

Современные способы эхокардиографической оценки аортального стеноза

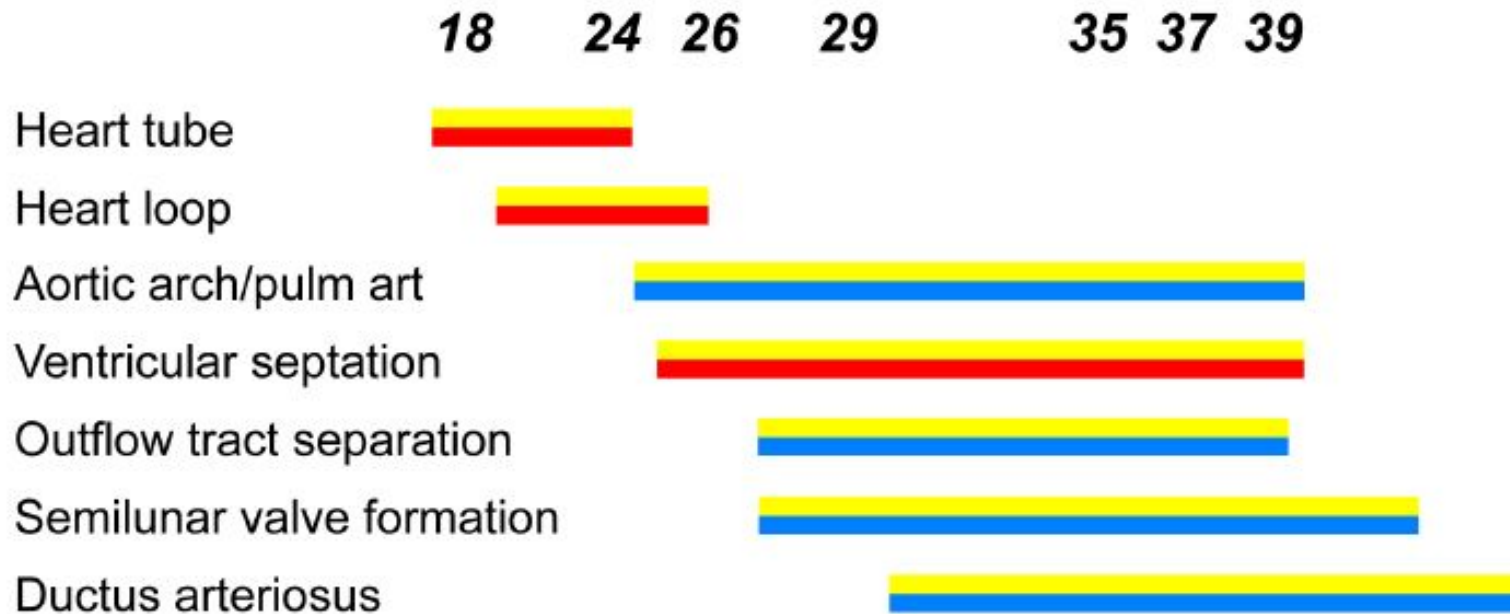
Е.А. Карев, П.С. Козлов, М.Н. Прокудина



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

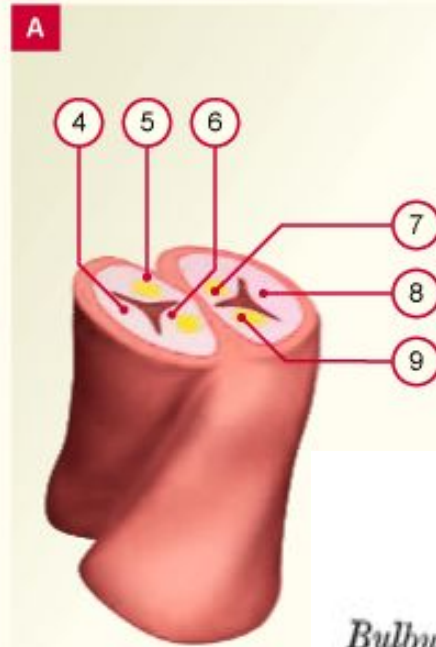
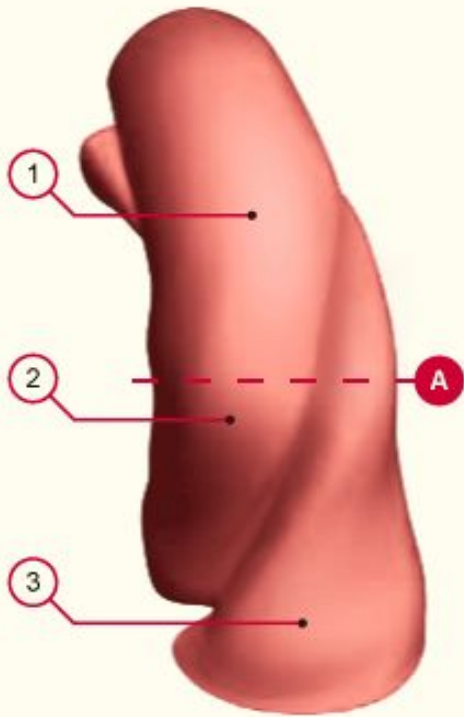
Эмбриогенез

Post-Fertilization Days

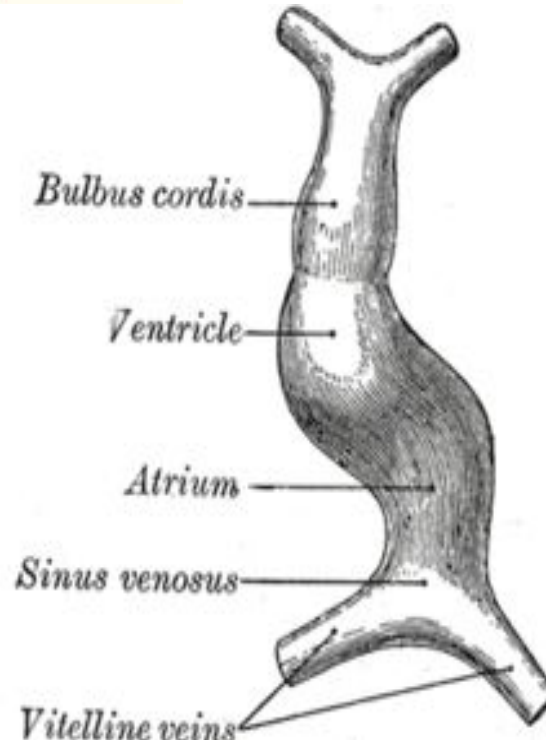


- ❖ Красный – первая сердечная пластина
- ❖ Желтый – вторая сердечная пластина
- ❖ Синий – сердечный нервный гребень

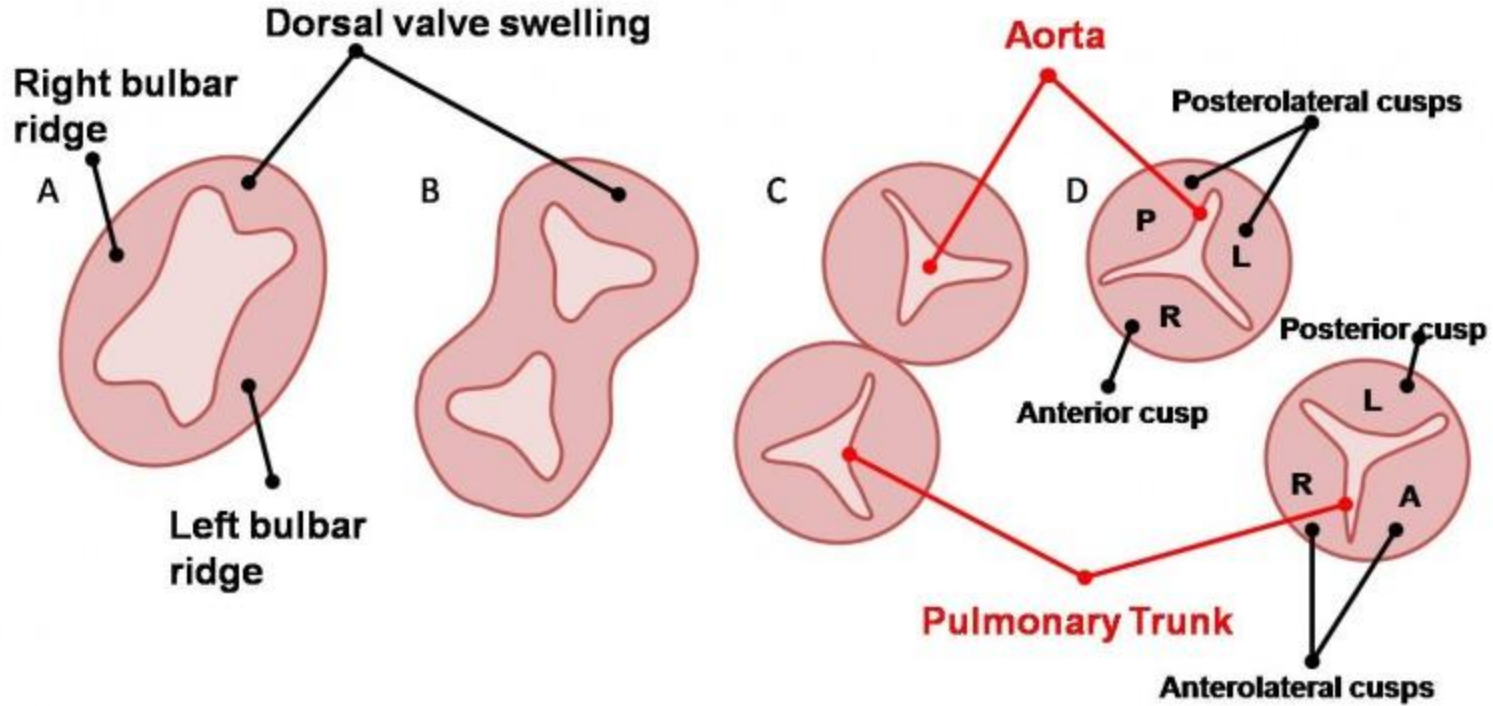
Эмбриогенез



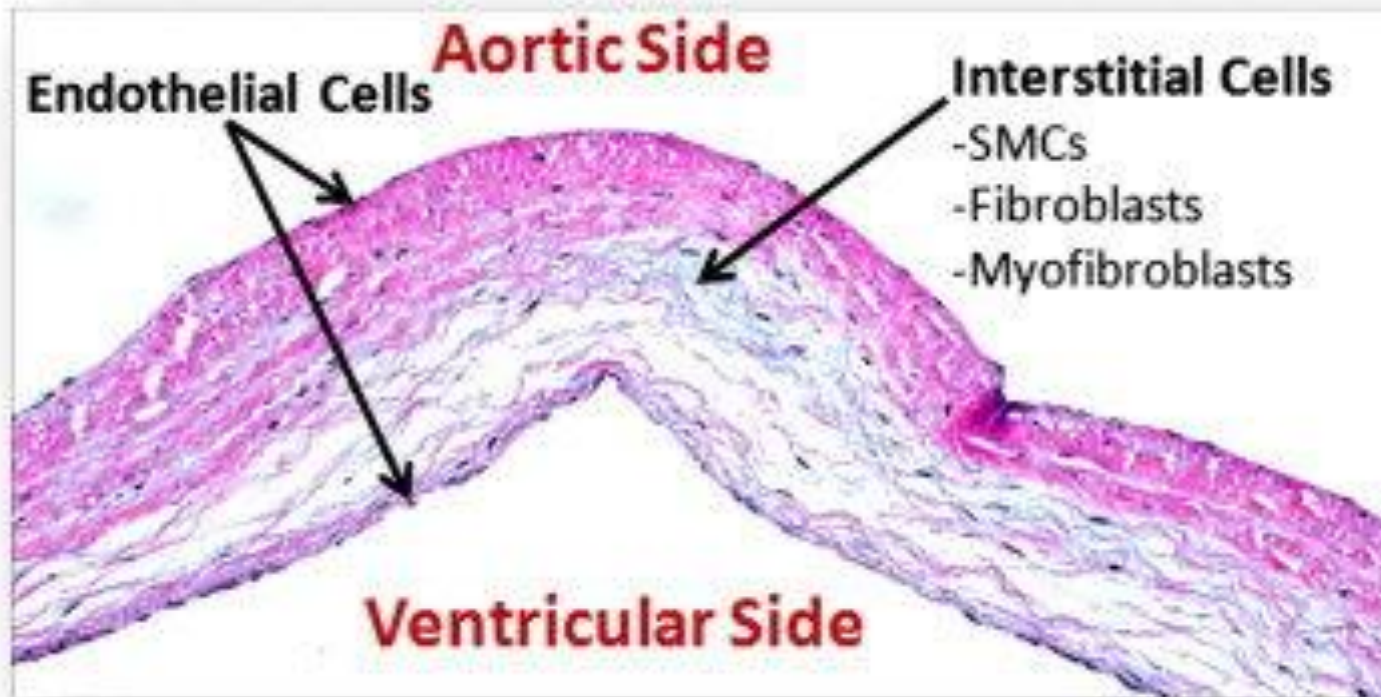
- 1 Аорта
- 2 Конотрункальная складка
- 3 Лёгочный ствол
- 4 Задняя аортальная створка
- 5 Левая аортальная створка
- 6 Правая аортальная створка
- 7 Правая створка ПК
- 8 Передняя створка ПК
- 9 Левая створка ПК



