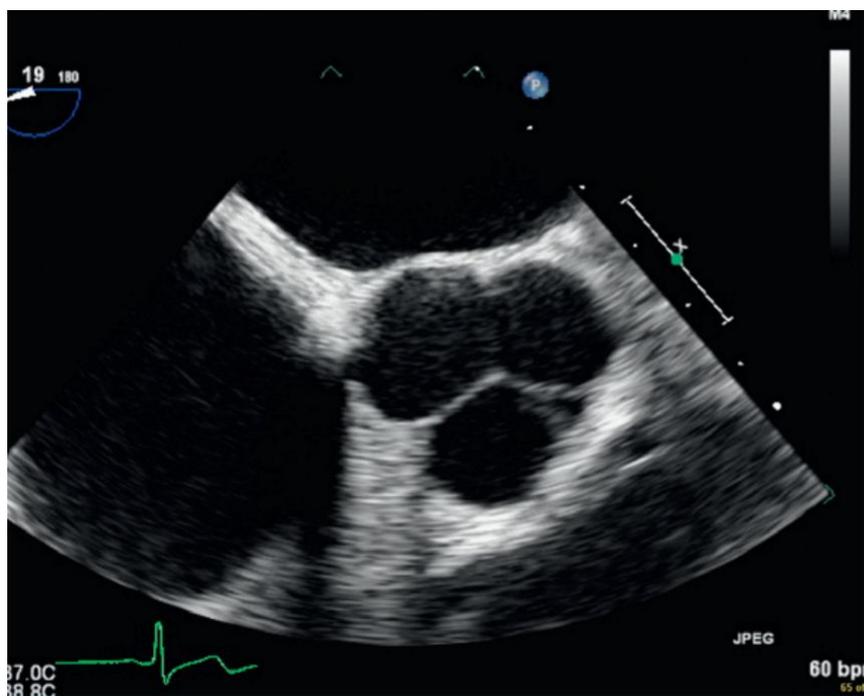
# Надгрудный доступ



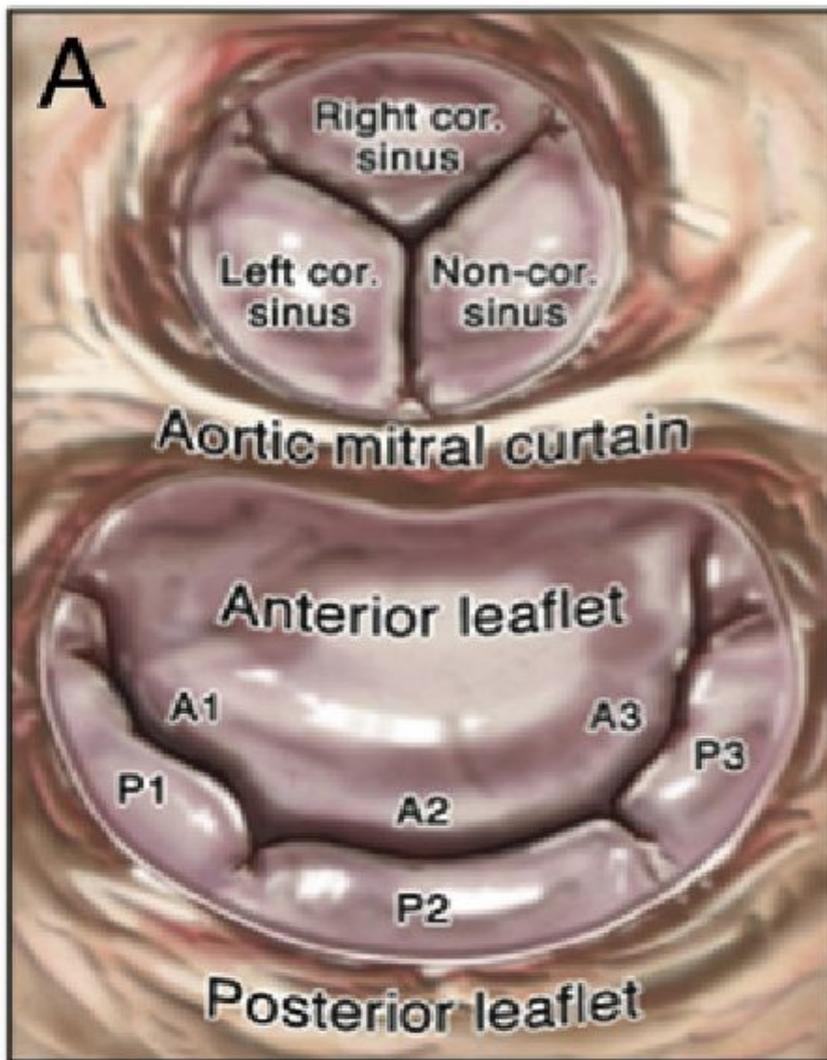
# M режим. Нормальный АК



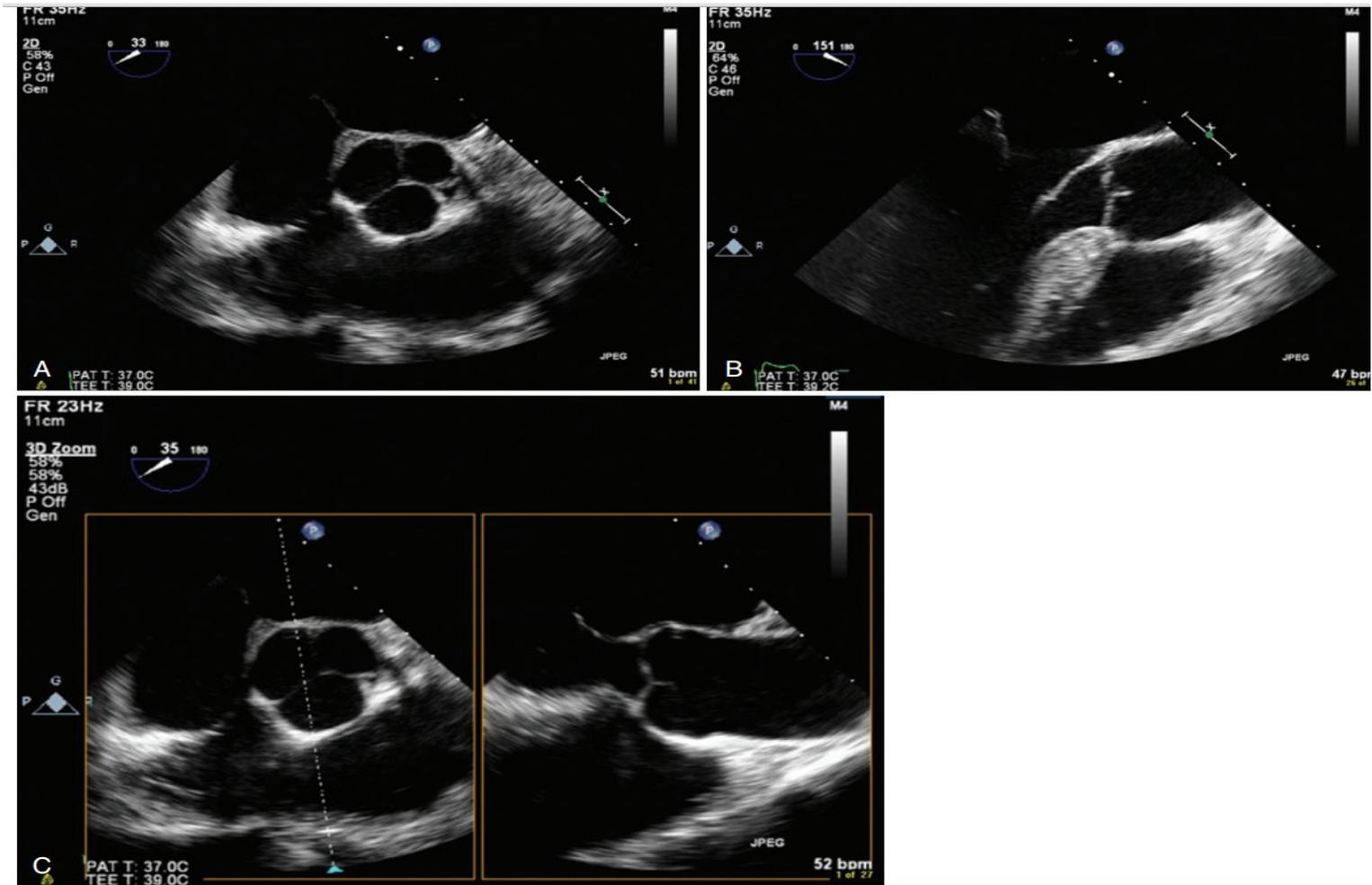
# 2D и 3D изображение АК



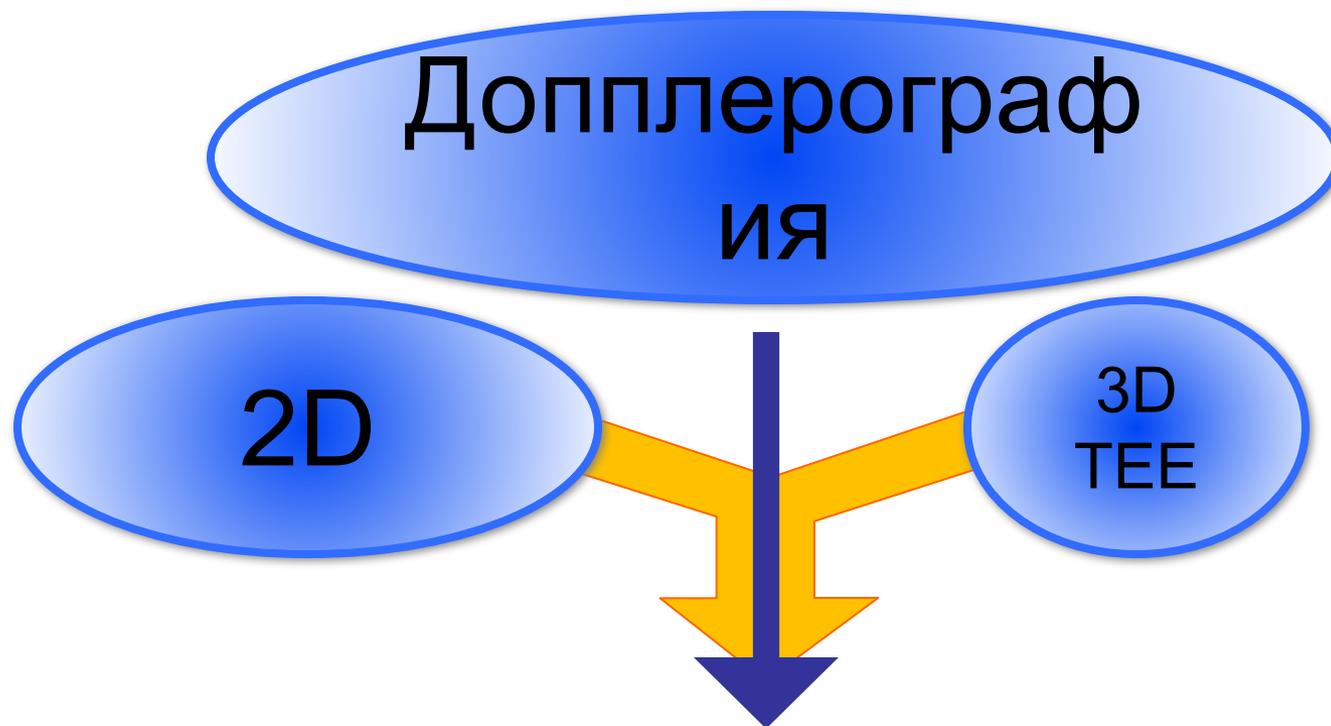
# Взаимоотношения АК и МК в 3D



# ЧПЭХО. Режим X-plane



# Возможности эхокардиографии



Морфология аортального клапана  
Функция левого желудочка  
Градиент/AVA  
Оценка степени регургитации

# **АОРТАЛЬНЫЙ СТЕНОЗ**

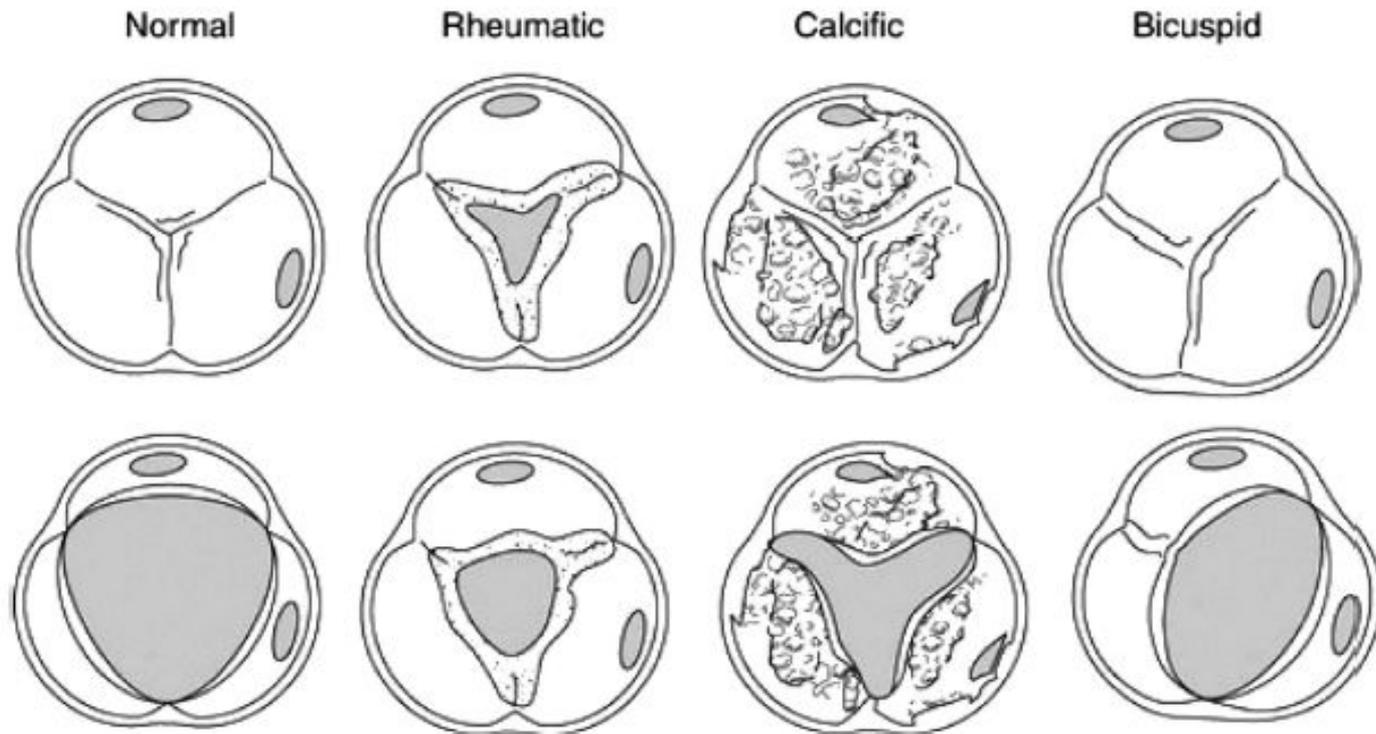
# Пациент с аортальным стенозом

- Жалобы, анамнез
- Аускультация
- ЭКГ, ХМЭКГ
- ЭХОКГ (трансторакальная, транспищеводная)
- Стресс-тесты
- Лабораторные тесты, биомаркеры
- МСКТ
- МРТ сердца
- ПЭТ-КТ

# Этиология аортального стеноза

- «Дегенеративный»
  - 3-х полулунный АК
  - 2-х полулунный АК
- Ревматический
- Болезни накопления
  - Гоше
  - Фабри
  - Алкаптонурия
- Гиперурикемия
- Гиперпаратиреоз
- Болезнь Педжета
- Опухоли клапанов
- Карциноид
- HLA B27 вальвулит
- Bloch Sulzberger syndrome (Incontinentia Pigmenti)
- Инф. эндокардит
- Гомозиготная ГХС тип II
- Pseudoxantoma elasticum
- Врожденный

# Этиология аортального стеноза



# Анатомическая оценка

Парастернальное сечение по длинной и короткой оси

- Количество створок
- Подвижность, кальциноз, спаянность комиссур

Сочетание 2D и доплеровских методик позволяет определить уровень обструкции клапанную, под и надклапанную

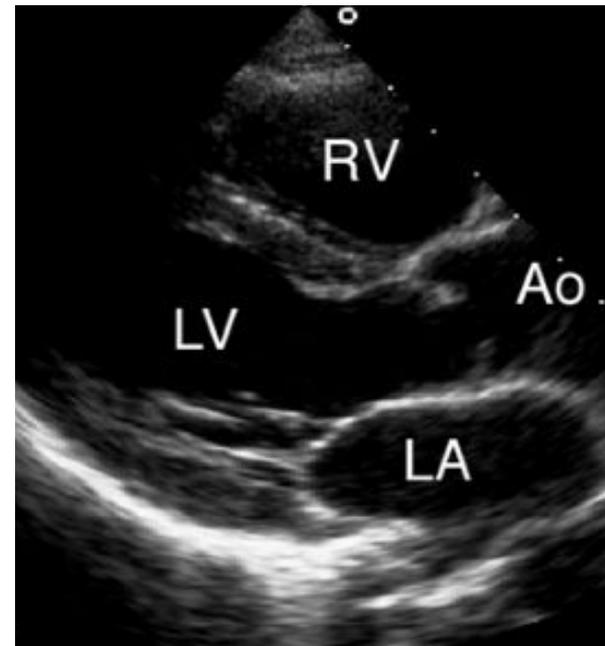
ЧПЭХОКГ при субоптимальном качестве изображения

# Бикуспидальный АК

- ❖ Длинная парастернальная ось
  - Асимметричное смыкание
  - Систолический прогиб
  - Диастолический пролапс

- ❖ У детей м.б. стеноз без

выраженного кальциноза



# Бикуспидальный аортальный клапан (эпидемиология)

- 1-2% общей популяции (Fedak PWM, *Circ.* 2002; 106: 900–904);
- 0.75% у мальчиков и 0.24% у девочек школьного возраста  
(Basso C et al., *Am J Cardiol.* 2004; 93: 661–663);
- 4.6 на 1000 живорожденных: 7.1/1000 мальчиков и 1.9/1000  
ДЕВОЧЕК (Tutar E et al., *Am Heart J.* 2005; 150: 513–515);
- Иногда наследуется (АД с вар. пенетрантностью). Частота среди  
членов семей, не имеющих проявлений 37%.

# Бикуспидальный аортальный клапан

- Вероятно генетическое заболевание
- Гены-кандидаты
  - NOTCH 1
  - ubiquitin fusion degradation 1-like gene (*UFD1L*) – (dHAND-dependent gene)

# Бикуспидальный аортальный клапан (продолжение)

- В большинстве случаев развиваются дегенеративные изменения (воспаление, фиброз, ангионеогенез, оссификация).
- Скорость зависит от степени исходных изменений и «традиционных для АС» ФР
  - быстрее при переднезаднем расположении комиссуры
- Нормально функционирующий БАК
  - измененная биомеханика,
  - более широкая площадь соприкосновения створок,
  - турбулентный кровоток,
  - ограниченная подвижность

# Бикуспидальный аортальный клапан



(a)



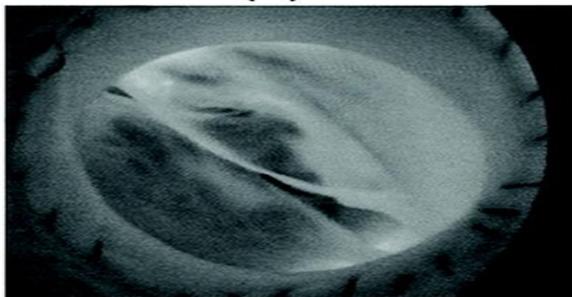
(b)



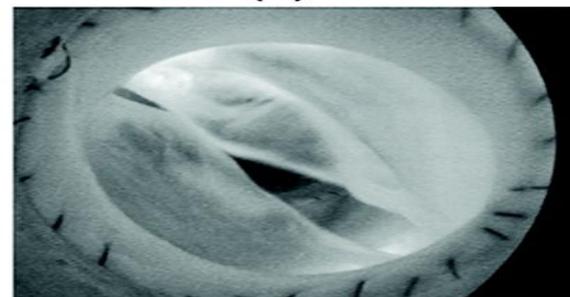
(c)



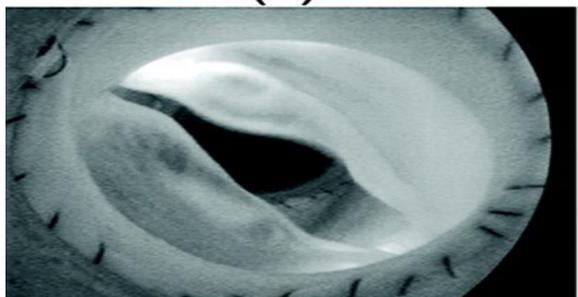
(d)



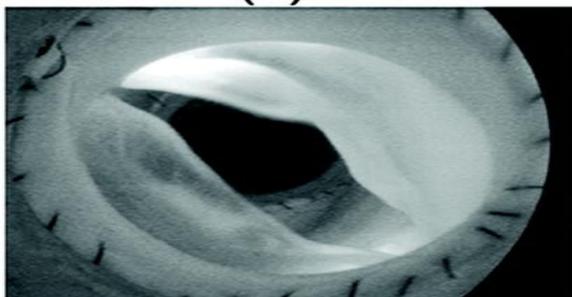
(e)



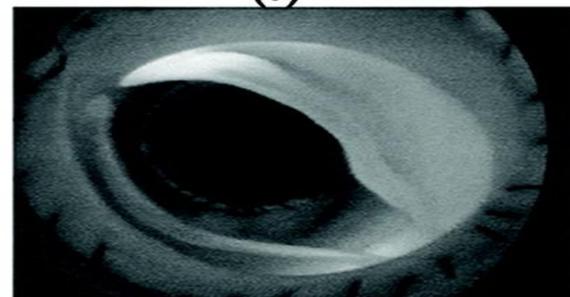
(f)



(g)



(h)



(i)

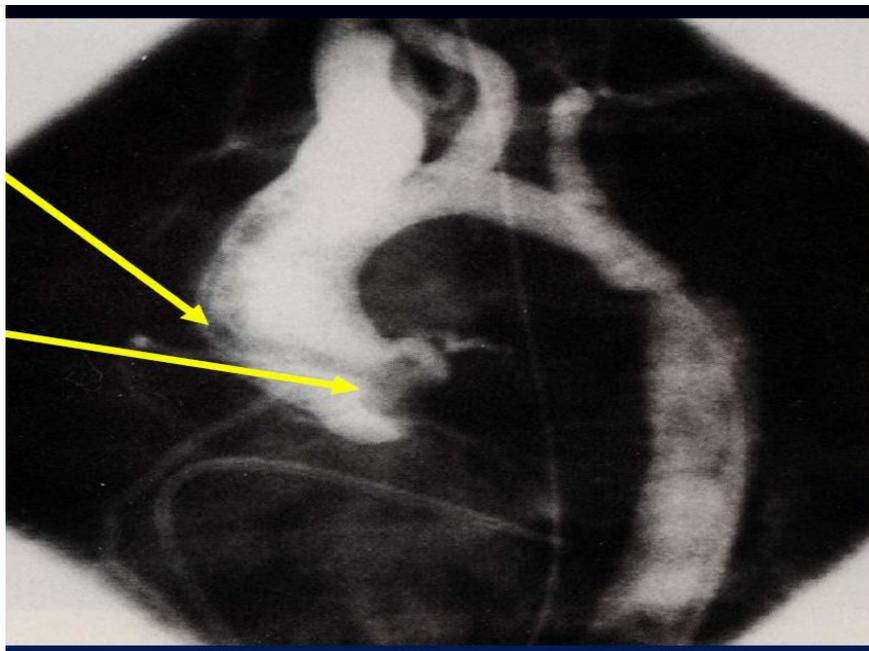
# Бикуспидальный аортальный клапан

## Патология аорты

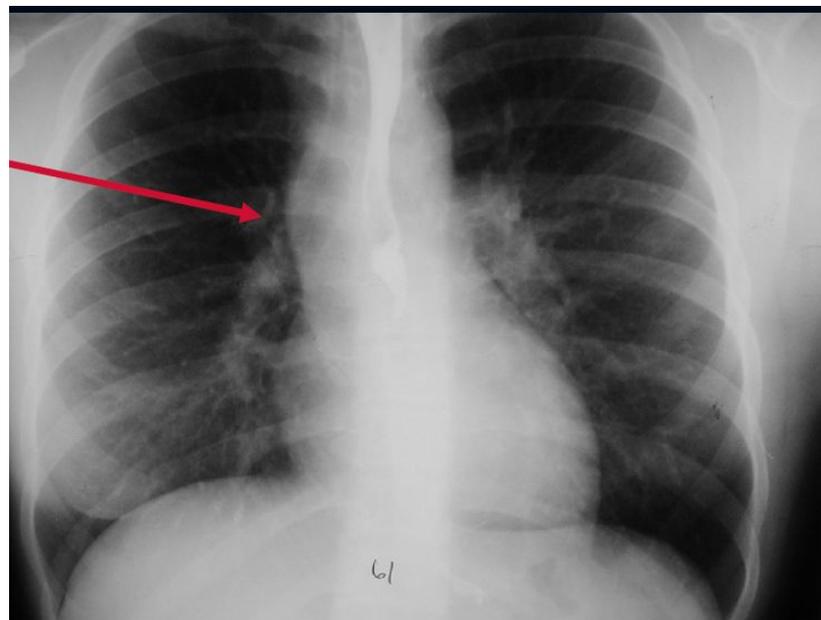
- Гистологически всегда изменена независимо от наличия АС или АН.
- Изменения среднего слоя сходные с наблюдаемыми при синдроме Марфана
  
- Может быть частью синдрома Shone (Shone's complex)
  - Парашютный МК
  - Коарктация аорты
  - Субаортальный стеноз
  - Надклапанное фиброзное кольцо МК

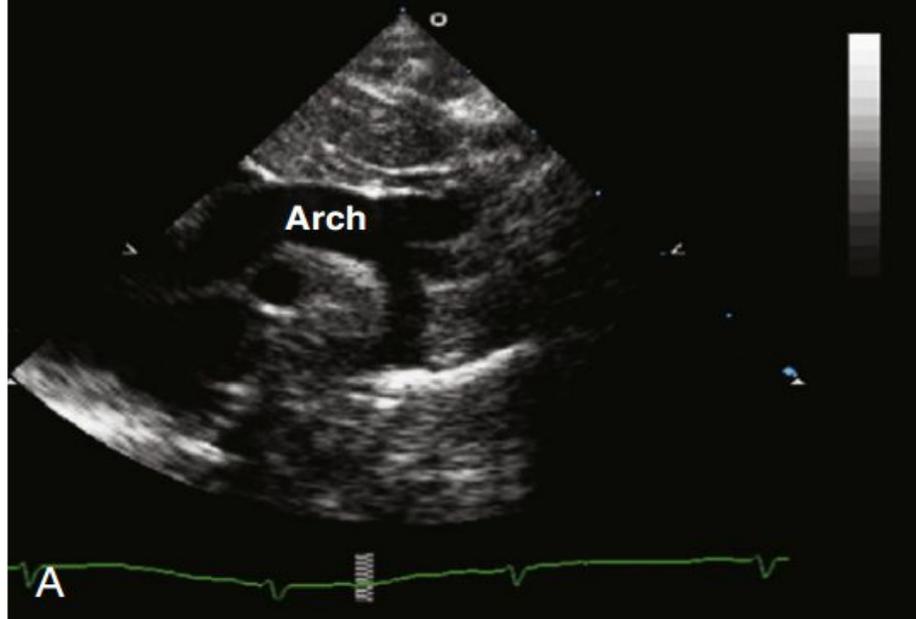
# Бикуспидальный аортальный клапан

Аортография

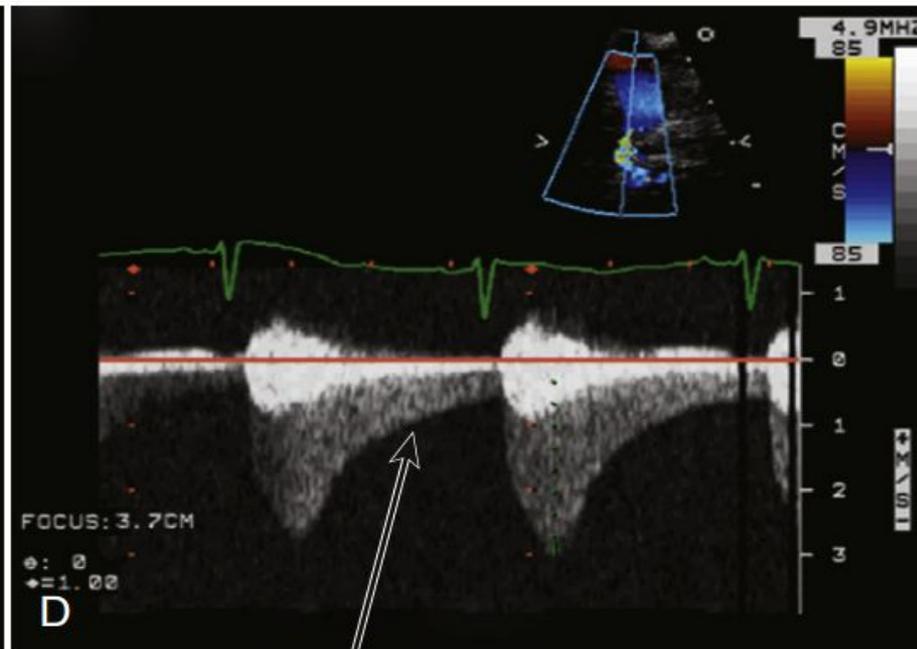


Рентгенограмма

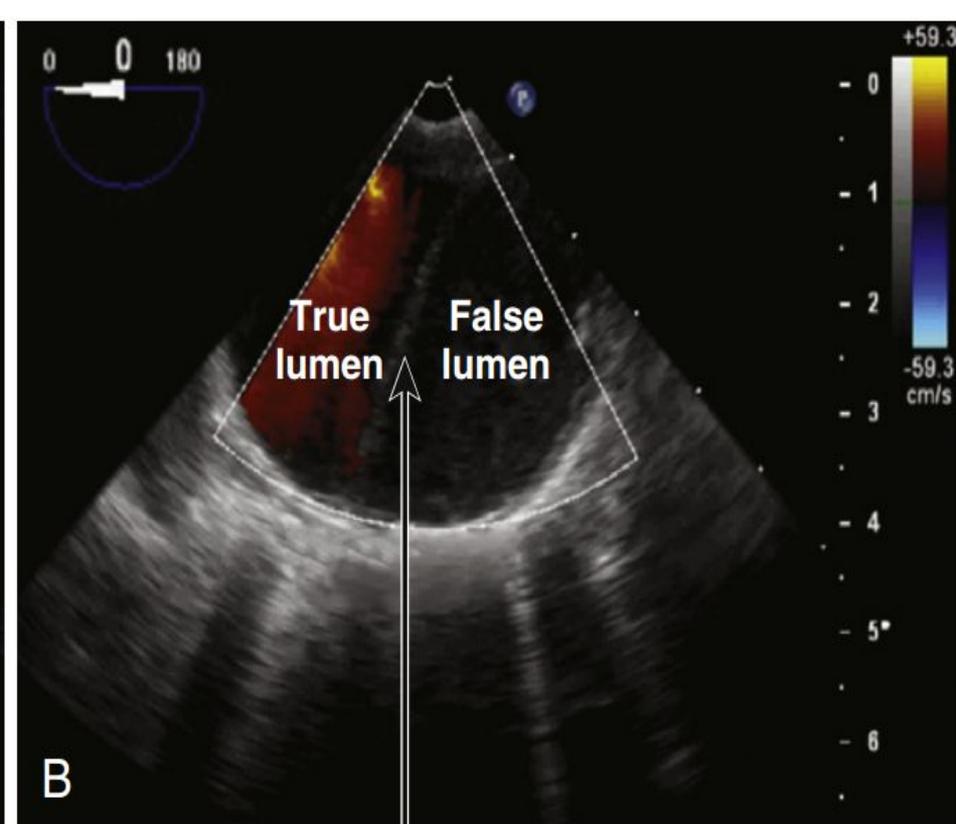
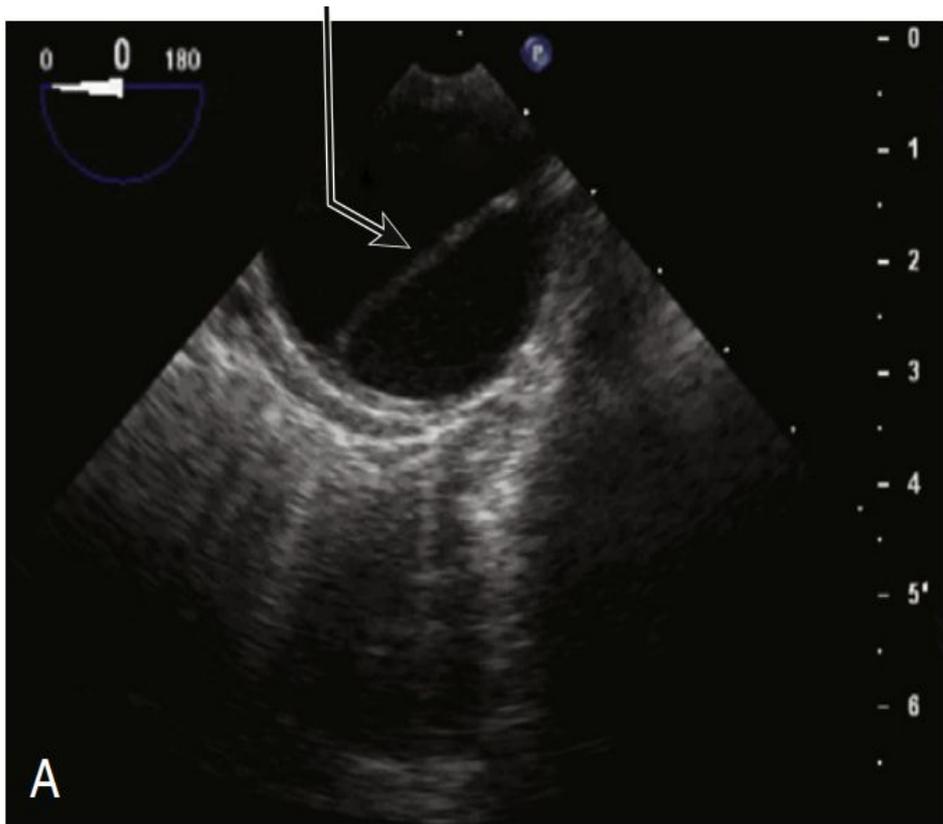