Эмбриогенез



Нормальная гистология аортального клапана



Нормальная анатомия аортального клапана

❖ 3 створки в форме полумесяца

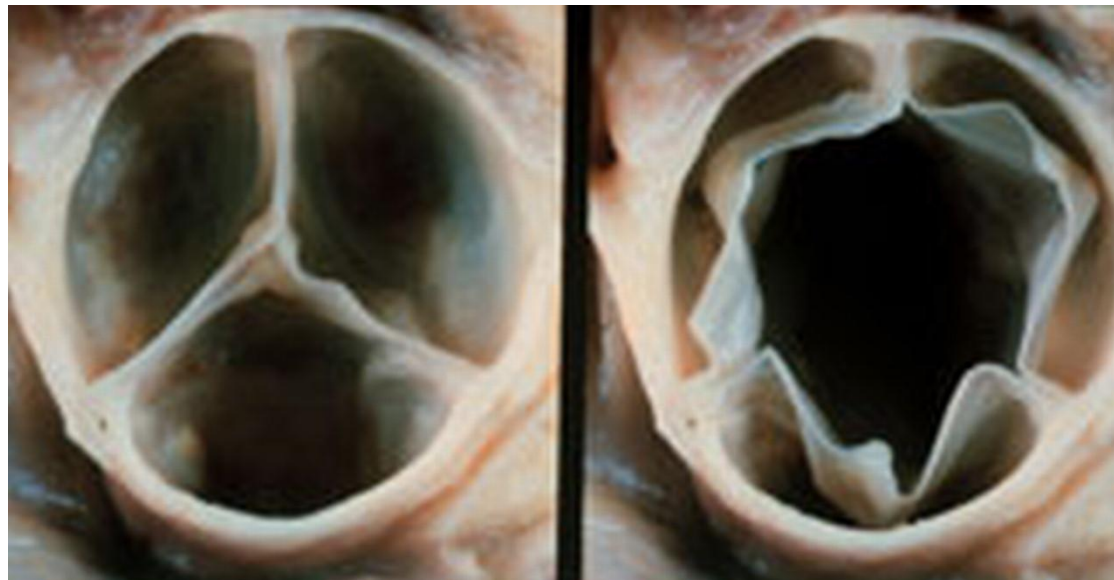
3 комиссуры

3 синуса

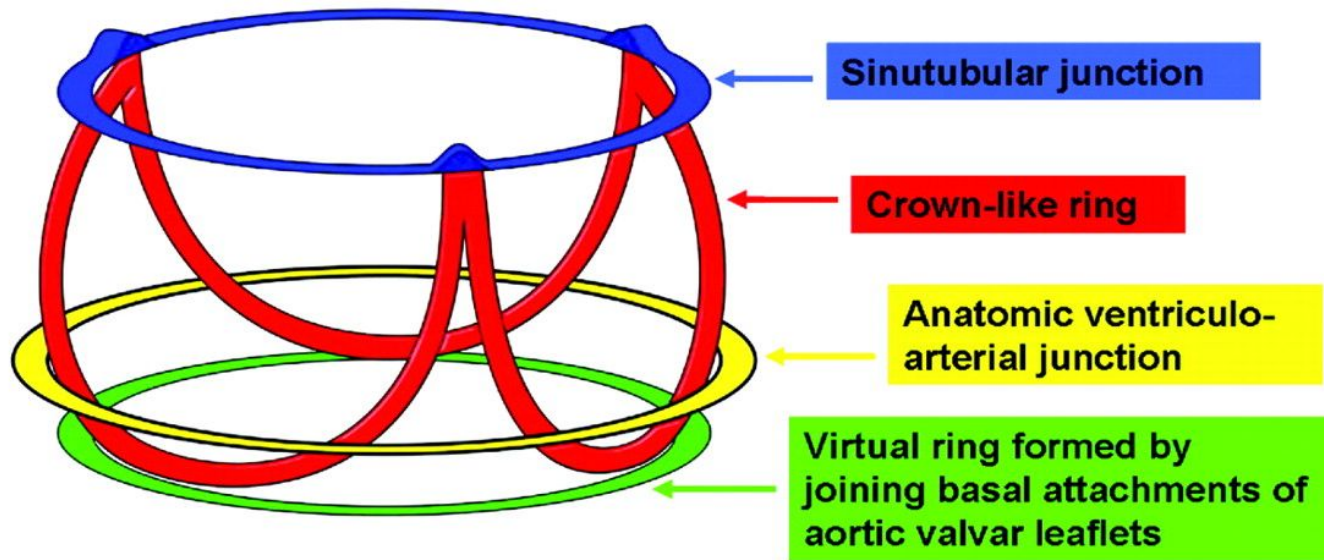
фиброзное кольцо

❖ AVA 3.0 - 4.0 cm²

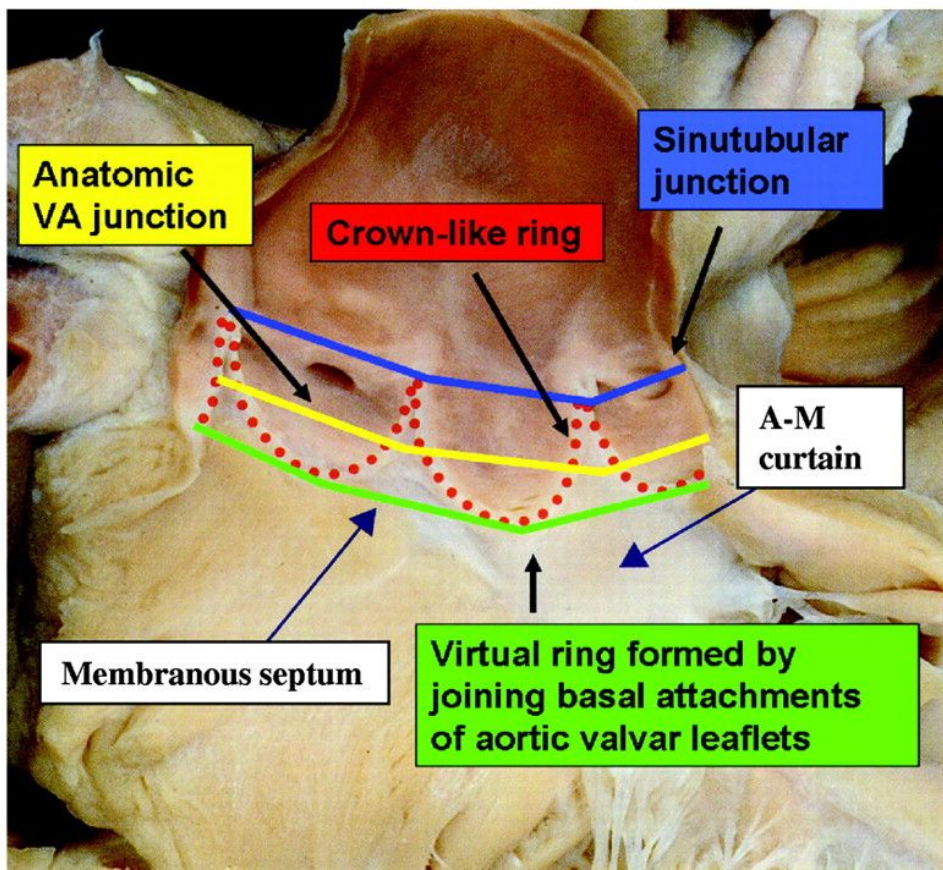
❖ Узелки Аранция



A

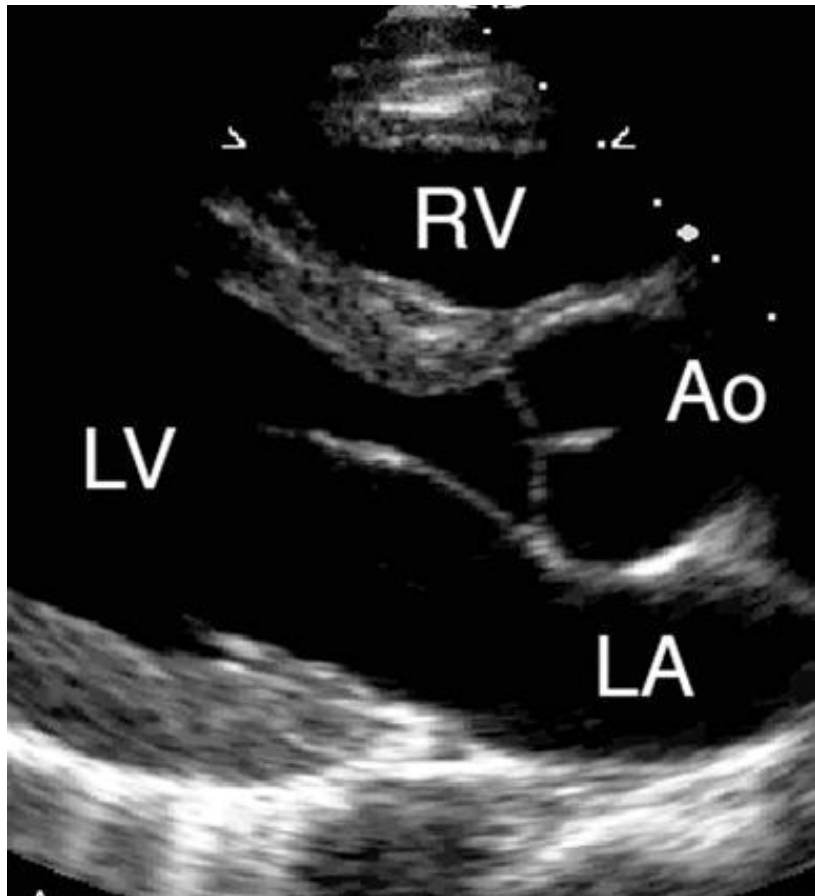


B

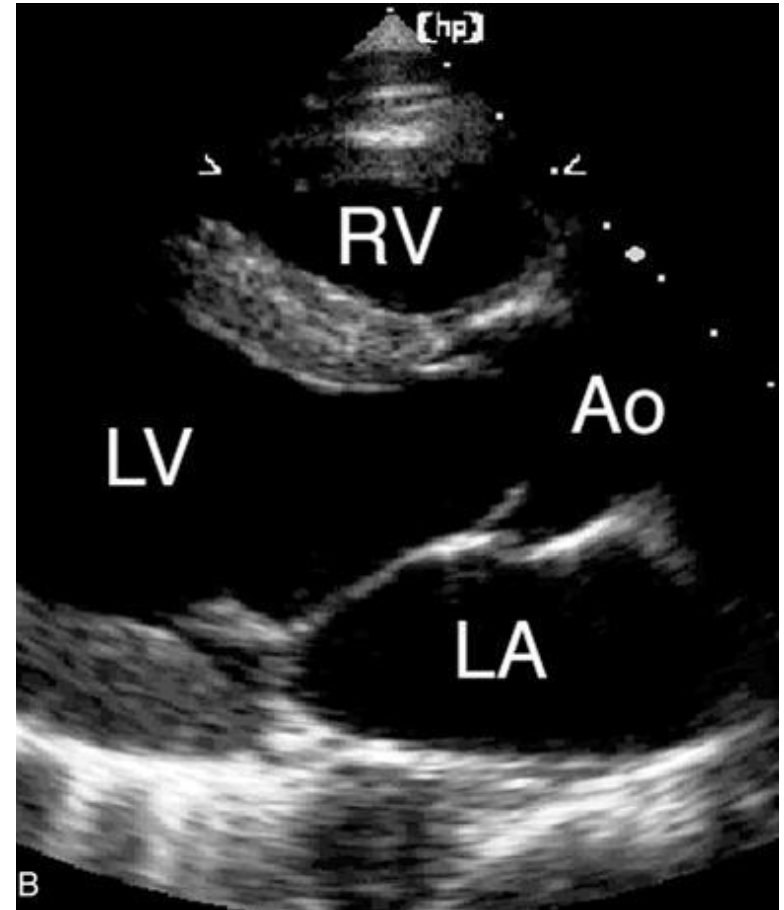


Парастернальная продольная ось

- Диастола



- Систола



Короткая ось

- Диастола

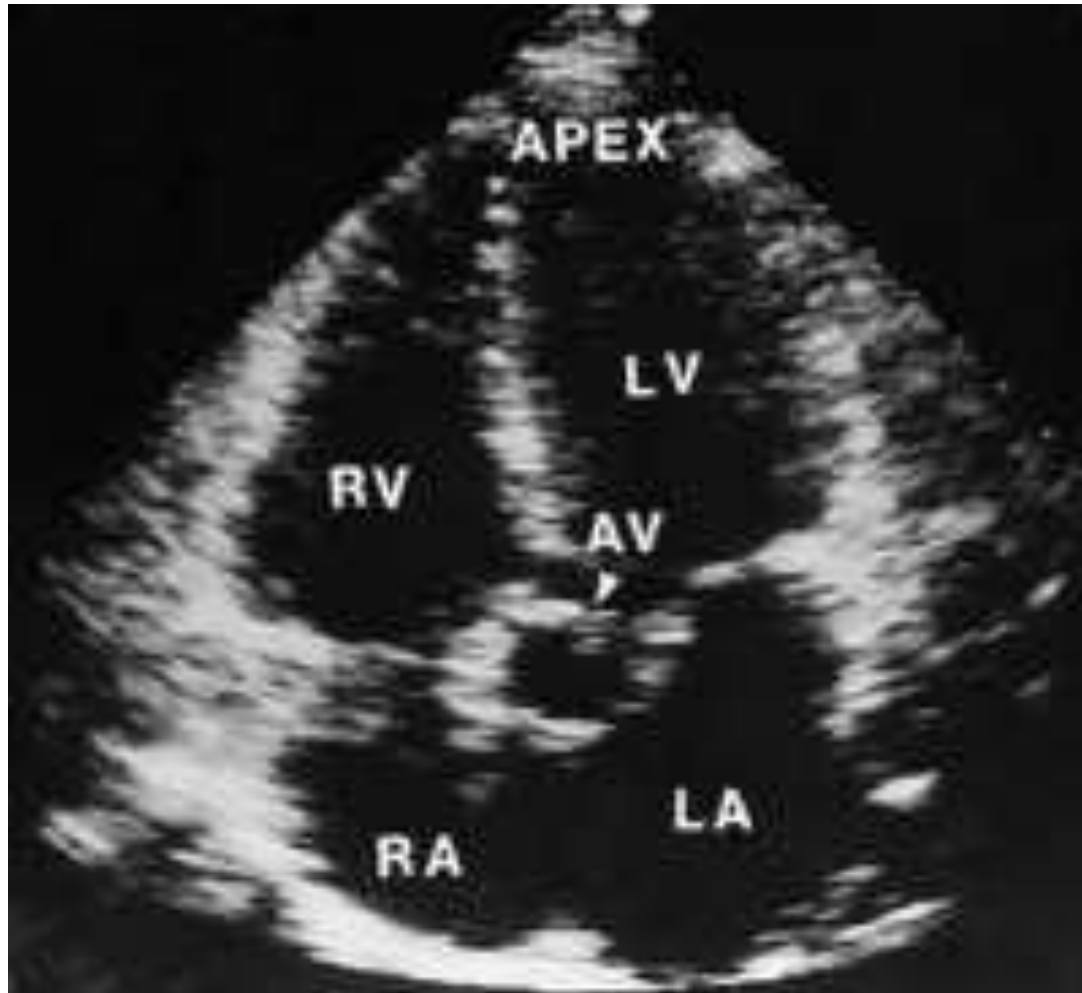
- Систола



Y or inverted Mercedes-Benz sign



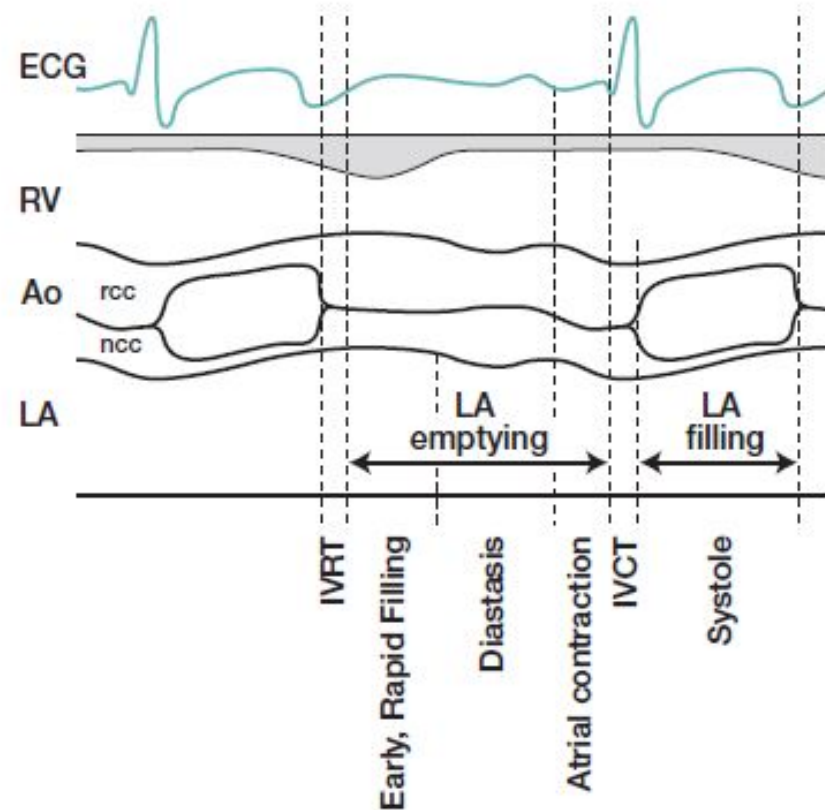
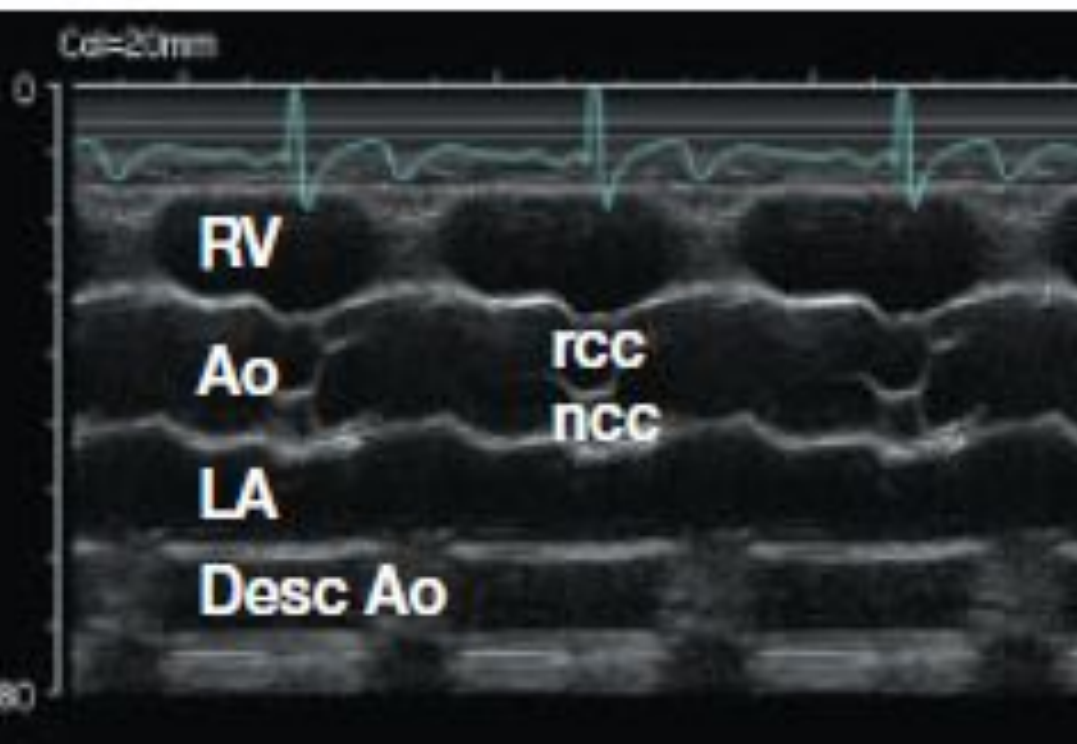
Апикальное «пятикамерное» сечение



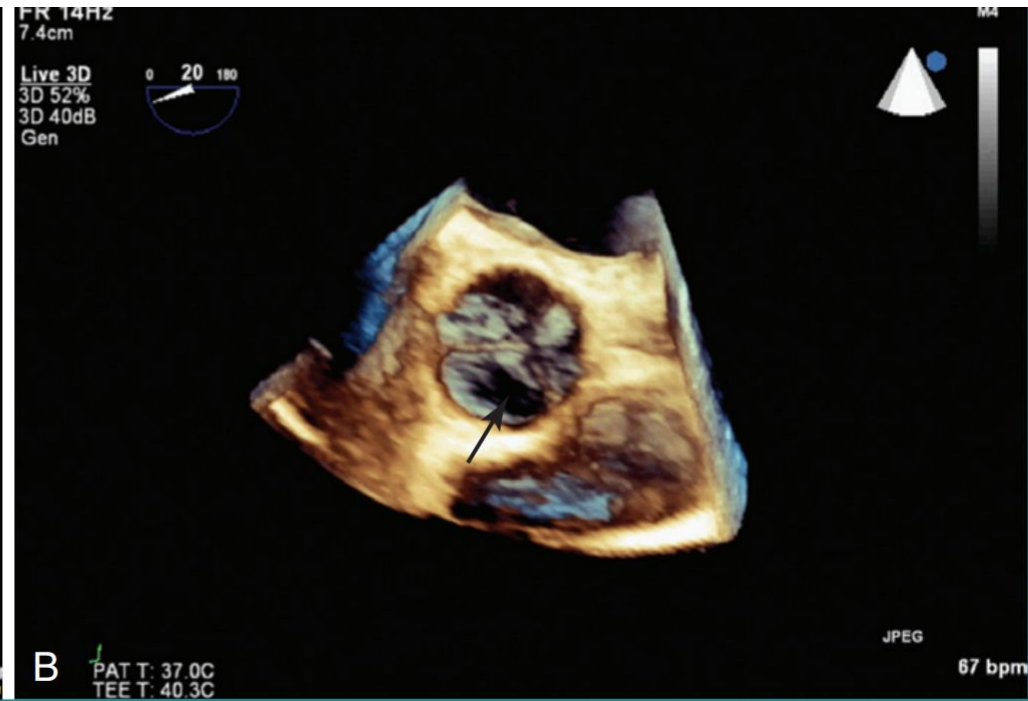
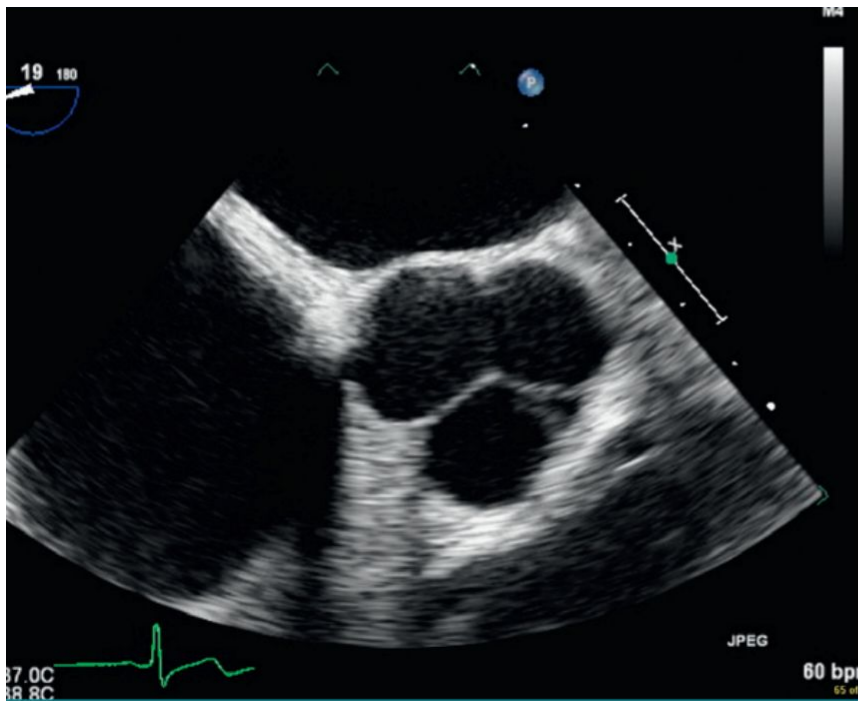
Надгрудный доступ