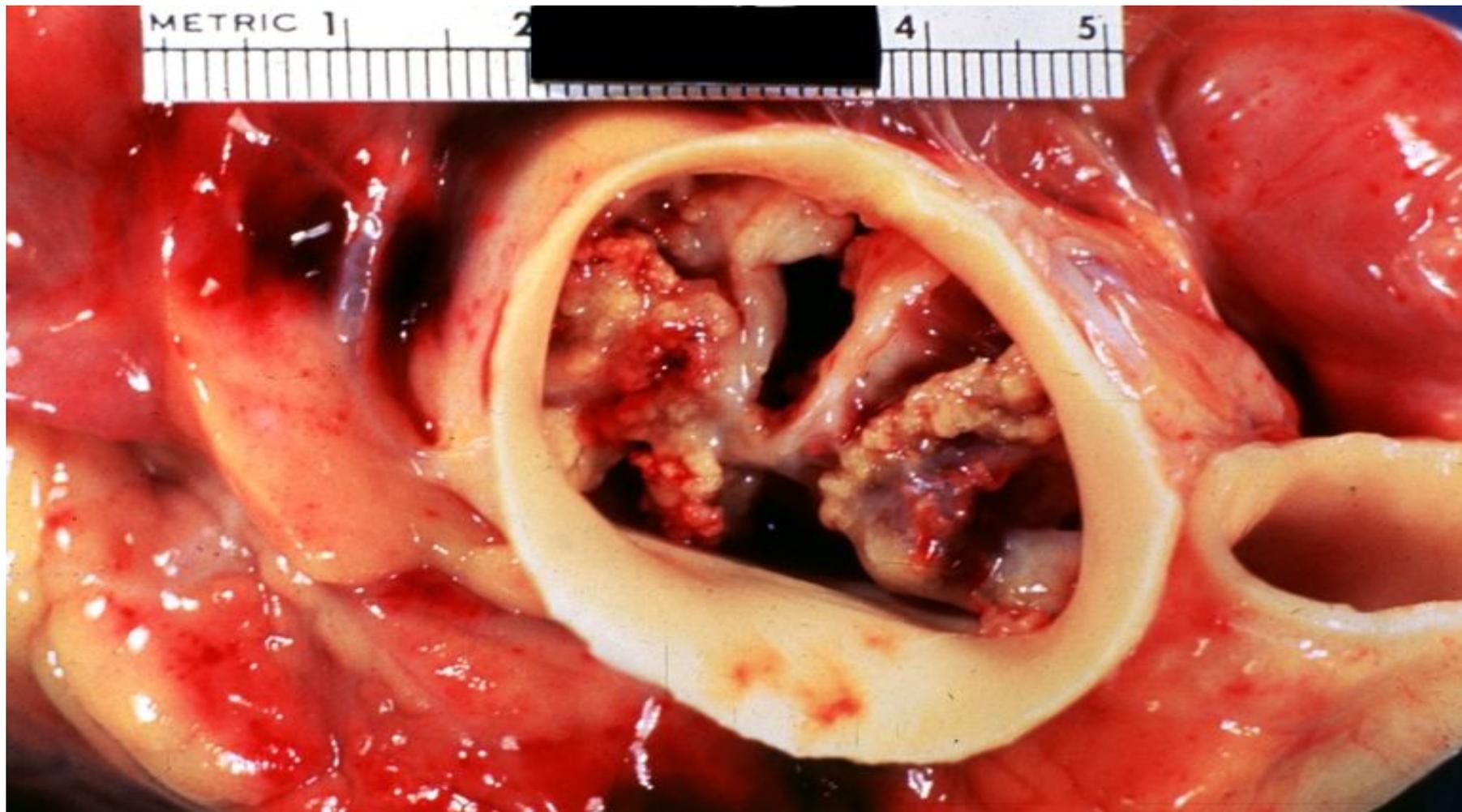
Coarctation



Diastolic tail



# Однополулунный аортальный клапан



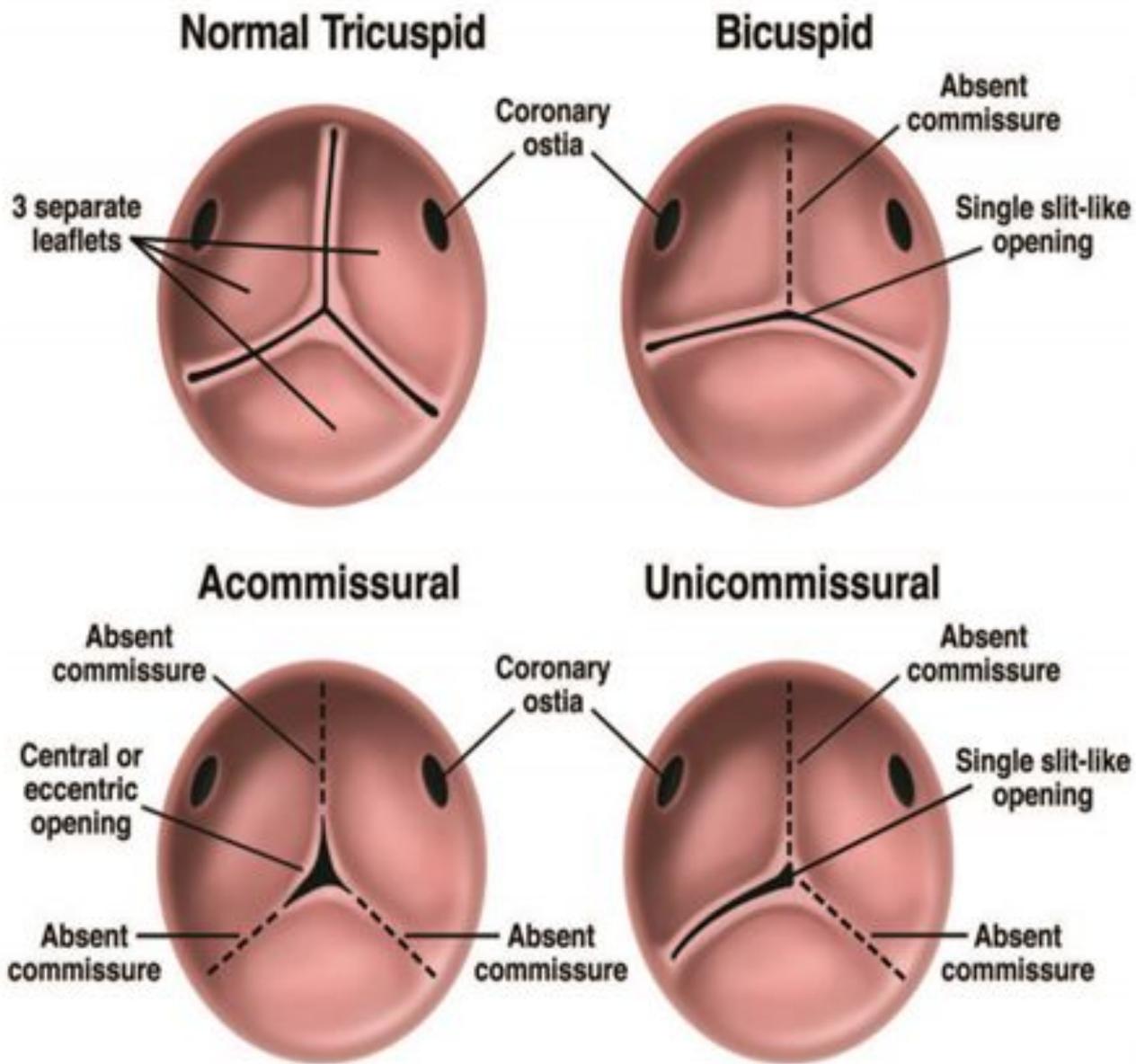
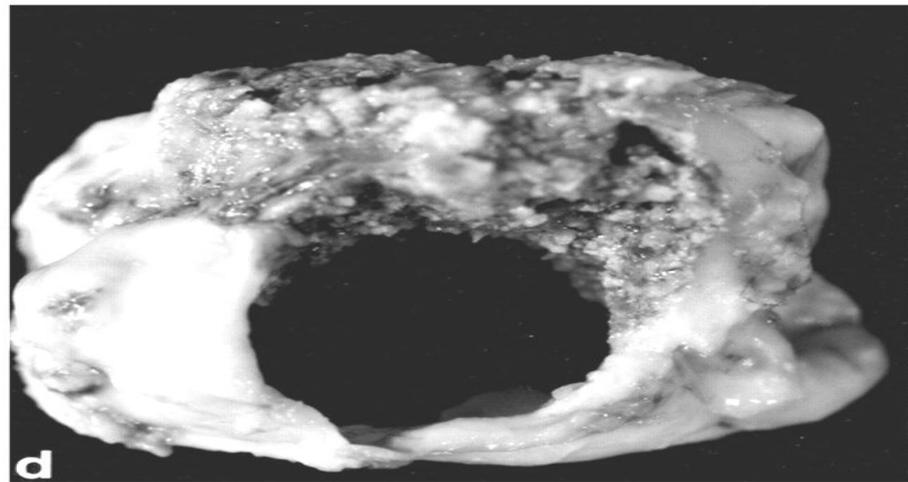
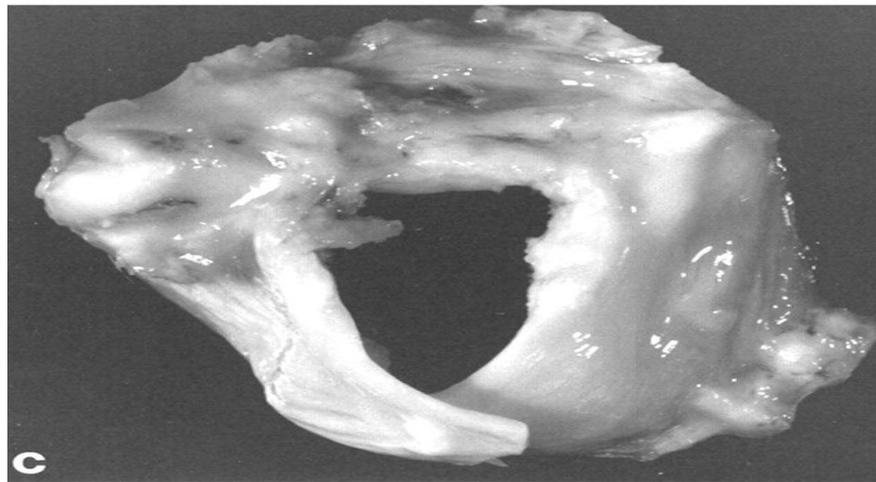
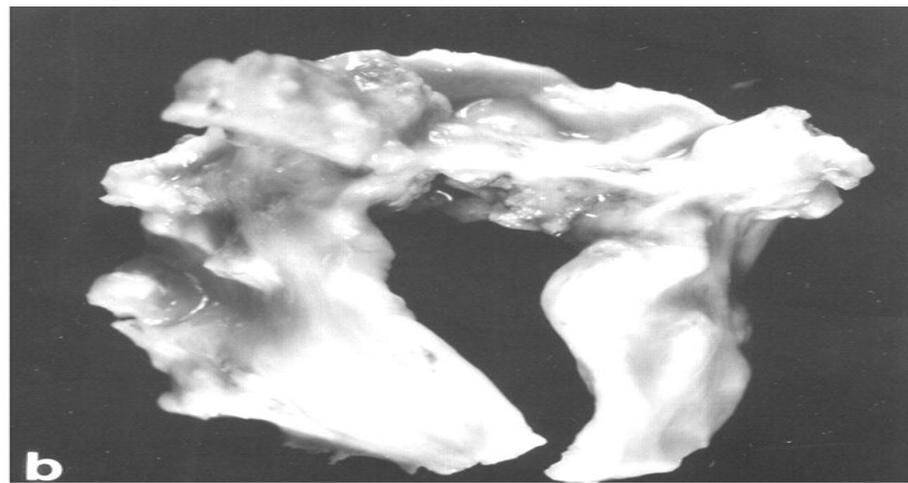
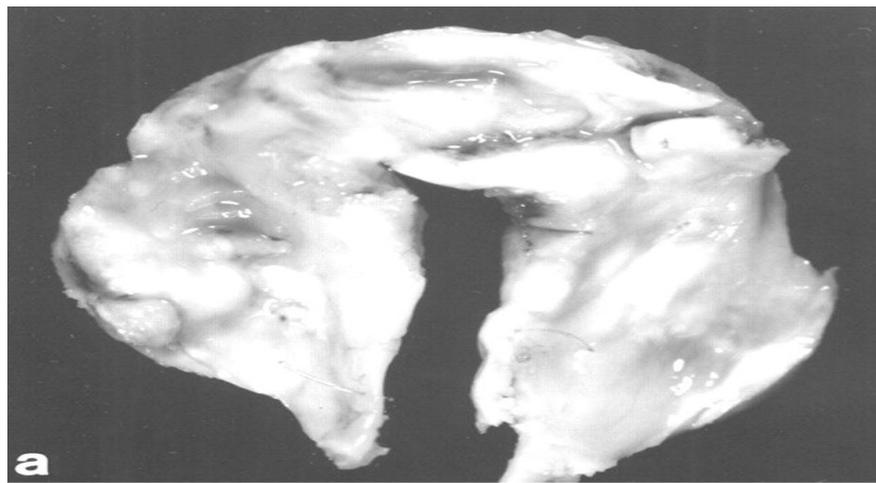
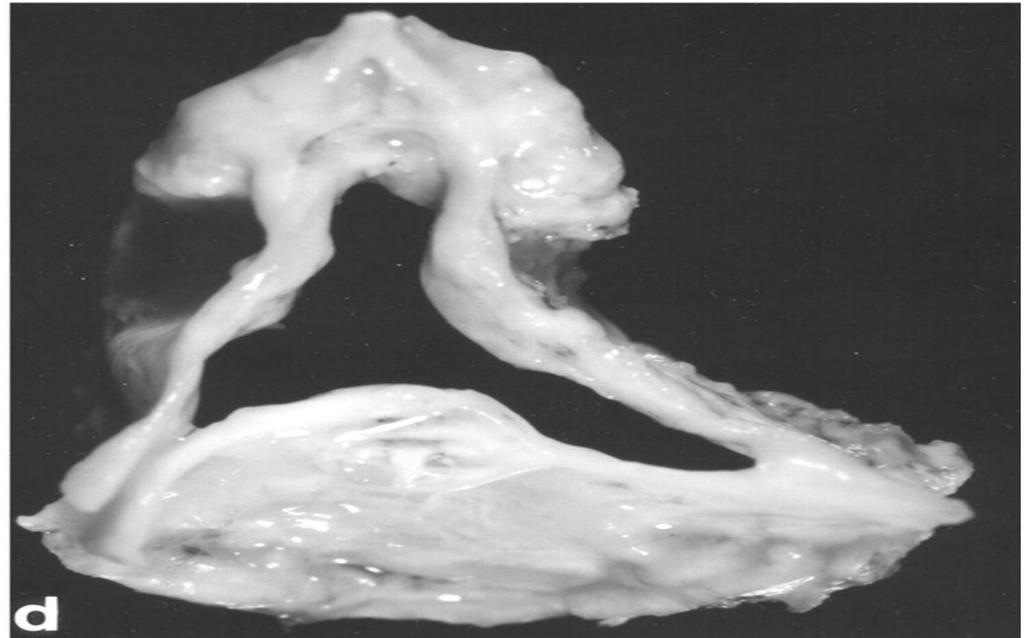
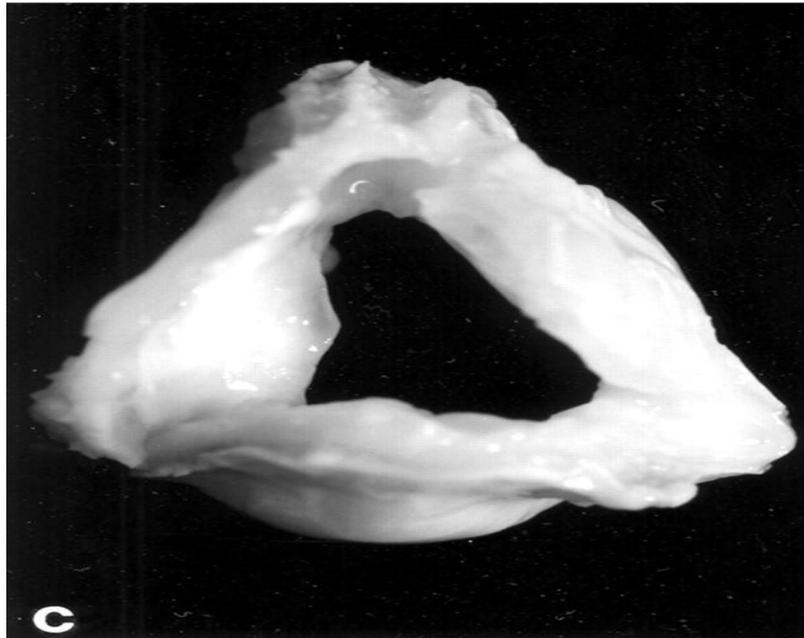
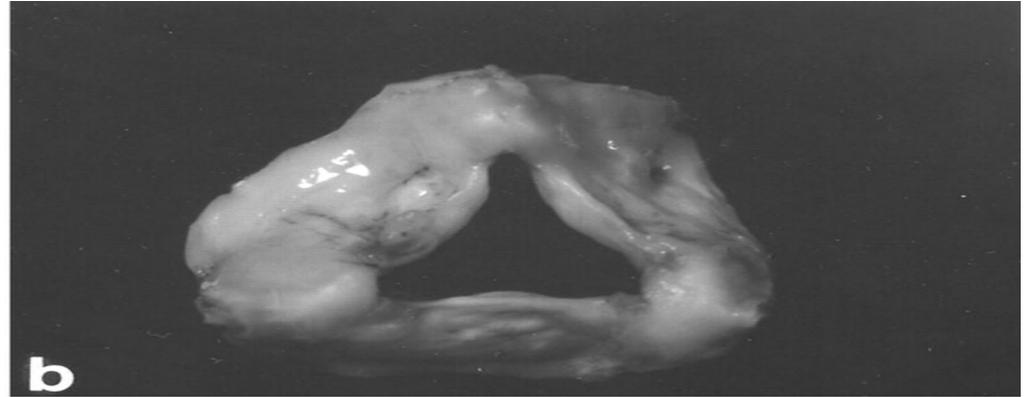
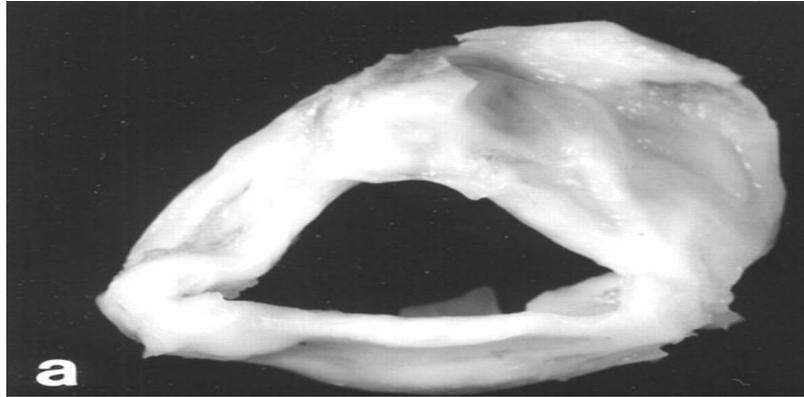


Fig. 1. Slit-shaped and pinhole shaped unicuspid aortic valves

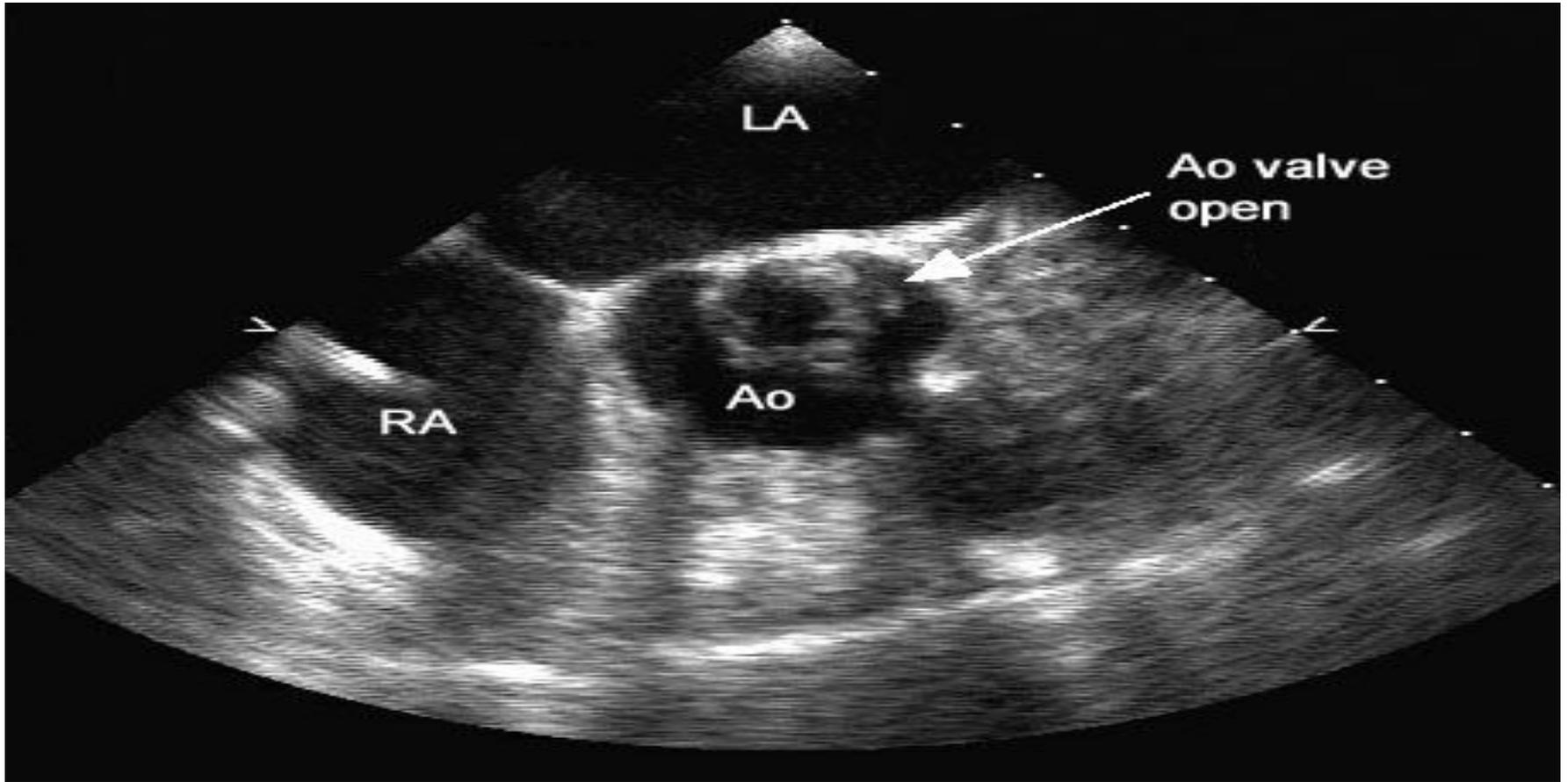
# Однополулунный однокомиссуральный клапан

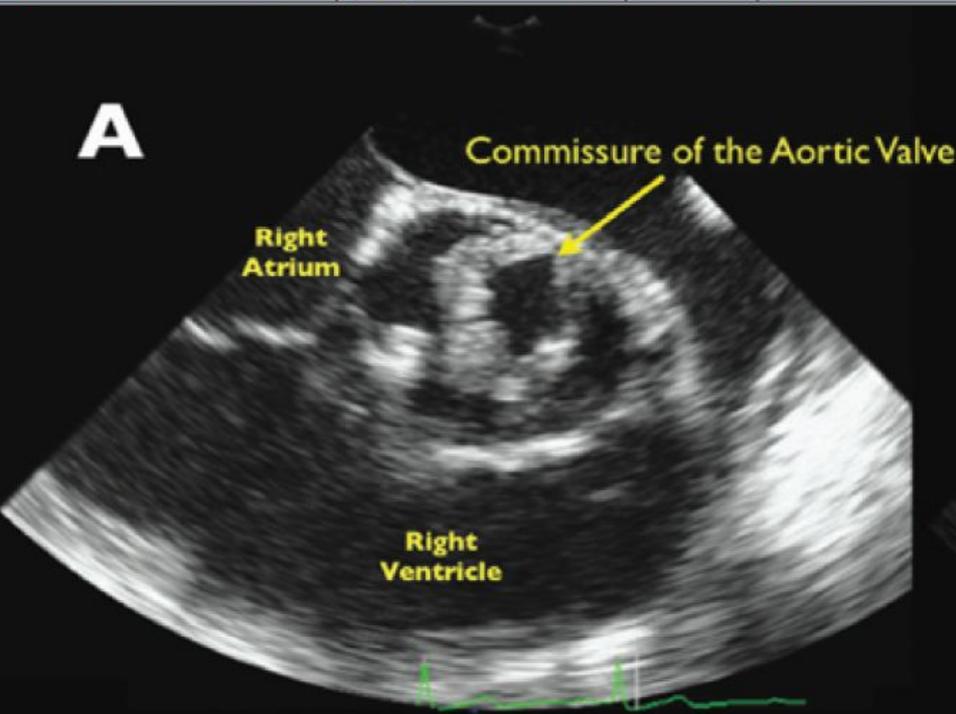


# Однополулунный акомиссуральный клапан

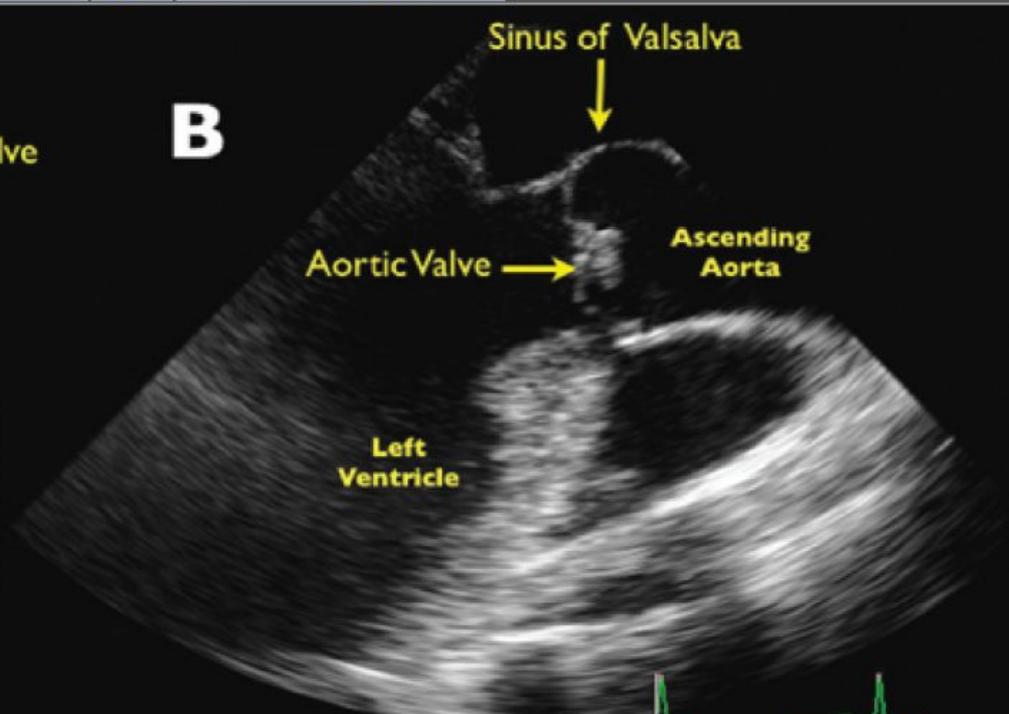


# Однополулунный аортальный клапан

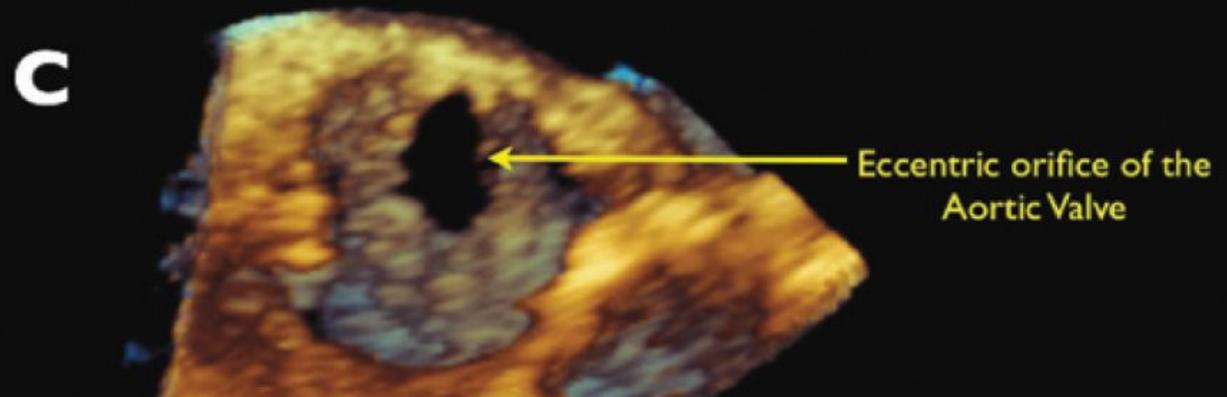




Mid-esophageal aortic valve short axis view

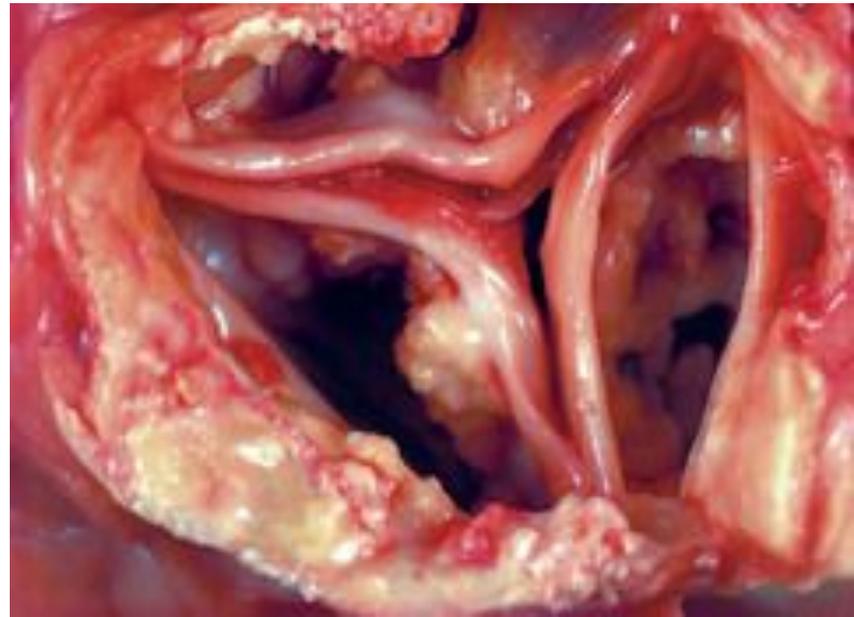


Mid-esophageal aortic valve long axis view

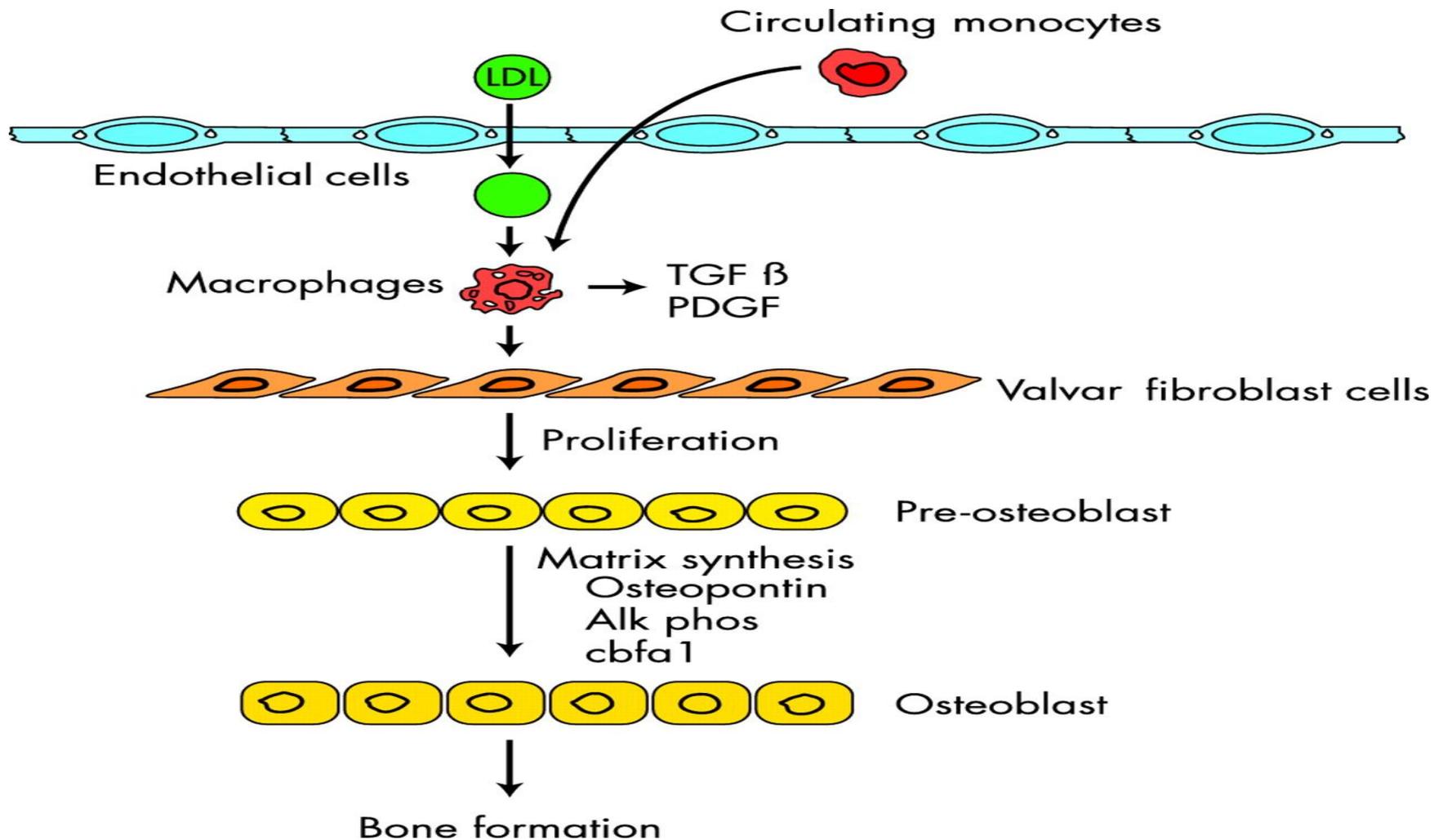


# Склеродегенеративный стеноз трёхстворчатого АК

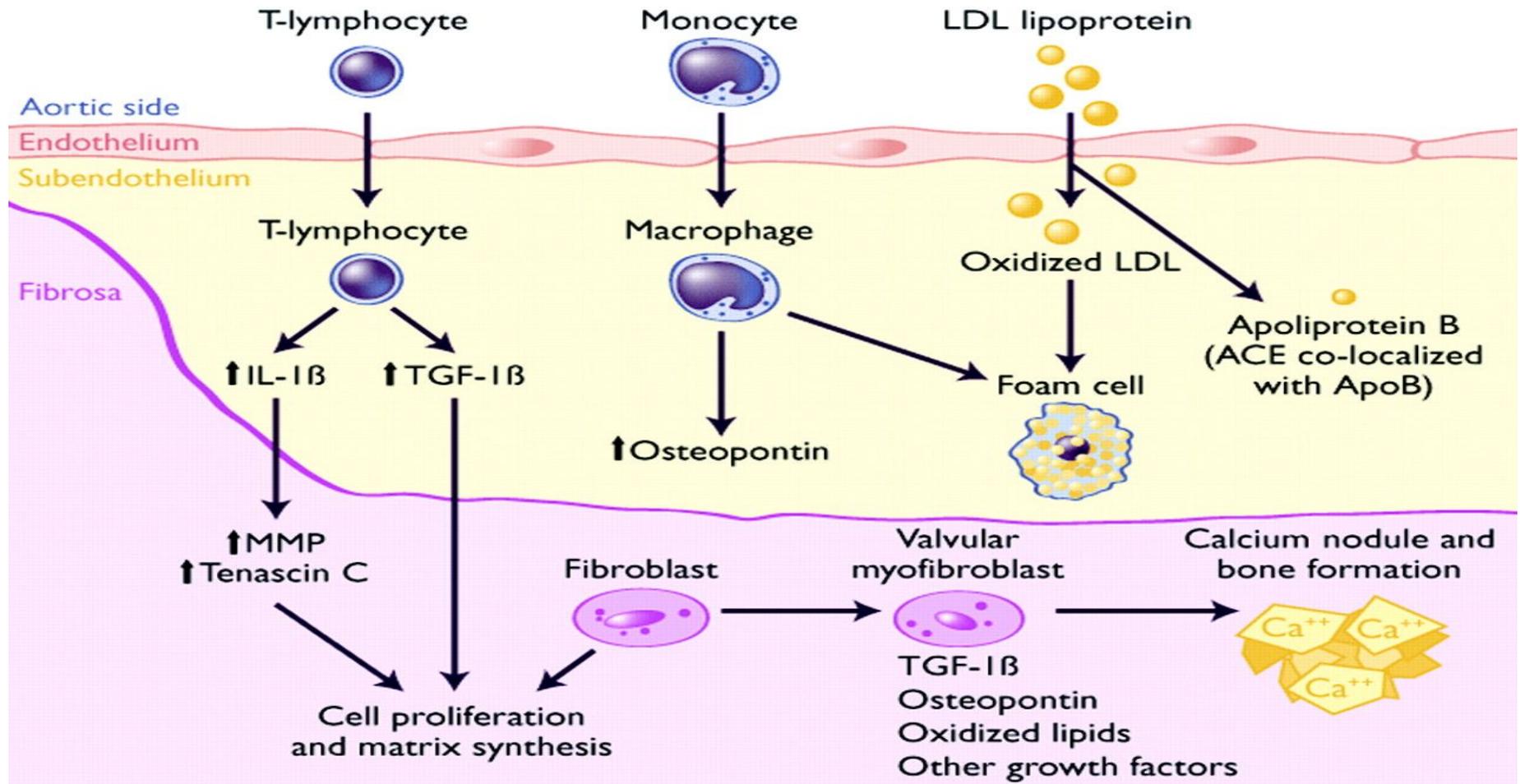
- ❖ Кальциноз на аортальной стороне АК (узелки)
- ❖ НЕТ слияния комиссур
- ❖ Свободные края НЕ вовлечены
- ❖ Клапан открывается звездообразно