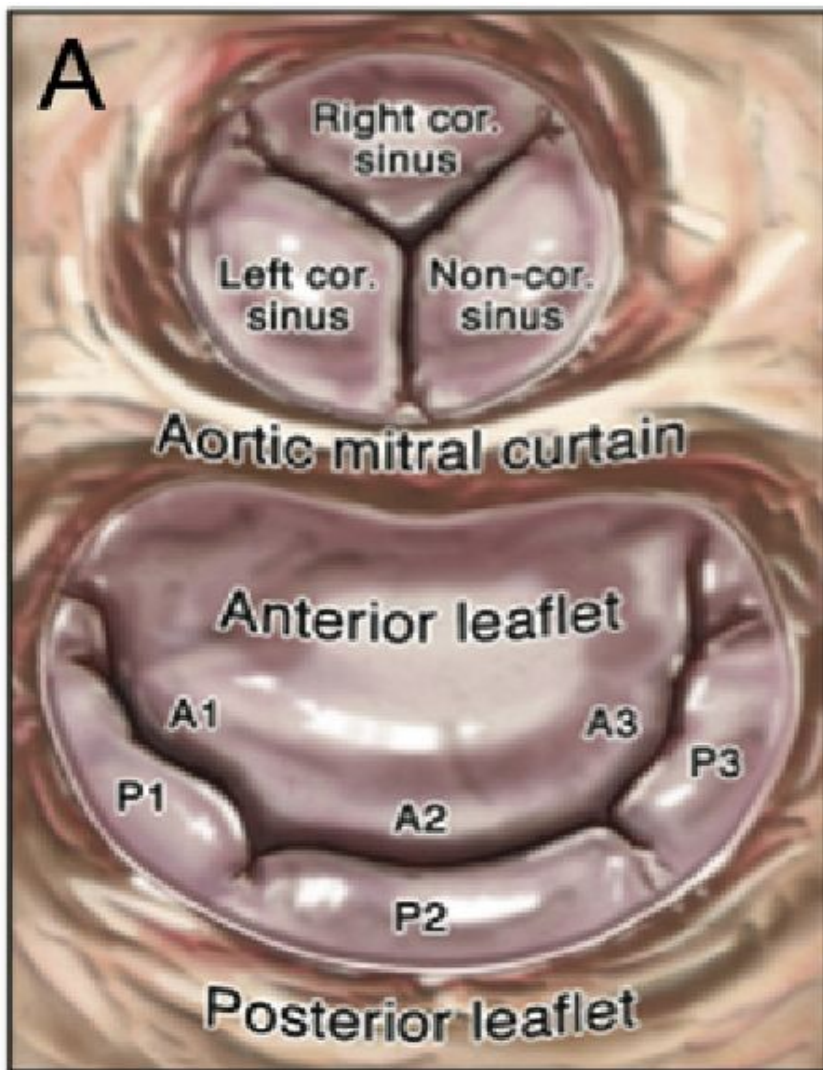
M режим. Нормальный АК



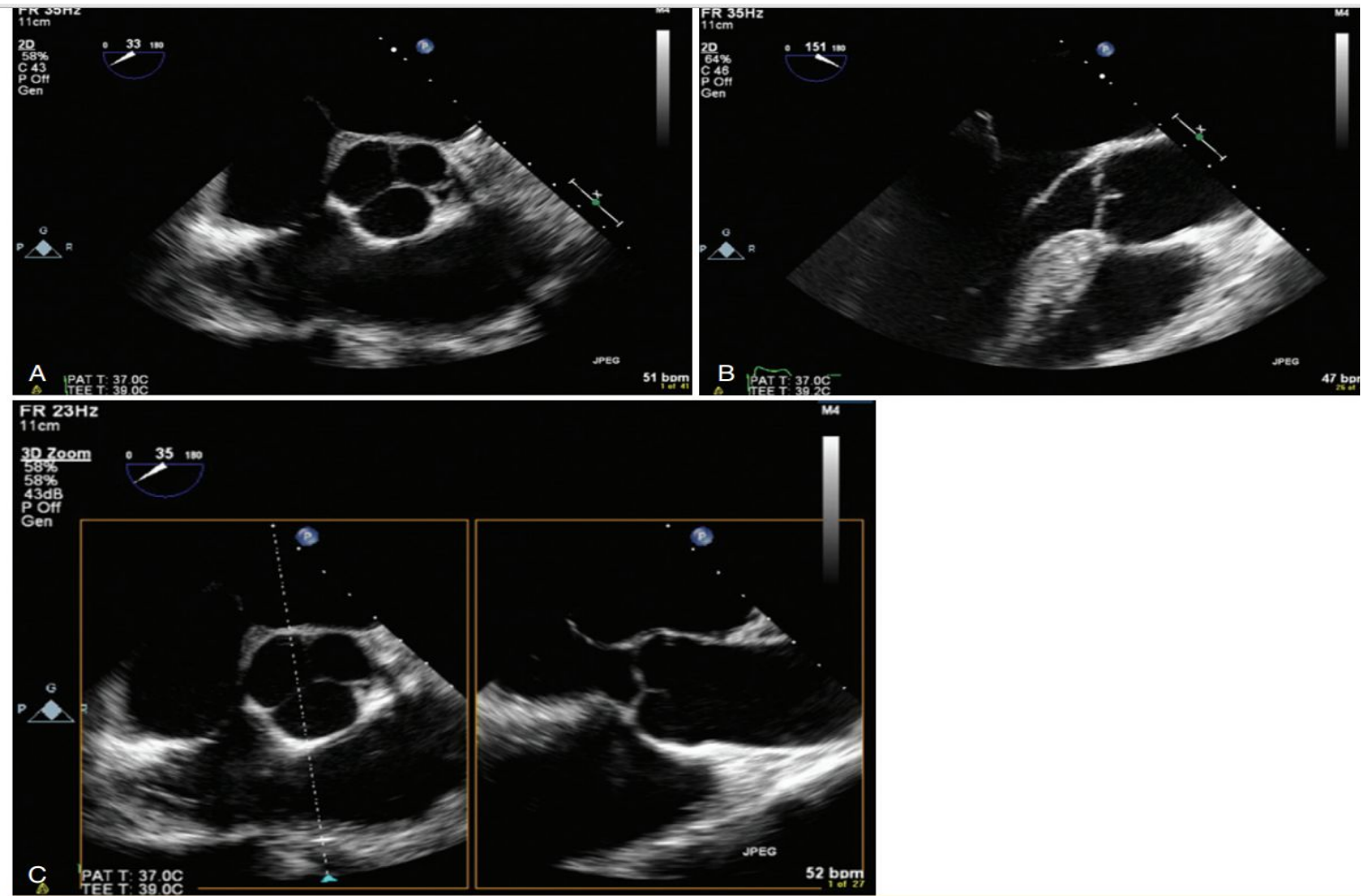
2D и 3D изображение АК



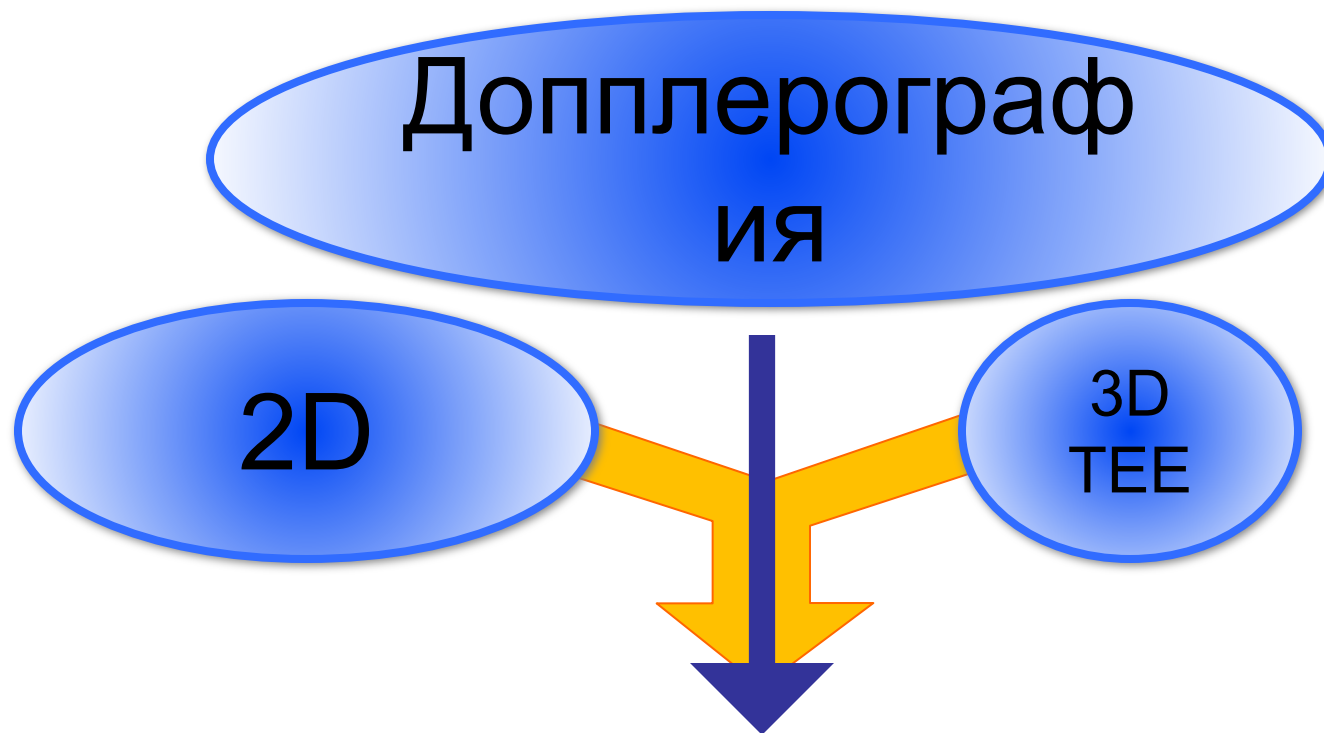
Взаимоотношения АК и МК в 3D



ЧПЭХО. Режим X-plane



Возможности эхокардиографии



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

АОРТАЛЬНЫЙ СТЕНОЗ

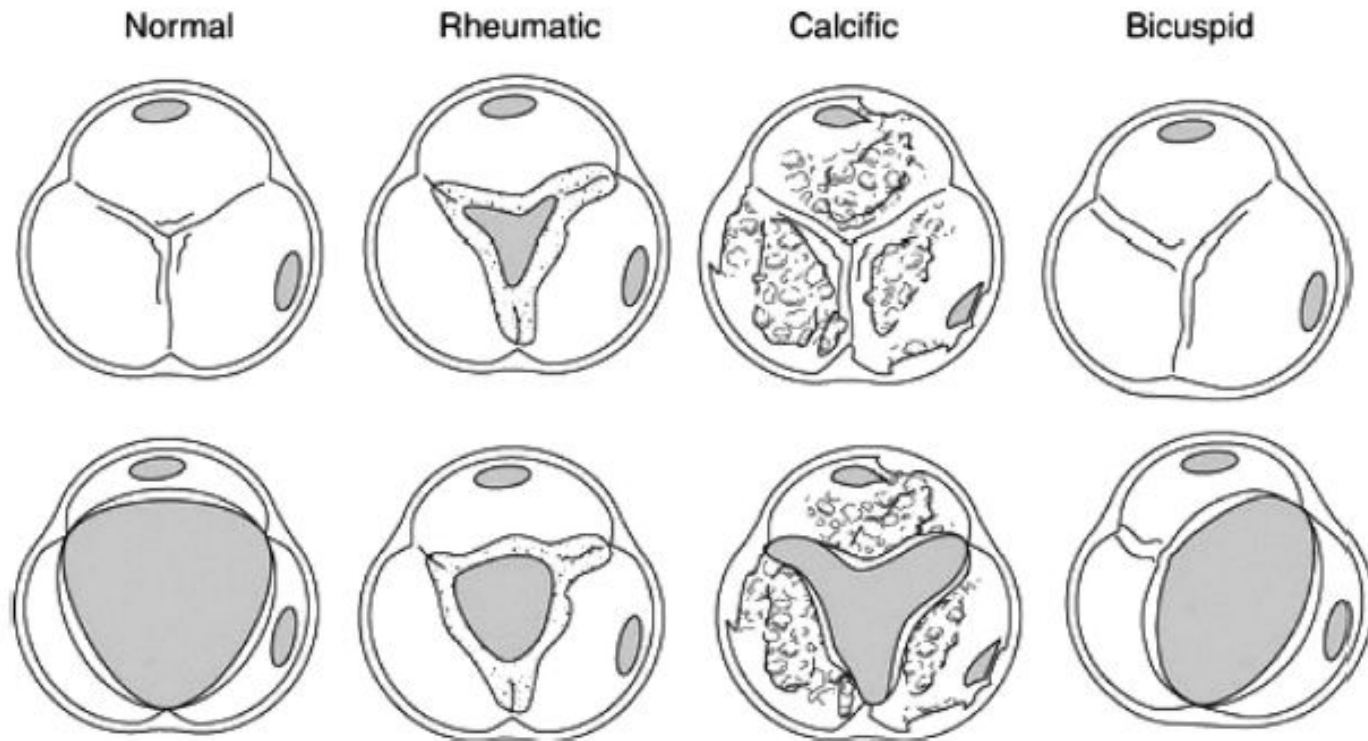
Пациент с аортальным стенозом

- 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

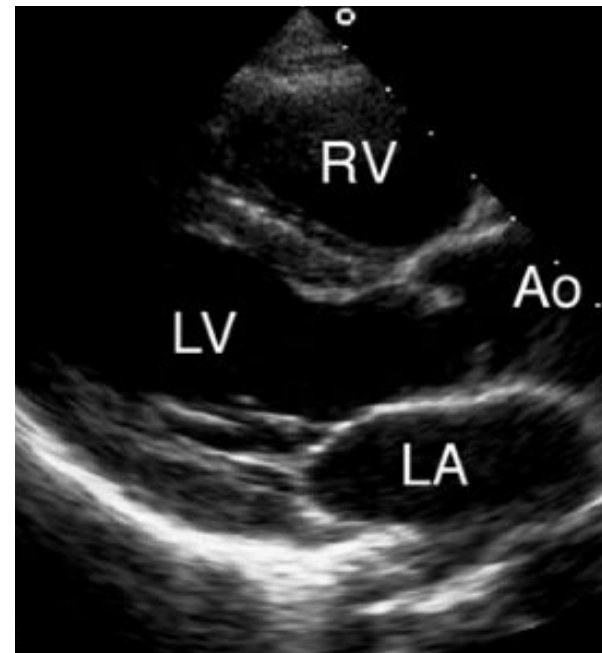
ЧПЭХОКГ при субоптимальном качестве изображения

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%.

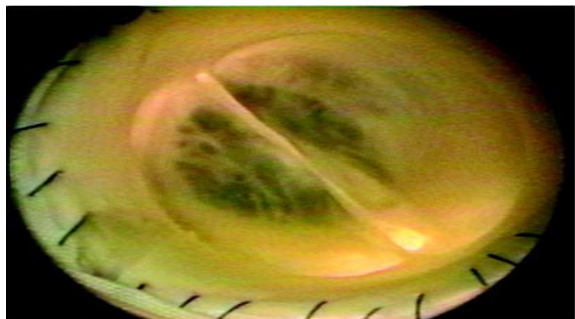
Бикуспидальный аортальный клапан

- 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



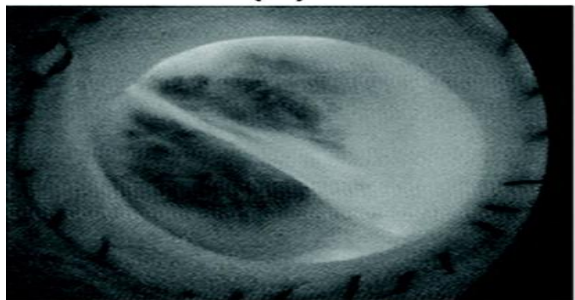
(a)



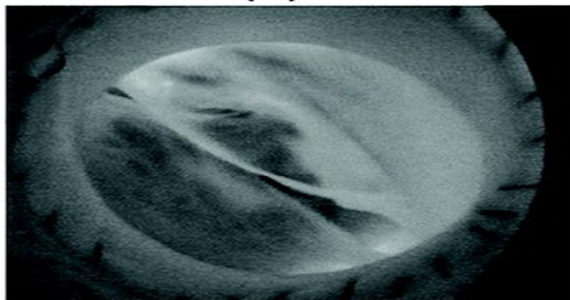
(b)



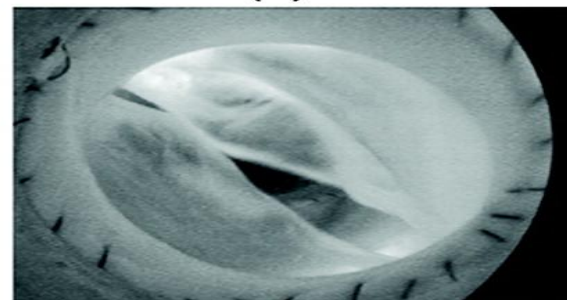
(c)



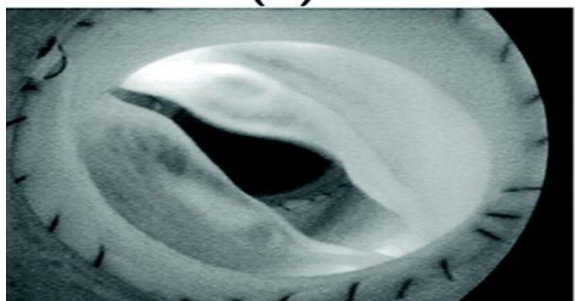
(d)



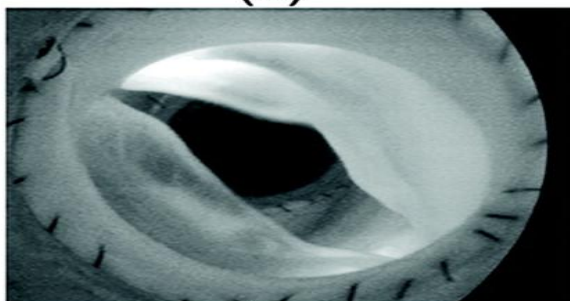
(e)



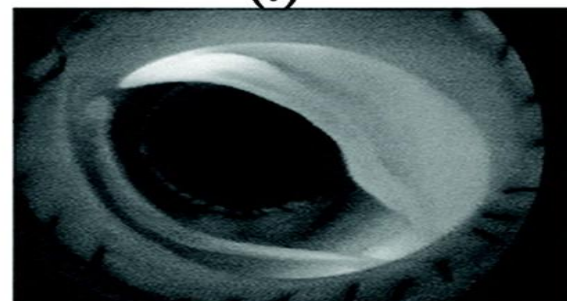
(f)



(g)



(h)



(i)

Бикуспидальный аортальный клапан

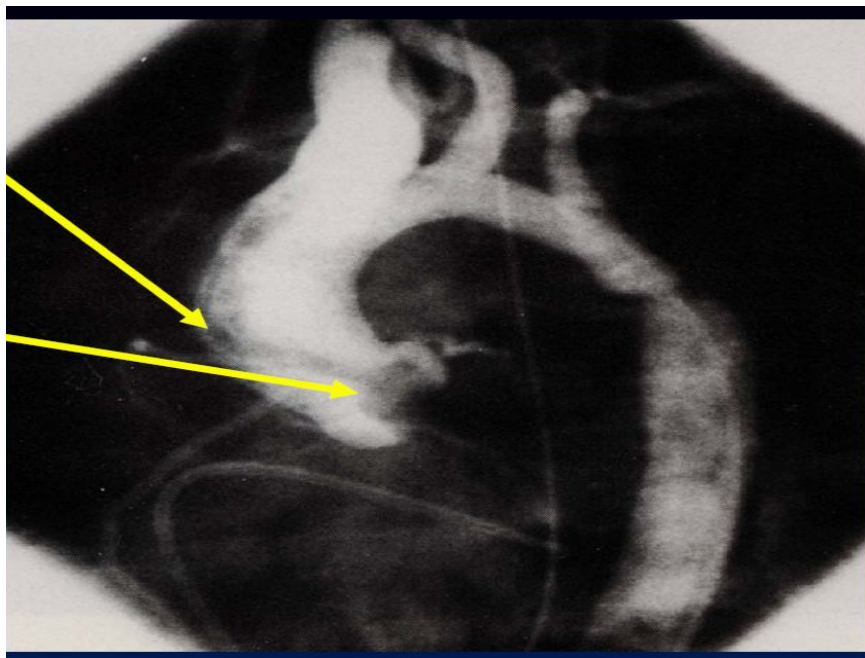
Патология аорты

- Гистологически всегда изменена независимо от наличия АС или АН.
- Изменения среднего слоя сходные с наблюдаемыми при синдроме Марфана

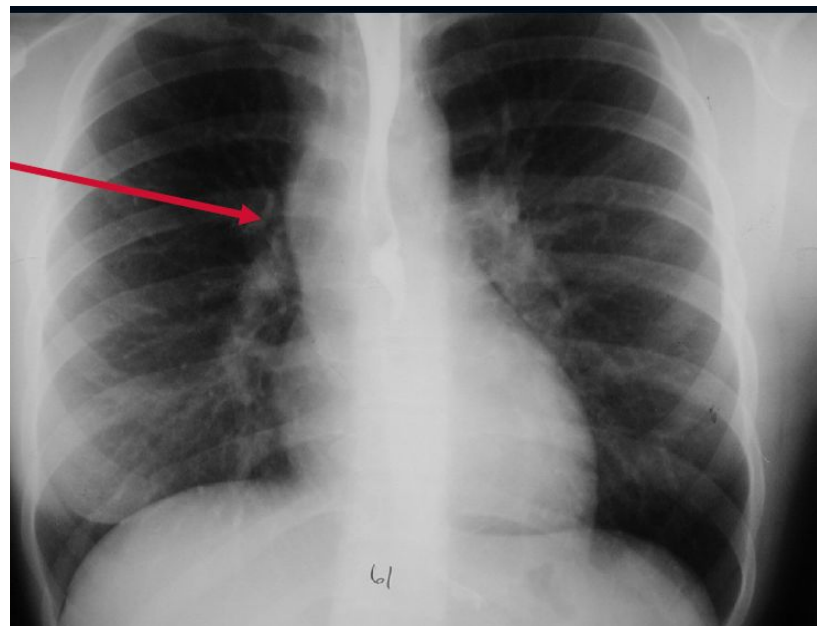
- Может быть частью синдрома Shone (Shone's complex)
 - Парашютный МК
 - Коарктация аорты
 - Субаортальный стеноз
 - Надклапанное фиброзное кольцо МК

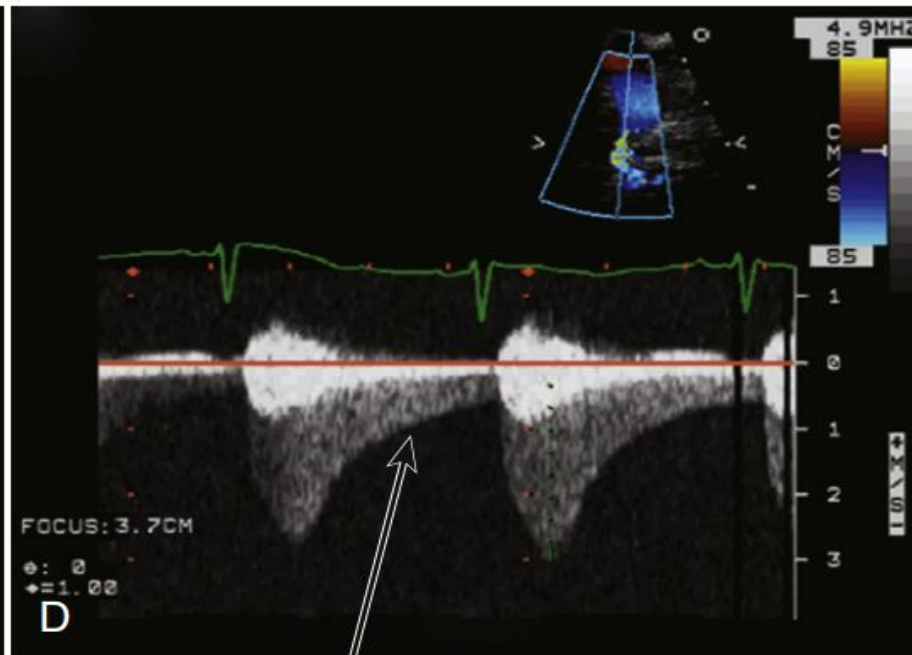
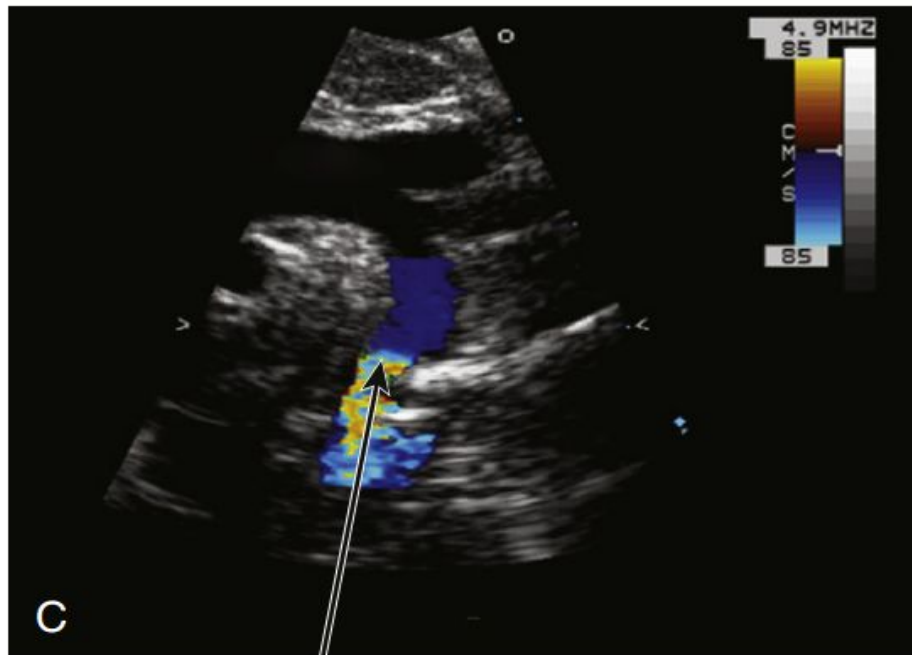
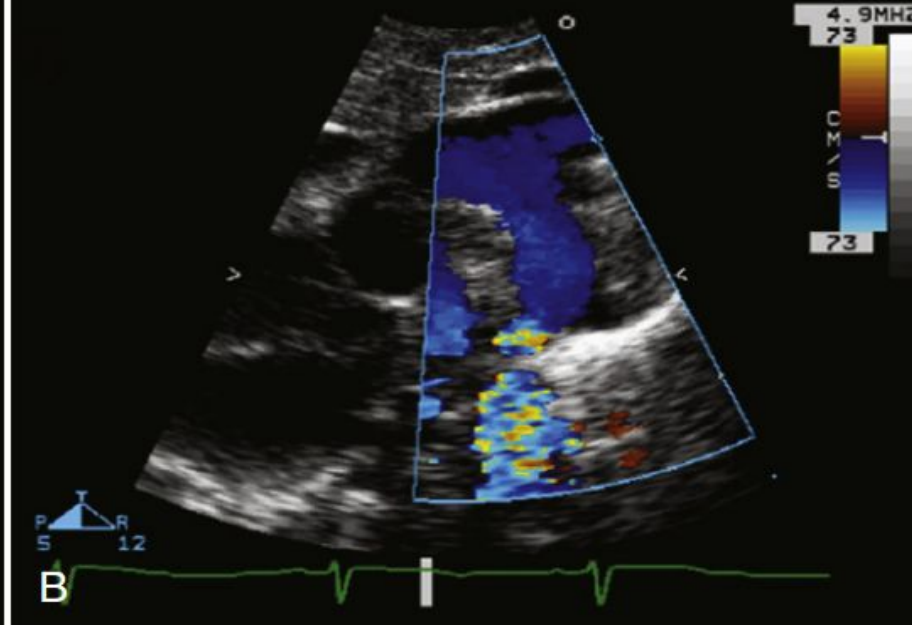
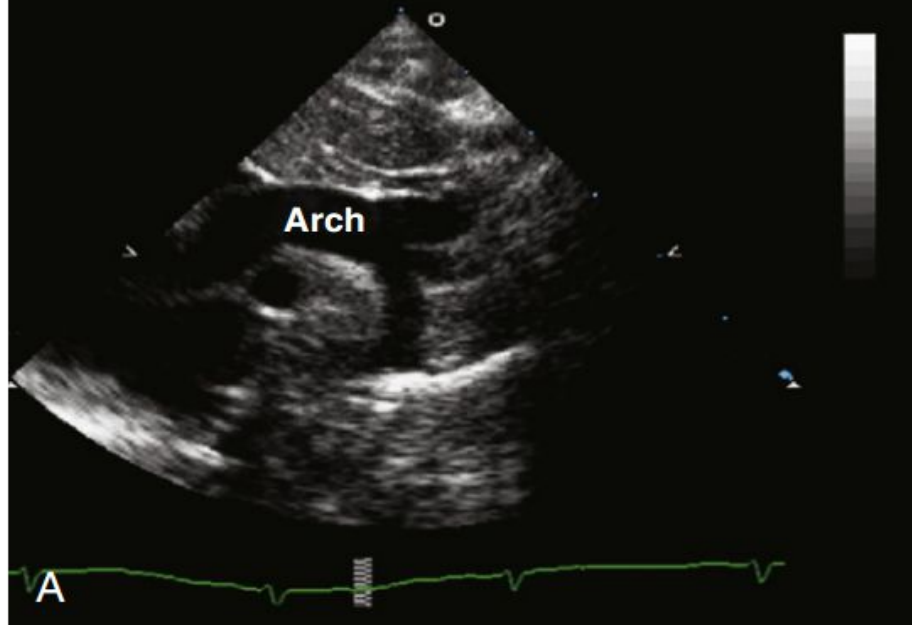
Бикуспидальный аортальный клапан