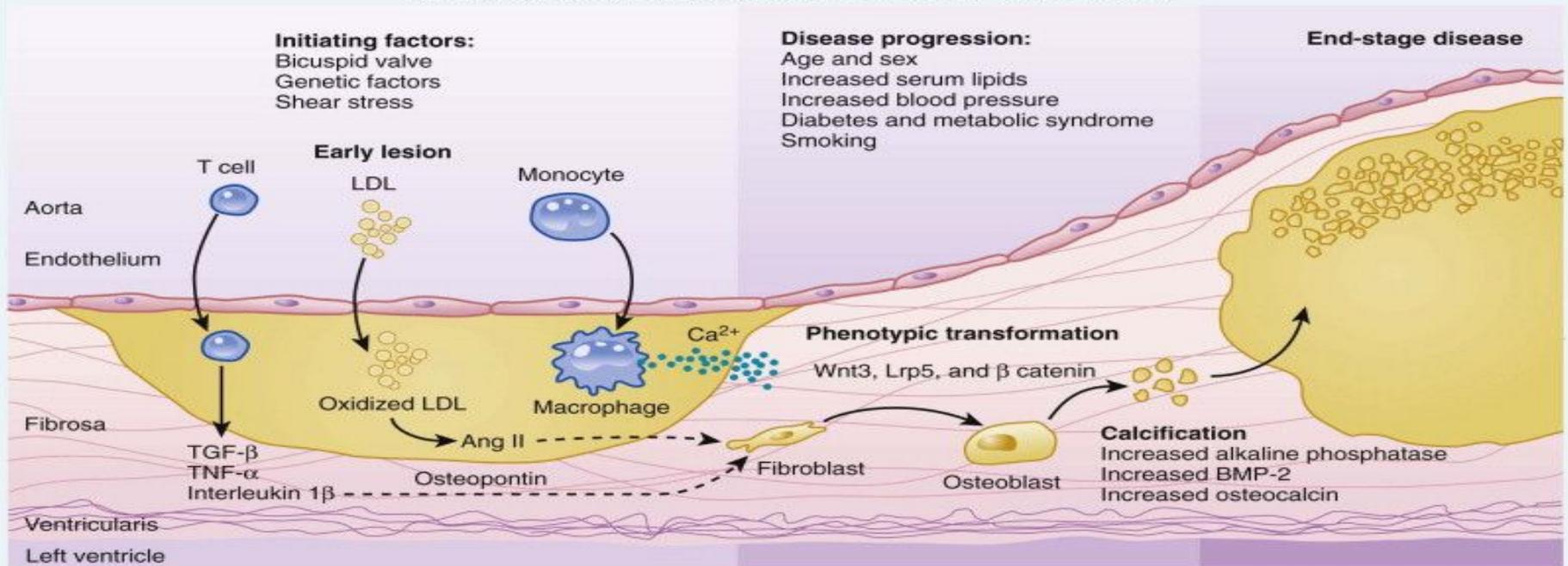
# Возможный механизм развития кальциноза АК



# Возможный механизм развития кальциноза АК



# VALVE HISTOLOGY SHOWING PROGRESSION OF THE DISEASE



A

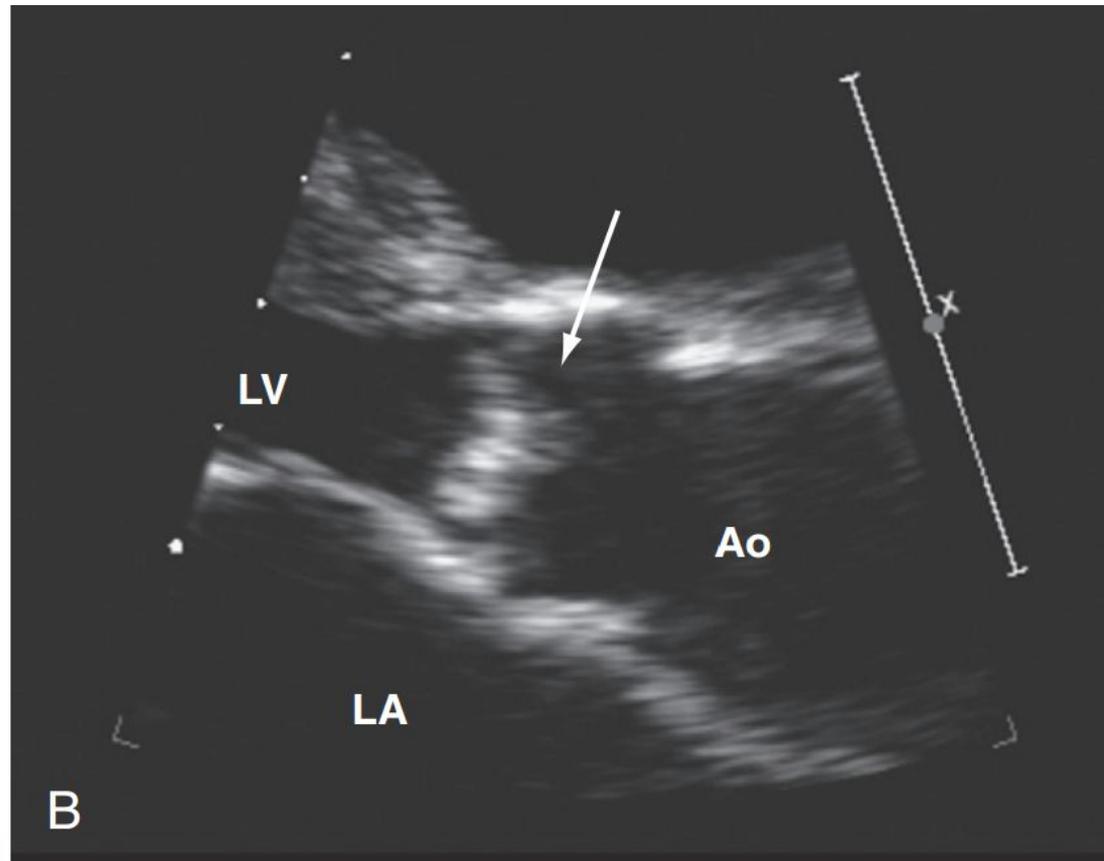
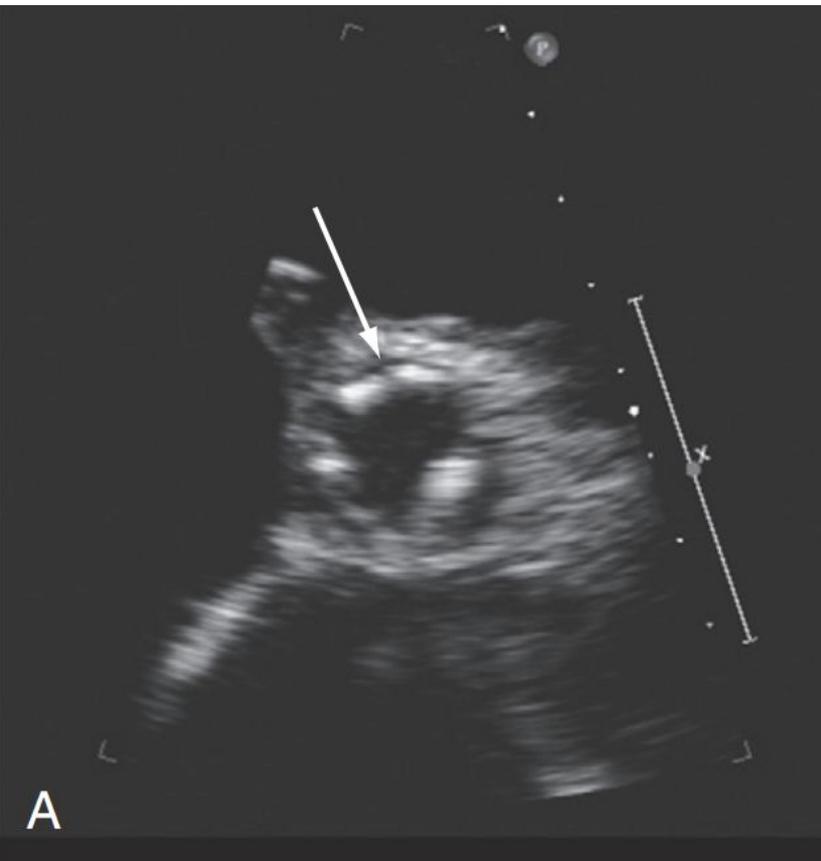
## AORTIC-VALVE ANATOMY



## DOPPLER AORTIC JET VELOCITY

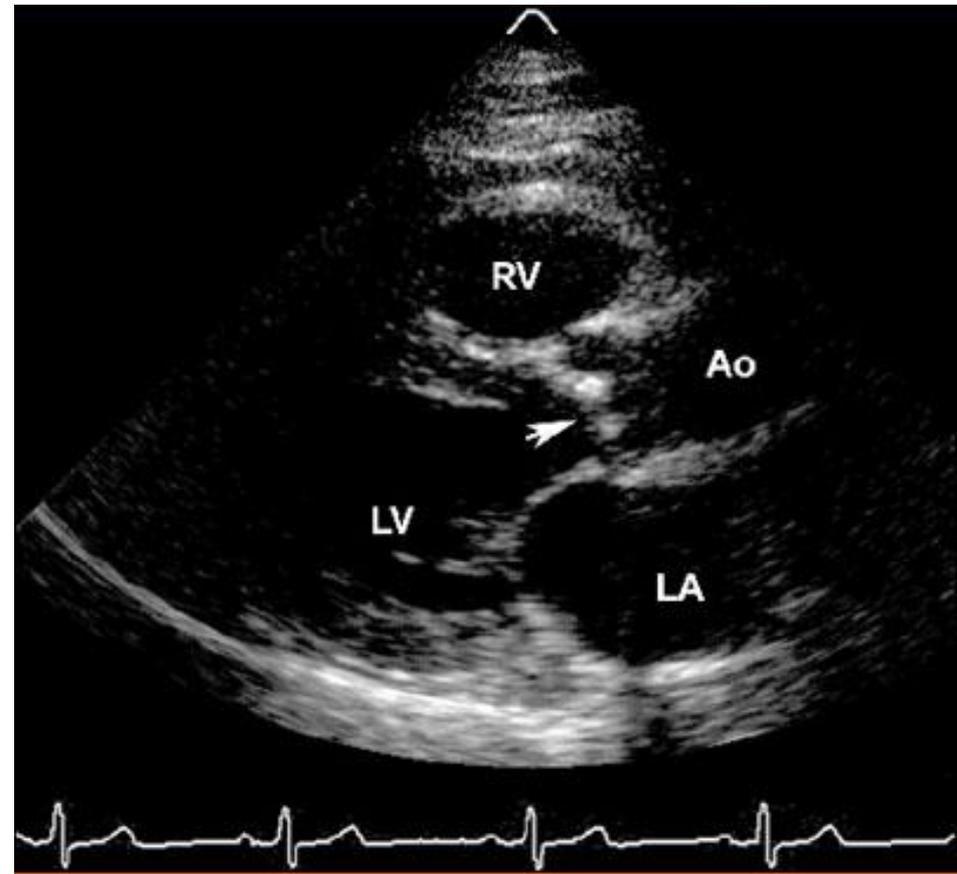


# Кальциноз АК без формирования АС

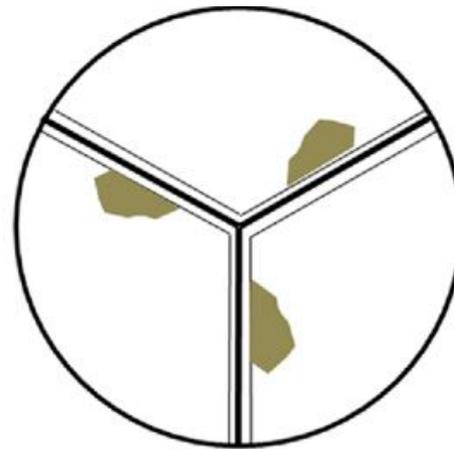
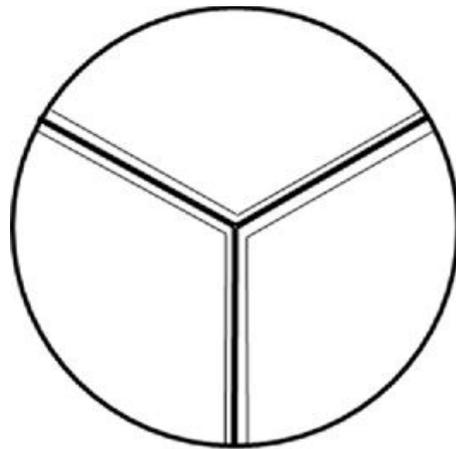


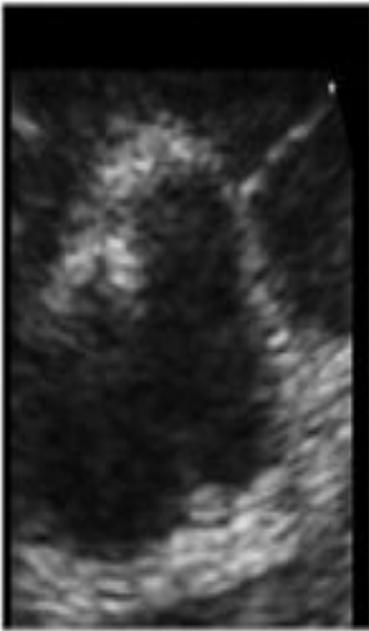
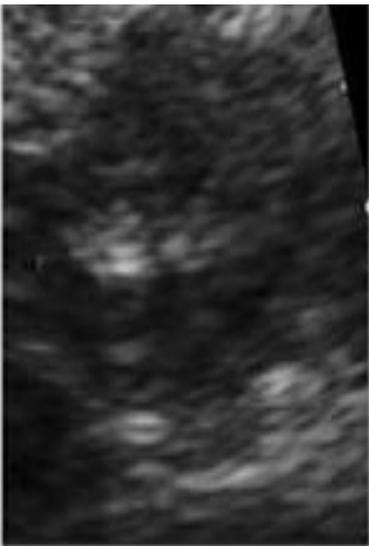
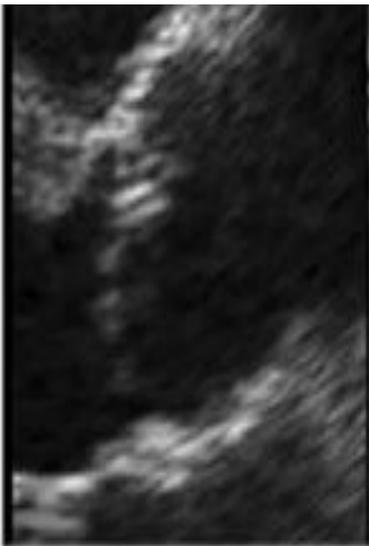
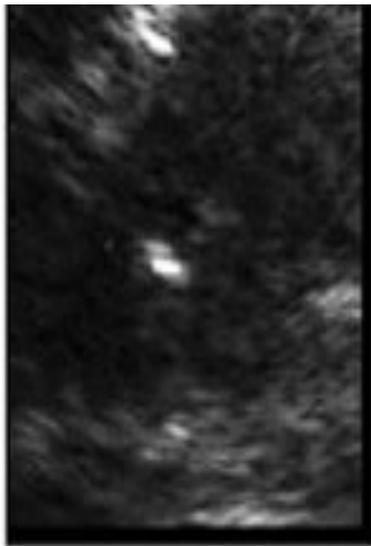
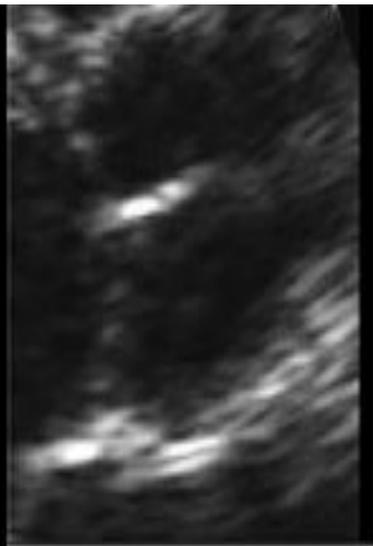
# Calcific Aortic Stenosis

Кальциноз,  
неподвижность  
полулуний АК

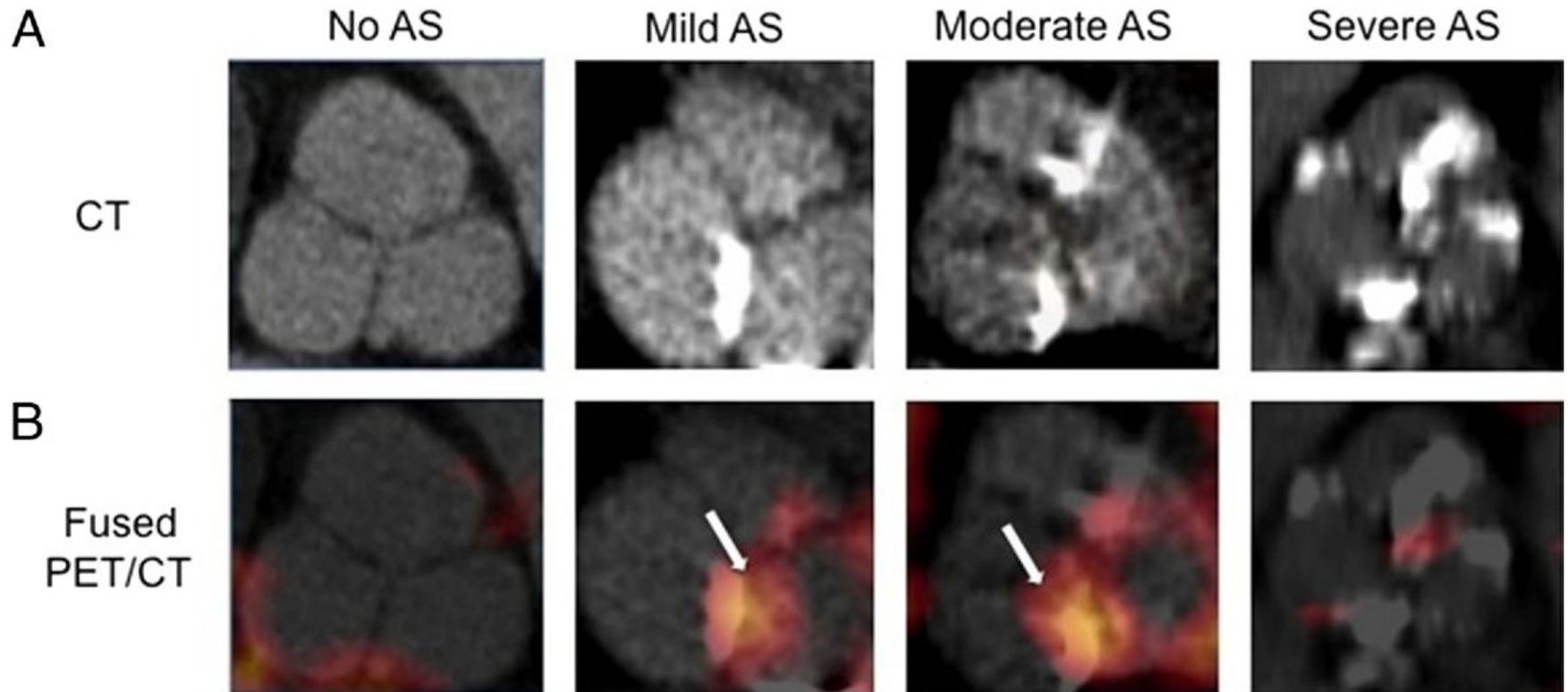


# Степени кальциноза АК



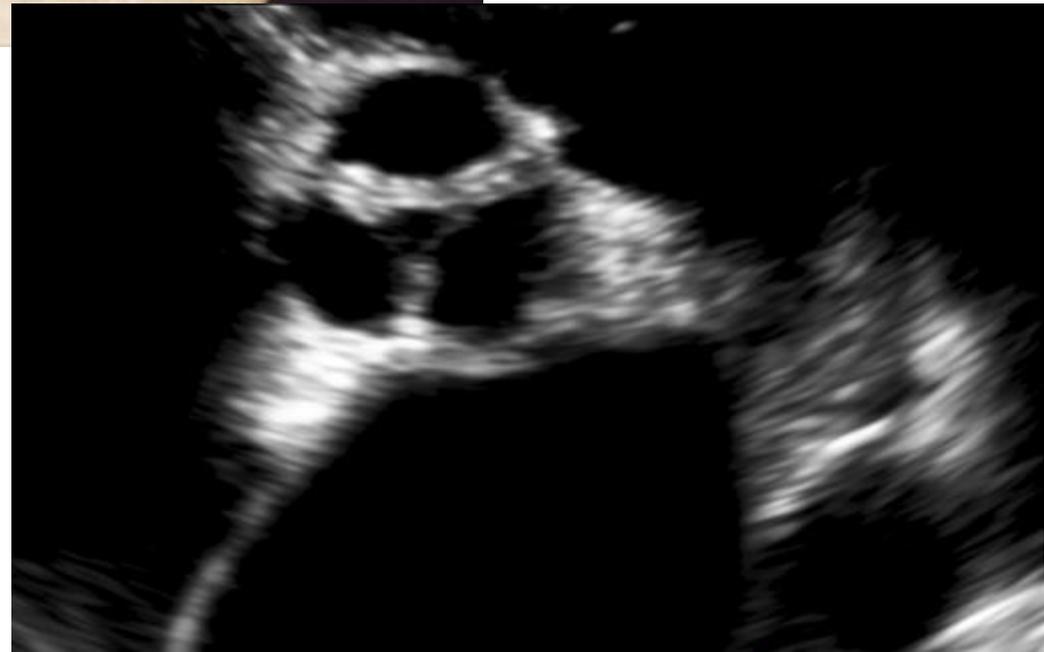
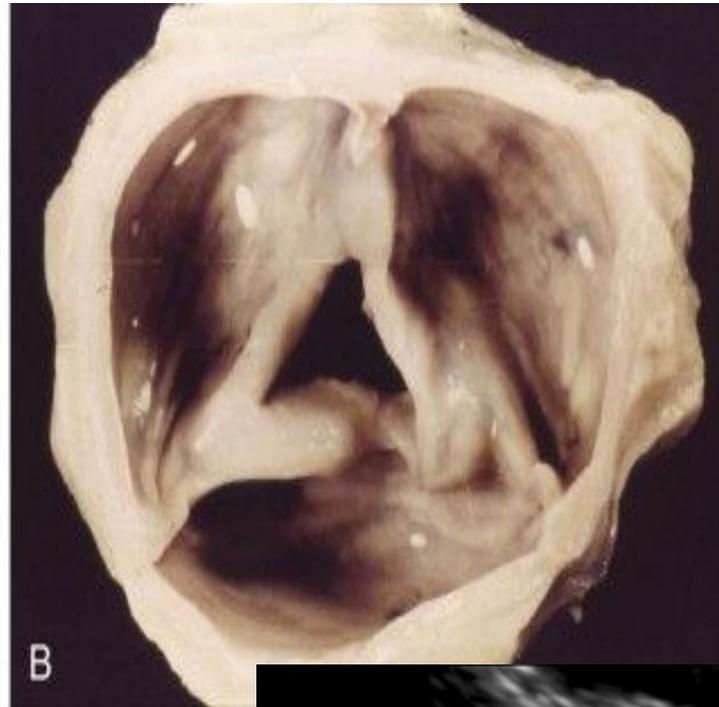


# Increased Valvular Fluorodeoxyglucose Uptake in Aortic Stenosis



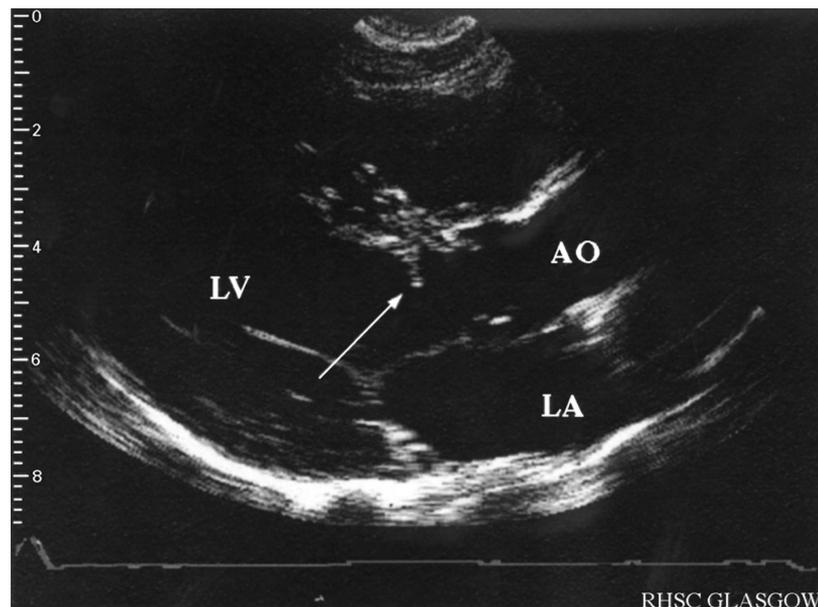
(J Am Coll Cardiol 2011;57:2507–15)

# Ревматический АС



# Подклапанный АС

- (1) Тонкая дискретная мембрана , состоящая из эндокардиальной складки и соединит. ткани
- (2) Фибромышечный гребень
- (3) Диффузное туннелевидное сужение
- (4) Аномальная ткань аппарата МК



# Надклапанный АС

- ❖ Толстое фиброзное кольцо над АК  
Аорта в виде песочных часов



# Оценка степени тяжести АС

## Неинвазивные методы

- Физикальное обследование
- ЭхоКГ (доплерография, режимы 2 и 3D)
- МРТ
- МСКТ

## Инвазивные методы

- Катетеризация и манометрия

## EACVI/ASE CLINICAL RECOMMENDATIONS

# Recommendations on the Echocardiographic Assessment of Aortic Valve Stenosis: A Focused Update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography



Helmut Baumgartner, MD, FESC, (Chair), Judy Hung, MD, FASE, (Co-Chair), Javier Bermejo, MD, PhD, John B. Chambers, MB BChir, FESC, Thor Edvardsen, MD, PhD, FESC, Steven Goldstein, MD, FASE, Patrizio Lancellotti, MD, PhD, FESC, Melissa LeFevre, RDCS, Fletcher Miller Jr., MD, FASE, and Catherine M. Otto, MD, FESC, *Muenster, Germany; Boston, Massachusetts; Madrid, Spain; London, United Kingdom; Oslo, Norway; Washington, District of Columbia; Liège, Belgium; Bari, Italy; Durham, North Carolina; Rochester, Minnesota; and Seattle, Washington*

2017

## Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis: a focused update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography

Helmut Baumgartner (chair)<sup>1\*</sup>, Judy Hung (co-chair)<sup>2</sup>, Javier Bermejo<sup>3</sup>, John B. Chambers<sup>4</sup>, Thor Edvardsen<sup>5</sup>, Steven Goldstein<sup>6</sup>, Patrizio Lancellotti<sup>7</sup>, Melissa LeFevre<sup>8</sup>, Fletcher Miller Jr<sup>9</sup>, and Catherine M. Otto<sup>10</sup>

**Reviewers:** This document was reviewed by members of the 2014–16 EACVI Scientific Documents Committee. EACVI reviewers included: Gilbert Habib, Bernard Cosyns, Victoria Delgado, Erwan Donal, Raluca Dulgheru, Massimo Lombardi, Nuno Cardim, Kristina H Haugaa. This document was reviewed by members of the 2015–16 ASE Guidelines & Standards Committee, the 2016–17 ASE Board of Directors, and 2016–17 Executive Committee. ASE reviewers included Deborah A. Agler, Federico M. Asch, Merri L. Bremer, Benjamin Byrd, Hollie D. Carron, Frederick C. Cobey, Meryl Cohen, Keith A. Collins, Patrick H. Collier, Mary C. Corretti, Benjamin Eidem, Craig Fleishman, Neal Gerstein, Edward A. Gill, Yvonne E. Gilliland, Sandra Hagen-Ansert, Lanqi Hua, Thomas V. Johnson, Soo H. Kim, James N. Kirkpatrick, Allan L. Klein, Jonathan R. Lindner, Carol Mitchell, Tasneem Naqvi, Maryellen H. Orsinelli, Andy Pellett, Patricia A. Pellikka, Sue D. Phillip, Vera H. Rigolin, Lawrence G. Rudski, Vandana Sachdev, Anita Sadeghpour, Liza Y. Sanchez, Elaine Shea, Roman M. Snieciniski, Vincent Sorrell, Raymond F. Stainback, Cynthia Taub, Steven Walling, Neil J. Weissman, Susan E. Wiegers, David H. Wiener.

**Table 2** Measures of AS severity obtained by Doppler-echocardiography

	Units	Formula/method	Cut-off for severe	Concept	Advantages	Limitations
AS jet velocity <sup>12-15</sup>	m/s	Direct measurement	4.0	Velocity increases as stenosis severity increases	Direct measurement of velocity. Strongest predictor of clinical outcome	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correct measurement requires parallel alignment of ultrasound beam</li> <li>• Flow dependent.</li> </ul>
Mean gradient <sup>12-14</sup>	mmHg	$\Delta P = \sum 4v^2/N$	40	Pressure gradient calculated from velocity using the Bernoulli equation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mean gradient is obtained by tracing the velocity curve</li> <li>• Units comparable to invasive measurements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accurate pressure gradients depend on accurate velocity data</li> <li>• Flow dependent</li> </ul>
Continuity equation valve area <sup>16-18</sup>	cm <sup>2</sup>	$AVA = (CSA_{LVOT} \times VT_{LVOT})/VT_{AV}$	1.0	Volume flow proximal to and in the stenotic orifice is equal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Measures effective orifice area</li> <li>• Feasible in nearly all patients</li> <li>• Relatively flow independent</li> </ul>	Requires LVOT diameter and flow velocity data, along with aortic velocity. Measurement error more likely
Simplified continuity equation <sup>18,19</sup>	cm <sup>2</sup>	$AVA = (CSA_{LVOT} \times V_{LVOT})/V_{AV}$	1.0	The ratio of LVOT to aortic velocity is similar to the ratio of VTIs with native aortic valve stenosis	Uses more easily measured velocities instead of VTIs	Less accurate if shape of velocity curves is atypical
Velocity ratio <sup>19,20</sup>	None	$VR = \frac{V_{LVOT}}{V_{AV}}$	0.25	Effective AVA expressed as a proportion of the LVOT area	Doppler-only method. No need to measure LVOT size, less variability than continuity equation	Limited longitudinal data. Ignores LVOT size variability beyond patient size dependence
Planimetry of anatomic valve area <sup>21,22</sup>	cm <sup>2</sup>	TTE, TEE, 3D-echo	1.0	Anatomic (geometric) CSA of the aortic valve orifice as measured by 2D or 3D echo	Useful if Doppler measurements are unavailable	Contraction coefficient (anatomic/effective valve area) may be variable. Difficult with severe valve calcification
LV % stroke work loss <sup>23</sup>	%	$\%SWL = \frac{\overline{\Delta P}}{\Delta P + SBP} \cdot 100$	25	Work of the LV wasted each systole for flow to cross the aortic valve, expressed as a % of total systolic work	Very easy to measure. Related to outcome in one longitudinal study	Flow-dependent, Limited longitudinal data

# Оценка тяжести аортального стеноза Стандартный подход (класс I)

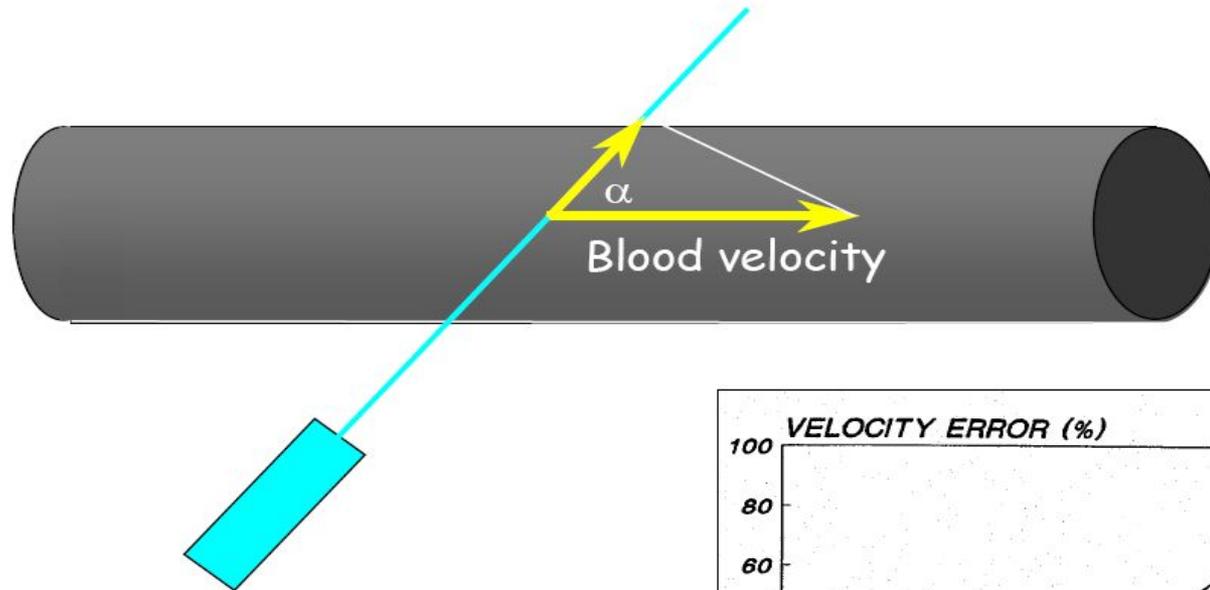
- Максимальная скорость кровотока ( $V_{max}$ )
- Средний градиент давления ( $\Delta p_{mean}$ )
- Расчетная площадь АК (AVA) по уравнению непрерывности потока