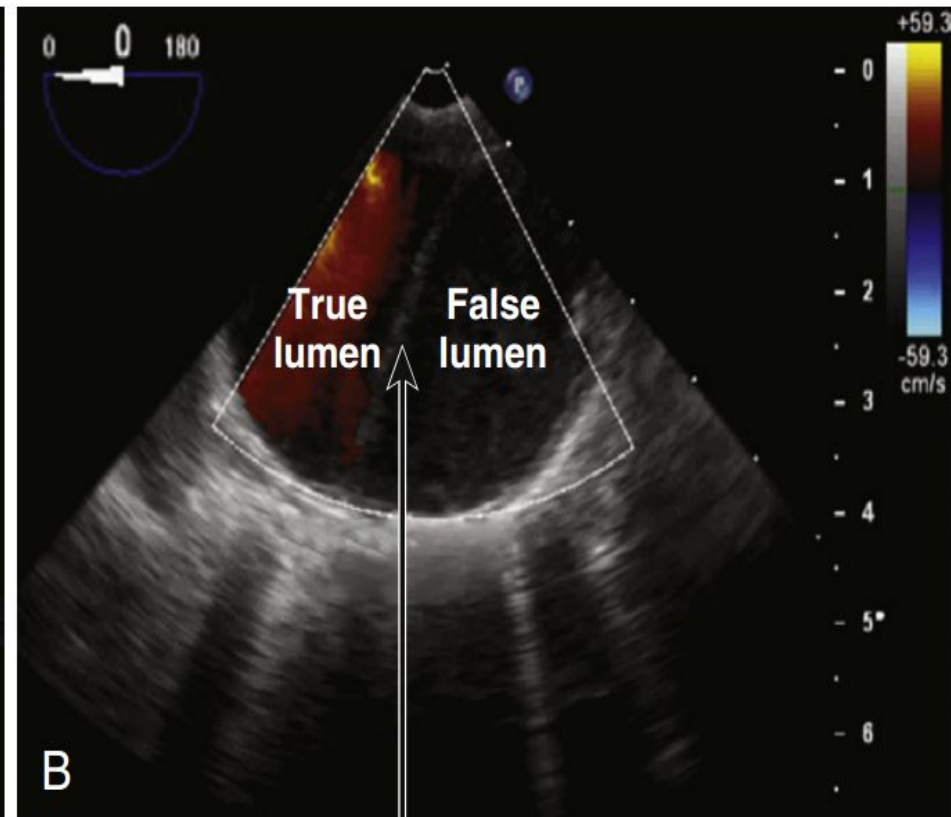
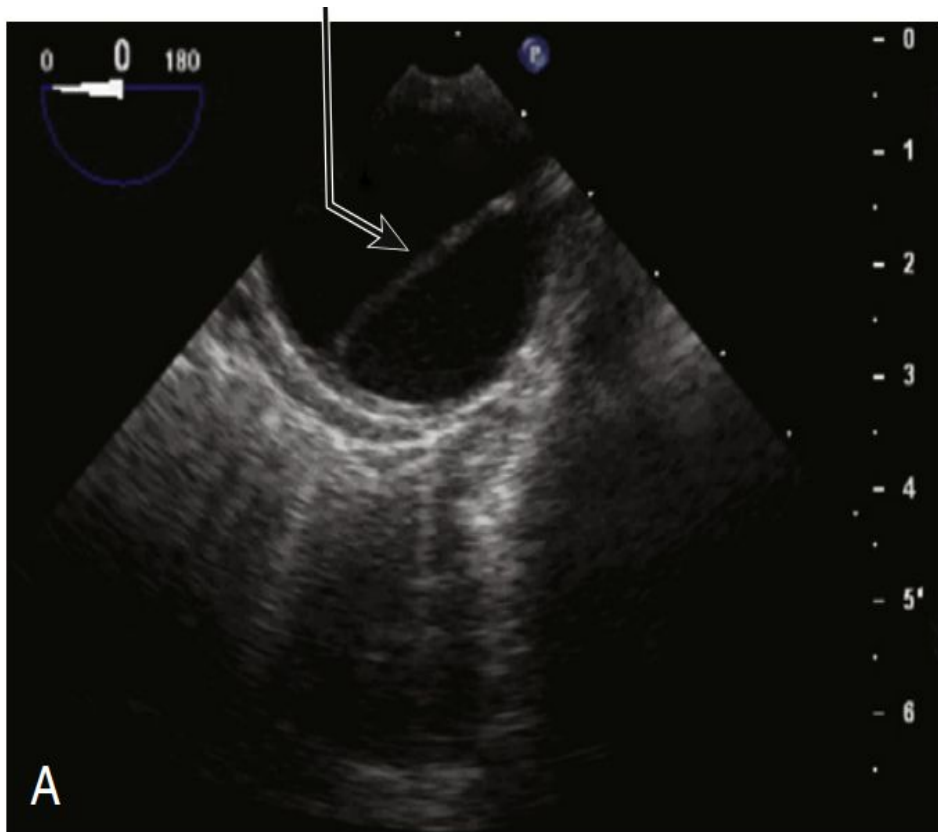
Аортография



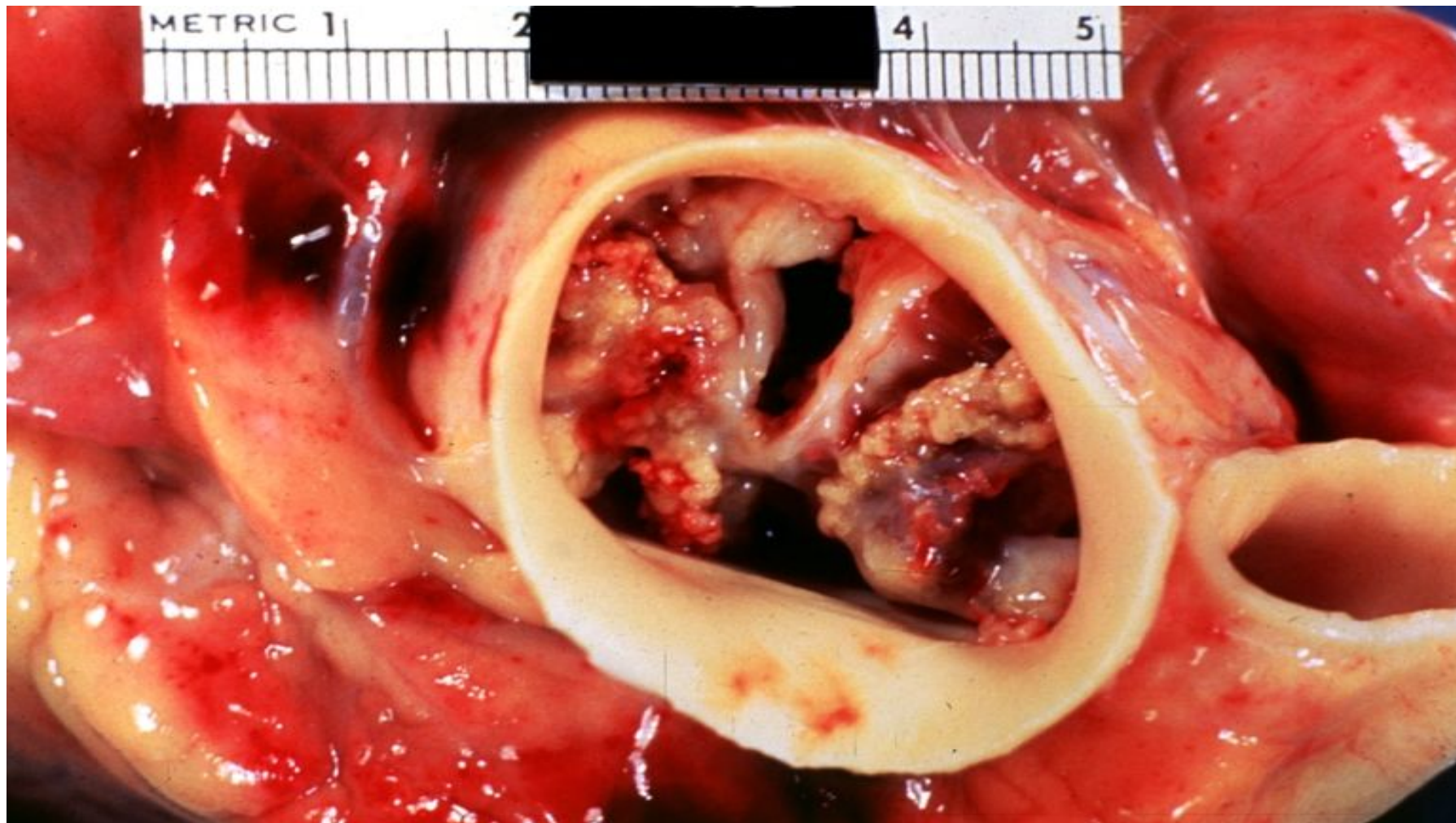
Рентгенограмма







Однополулунный аортальный клапан



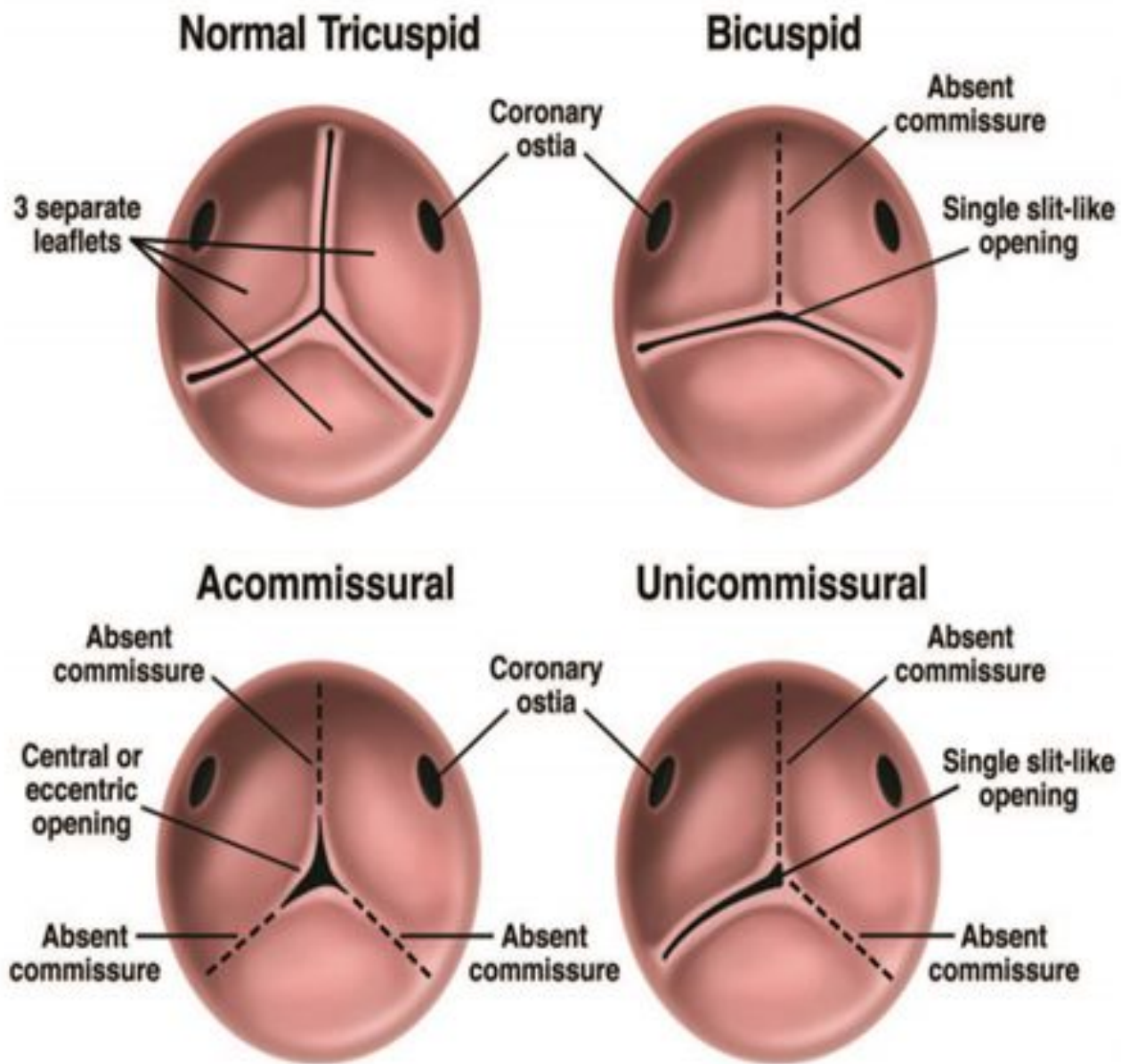
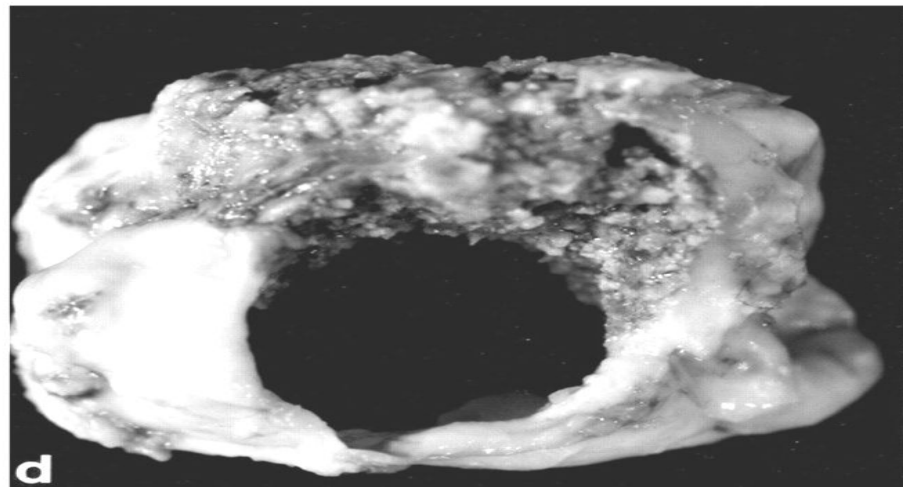
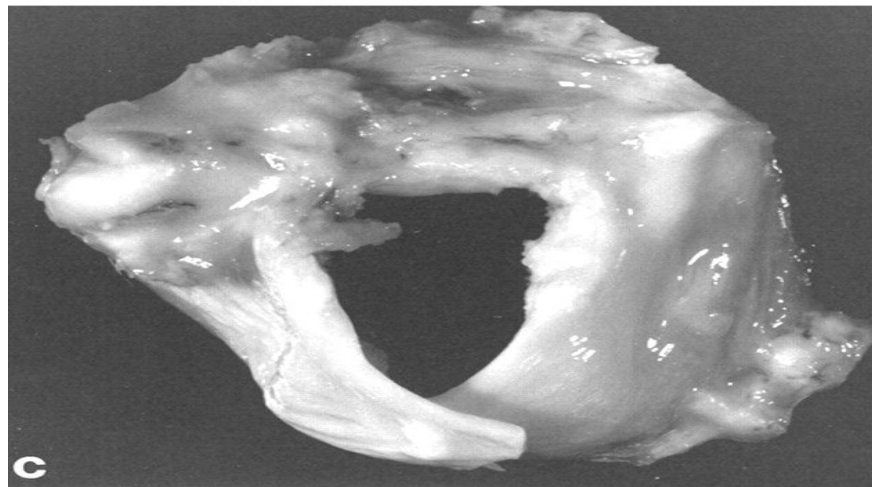
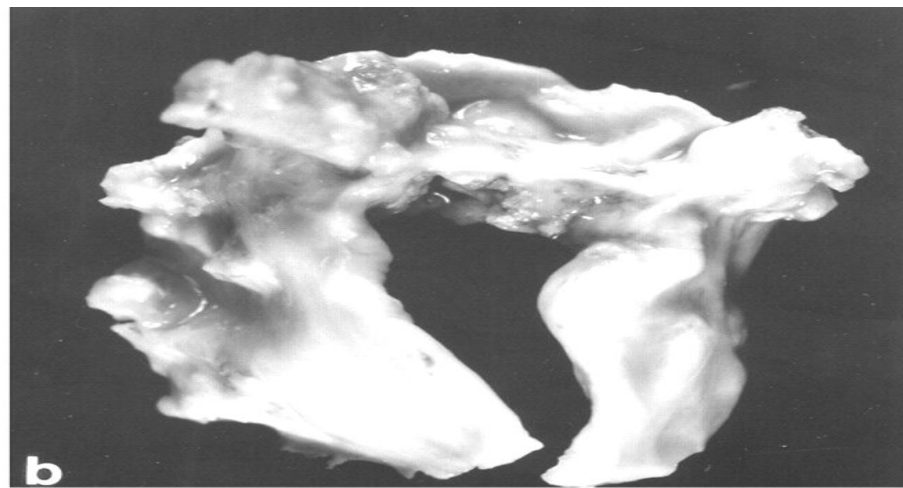
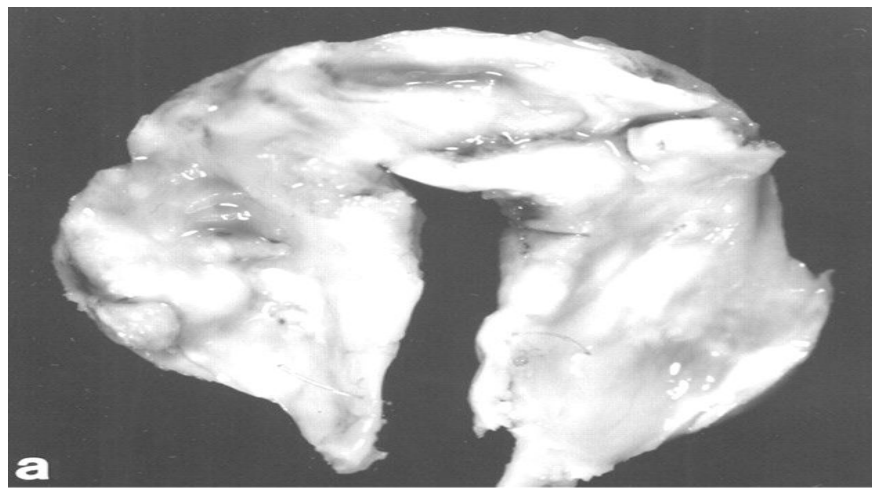
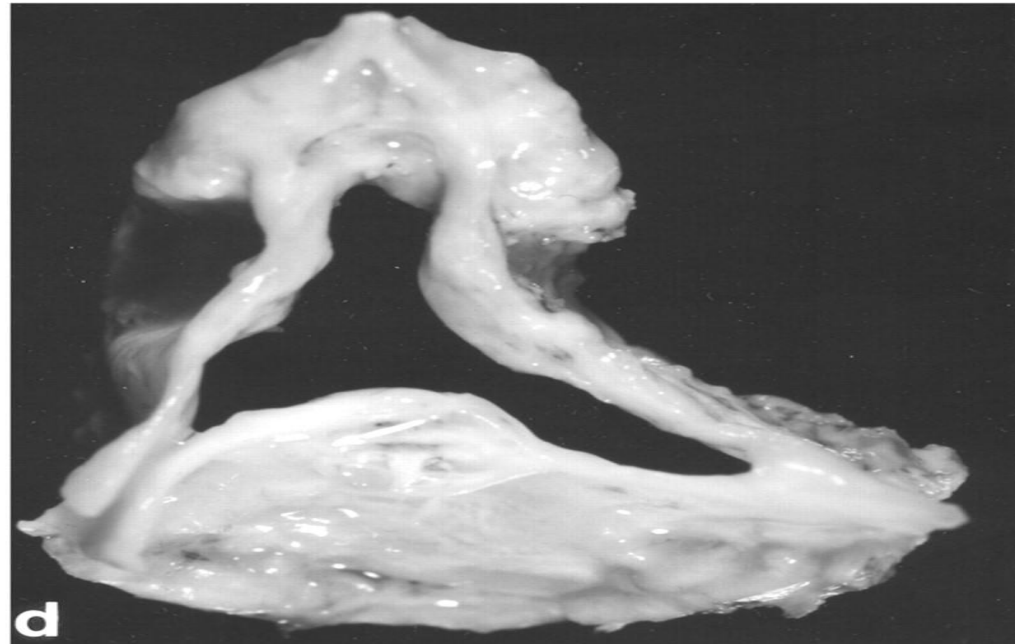
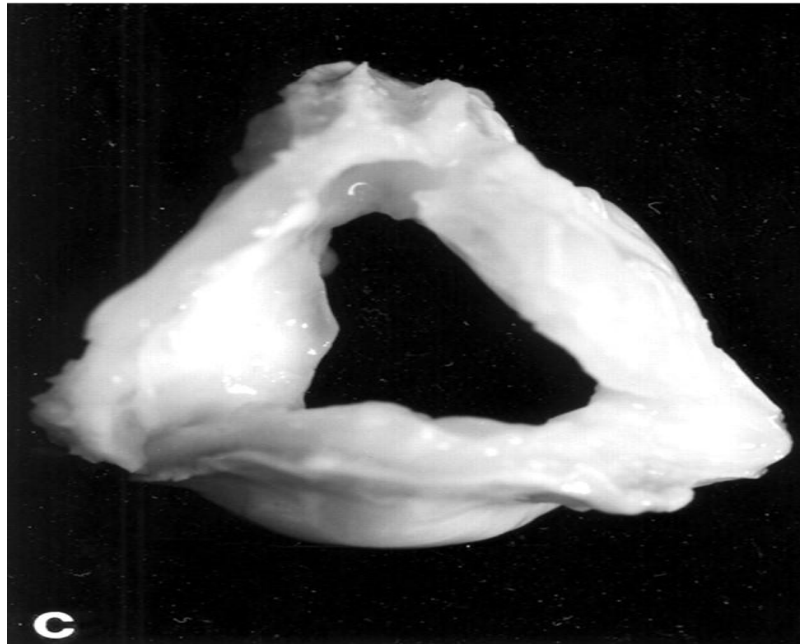
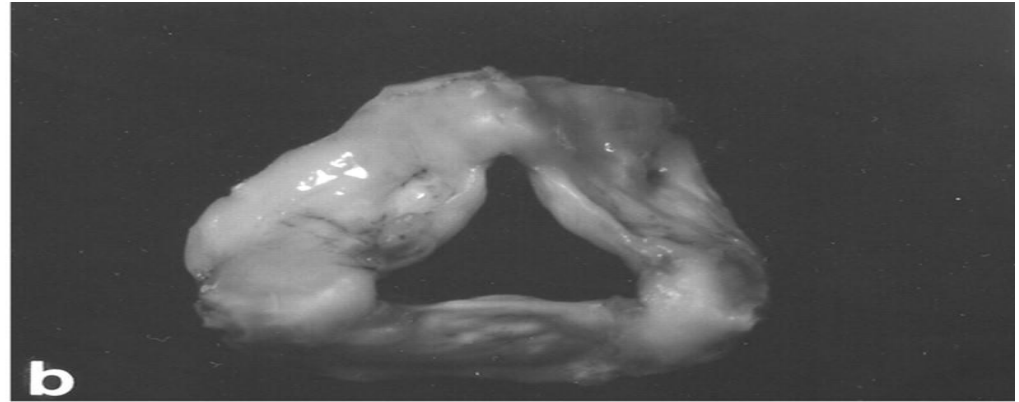
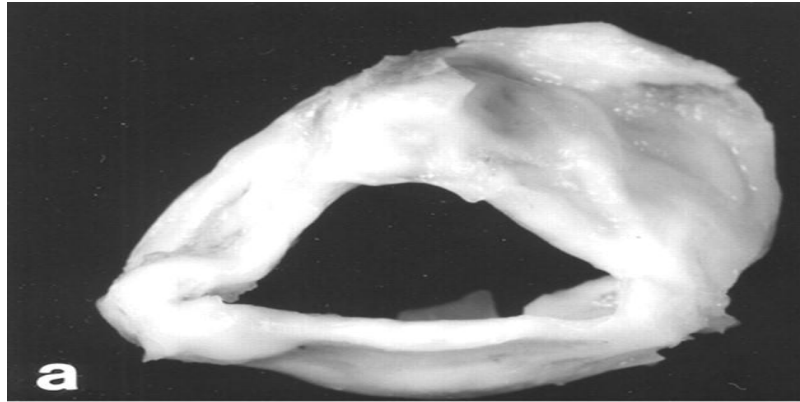


Fig. 1. Slit-shaped and pinhole shaped unicuspid aortic valves

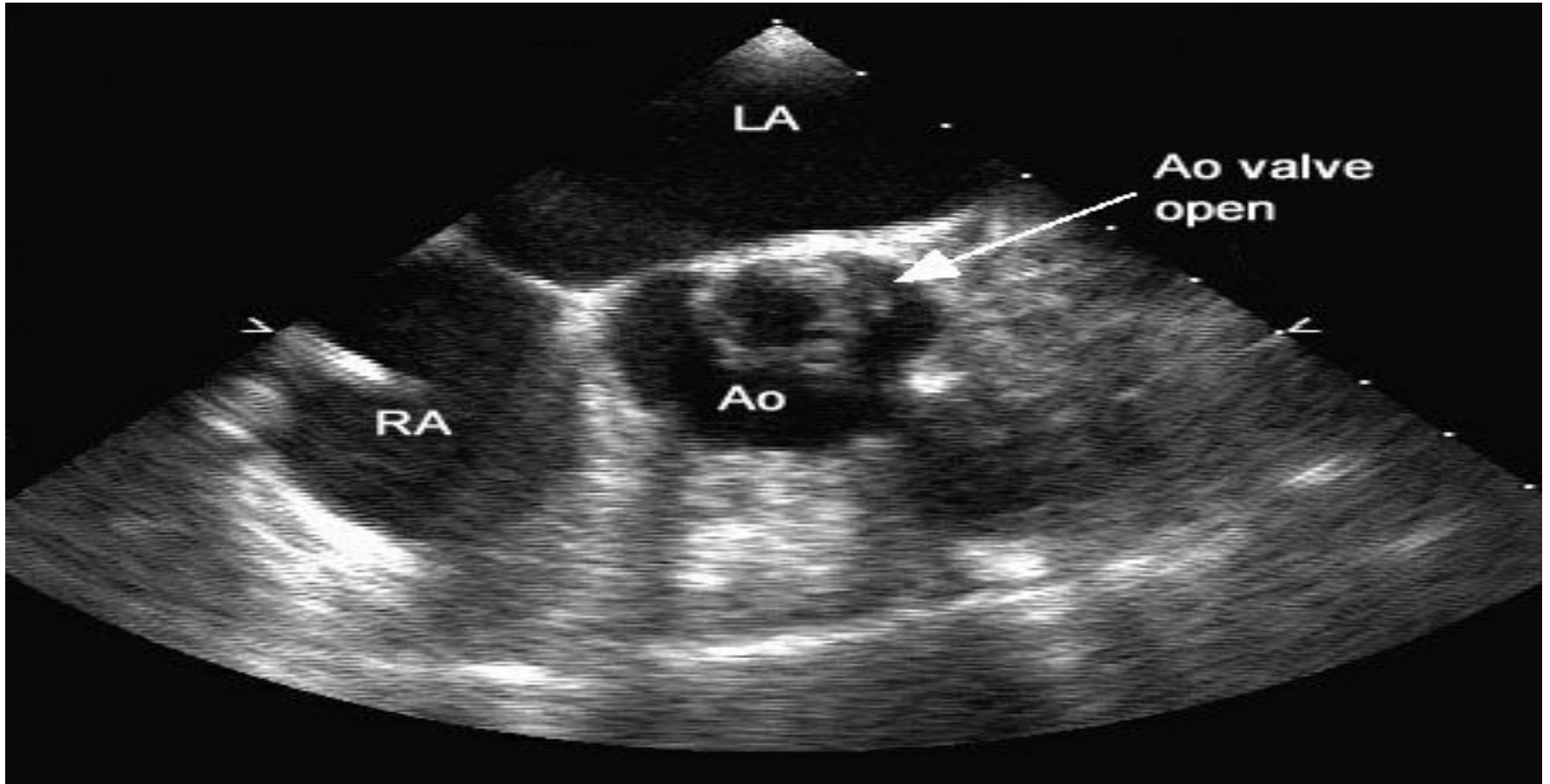
Однополулунный однокомиссуральный клапан