# Максимальная скорость кровотока

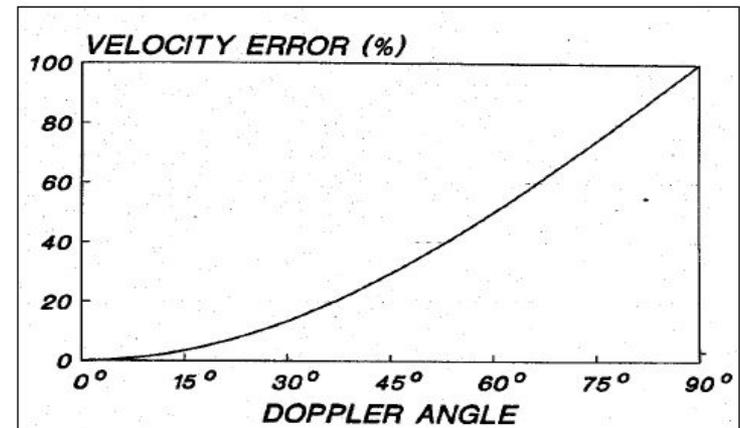
- $\Delta P \text{ max} = 4v^2$

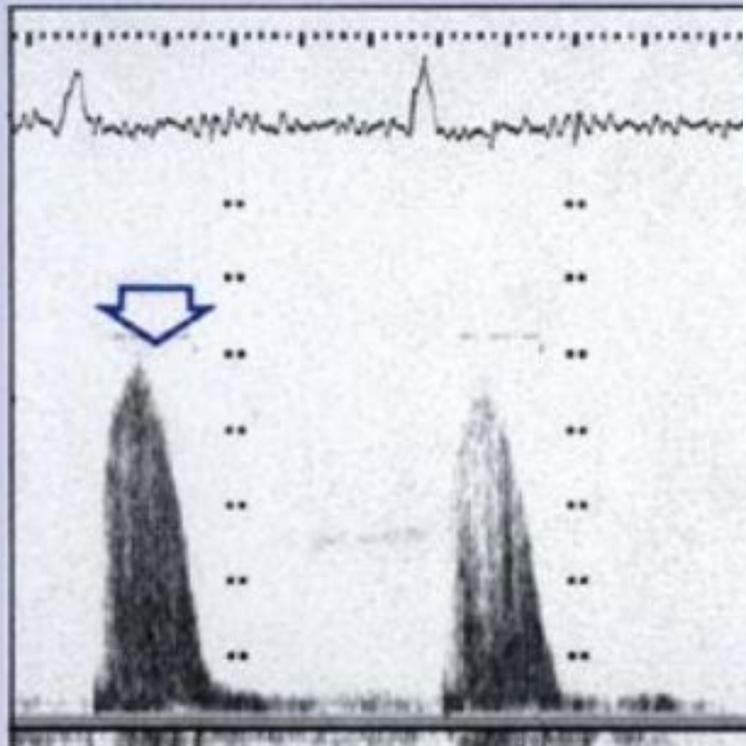
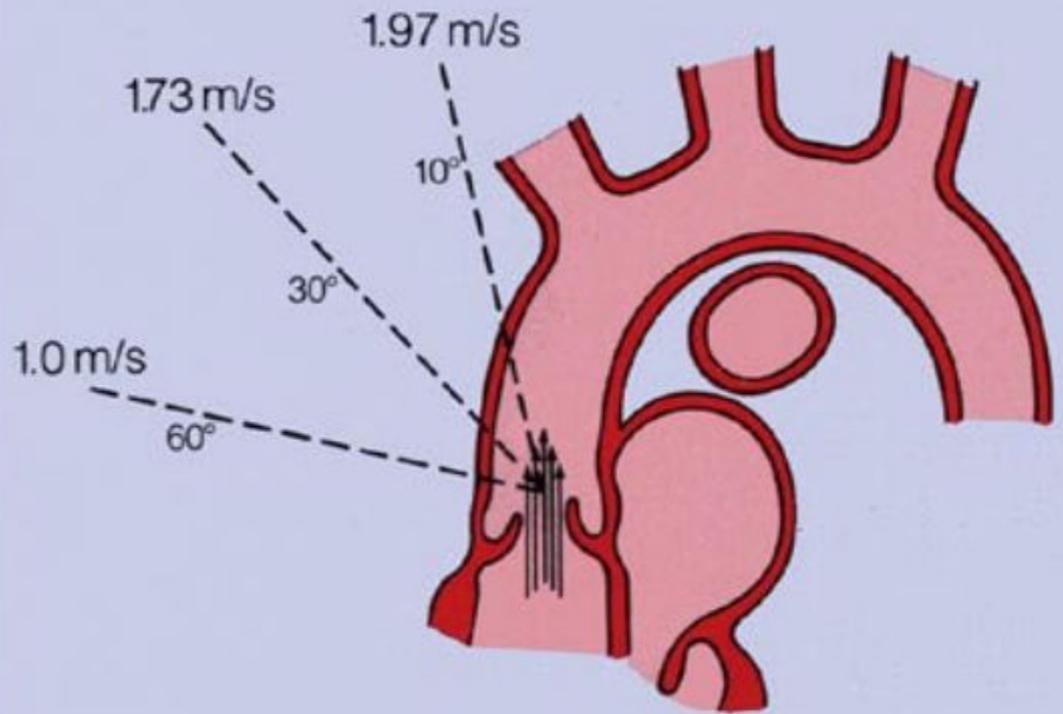
- **Вариабельность** **AV max/ LVOT**
  - внутриисследовательская 3,2% / 3%
  - межисследовательская 3,1% / 3.9%

# Зависимость значения максимальной скорости от угла расхождения луча и потока

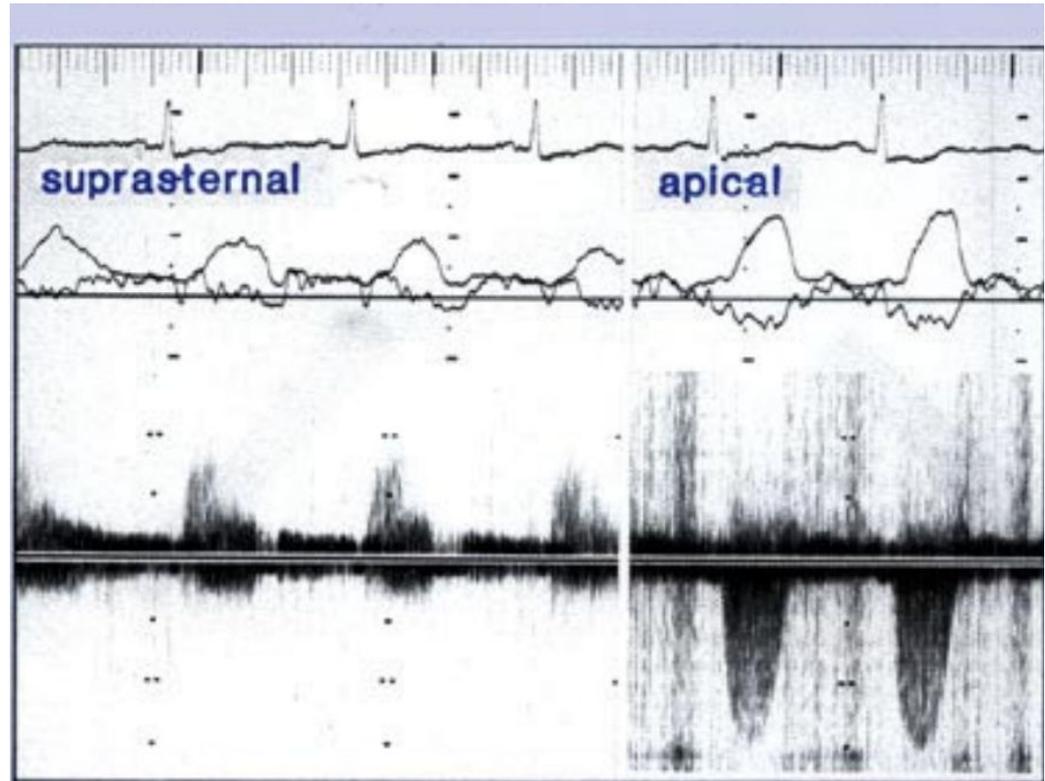
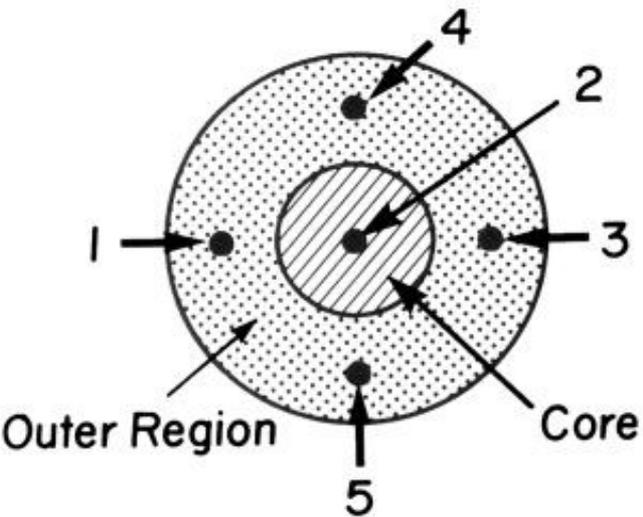
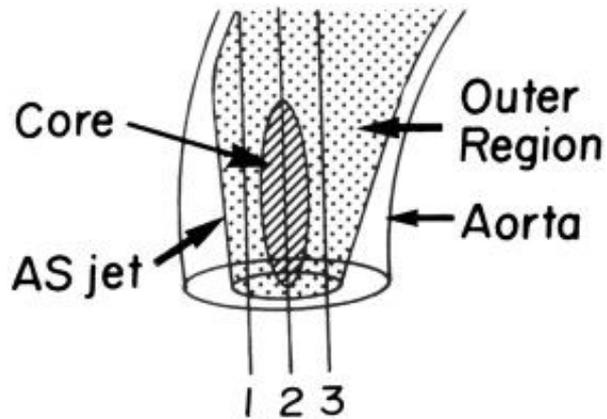


$$\text{Blood velocity} = \frac{\text{Doppler velocity}}{\cosine \alpha}$$





# Составные части стенотического потока

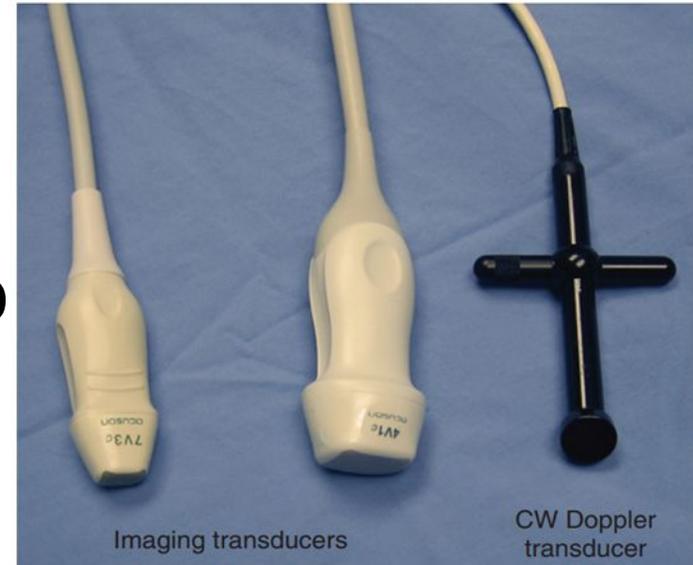


Недооценка градиента ,  
если не в центральной  
части потока

# Неудовлетворительная форма потока

-Карандашный датчик

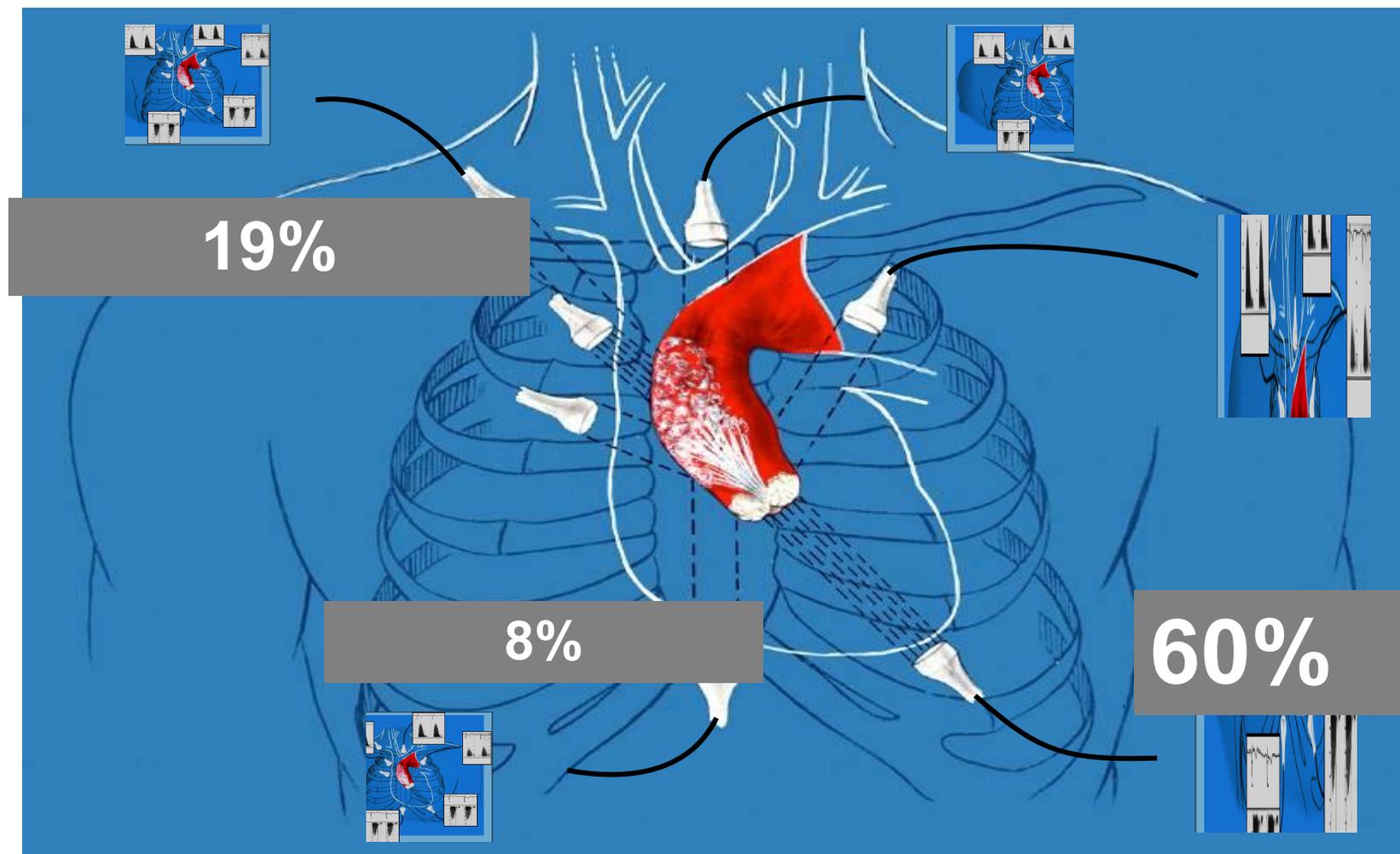
-Полипозиционное исследование  
(доступы)

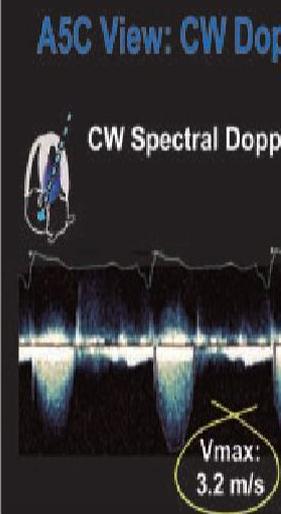
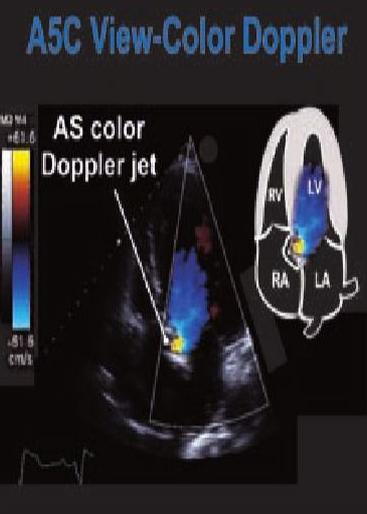
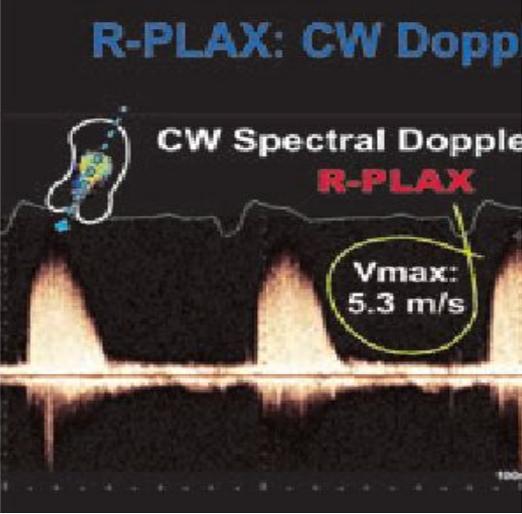
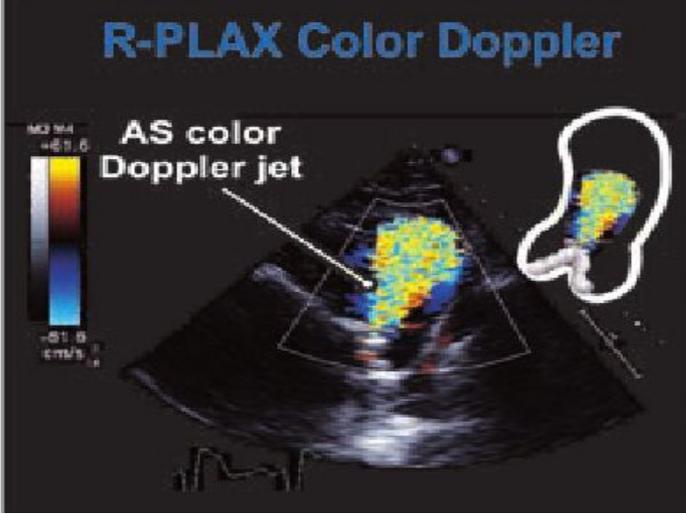
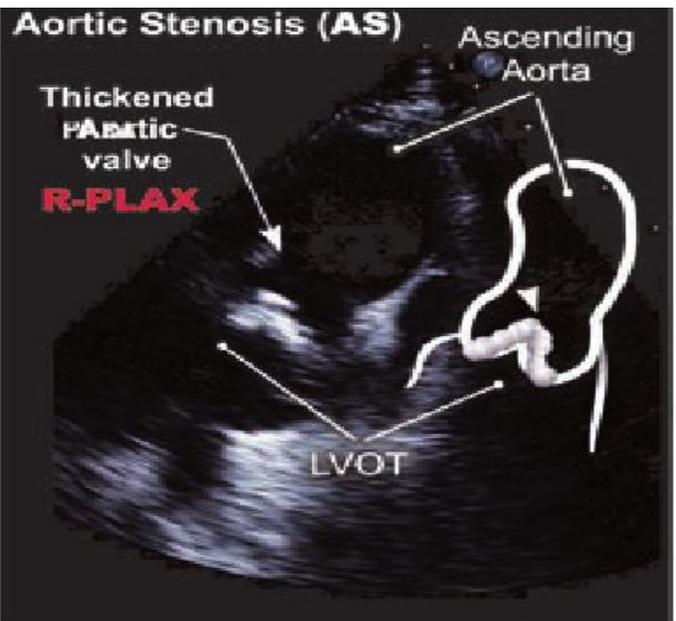
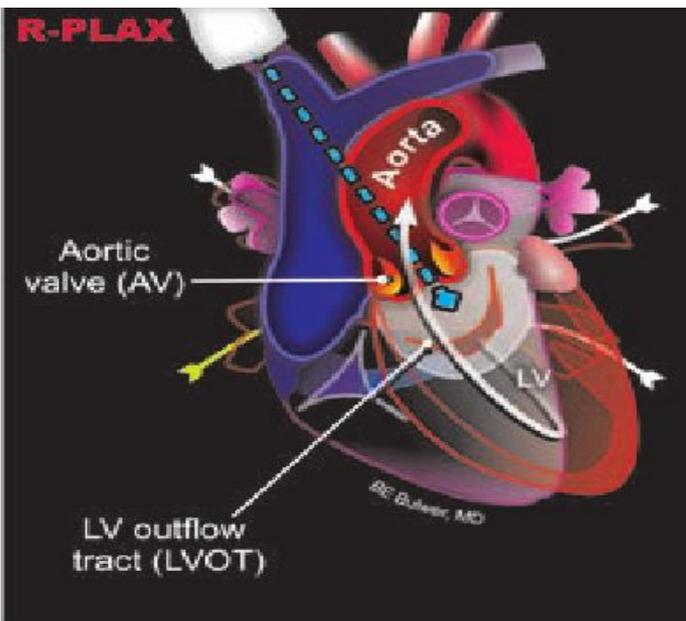


-Изменение положения пациента

-Привлечение наиболее опытного  
специалиста

# Полипозиционная доплеровография

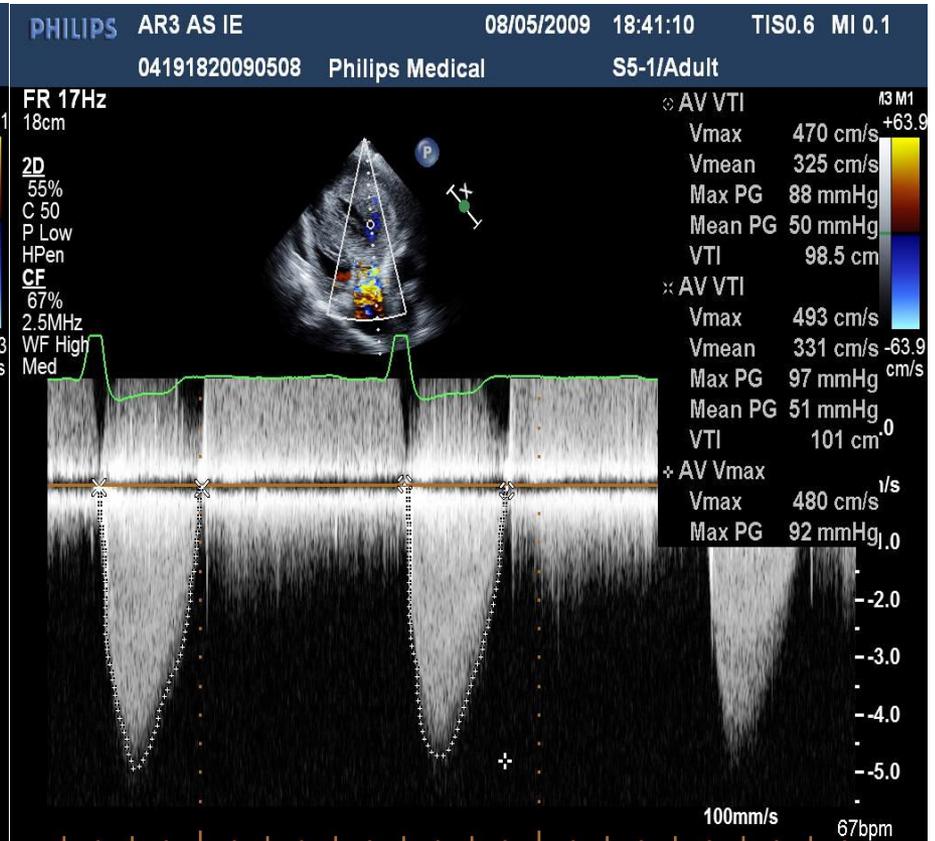
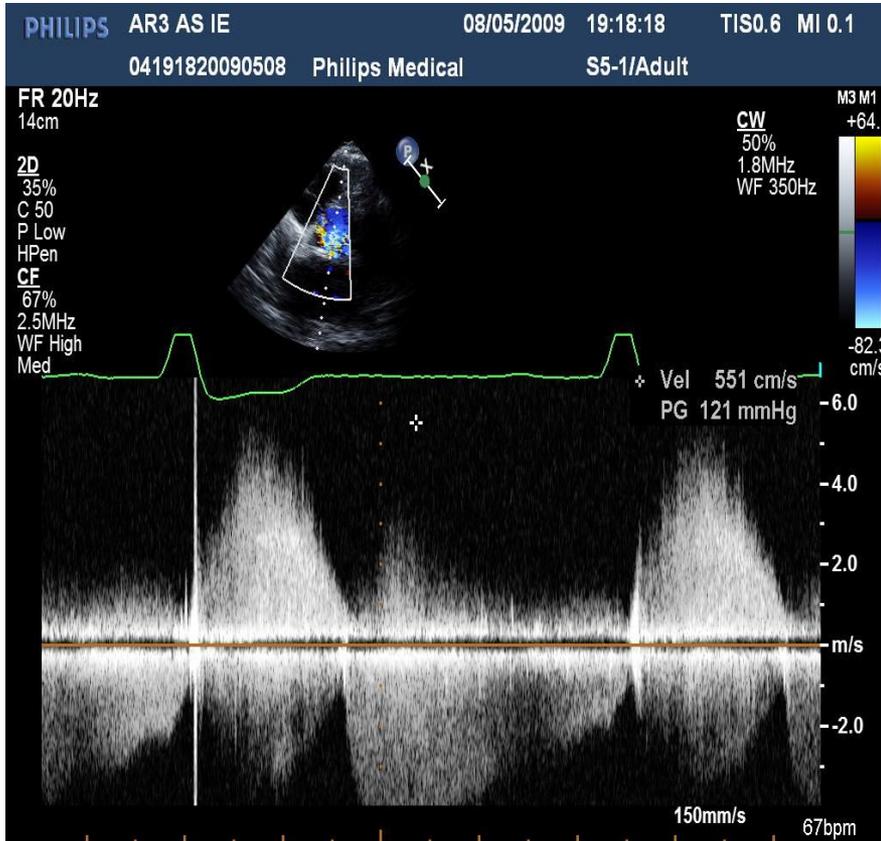




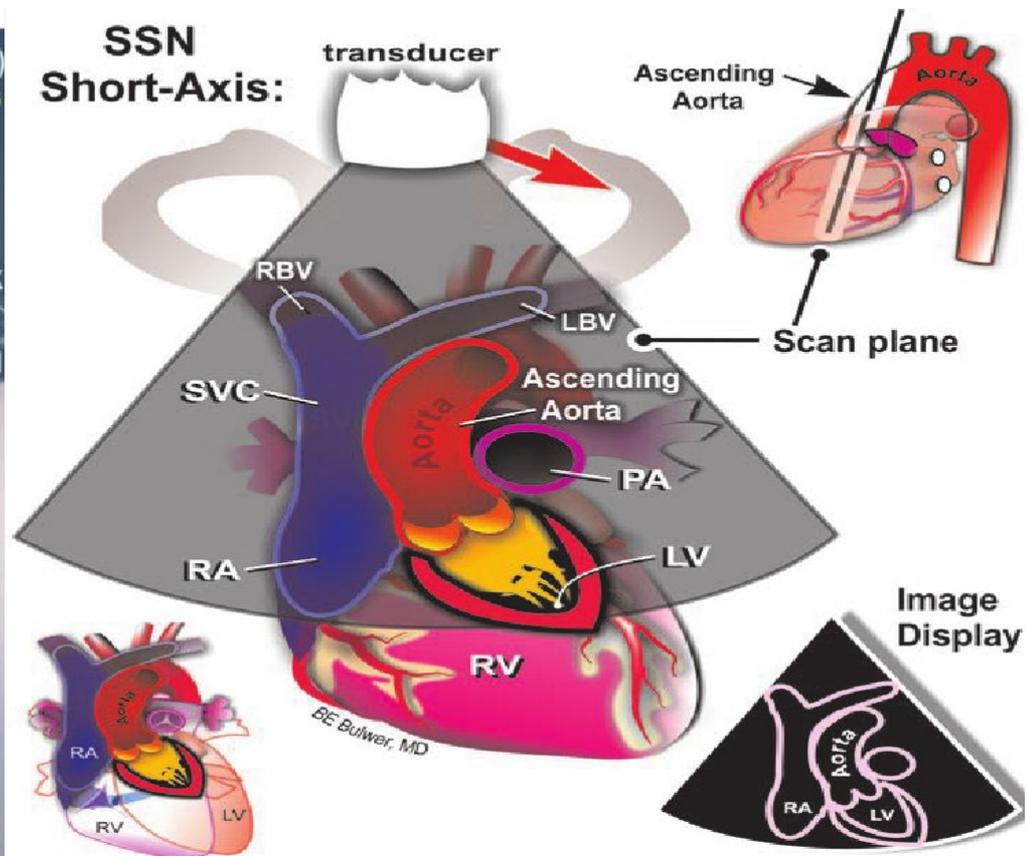
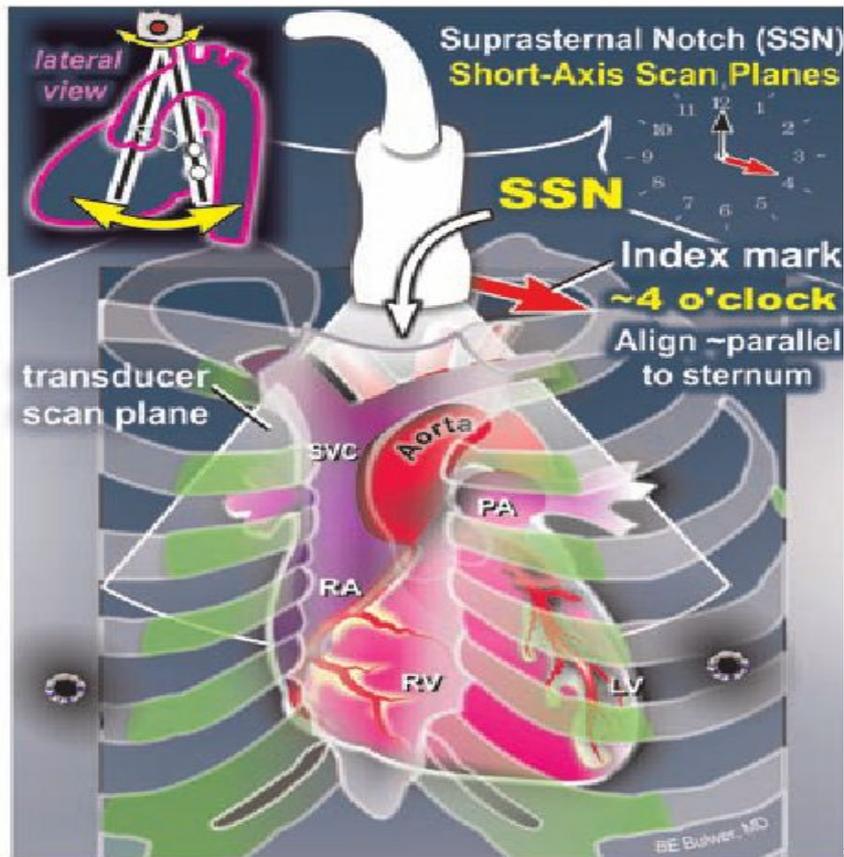
# Аортальный поток

из

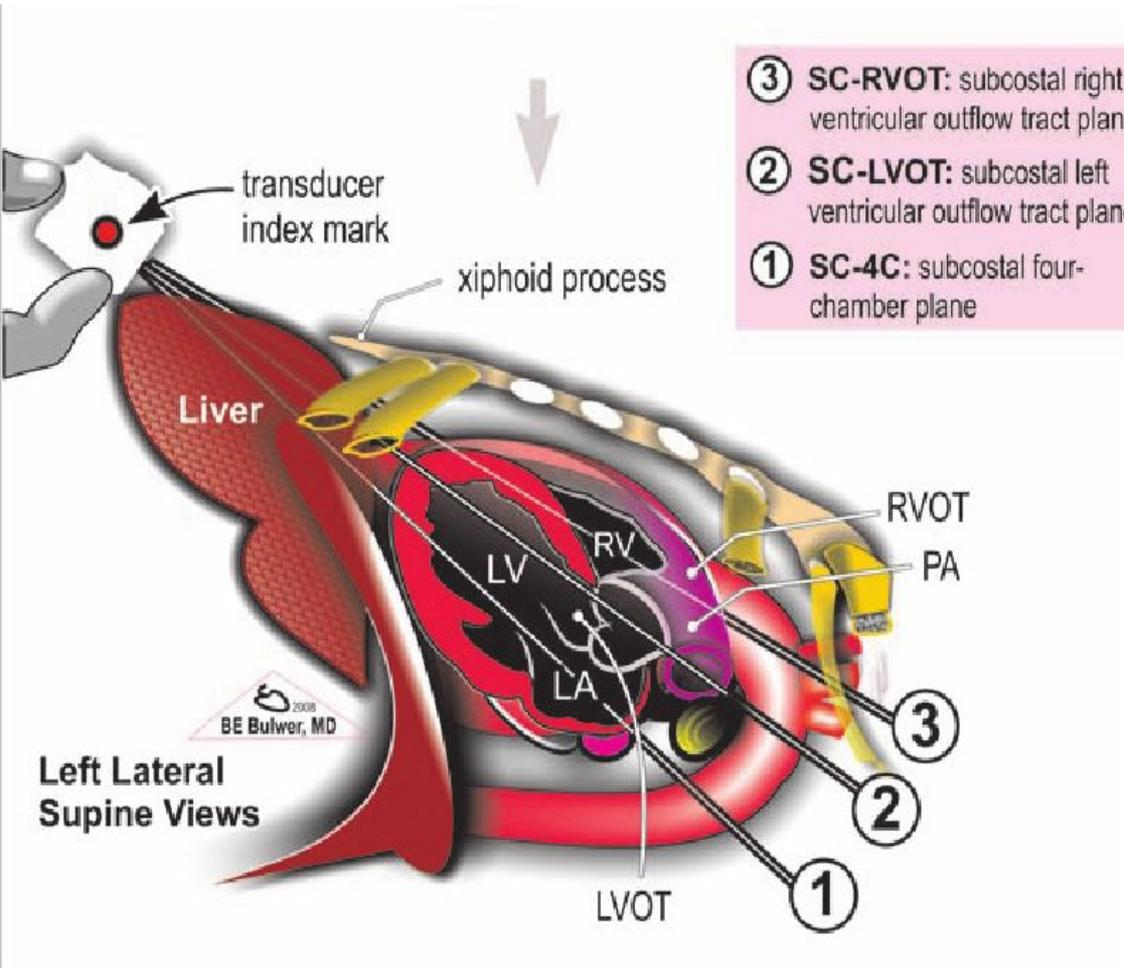
правого парастернального и пятикамерного сечения

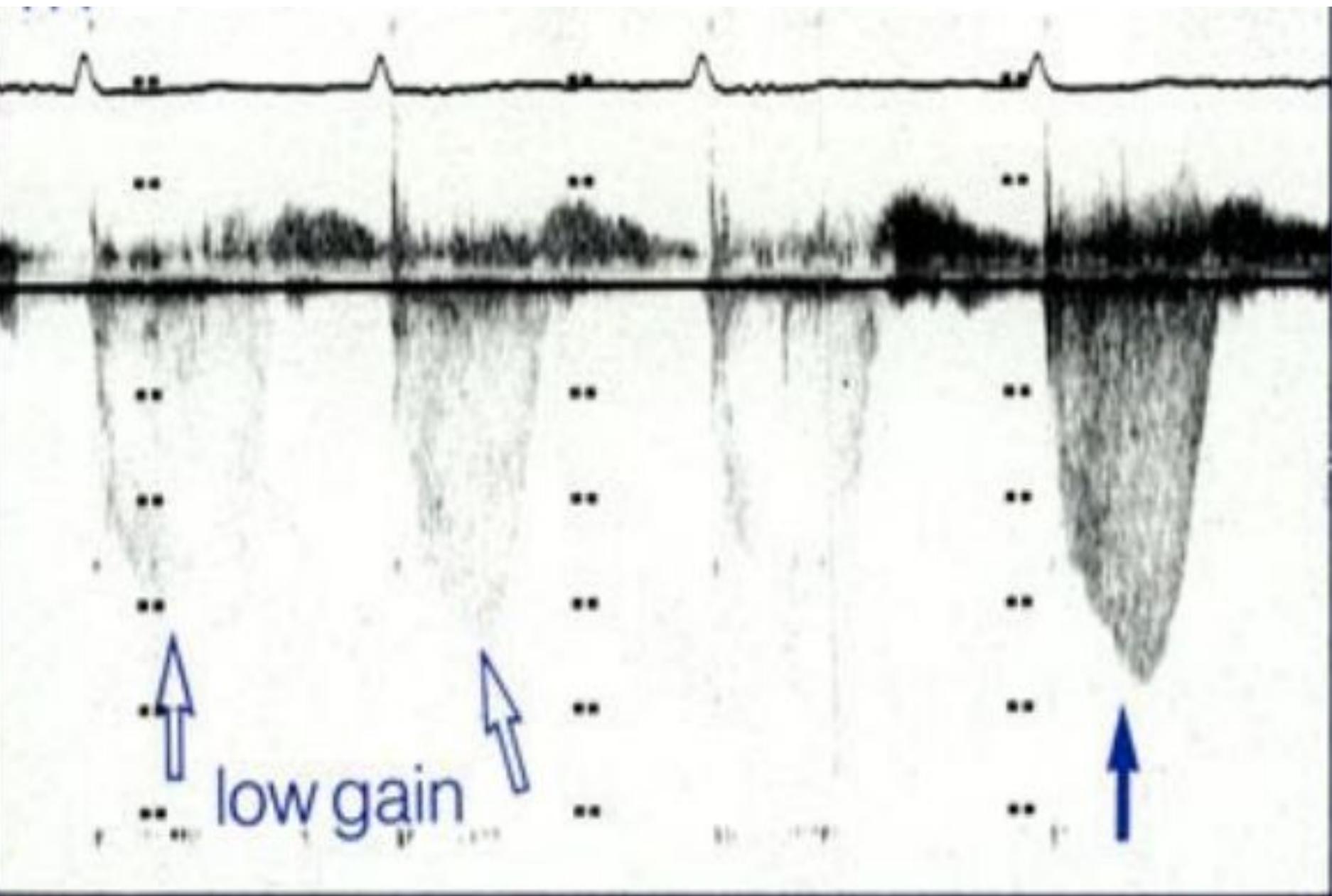


# Надгрудный доступ

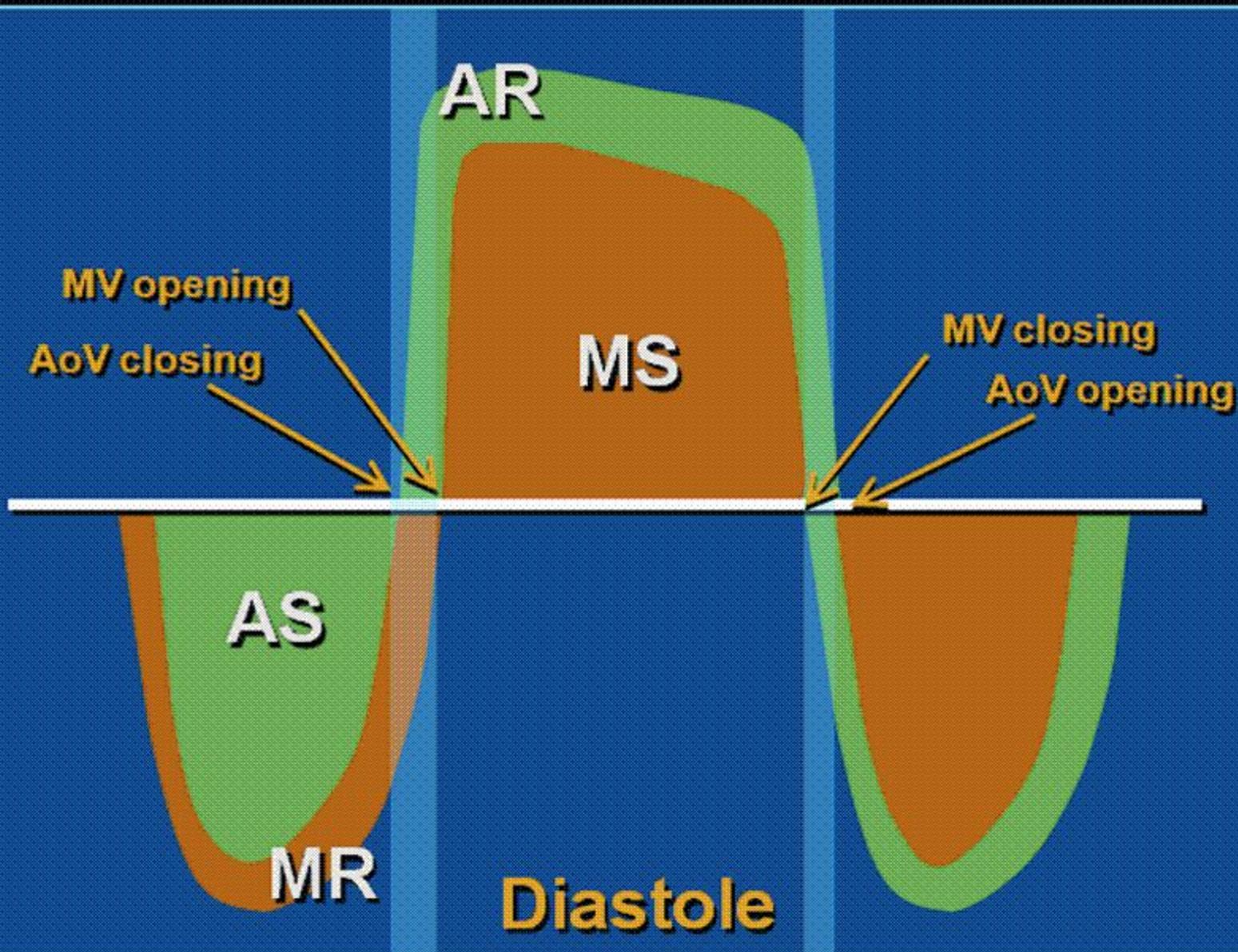


# Субкостальный доступ

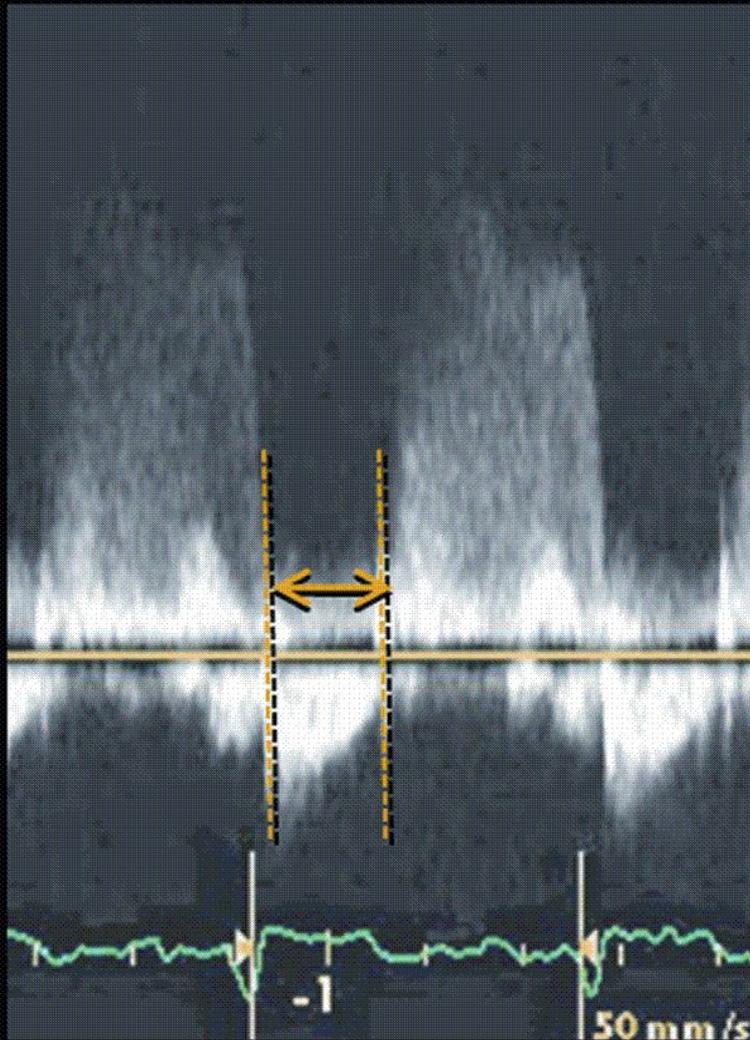




# Time Relationships

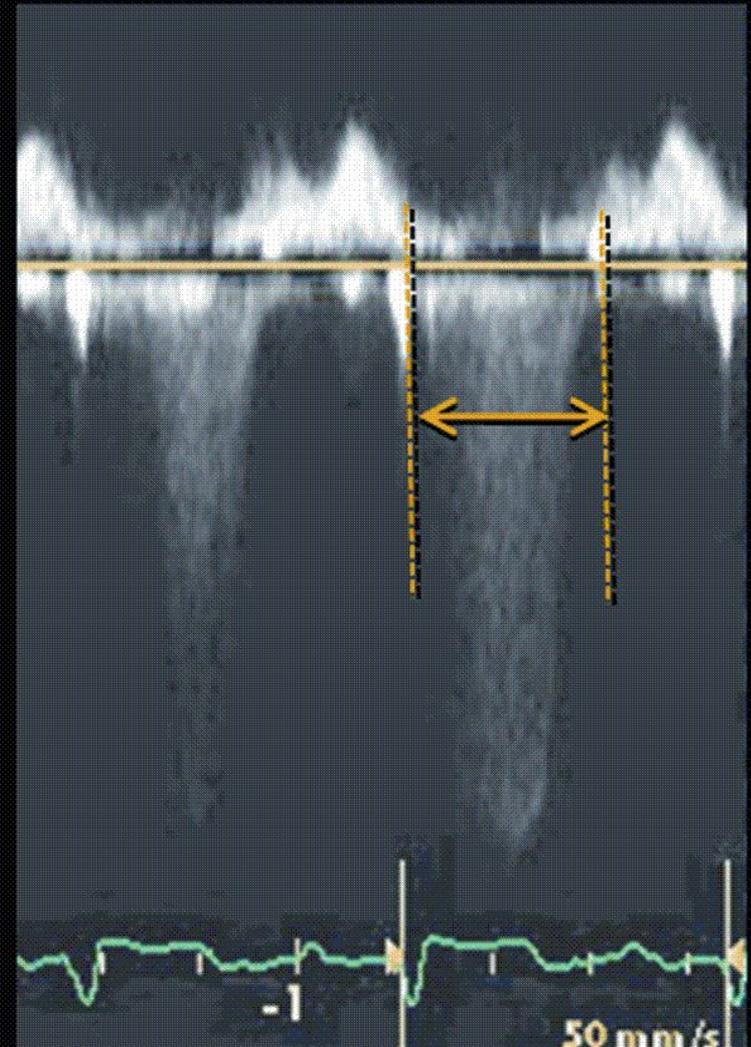


# Differentiating Aortic and Mitral Flow

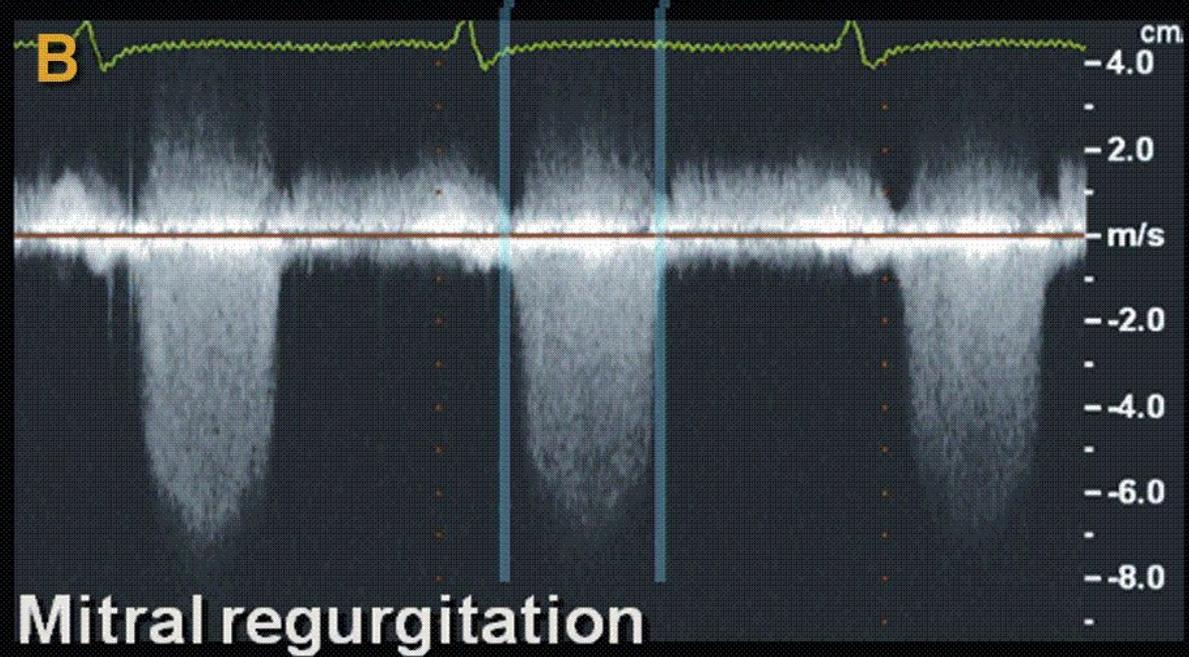
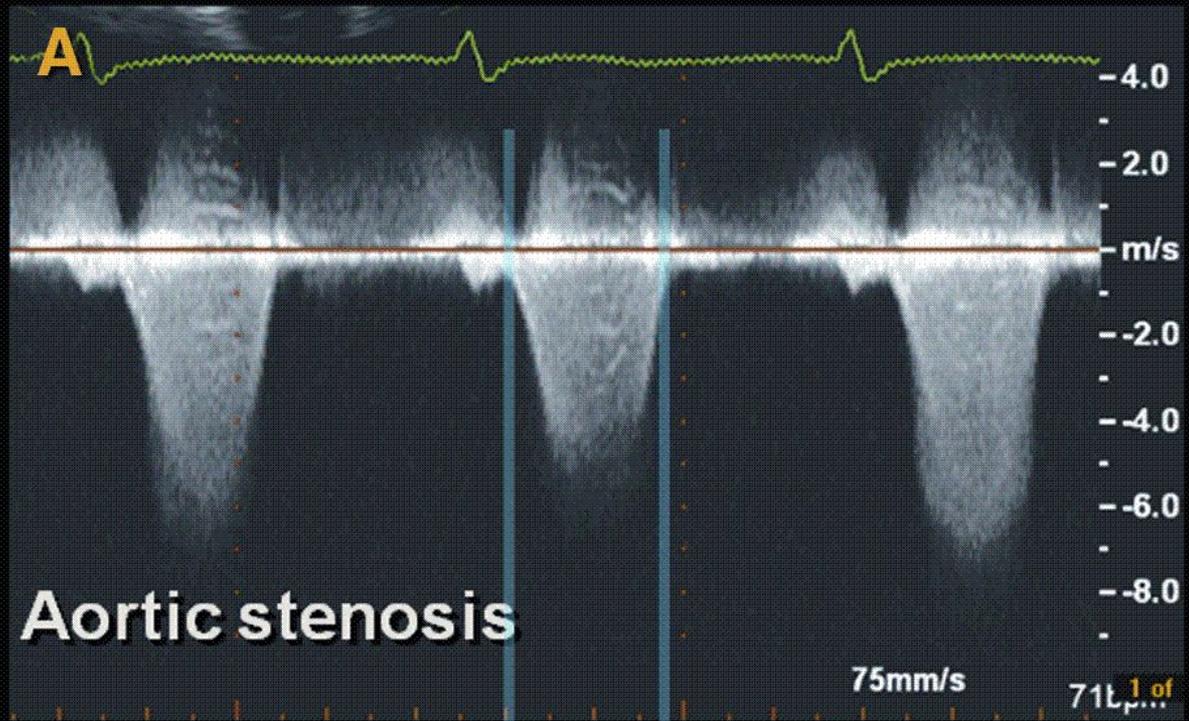


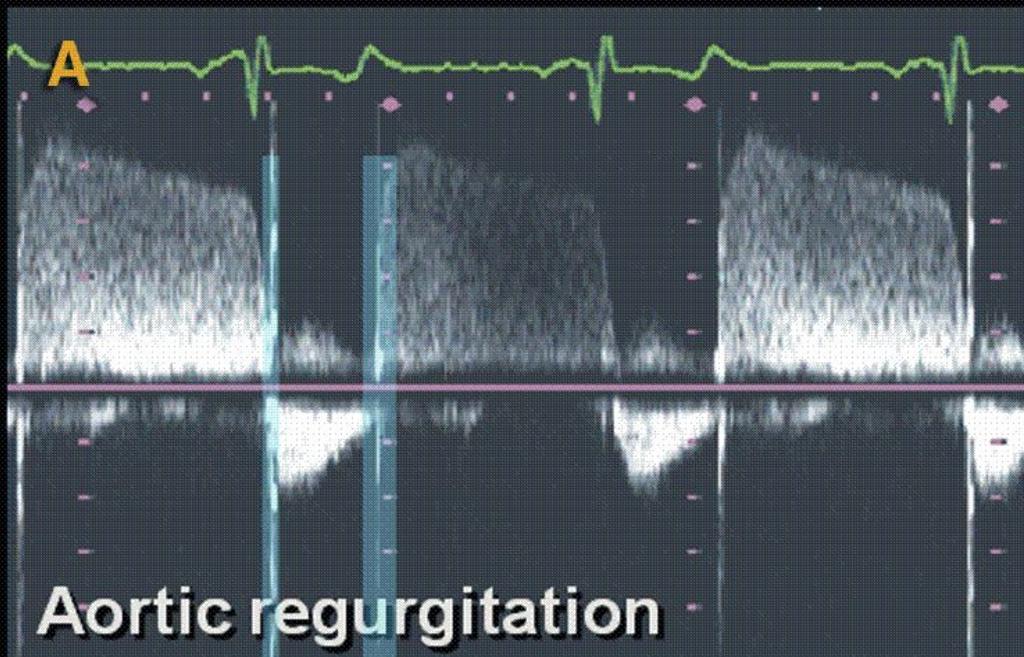
aortic outflow

↑  
2 m/sec  
↓

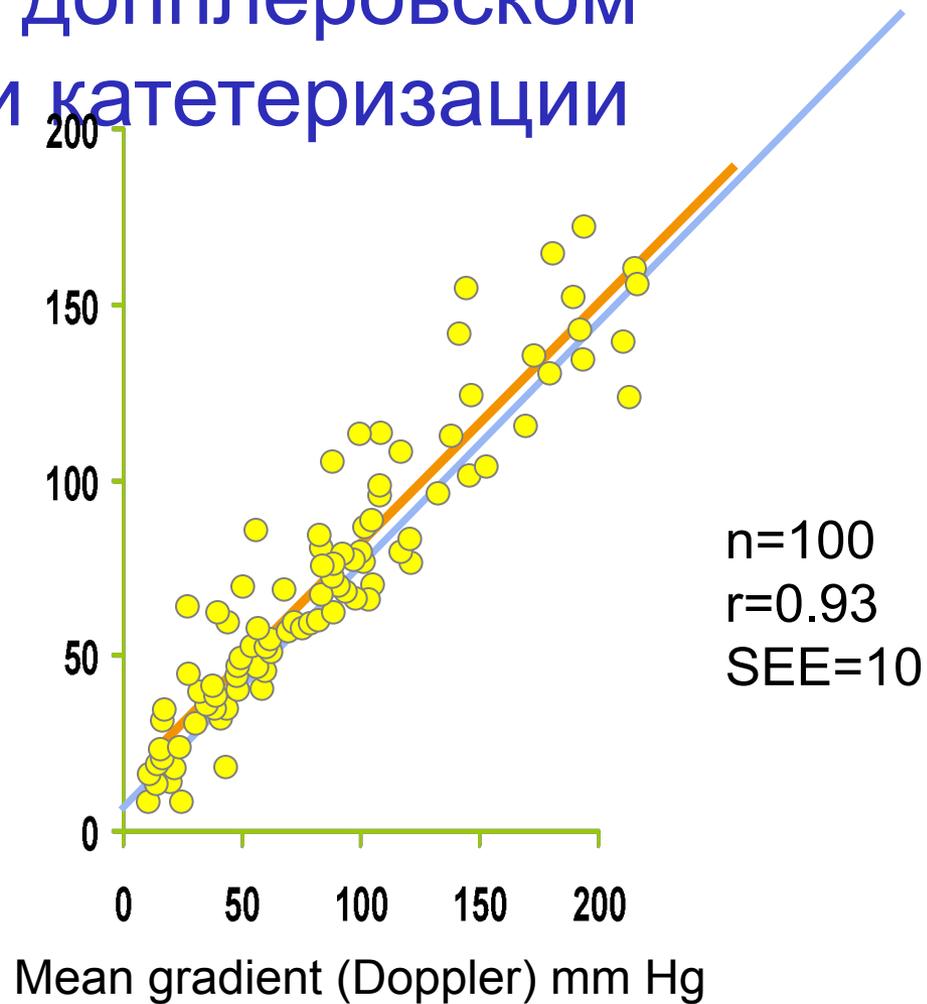
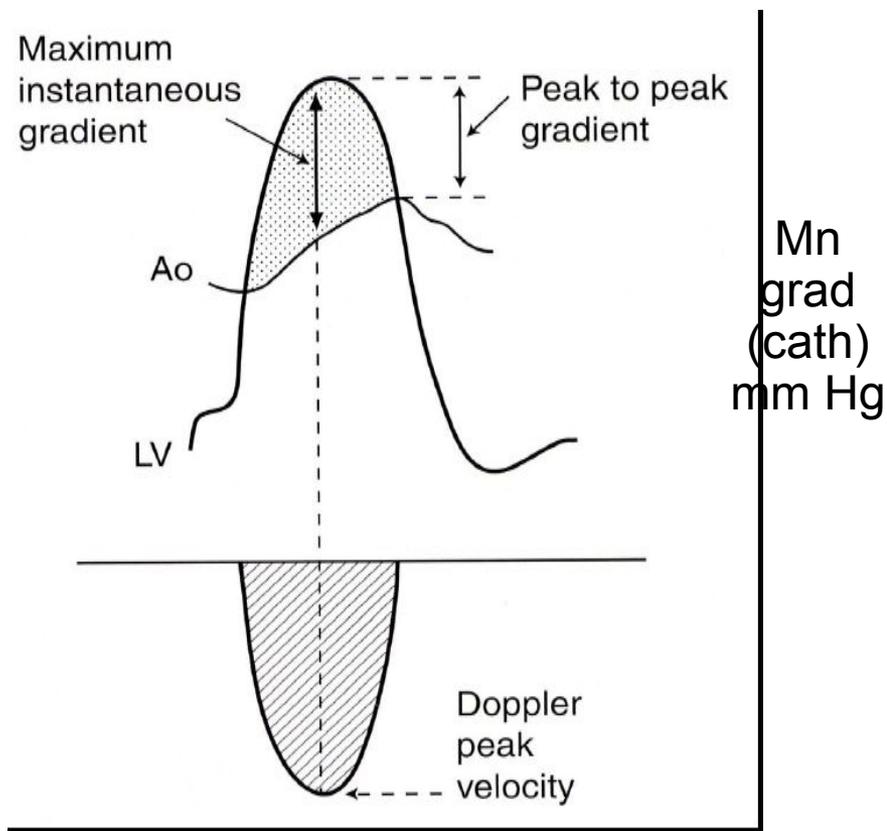


mitral  
regurgitation





# Отличия измеряемых максимальных градиентов при доплеровском исследовании и катетеризации



# Несоответствие градиентов (ЭХОКГ и инвазивных)

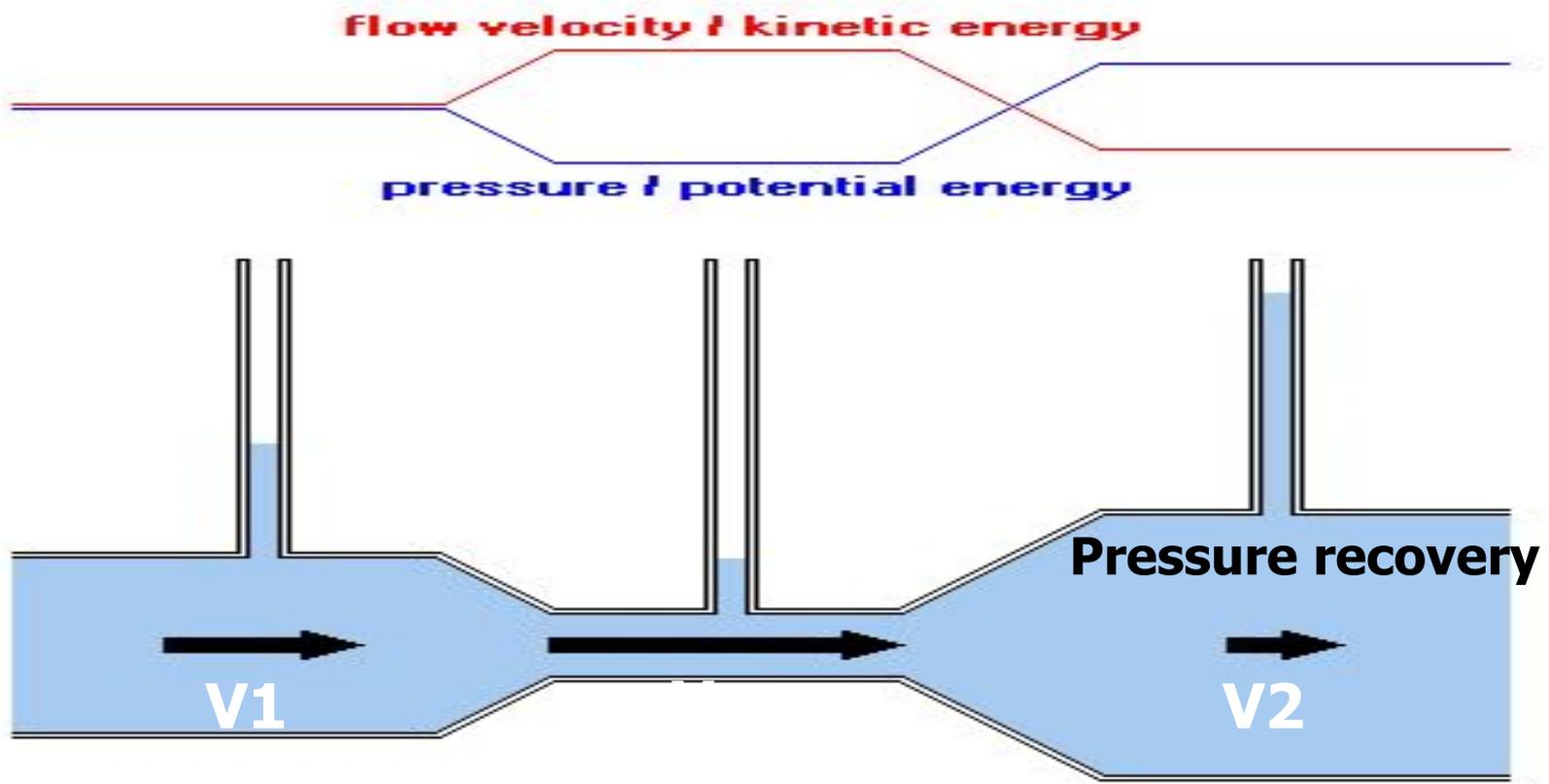
Физиологические отличия (УО, ОПСС)

Снижают точность измерений :

- измерение  $< 3$  циклов при синусовом ритме
- измерение  $< 5$  циклов при фибрилляции предсердий
- учет не всего спектра/профиля потока
- неточности измерений ВТЛЖ
- Неточная локализация контрольного объема
- Подклапанный градиент
- **Pressure recovery**

# Элементы гидродинамики: Феномен pressure recovery

GUG/PD/1.1



# Оценка тяжести аортального стеноза Стандартный подход (класс I)

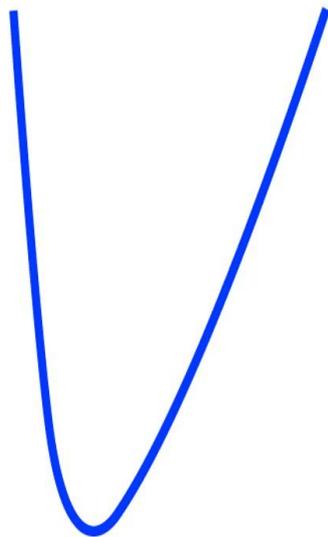
- Максимальная скорость кровотока ( $V_{max}$ )
- Средний градиент давления ( $\Delta p_{mean}$ )
- Расчетная площадь АК (AVA) по уравнению непрерывности потока



# Форма доплеровского сигнала при умеренном и тяжелом АС

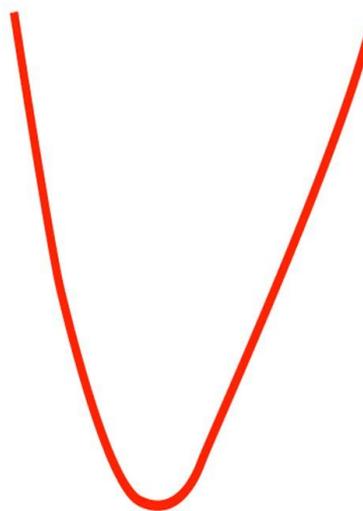
**АС -тяжелый, если отношение максимального к среднему  $\Delta p < 1.5$**

**Moderate**



mean  $\Delta P \cong \frac{1}{2}$  peak  $\Delta P$

**Severe**



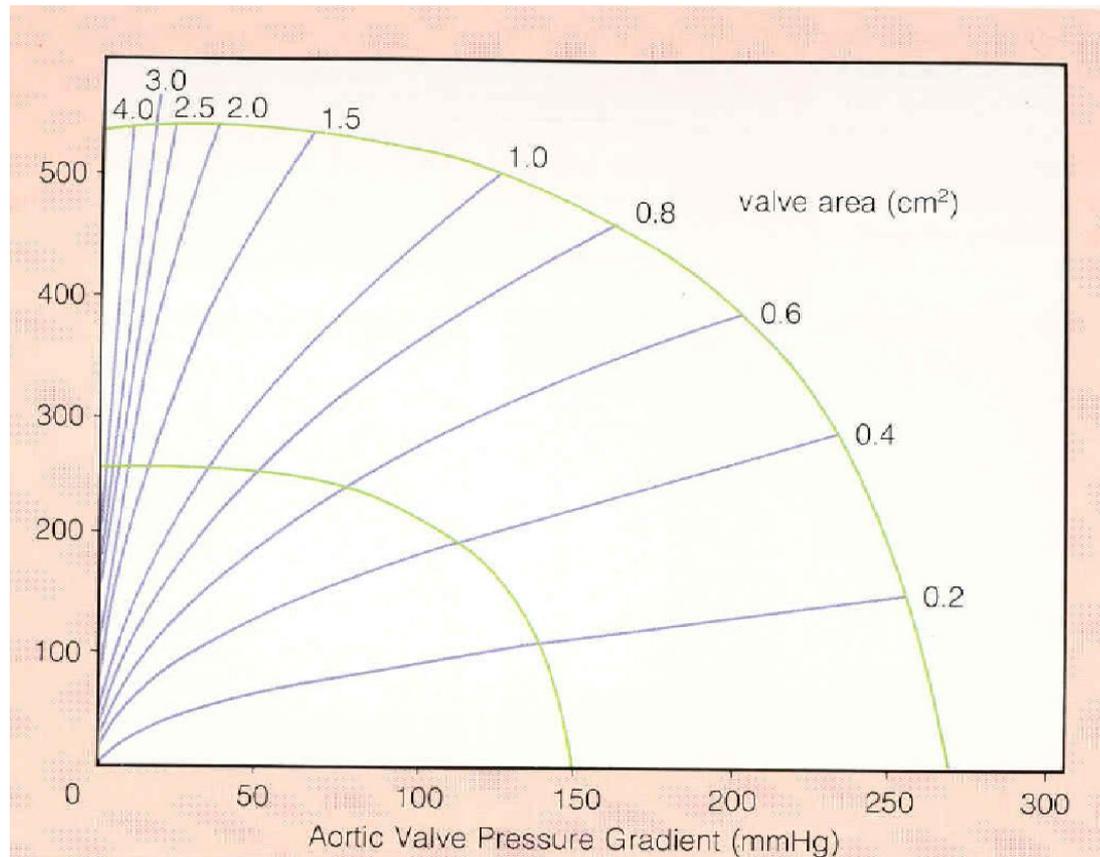
mean  $\Delta P \cong \frac{2}{3}$  peak  $\Delta P$



# $\Delta P$ зависит от объемного кровотока

- $\Delta P$  снижается
  - Снижение УО
    - Систолическая дисфункция ЛЖ
    - MR
    - Седация
    - Гиповолемия
  - Повышение ОПСС (АГ)
- $\Delta P$  увеличивается
  - Увеличение УО
    - AR
    - Стресс
    - ФН

# Значения градиентов давления при различной объемной скорости кровотока и стенозировании АК



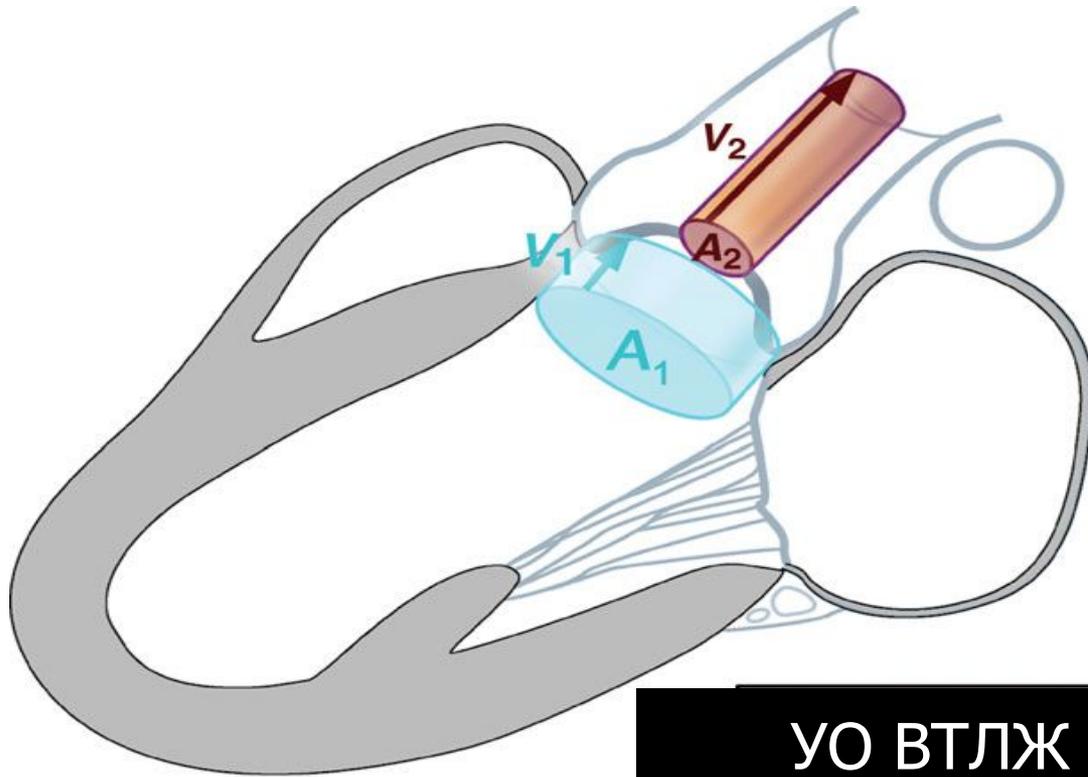
# Оценка тяжести аортального стеноза Стандартный подход (класс I)

- Максимальная скорость кровотока ( $V_{max}$ )
- Средний градиент давления ( $\Delta p_{mean}$ )
- Расчетная площадь АК (AVA) по уравнению непрерывности потока

# Определение площади отверстия аортального клапана

- Анатомическая AVA
  - Планиметрия 2D, 3D
  - МРТ
  - КТ
  - Уравнение Gorlin
- «Эффективная»
  - Уравнение непрерывности потока

# Принцип уравнения непрерывности потока



$$\begin{aligned} \text{УО ВТЛЖ} &= \text{УО АК} \\ \text{SV LVOT} &= \text{SV AV} \end{aligned}$$

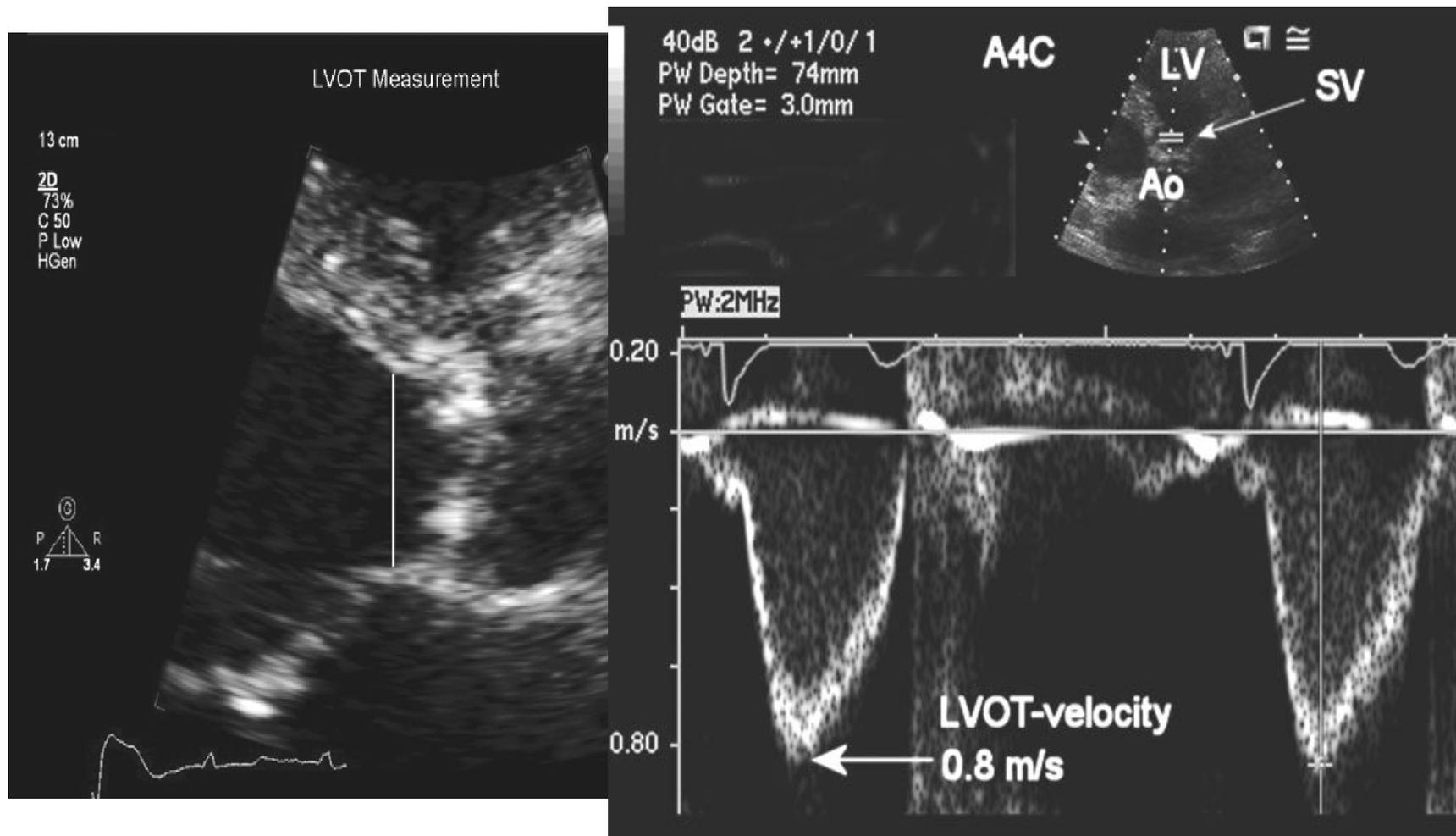
# Расчет площади аортального отверстия по уравнению непрерывности потока

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

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

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

$$VO \text{ ВТЛЖ(LVOT)} = S_{lvot} * VTI_{lvot}$$



$$CSA_{LVOT} = 0.785 LVOT D^2$$

# Классификация степени тяжести АС

Степень тяжести АС	$V_{\max}$ , м/с	mean $\Delta p$ mm Hg	AVA, $\text{cm}^2$	Индекс AVA $\text{cm}^2/\text{m}^2$
Легкий АС	<3	<25	>1,5	
Умеренный АС	3-4	25-40	1-1,5	
Тяжелый АС	>4	>40	<1	<0,6

Нет единого значения скорости,  
градиента или площади аортального  
клапана, определяющего начало  
клинических симптомов у пациентов.

С.М. Otto, 2006

# Оценка прогрессирования АС

Отличия значимы при -

- AV  $V_{max} > 0.2\text{m/s}$
- LVOT  $V_{max} > 0.1\text{m/s}$
- LVOT  $D > 0.2\text{ cm}$
- AVA  $> 0.15\text{ cm}^2$

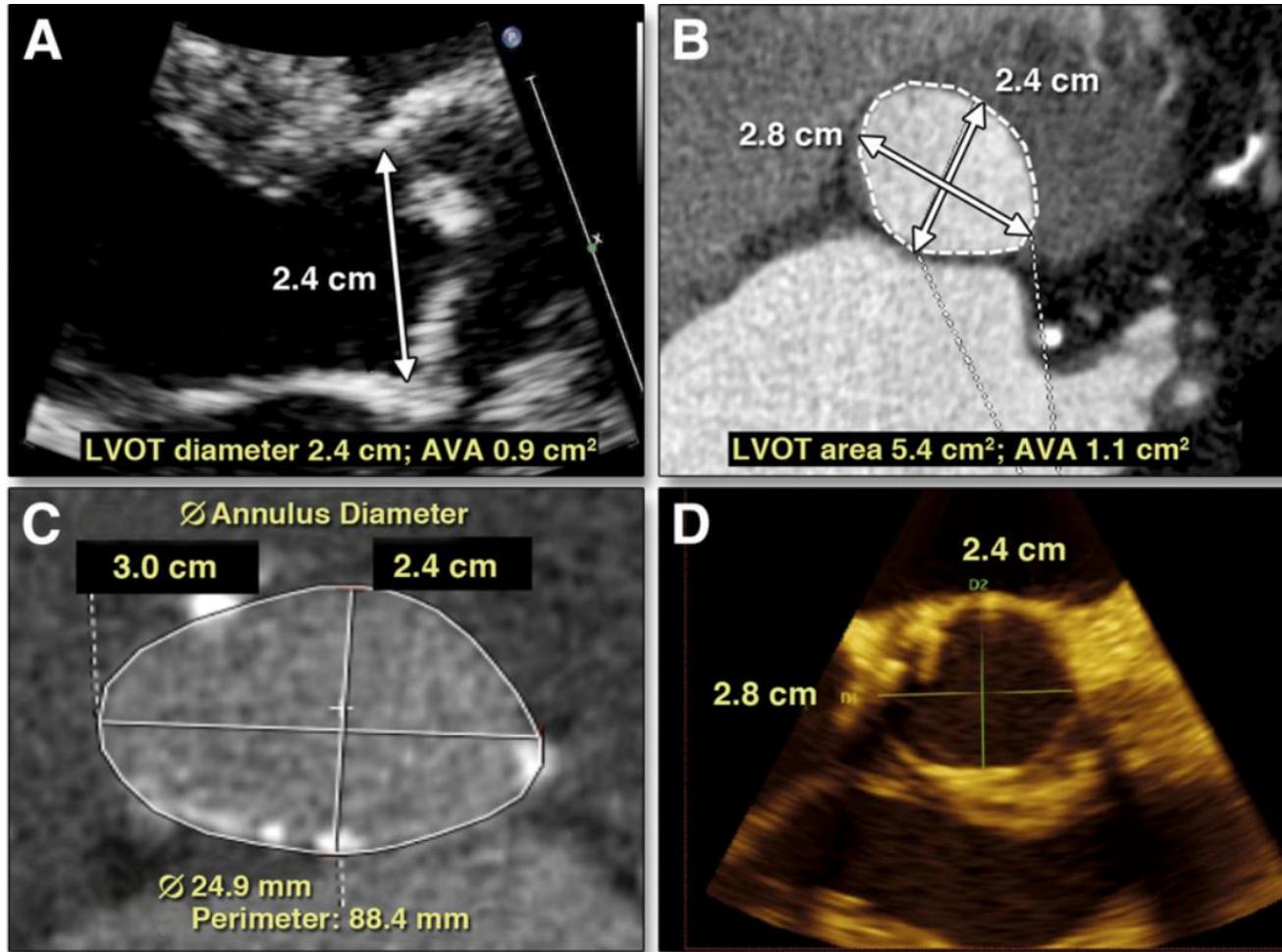
# Причины несоответствий градиентов и AVA **общие**

1. **Ошибка измерения d LVOT**
2. Неверная позиция контрольного объема в LVOT
3. Индексировать AVA при
  - a. Росте менее 133 см
  - b. BSA менее 1.5 m<sup>2</sup>
  - c. ИМТ менее 22

# Возможная причина занижения расчетной площади АК



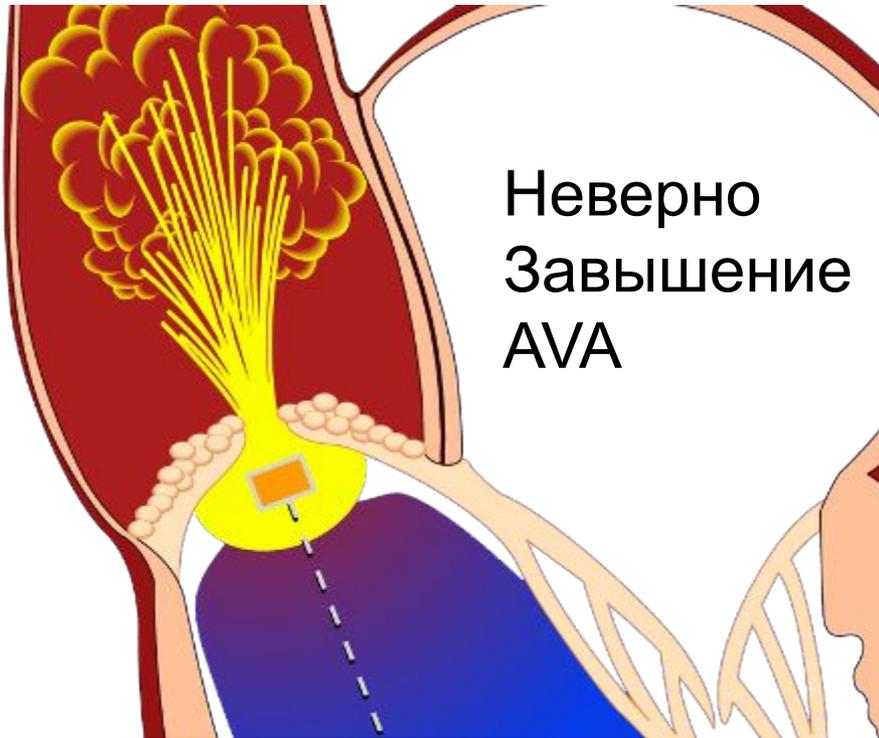
# Преимущество 3D при определении площади LVOT



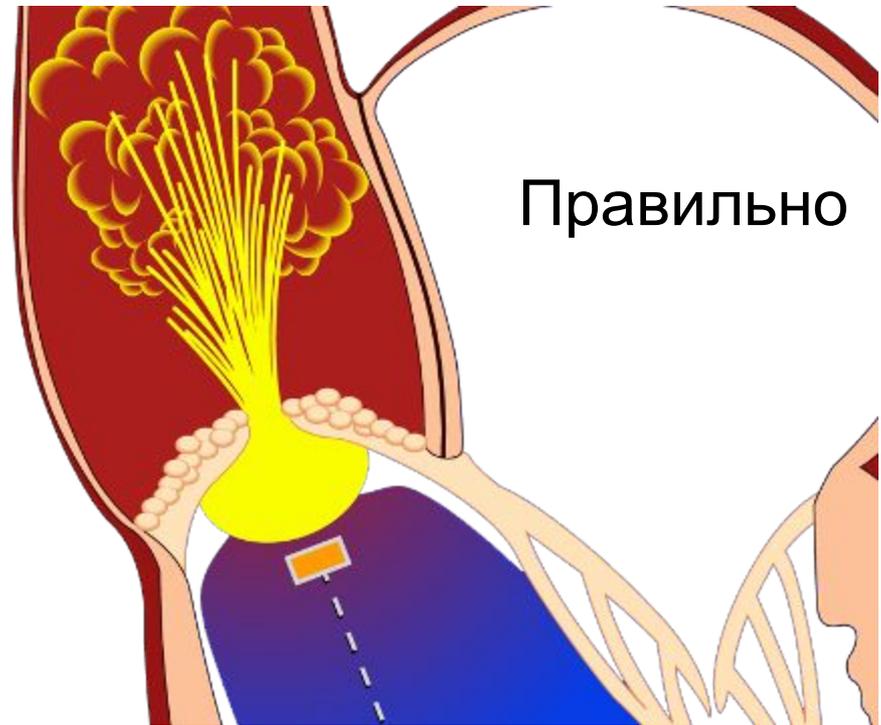
# Причины несоответствий градиентов и AVA общие

1. Ошибка измерения  $d$  LVOT
2. Неверная позиция контрольного объема в LVOT
3. Индексировать AVA при
  - a. Росте менее 133 см
  - b. BSA менее 1.5 m<sup>2</sup>
  - c. ИМТ менее 22

# Ошибки позиционирования контрольного объема PW



К.о. в зоне ускорения



Правильная позиция К.О.

Нормальное значение LVOT TVI: 18-22 cm

# Причины несоответствий градиентов и AVA общие

4. Оценить тяжесть АН
5. Исключить высокий СВ
  - a. УО по VTI LVOT
  - b. 2D LV EF и УО

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

Вероятные причины:

- высокий сердечный выброс (анемия, лихорадка, беременность, фистулы, тиреотоксикоз, инотропная стимуляция, вазодилатация)
- Аортальная недостаточность
- высокая BSA

# Причины несоответствий градиентов и AVA общие

4. Причина низкого УО

- Систолическая дисфункция ЛЖ
- МН, МС

5. Исключить высокий СВ

- а. УО по VTI LVOT
- б. 2D LV EF и УО

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

Вероятные причины:

- низкий сердечный выброс
- митральная регургитация
- низкая BSA

# Дополнительные способы определения тяжести АС

Могут быть использованы в отдельных случаях

1. «Упрощенное» уравнение непрерывности потока

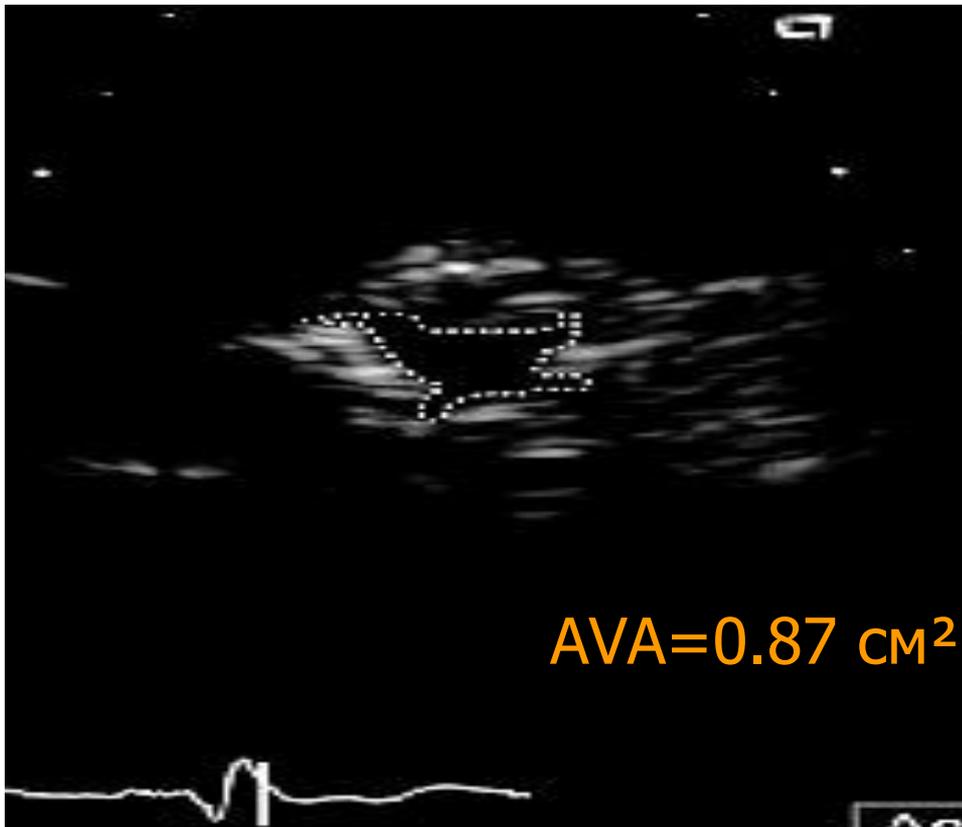
$$AVA = \frac{CSA_{LVOT} \times V_{LVOT}}{V_{AV}}$$

2. Отношение скоростей/интегралов ВТЛЖ/АК

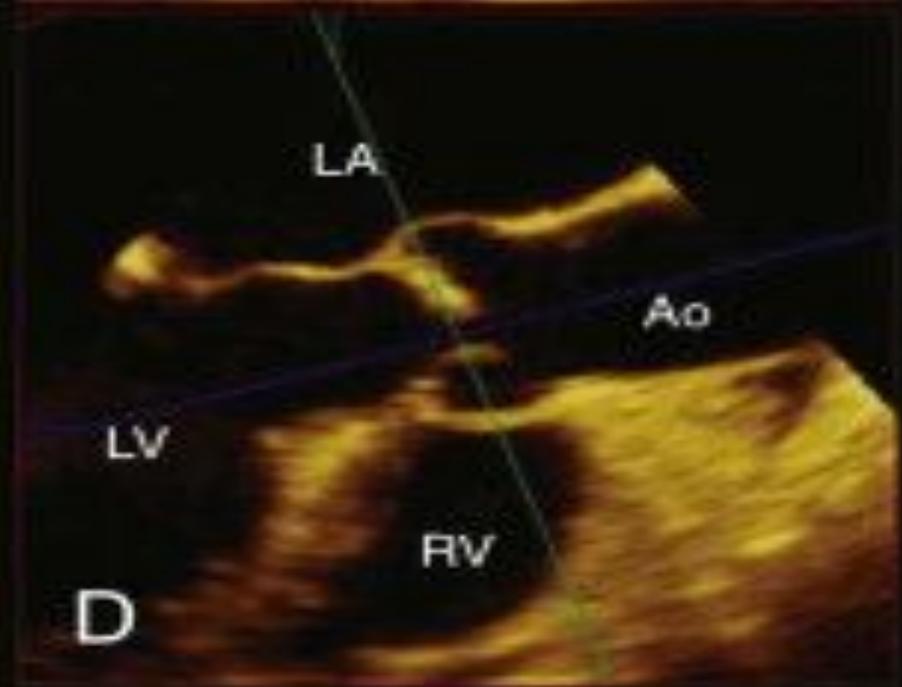
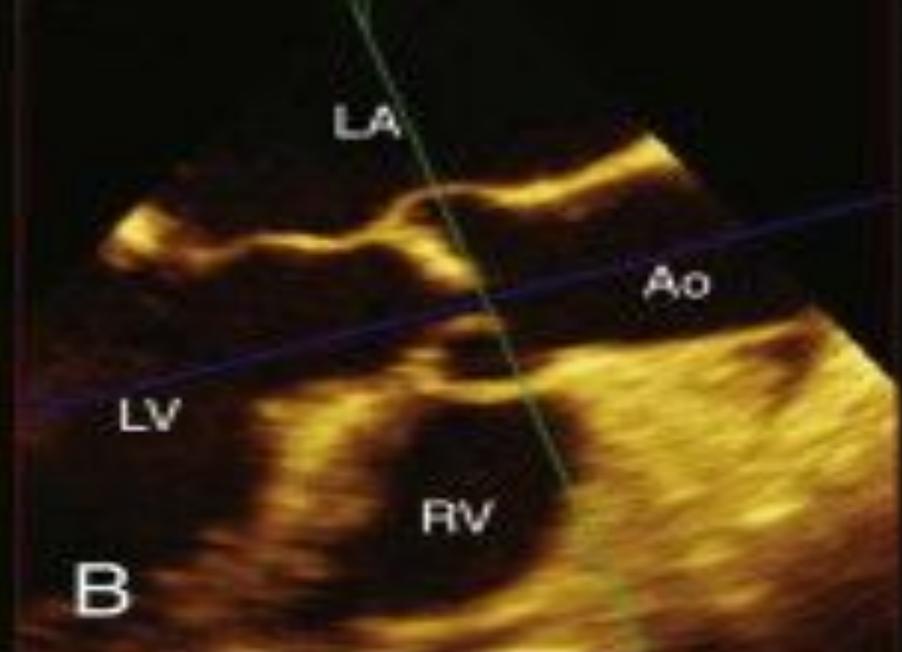
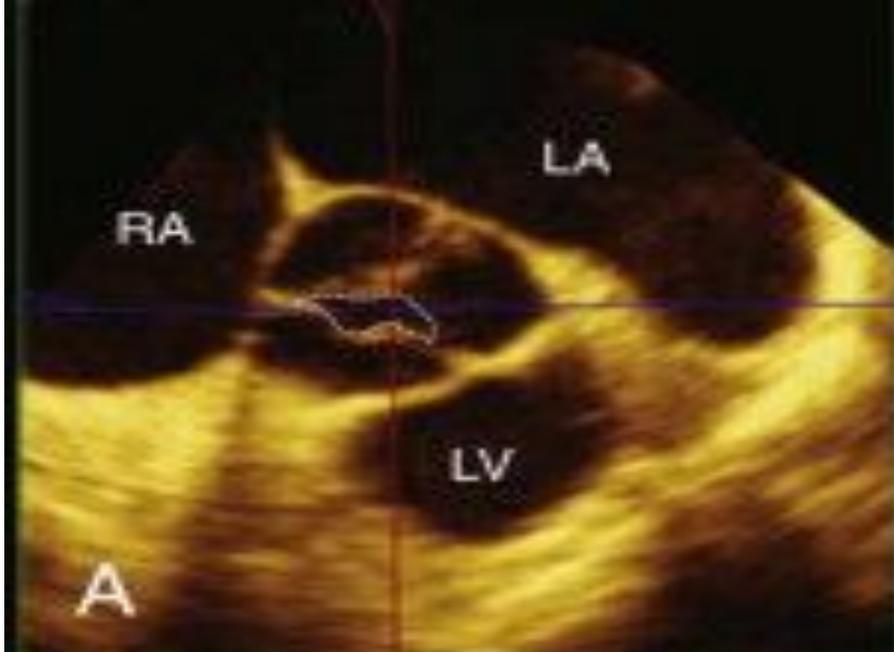
$$\text{Velocity ratio} = \frac{V_{LVOT}}{V_{AV}}$$

3. Планиметрия 2D / 3D TTE / TEE

# Планиметрический метод определения площади аортального отверстия в режиме 2D



- **Ограничения**
  - Реверберации
  - Затенения
  - «Doming»
  - Анатомическая, а не эффективная AVA

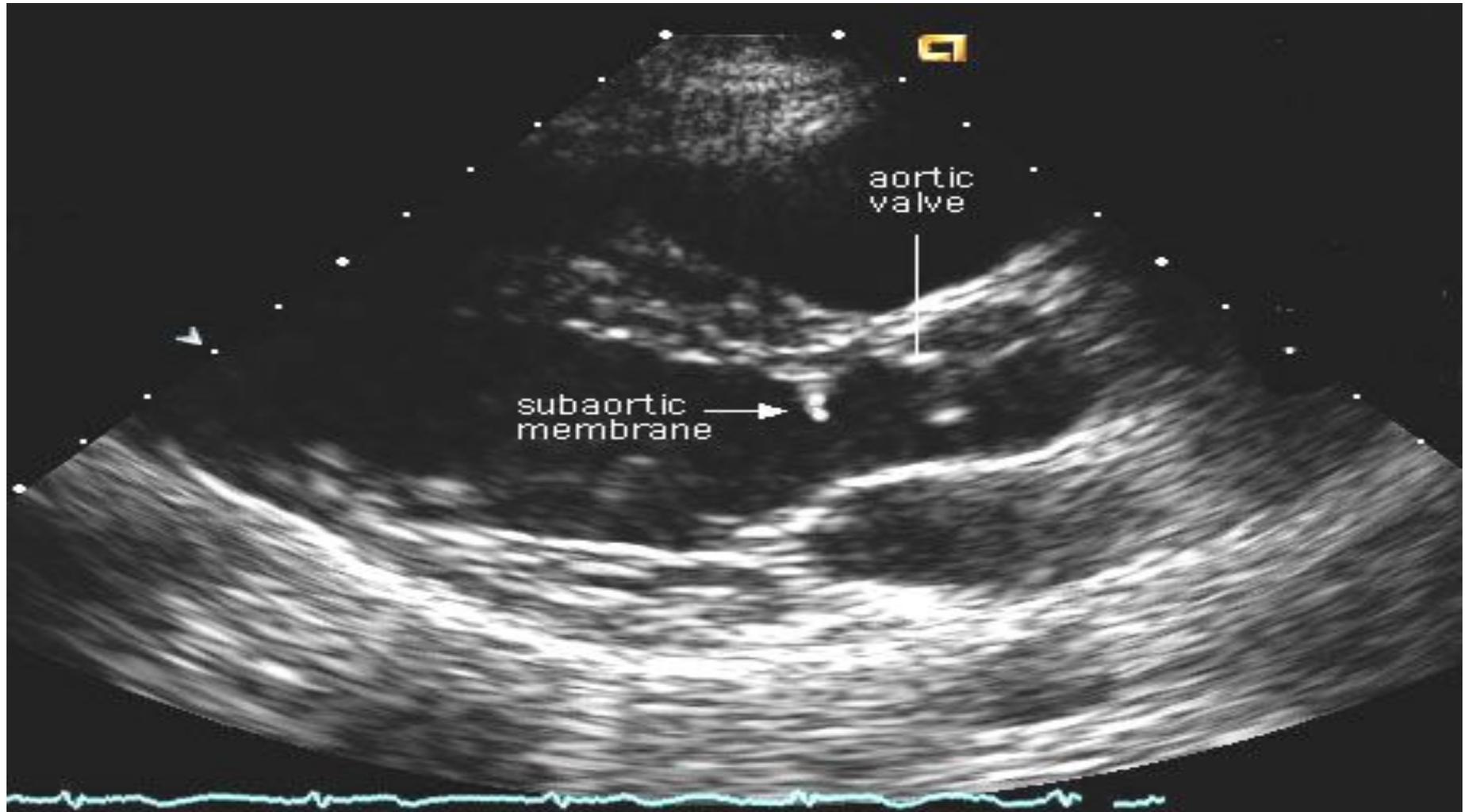


Area 26, 34	cm	1E, 1EE, 3D-echo	1.0	valve orifice as measured by 2D or 3D echo.	are unavailable.	may be variable. Difficult with severe valve calcification.
LV % Stroke Work Loss 27	%	$\%SWL = \frac{\overline{\Delta P}}{\Delta P + SBP} \cdot 100$	25	Work of the LV wasted each systole for flow to cross the aortic valve, expressed as a % of total systolic work	Very easy to measure. Related to outcome in one longitudinal study.	Flow-dependent. Limited longitudinal data
Recovered Pressure Gradient 13, 32	mm Hg	$P_{distal} - P_{vc} = 4 \cdot v^2 \cdot 2 \cdot \frac{AVA}{AA} \cdot \left(1 - \frac{AVA}{AA}\right)$	-	Pressure difference between the LV and the aorta, slightly distal to the <i>vena contracta</i> , where distal pressure has increased.	Closer to the global hemodynamic burden caused by AS in terms of adaptation of the cardiovascular system. Relevant at high flow states and in patients with small ascending aorta.	Introduces complexity and variability related to the measurement of the ascending aorta. No prospective studies showing real advantages over established methods.
Energy Loss Index 35	cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	$ELI = \frac{AVA \cdot AA}{AA - AVA} / BSA$	0.5	Equivalent to the concept of AVA, but correcting for distal recovered pressure in the ascending aorta	(As above) Most exact measurement of AS in terms of flow-dynamics. Increased prognostic value in one longitudinal study.	Introduces complexity and variability related to the measurement of the ascending aorta.
Valvulo-Arterial Impedance <sup>31</sup>	mm Hg/ml/m <sup>2</sup>	$Z_{VA} = \frac{\overline{\Delta P_{net}} + SBP}{SVI}$	5	Global systolic load imposed to the LV, where the numerator represents an accurate estimation of total LV pressure	Integrates information on arterial load to the hemodynamic burden of AS, and systemic hypertension is a frequent finding in calcific-degenerative disease.	Although named "impedance", only the steady-flow component (i.e. mean resistance) is considered. No longitudinal prospective study available.
Aortic Valve Resistance 28, 29	dynes/s/cm <sub>5</sub>	$AVR = \frac{\overline{\Delta P}}{Q} = \frac{\overline{4 \cdot v^2}}{v_{LVOT}^2 \cdot v_{LVOT}} \cdot 1333$	280	Resistance to flow caused by AS, assuming the hydrodynamics of a tubular (non flat) stenosis.	Initially suggested to be less flow-dependent in low-flow AS, but subsequently shown to not be true.	Flow dependence. Limited prognostic value. Unrealistic mathematic modelling of flow-dynamics of AS.
Projected Valve Area at Normal Flow Rate 30	cm <sup>2</sup>	$AVA_{proj} = AVA_{rest} + VC \cdot (250 - Q_{rest})$	1.0	Estimation of AVA at normal flow rate by plotting AVA vs. flow and calculating the slope of regression (DSE)	Accounts for the variable changes in flow during DSE in low flow low gradient AS, provides improved interpretation of AVA changes	Clinical impact still to be shown. Outcome of low-flow AS appears closer related to the presence / absence of LV contractility reserve.

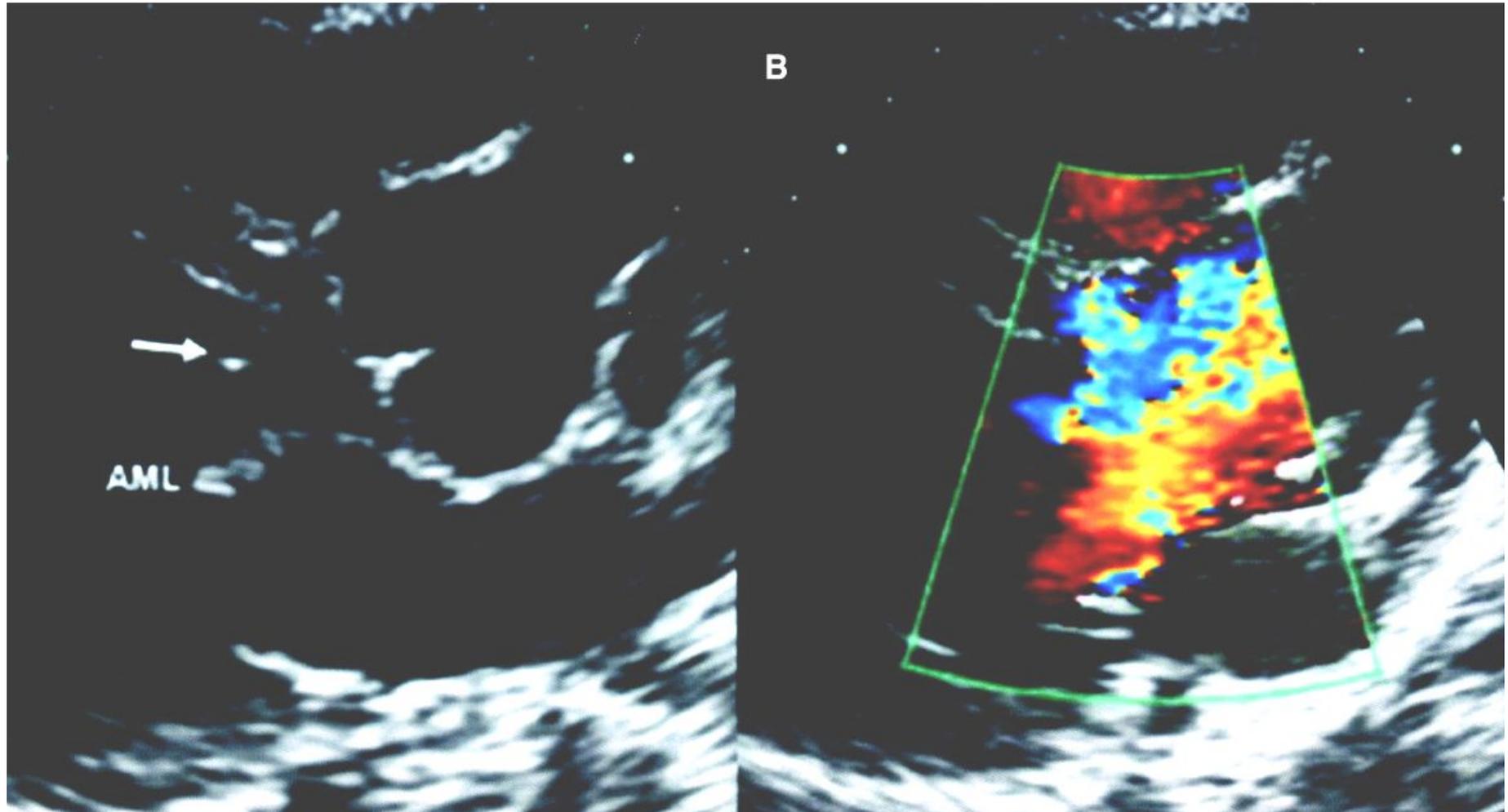
# Дифференциальный диагноз обструкций выходного тракта ЛЖ

1. Фиксированная подклапанная обструкция
2. Динамическая субаортальная обструкция
3. Надклапанный аортальный стеноз

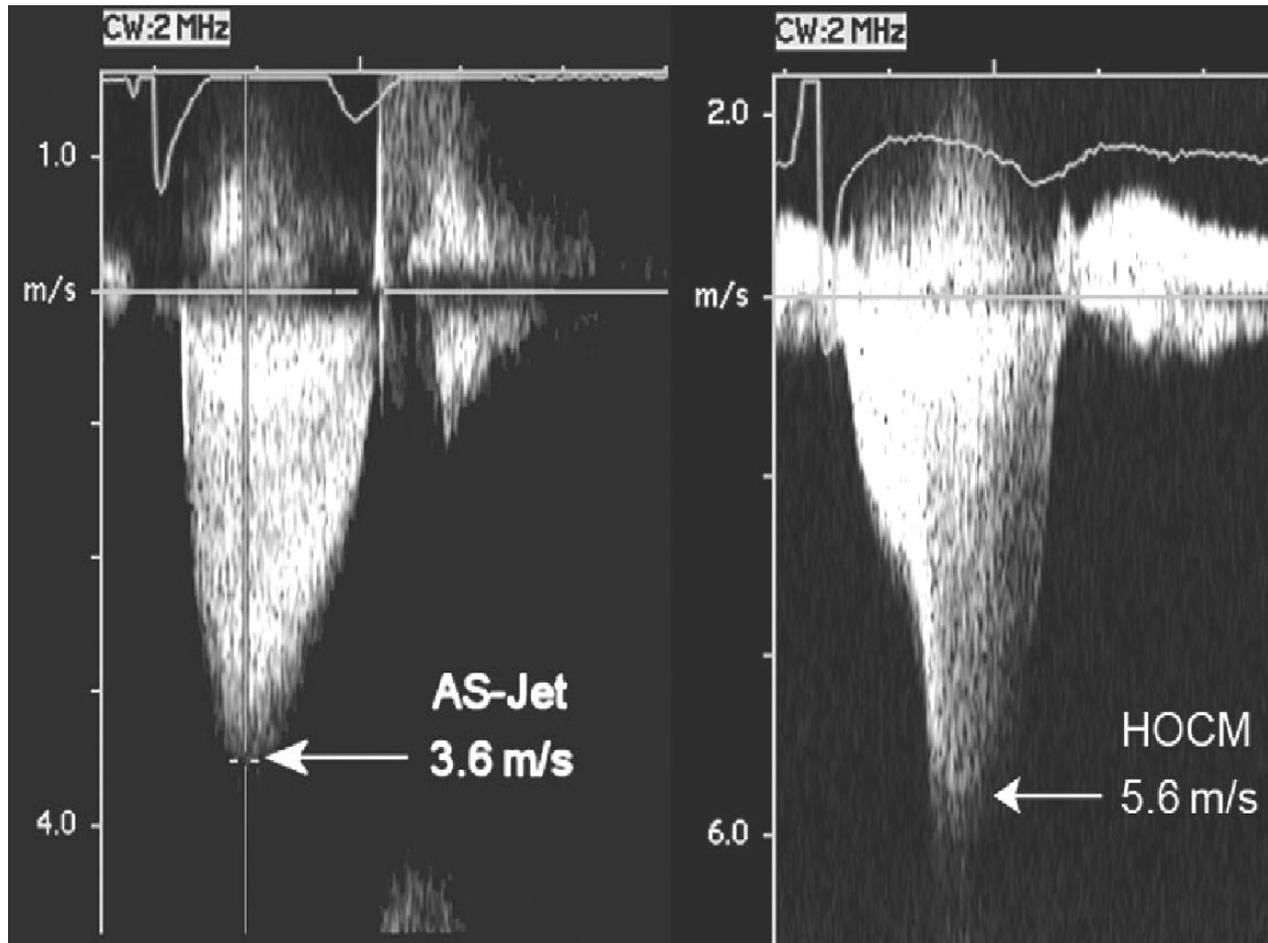
# Дискретный субаортальный стеноз



# Дискретный субаортальный стеноз



# Клапанная и динамическая подклапанная обструкция



Клапанный АС

ГКМП с  
обструкцией ВТЛЖ

# Тяжелый АС со сниженной систолической функцией ЛЖ и низким градиентом

- Средний градиент давления  $< 40$  мм рт. ст
- Площадь аортального отверстия  $< 1$  см<sup>2</sup>
- Индекс AVA  $< 0,6$  см<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>
- Фракция выброса ЛЖ  $< 40\%$

# АС со сниженной систолической функцией ЛЖ и низким градиентом

AVA < 1cm<sup>2</sup>  
Низкий СВ  
Низкий Δр

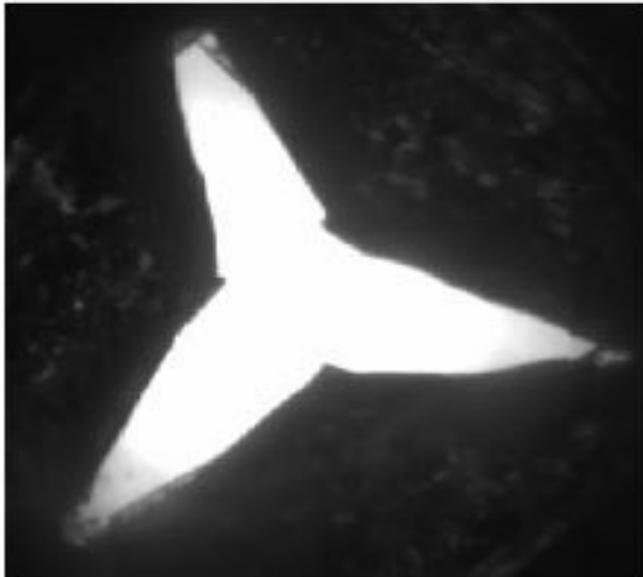
**Истинно тяжелый АС**  
Причина  
снижения ФВ ЛЖ

**Псевдостеноз**  
5-20%  
Легкий-умеренный АС  
не являющийся причиной  
дисфункции ЛЖ

# Псевдотяжелый стеноз

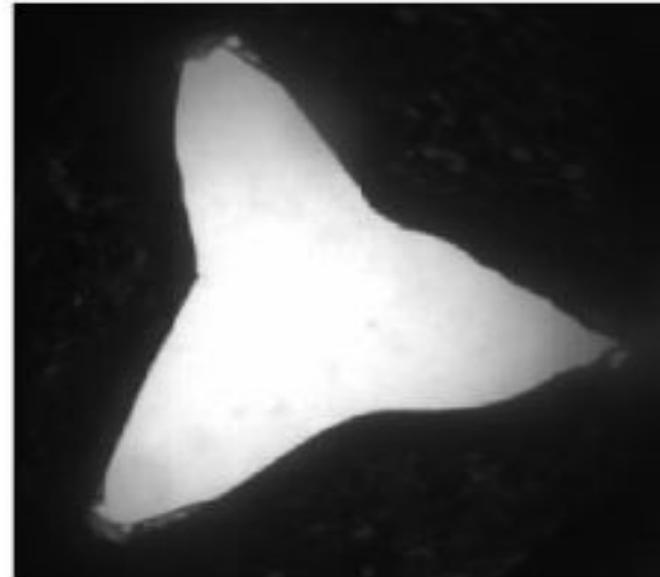
## Pseudo Severe Valve

Panel A



**SV:** 20 mL  
**EOA:** 0.57 cm<sup>2</sup>  
**MG:** 9 mm Hg

Panel B



**SV:** 70 mL  
**EOA:** 1.08 cm<sup>2</sup>  
**MG:** 26 mm Hg

# Истинно тяжелый АС

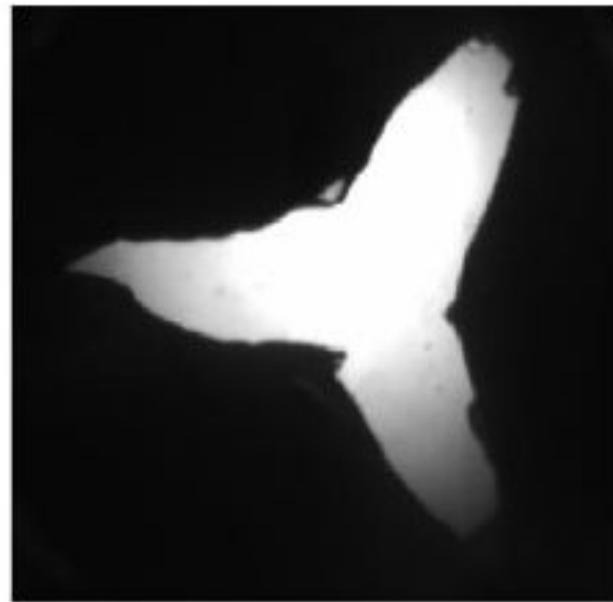
## Truly Severe Valve

Panel C

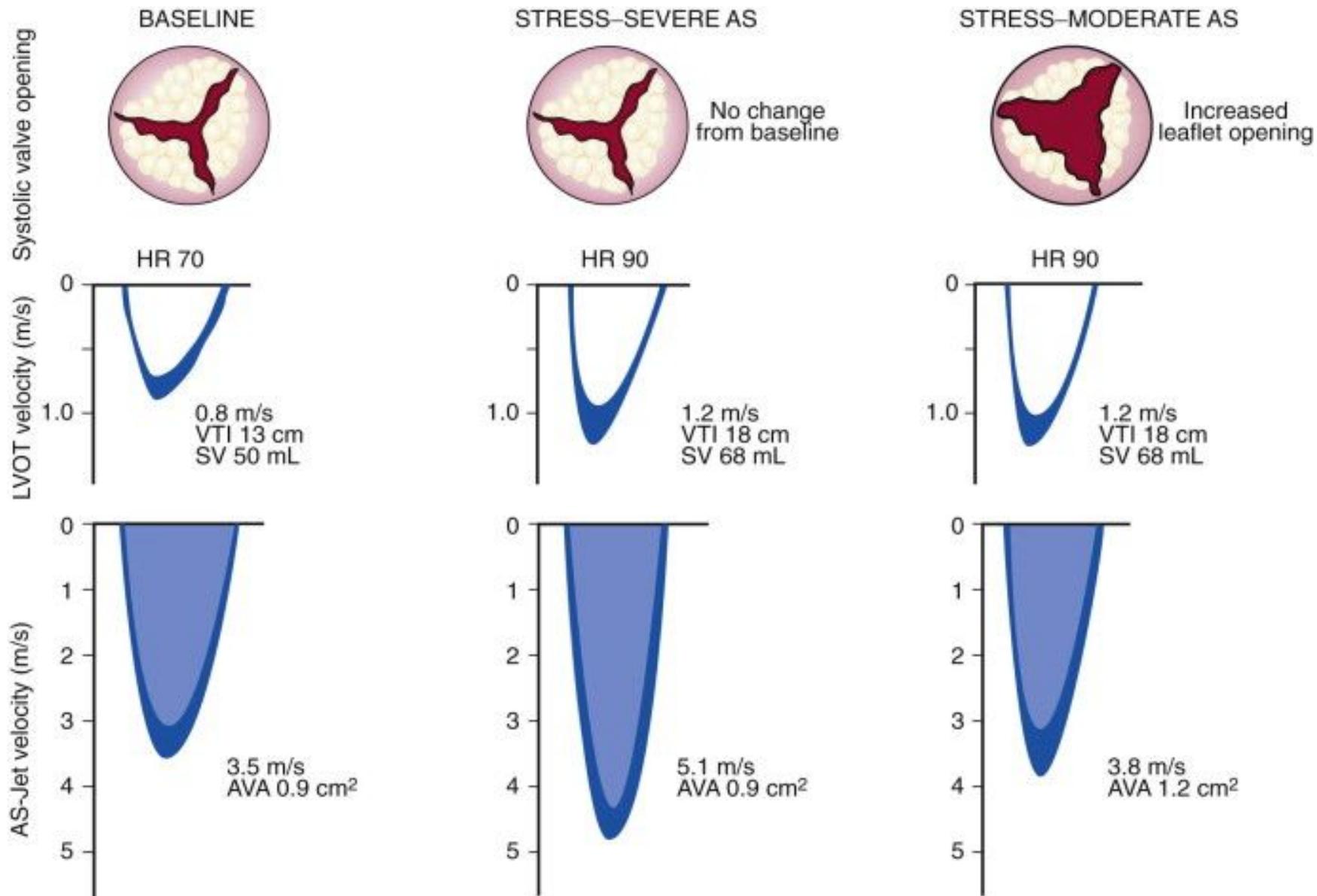


**SV: 20 mL**  
**EOA: 0.50 cm<sup>2</sup>**  
**MG: 20 mm Hg**

Panel D



**SV: 70 mL**  
**EOA: 0.84 cm<sup>2</sup>**  
**MG: 42 mm Hg**



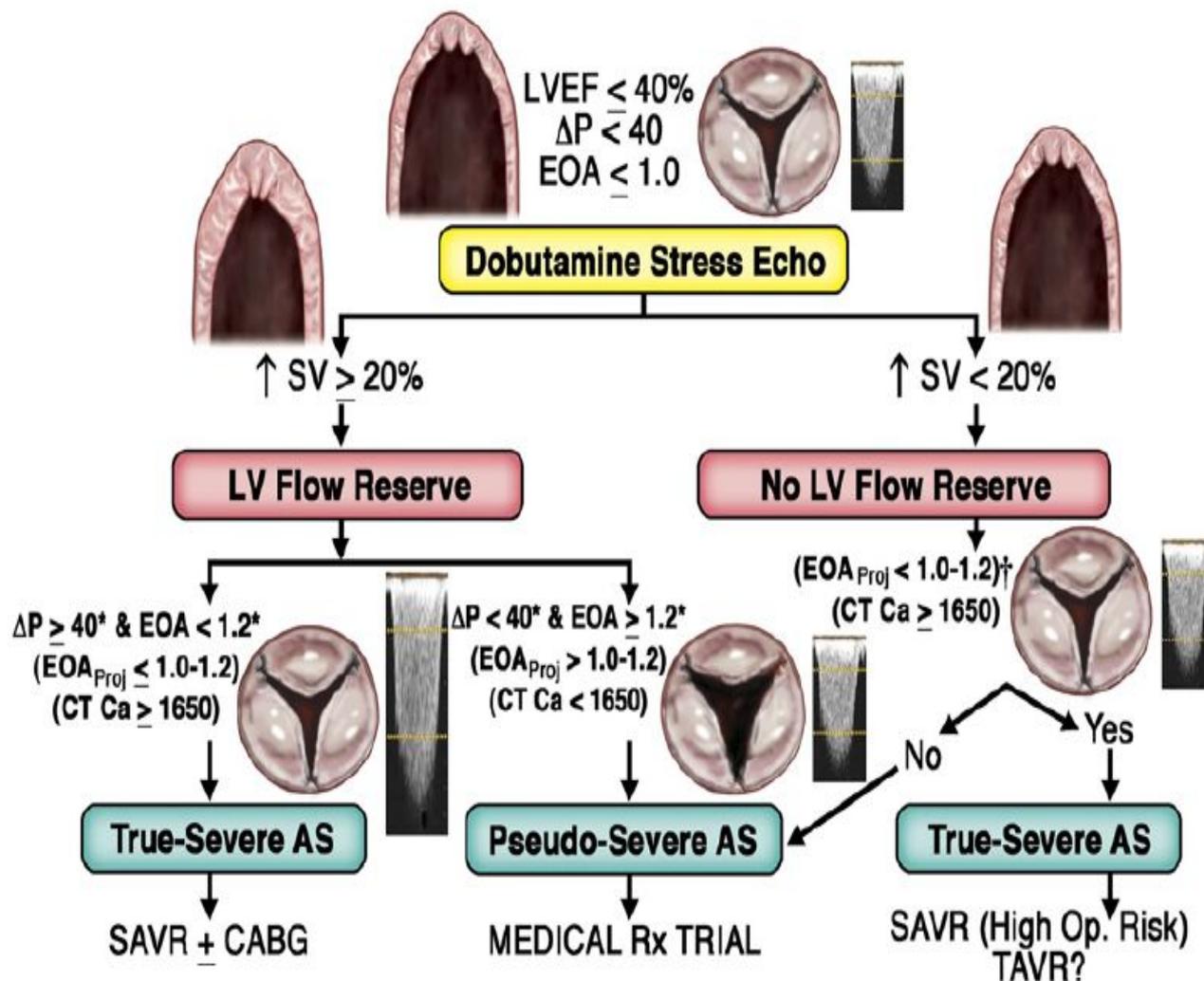
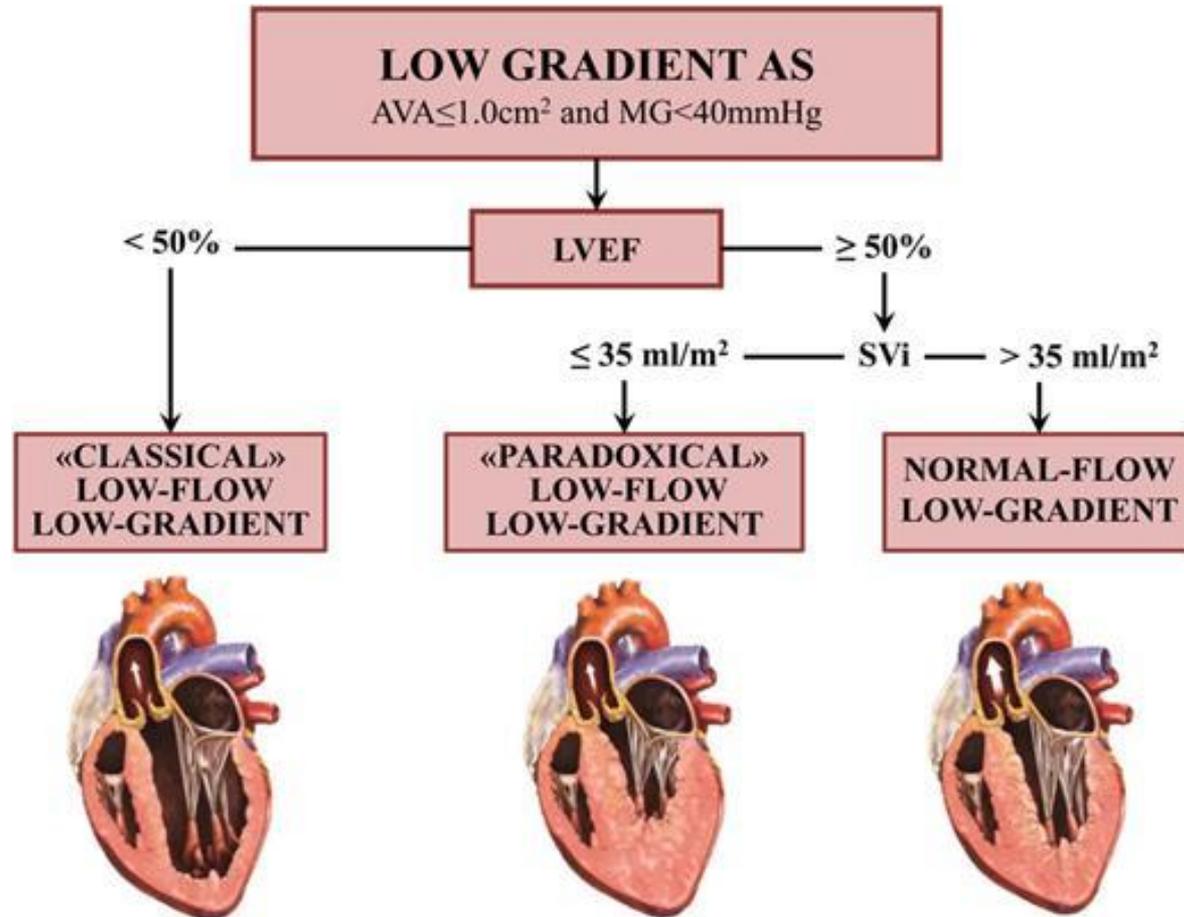


Figure 2 Clinical Decision Making Process in Low LVEF, LF-LG Severe AS

# Стресс-эхокардиография с добутамином

	УО	$\Delta p$	AVA
Тяжелый АС	↑ (>20%)	↑ (>40 mm Hg)	→ ( $\Delta < 0.2(0.3)$ см <sup>2</sup> ) ≤ 1(1.2) см <sup>2</sup>
Псевдотяжелый АС	↑	→	↑ >1.0 см <sup>2</sup>
Тяжелый АС, Нет контракт. резерва	→	→	→

# Тяжелый АС с низким градиентом при нормальной ФВЛЖ



# Роль ЧПЭХО при АС

Рутинно не проводится.

Измерение анатомической AVA

(подразумевает отверстие в 1 плоскости)

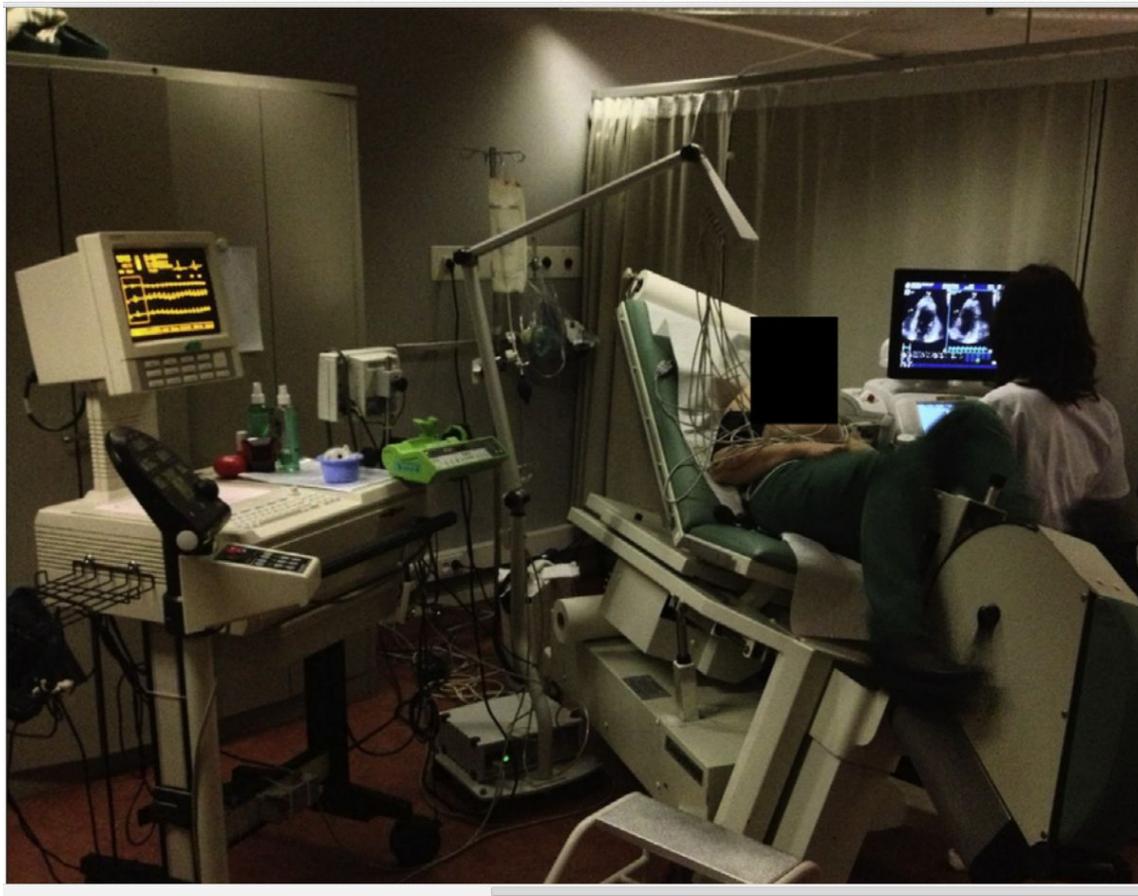
Градиенты — только из желудочного доступа, возможны ошибки в неопытных руках

Визуализация подклапанного стеноза

Интраоперационно (осложнения, сочетания пороков, функция ЛЖ, документирование эффективности вмешательства)

Стандарт при TAVI (p-p протеза, кольца, морфология корня аорты)

# Стресс-эхокг при асимптомном АС



## EACVI/ASE CLINICAL RECOMMENDATIONS

# The Clinical Use of Stress Echocardiography in Non-Ischaemic Heart Disease: Recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography



Patrizio Lancellotti, MD,  
Werner Budts, MD, PhD, I  
Raluca Dulgheru, MD,

Jong Won Ha, MD, PhD, FESC, G  
Luc Mertens, MD, PhD, FASE, I  
Thomas Ryan, MD, FASE, Jeane M.  
*and Pisa, Italy; Rochester, Minnesota;*  
*UK; Seoul, South Korea; Atlanta, Ge*



European Heart Journal – Cardiovascular Imaging (2016) 17, 1191–1229  
doi:10.1093/ehjci/ew190

**EACVI/ASE  
RECOMMENDATION**

## The clinical use of stress echocardiography in non-ischaemic heart disease: recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography

**Patrizio Lancellotti<sup>1,2\*</sup>, Patricia A. Pellikka<sup>3</sup>, Werner Budts<sup>4</sup>, Farooq A. Chaudhry<sup>5</sup>, Erwan Donal<sup>6</sup>, Raluca Dulgheru<sup>1</sup>, Thor Edvardsen<sup>7</sup>, Madalina Garbi<sup>8</sup>, Jong-Won Ha<sup>9</sup>, Garvan C. Kane<sup>3</sup>, Joe Kreeger<sup>10</sup>, Luc Mertens<sup>11</sup>, Philippe Pibarot<sup>12</sup>, Eugenio Picano<sup>13</sup>, Thomas Ryan<sup>14</sup>, Jeane M. Tsutsui<sup>15</sup>, and Albert Varga<sup>16</sup>**

<sup>1</sup>Department of Cardiology, University of Liège Hospital, GIGA-Cardiovascular Sciences, Liège, Belgium; <sup>2</sup>Gruppo Villa Maria Care and Research, Anthon Hospital, Bari, Italy; <sup>3</sup>Division of Cardiovascular Ultrasound, Department of Cardiovascular Medicine, Mayo Clinic, Rochester, MN, USA; <sup>4</sup>Congenital and Structural Cardiology, University Hospital Leuven, Leuven; <sup>5</sup>Echocardiography laboratories, Mount Sinai Medical Center, Icahn School of Medicine at Mount Sinai, Zena and Michael A. Wiener Cardiovascular Institute and Marie-Josée and Henry R. Kravis Center for Cardiovascular Health, NY, USA; <sup>6</sup>Service de Cardiologie, CHU RENNES et LTS U 1099 – Université Rennes-1, Rennes, France; <sup>7</sup>Department of

# Стресс-эхокг при асимптомном АС

Aortic stenosis	Severe AS with no symptoms	Exercise	LV views, colour flow Doppler for MR, TR CW Doppler for SPAP, AV CW Doppler, LVOT PW Doppler	Baseline, low workload, peak exercise	Symptoms $\pm$ LVEF drop/no increase a/o GLS $\pm$ RWMA $\pm$ SPAP increase $\pm$ MR appearance/increase $\pm$ gradient increase	Severe AS with symptoms/pulmonary hypertension/dynamic MR/no contractile reserve/inducible ischaemia/non-compliant valve
	Non-severe AS with symptoms	Exercise	AV CW Doppler, LVOT PW Doppler, LV views, Colour flow Doppler for MR	Baseline, low workload, peak exercise	Gradient increase + no/min AVA increase $\pm$ LVEF drop/no increase a/o GLS $\pm$ RWMA $\pm$ MR appearance/increase $\pm$ SPAP increase	Non-compliant valve/no contractile reserve/inducible ischaemia/dynamic MR/pulmonary hypertension
		Dobutamine	AV CW Doppler, LVOT PW Doppler, LV views	Baseline, low dose		
Low-flow, low-gradient AS		Dobutamine	LVOT PW Doppler, AV CW Doppler, LV views	Baseline, low dose	No/min SV increase $\pm$ LVEF drop/no increase a/o GLS $\pm$ gradient increase $\pm$ no/min AVA increase	No flow reserve/no LV contractile reserve/true-severe AS
		Exercise	LVOT PW Doppler, AV CW Doppler, LV views	Baseline, low workload		

VHD (MR, MS, AS, AR) severity  
not matching with symptoms

Asymptomatic moderate-severe  
VHD (MR, MS, AS, AR)

Symptoms,  $\Delta$  blood pressure, exercise tolerance

Valve

- $\Delta$  18-20 mmHg MPG in AS
- $\text{MPG} \geq 15-18$  mmHg in MS
- $\Delta > 10-13$  mm<sup>2</sup> EROA in MR

Ventricle

- $\Delta < 4-5\%$  LVEF (lack of CR)
- $\Delta < 2\%$  GLS (lack of CR)
- $\Delta \text{SV} < 20\%$  (lack of FR)
- $\Delta$  WMSI (Ischemia)
- LV dyssynchrony
- RV dysfunction (TAPSE  $< 19$  mm)

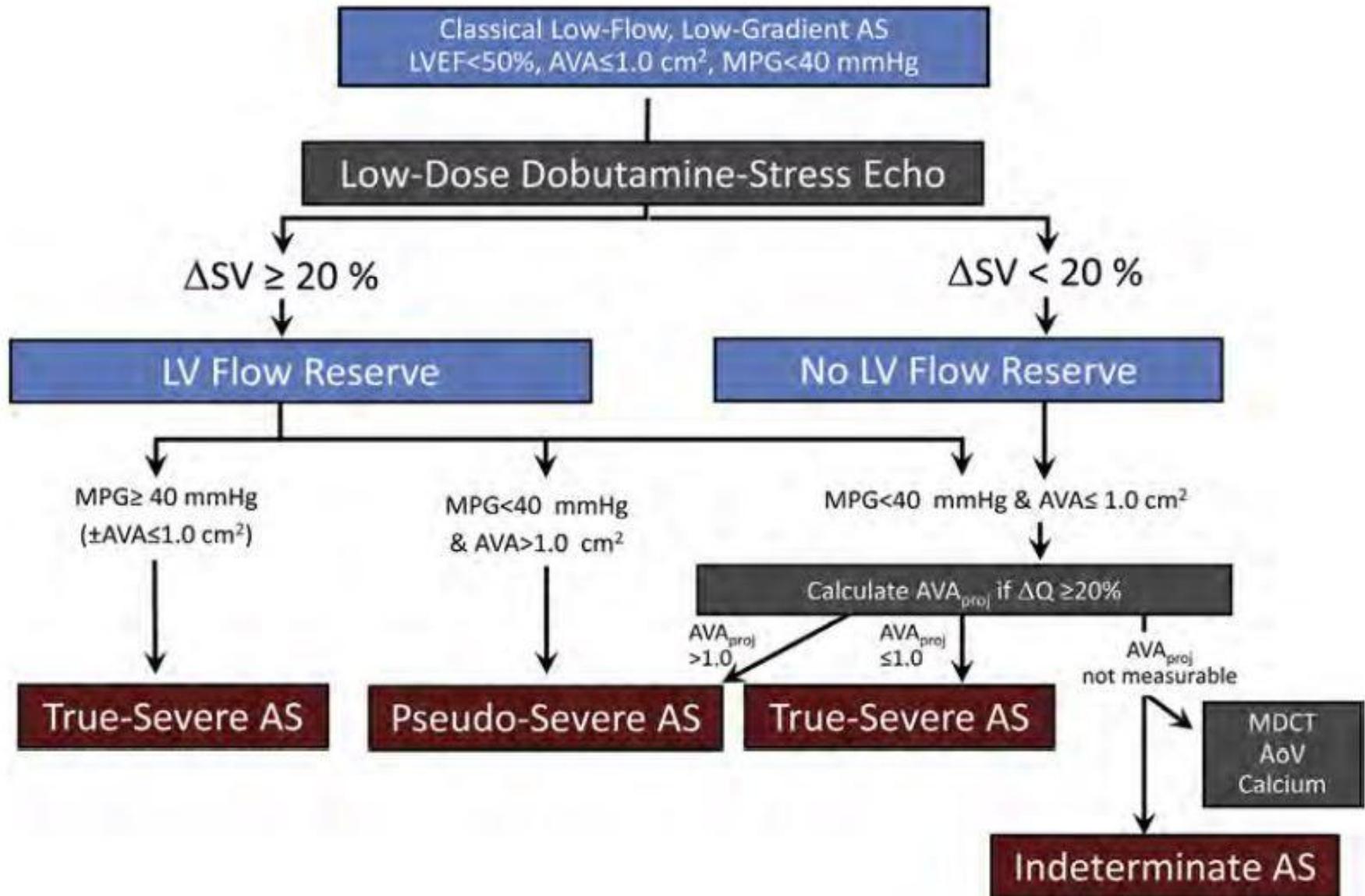
Hemodynamics

- $\Delta E/e'$  (LV filling pressure)
- PH (SPAP  $\geq 60$  mmHg)

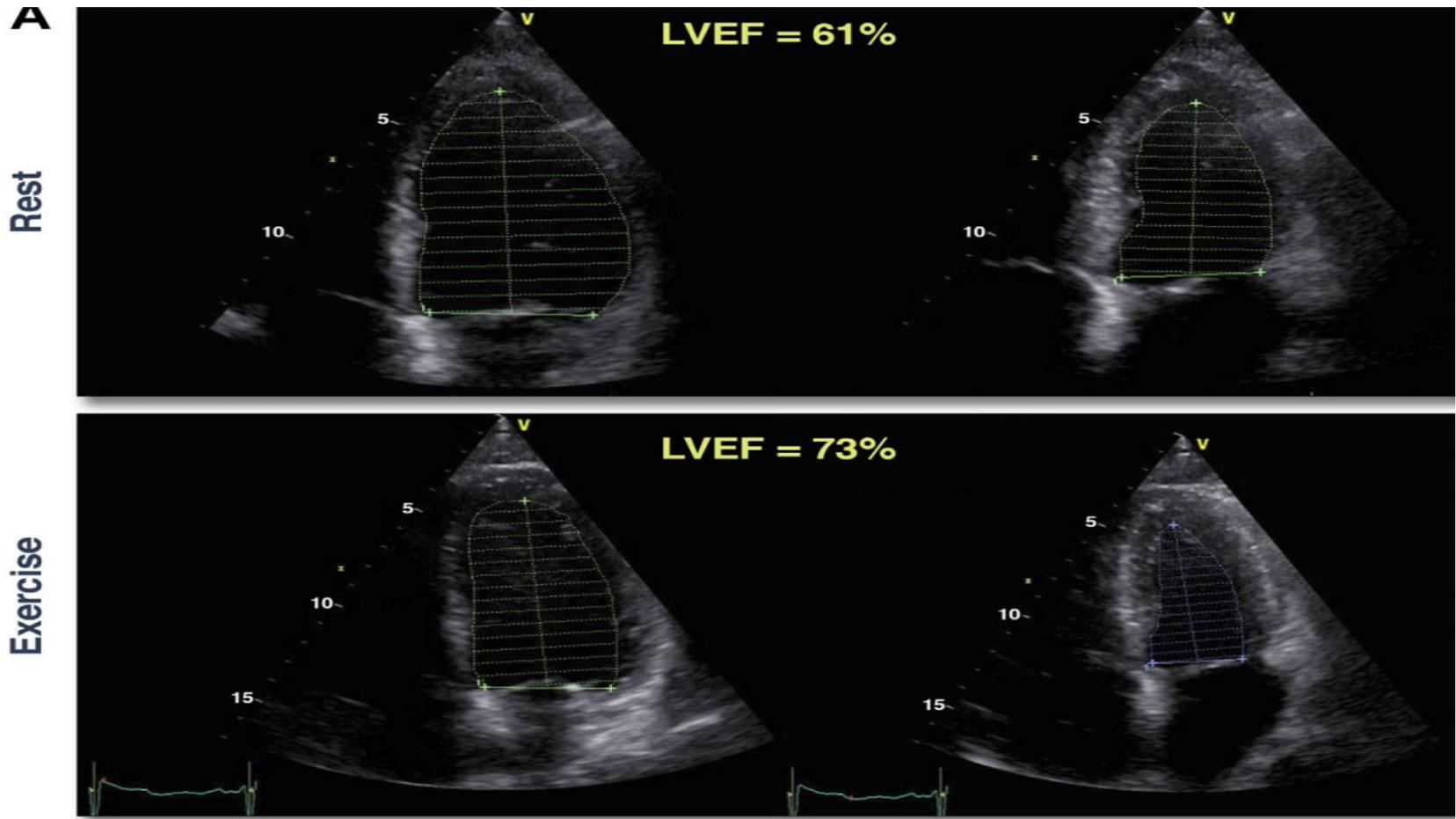
Match symptoms with  
the cardiac involvement

Risk stratification

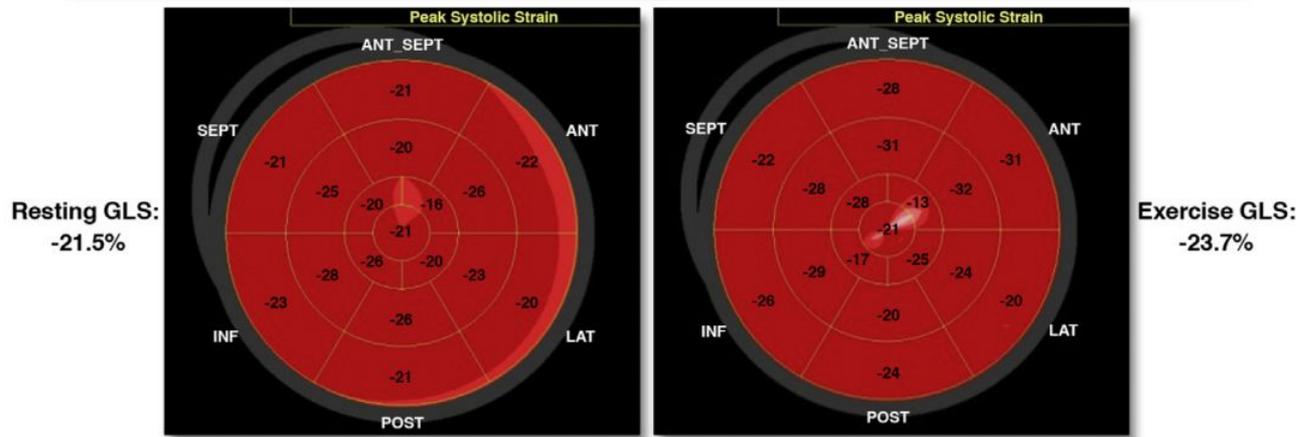
Guide decision making and help  
define the optimal timing for surgery



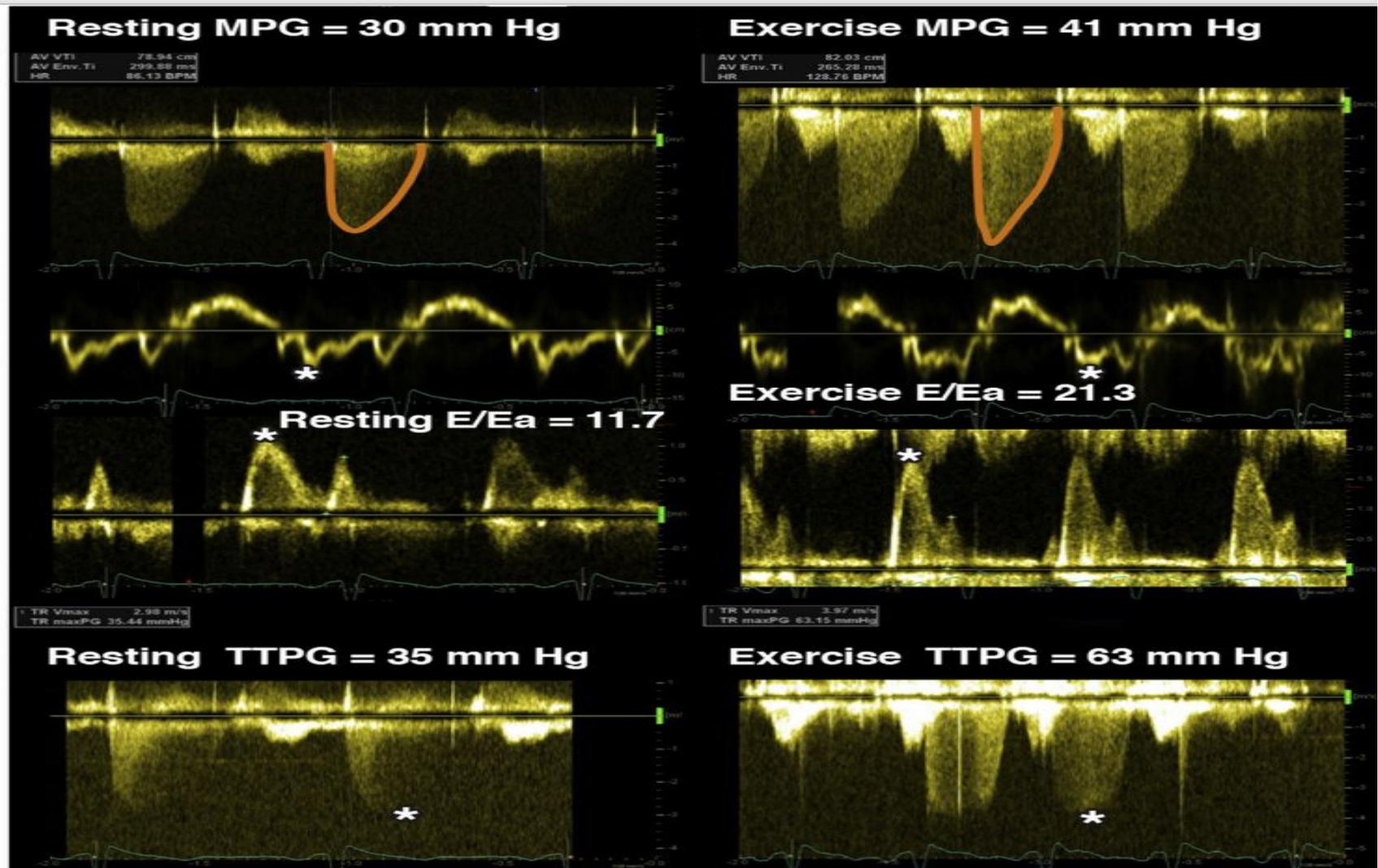
# Контрактивный резерв - ФВ



# Контрактильный резерв — продольная деформация



# Диастолическая функция и СДЛА

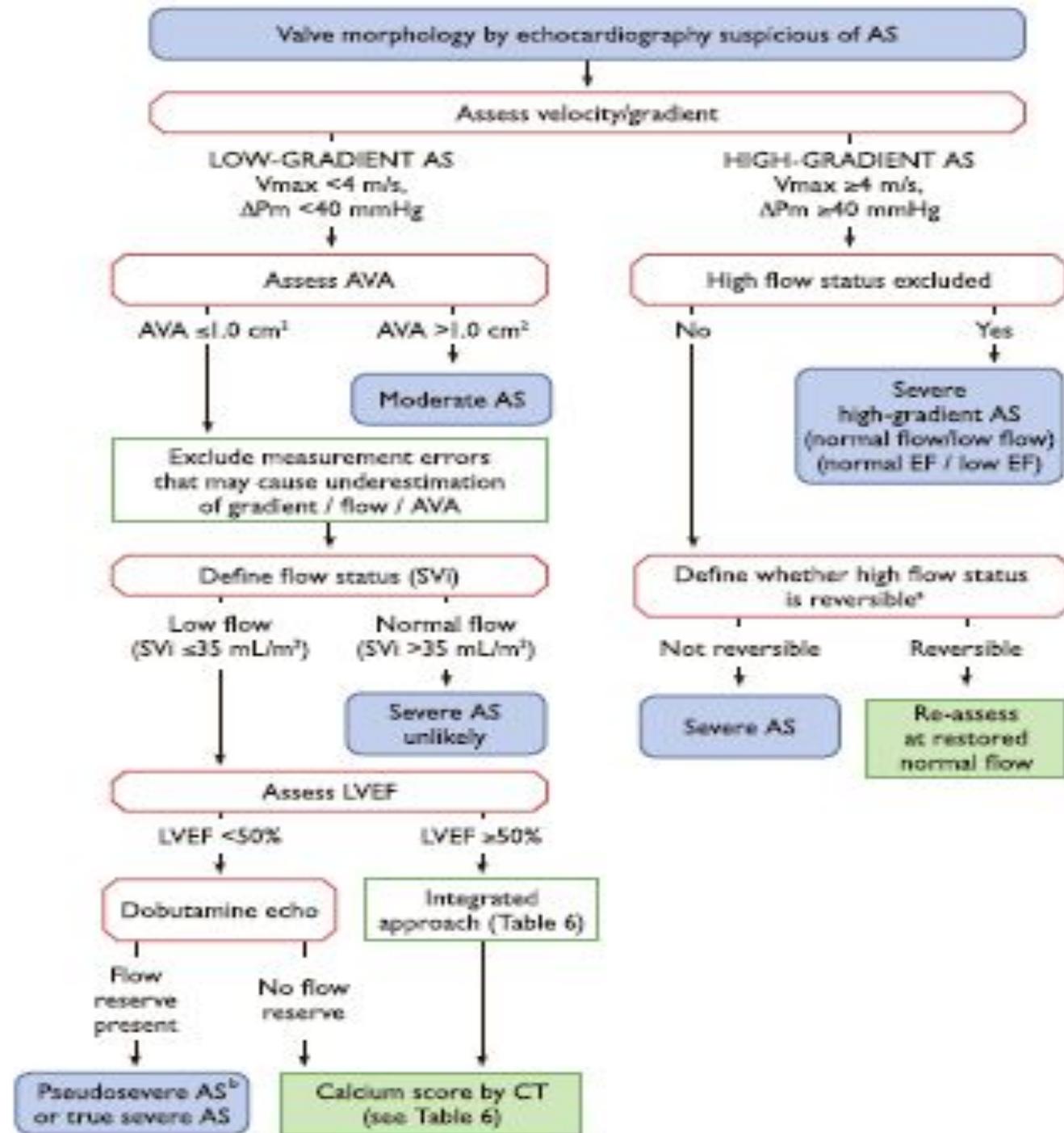


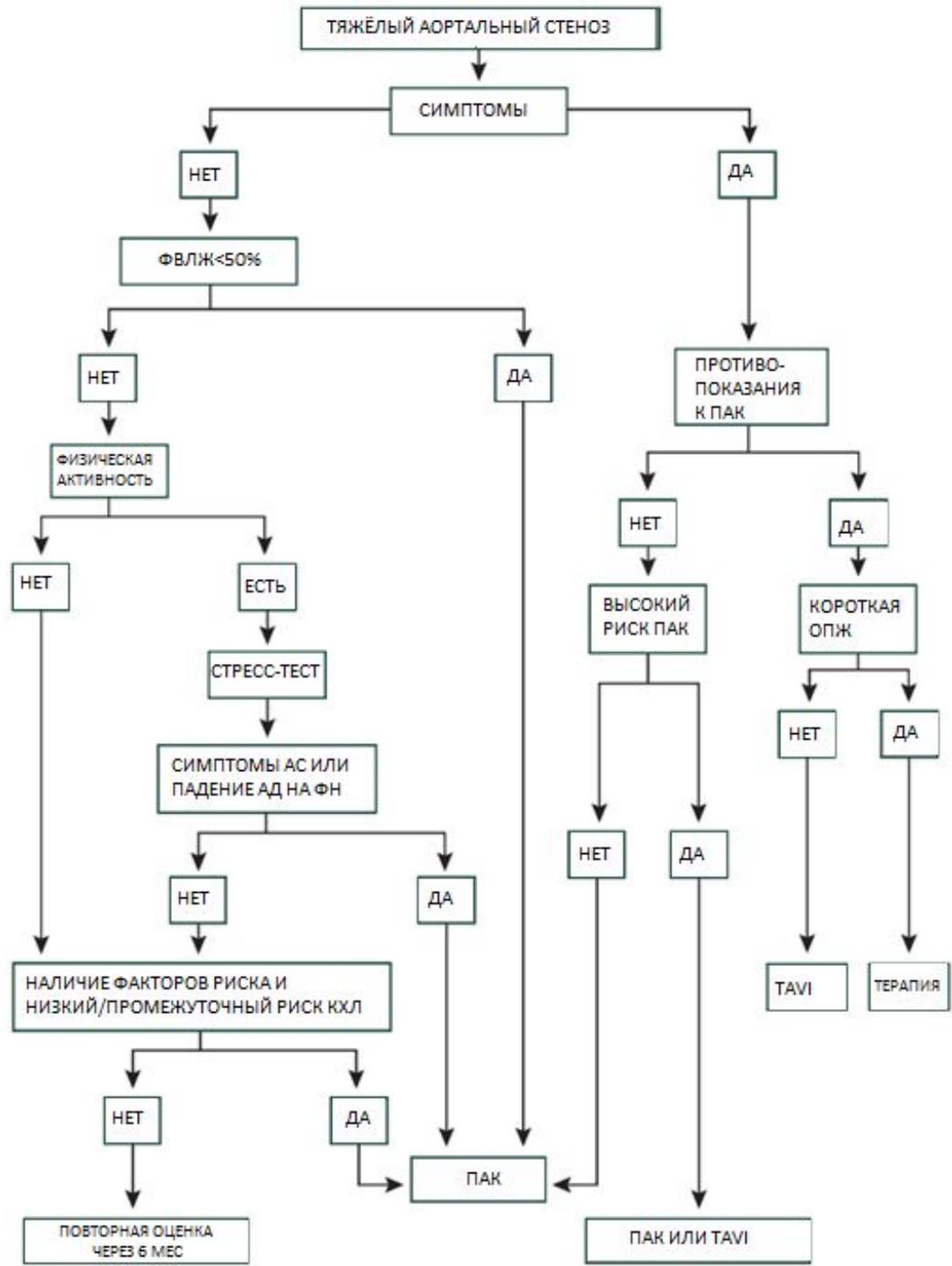
## 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease

### The Task Force for the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS)

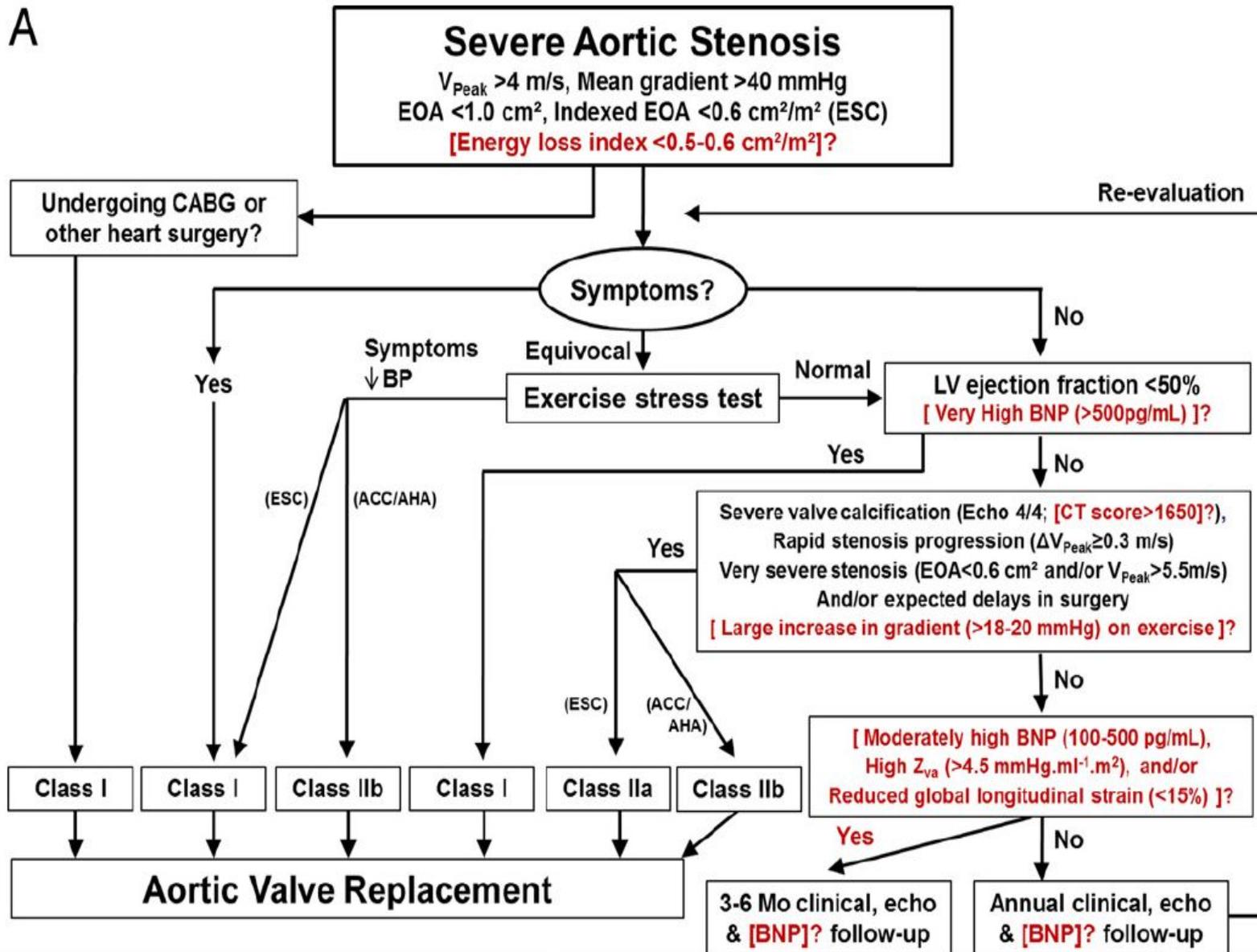
**Authors/Task Force Members:** Helmut Baumgartner\* (ESC Chairperson) (Germany), Volkmar Falk\*<sup>1</sup> (EACTS Chairperson) (Germany), Jeroen J. Bax (The Netherlands), Michele De Bonis<sup>1</sup> (Italy), Christian Hamm (Germany), Per Johan Holm (Sweden), Bernard Jung (France), Patrizio Lancellotti (Belgium), Emmanuel Lansac<sup>1</sup> (France), Daniel Rodriguez Muñoz (Spain), Raphael Rosenhek (Austria), Johan Sjögren<sup>1</sup> (Sweden), Pilar Tomos Mas (Spain), Alec Vahanian (France), Thomas Walther<sup>1</sup> (Germany), Olaf Wendler<sup>1</sup> (UK), Stephan Windecker (Switzerland), Jose Luis Zamorano (Spain)

**Document Reviewers:** Marco Roffi (CPG Review Coordinator) (Switzerland), Ottavio Alfieri<sup>1</sup> (EACTS Review Coordinator) (Italy), Stefan Agewall (Norway), Anders Ahlsson<sup>1</sup> (Sweden), Emanuele Barbato (Italy), Héctor Bueno (Spain), Jean-Philippe Collet (France), Ioan Mircea Coman (Romania), Martin Czerny (Germany), Victoria Delgado (The Netherlands), Donna Fitzsimons (UK), Thierry Folliguet<sup>1</sup> (France), Oliver Gaemperli (Switzerland), Gilbert Habib (France), Wolfgang Harringer<sup>1</sup> (Germany), Michael Haude (Germany), Gerhard Hindricks (Germany), Hugo A. Katus (Germany), Juhani Knuuti (Finland), Philippe





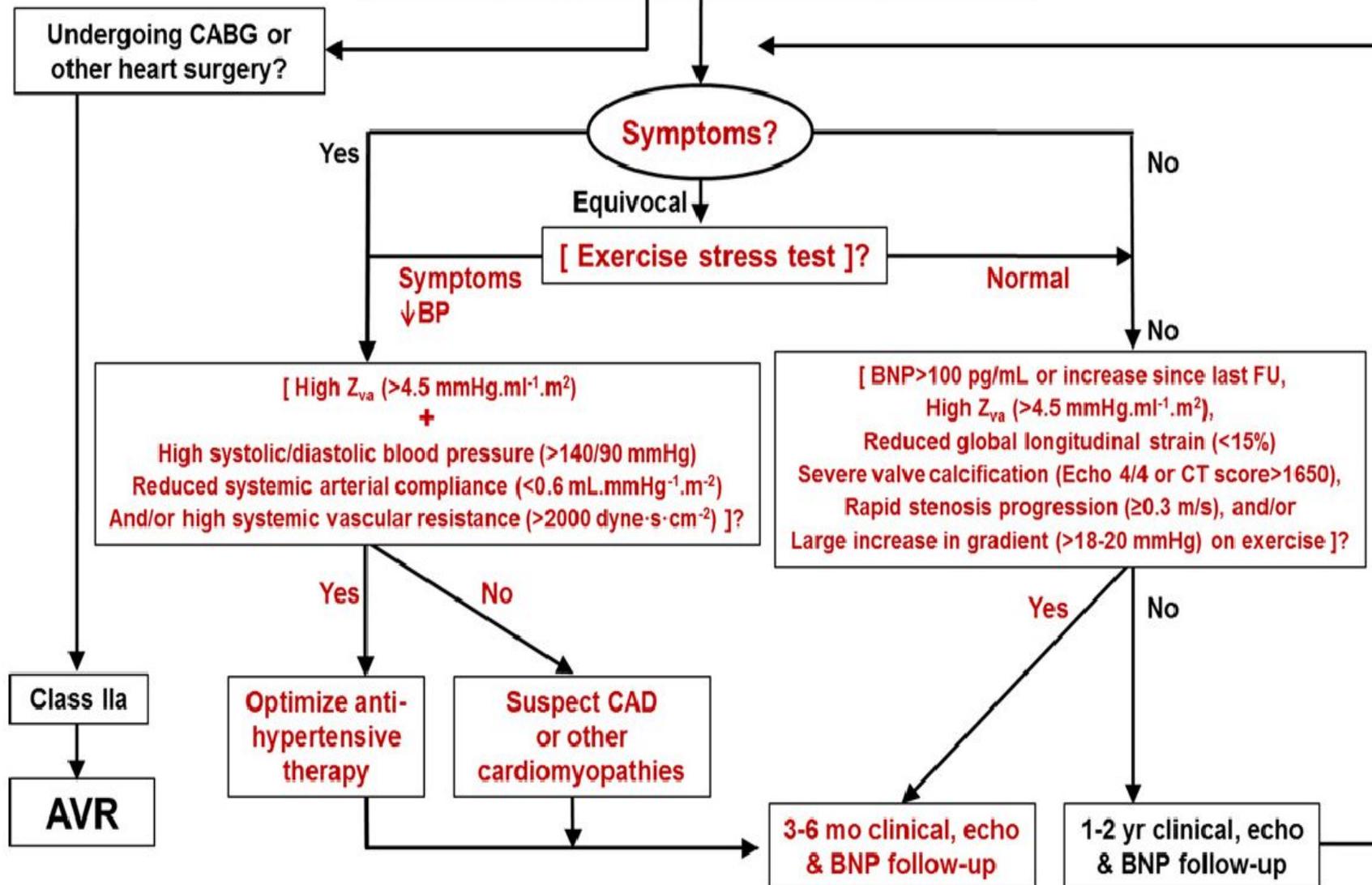
A



**B**

# Moderate Aortic Stenosis

$V_{\text{peak}}$ : 3-4 m/s, Mean gradient: 25-40 mmHg  
 EOA 1.0-1.5 cm<sup>2</sup>, Indexed EOA: 0.6-0.9 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>  
 [Energy loss index: 0.6-0.9 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>?]



# Современные способы эхокардиографической оценки аортального стеноза

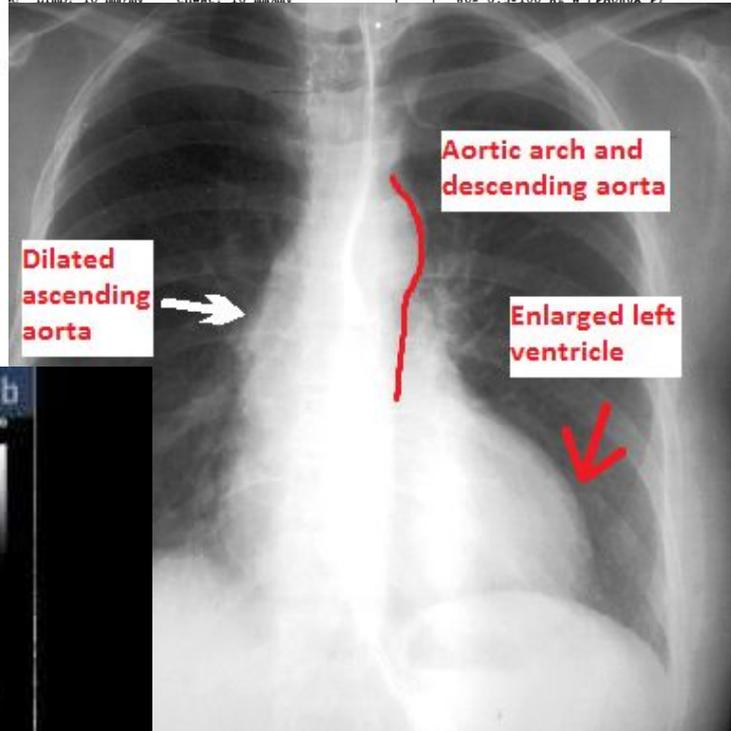
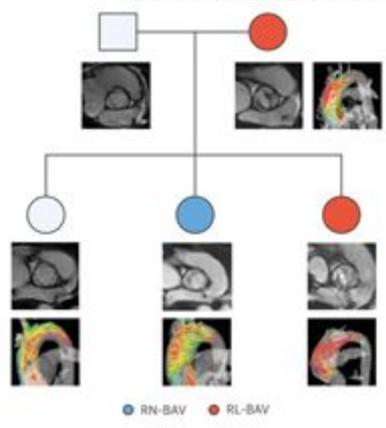
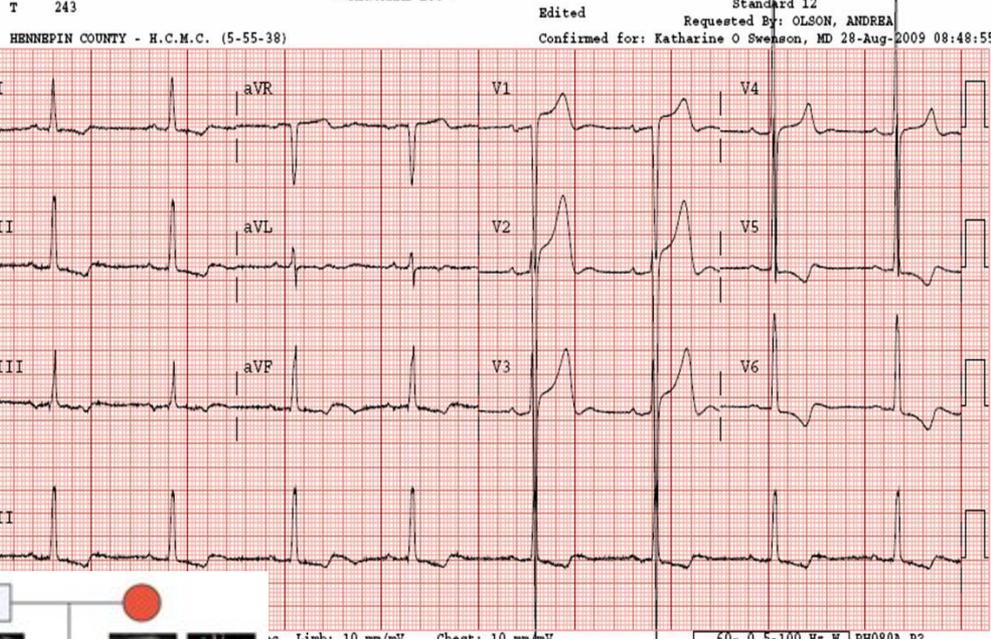
# Первое описание аортального стеноза 1663 г

Lazare Riviere (1589-1655)  
professor of Medicine  
University of Montpellier.



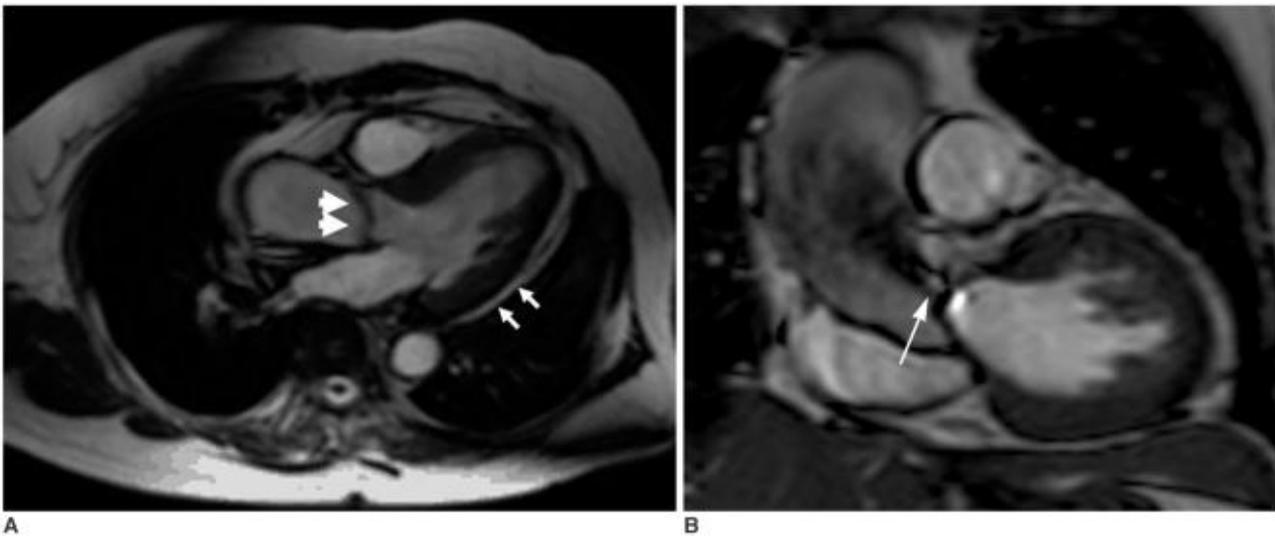
# Диагностика аортального стеноза

- Жалобы, анамнез, наследственность
- Аускультация
- ЭКГ, ХМЭКГ
- Рентген
- ЭХОКГ (трансторакальная, транспищеводная)
- Стресс-тесты
- Лабораторные тесты, биомаркеры
- МСКТ, оценка кальциноза
- МРТ сердца
- ПЭТ-КТ
- Инвазивные исследования



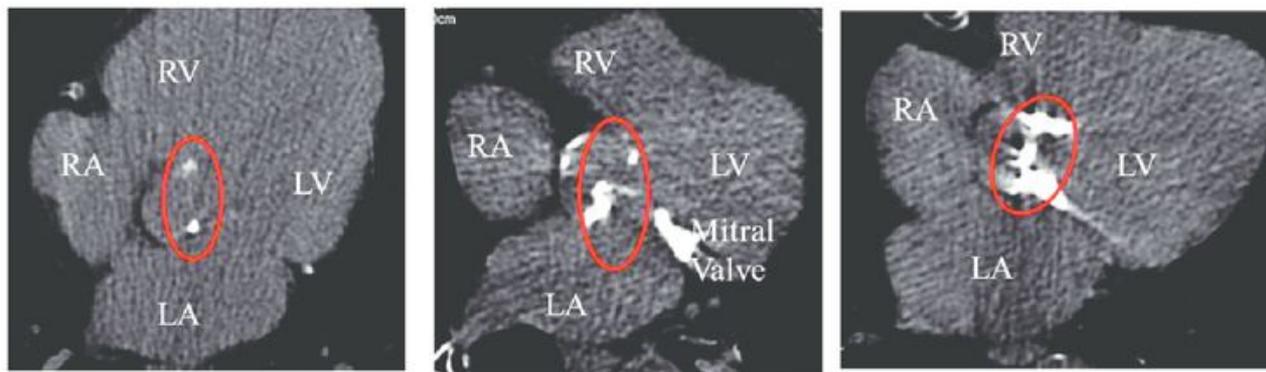
**МРТ сердца:**

- 1. Градиенты
- 2. Площадь клапана
- 3. Функция ЛЖ
- 4. Фиброз, жизнеспособность ЛЖ
- 5. Размеры и функция ПЖ

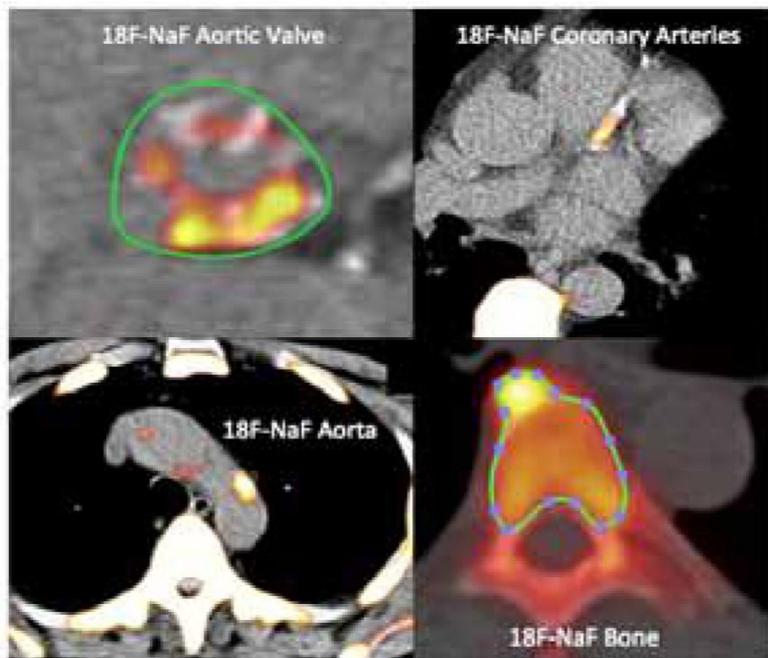


**МСКТ:**

- 1. Оценка кальциноза
- 2. Планиметрия стеноза
- 3. Оценка аорты
- 4. Оценка коронарных артерий

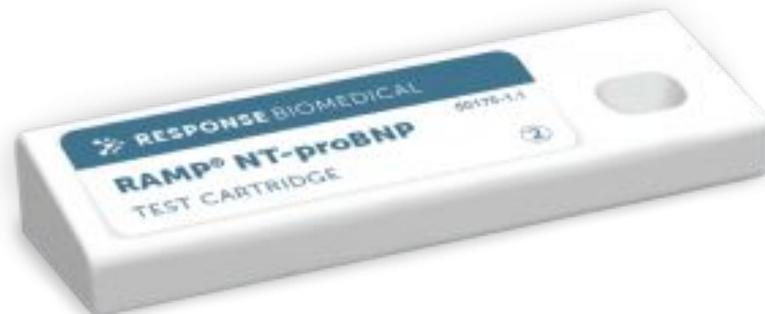


Mild AVC. Score = 200 AU Moderate AVC. score = 800 Severe AVC. Score = 2000

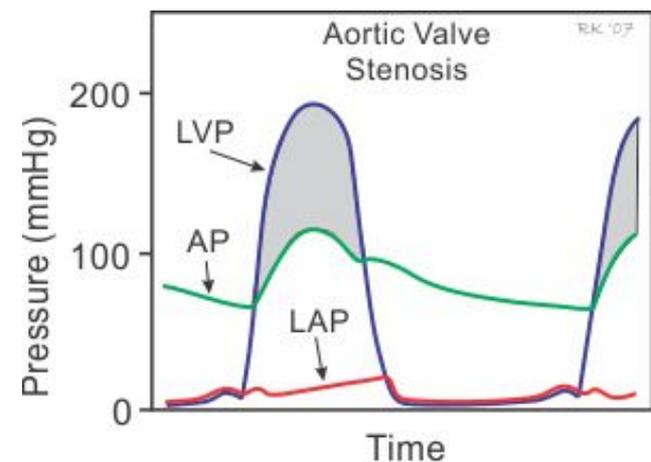


ПЭТ-КТ сердца

NT pro-BNP



Катетеризация сердца



During ventricular ejection, LVP exceeds AP (gray area, pressure gradient generated by stenosis).

# Роль мультимодальной визуализации в оценке аортального стеноза

JOURNAL OF THE AMERICAN COLLEGE OF CARDIOLOGY  
© 2017 BY THE AMERICAN COLLEGE OF CARDIOLOGY FOUNDATION  
PUBLISHED BY ELSEVIER

VOL. 70, NO. 13, 2017  
ISSN 0735-1097/\$36.00  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2017.07.732>

## APPROPRIATE USE CRITERIA

# ACC/AATS/AHA/ASE/ASNC/HRS/ SCAI/SCCT/SCMR/STS 2017 Appropriate Use Criteria for Multimodality Imaging in Valvular Heart Disease



A Report of the American College of Cardiology Appropriate Use Criteria Task Force,  
American Association for Thoracic Surgery, American Heart Association,  
American Society of Echocardiography, American Society of Nuclear Cardiology,  
Heart Rhythm Society, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions,  
Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance,  
and Society of Thoracic Surgeons

Indication	TTE	TTE With	TEE (With Possible	3D TTE	Ex.-SE	DSE	Low-Dose	RVG	FDG-	MPI	CMR	CCT	ANG	Fluoro
		Contrast	3D)				DSE		PET	(SPECT/PET)				
<b>Aortic Stenosis</b>														
23. ■ Symptomatic, severe AS by calculated valve area (stage D2) AND ■ Low flow/low gradient AND ■ Low LVEF		R (3)	M (5)	R (1)	R (1)	R (1)	A (8)	R (1)		R (1)	M (4)	M (4)	R (1)	R (1)
24. ■ Severe AS, by calculated valve area AND ■ Low flow/low gradient AND ■ Preserved LVEF and for assessment of morphology, including calcification		R (2)	M (6)	R (3)	R (1)	R (1)	M (4)	R (1)		R (1)	M (5)	M (6)	R (1)	R (1)
25. ■ Moderate or asymptomatic severe AS (stages B and C), for measurement of changes in valve hemodynamics with exercise or pharmacological stress		R (1)	R (1)	R (1)	A (8)	R (1)	M (4)	R (1)		R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)
26. ■ Symptomatic severe AS (stage D), for measurement of changes in valve hemodynamics with exercise or pharmacological stress		R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)		R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)



**TABLE 7A** Pre-TAVR Evaluation

Indication	Modality												
	TTE	TEE (With Possible 3D)	3D TTE	Ex.-SE	DSE	Low-Dose DSE	RVG	MPI (SPECT/PET)	CMR	CCT	ANG	Fluoro	
72. ■ Assessment for concomitant coronary artery disease	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	M (4)	R (1)	M (5)	A (9)	R (1)	
73. ■ Accurate assessment of annular size and shape*	R (3)	A (7)	M (4)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	A (7)	A (9)	R (1)	R (1)	
74. ■ Assessment of number of cusps and degree of calcification	A (7)	A (7)	M (6)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	M (4)	A (9)	R (1)	R (1)	
75. ■ Measurement of the distance between annulus and the coronary ostia	R (1)	M (6)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	M (5)	A (9)	M (4)	R (1)	
76. ■ Precise coaxial alignment of the implant within the centerline of the aortic valve	R (1)	R (3)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (2)	A (8)	R (1)	R (1)	
77. ■ Assessment of aortic dimensions	R (1)	M (4)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	A (7)	A (9)	R (2)	R (1)	
78. ■ Assessment of aortic atherosclerotic burden	R (1)	M (5)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	M (4)	A (9)	M (4)	R (1)	
79. ■ Assessment of iliofemoral vessels	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	R (1)	M (5)	A (9)	M (5)	R (1)	

# Спасибо за внимание!