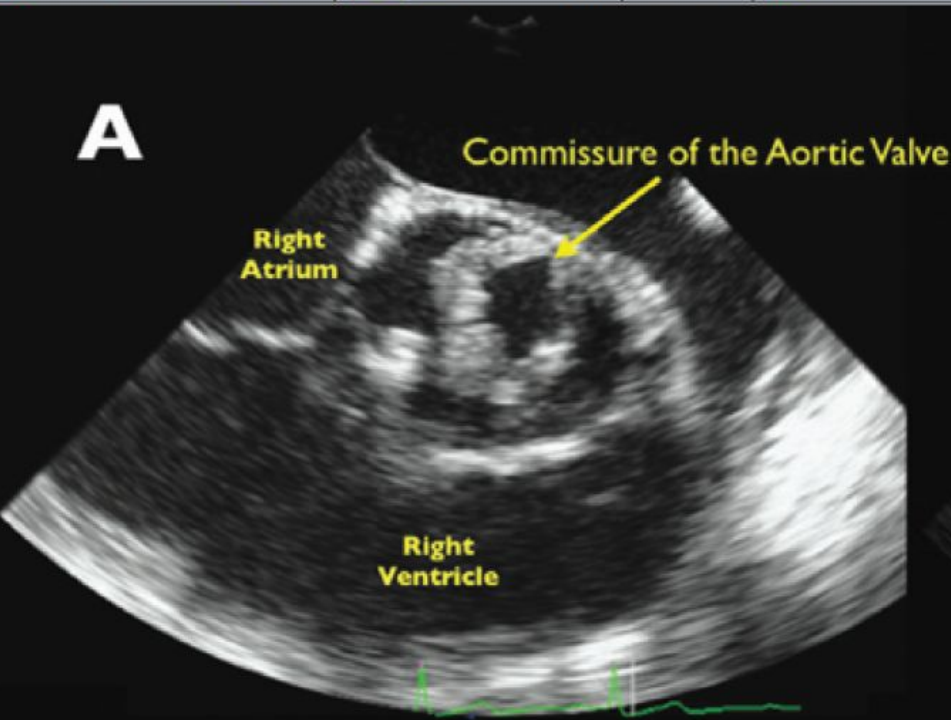


Однополулунный акомиссуральный клапан

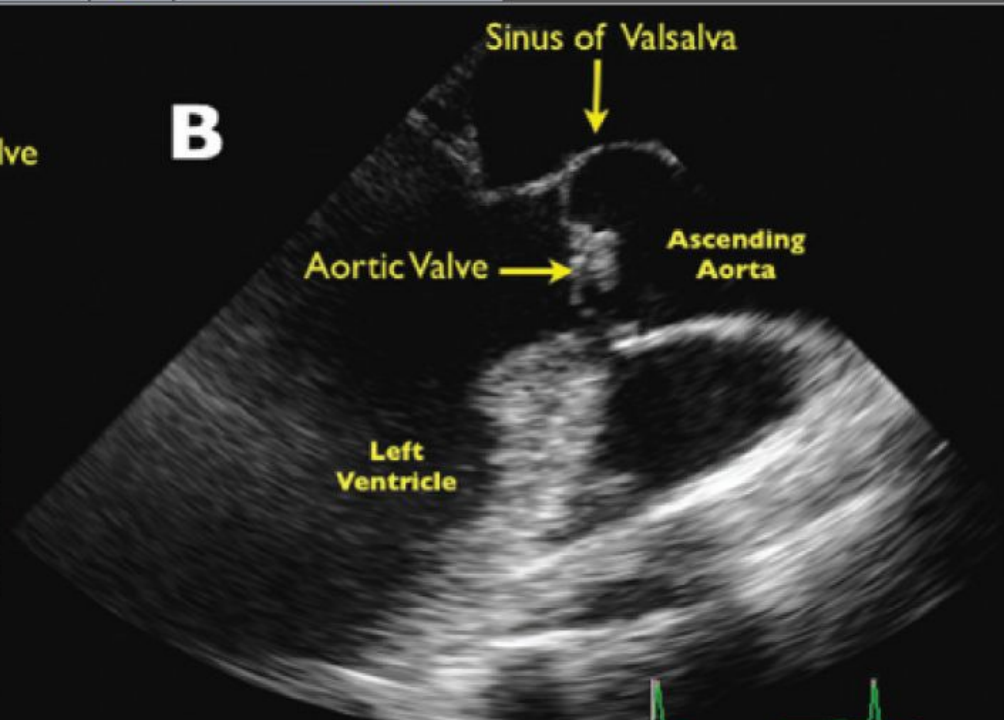


Однополулунный аортальный клапан

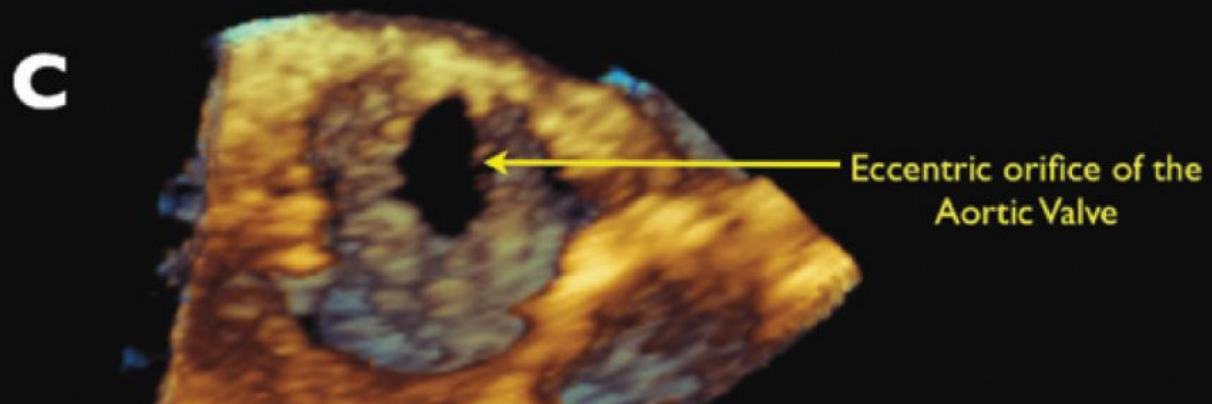




Mid-esophageal aortic valve short axis view

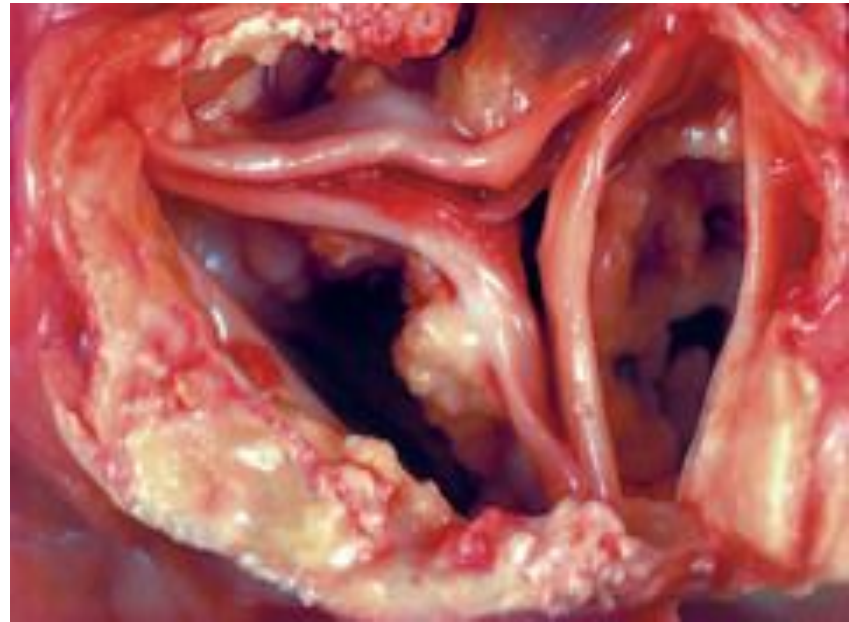


Mid-esophageal aortic valve long axis view

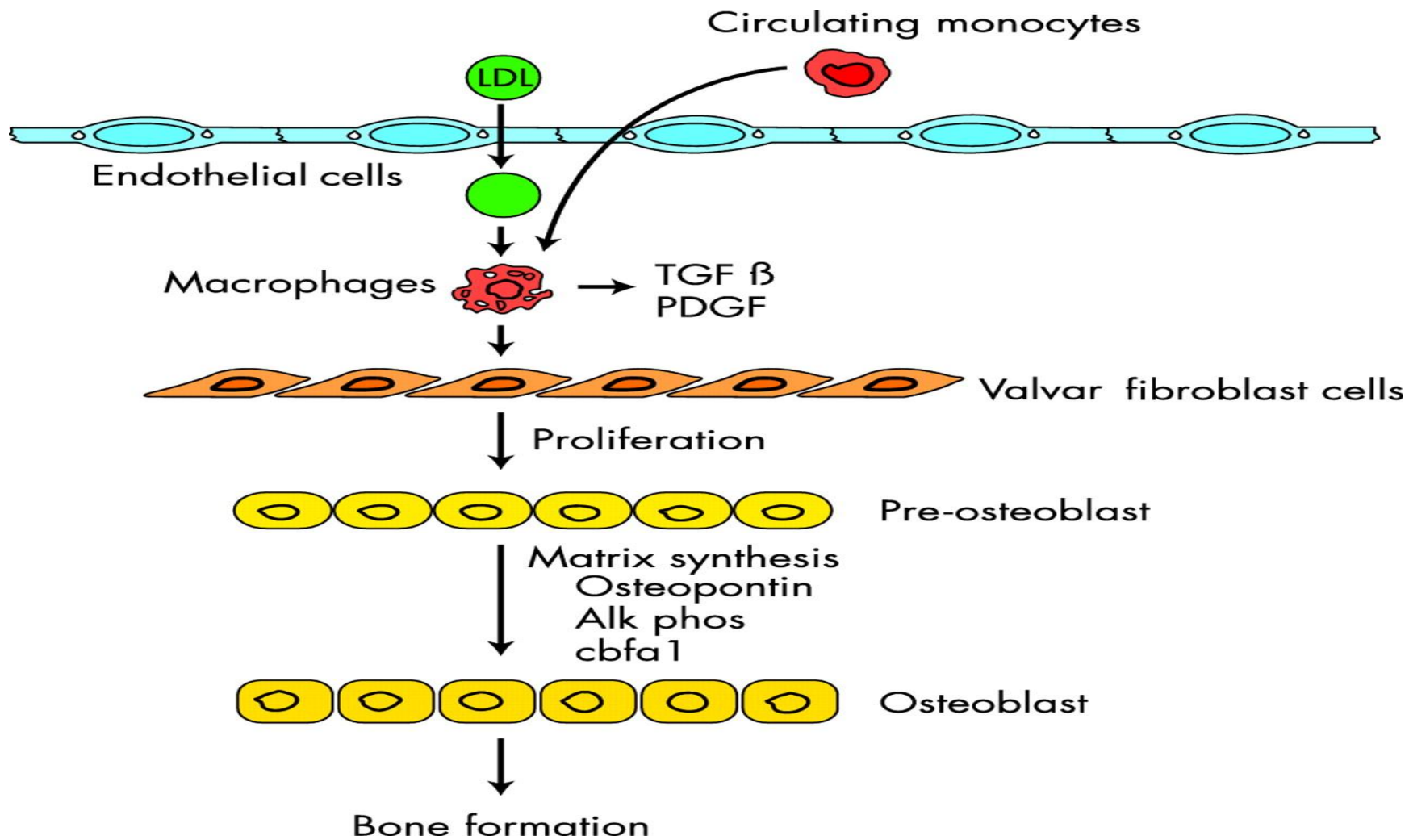


Склеродегенеративный стеноз трёхстворчатого АК

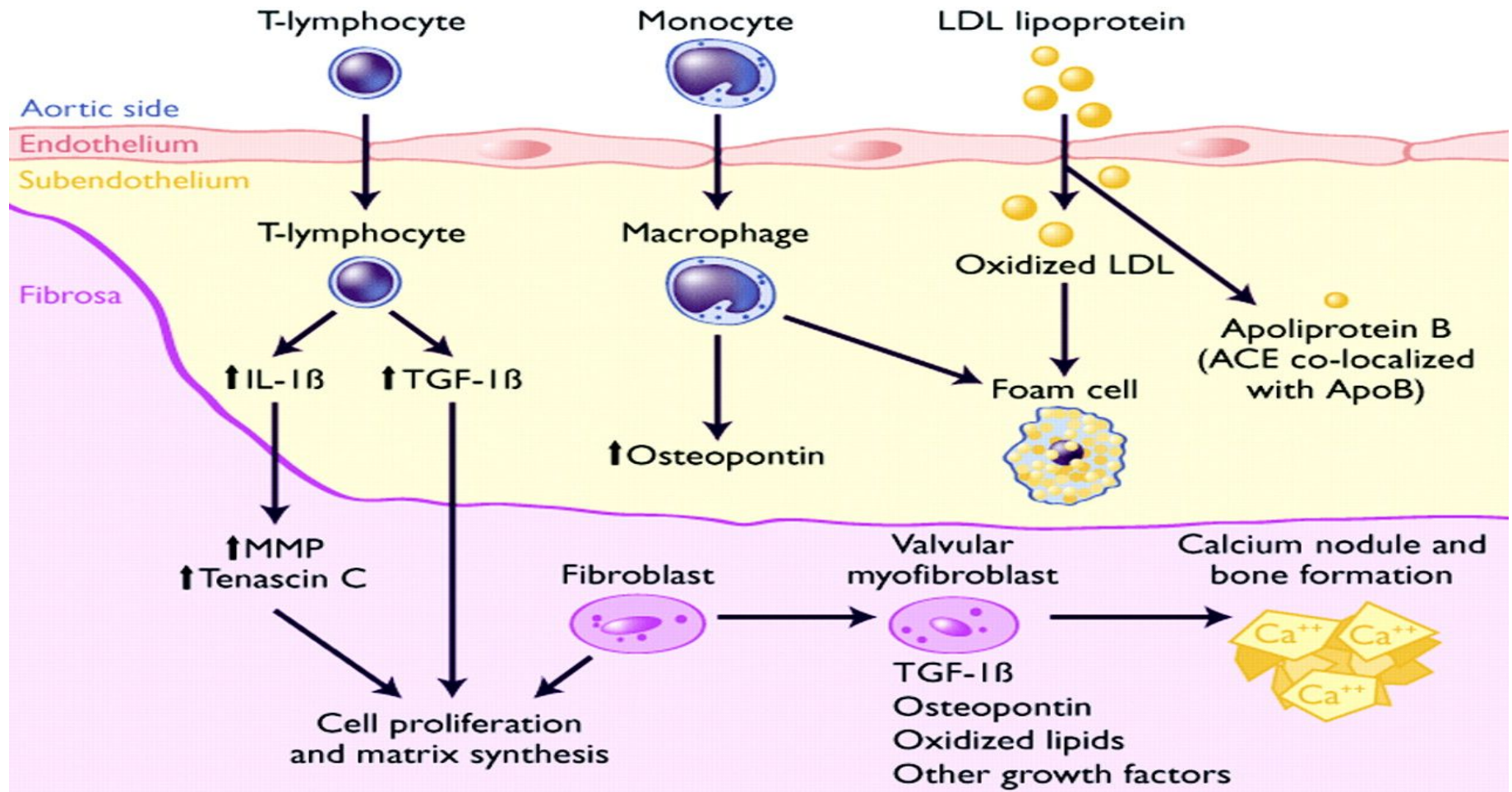
- ❖ Кальциноз на аортальной стороне АК (узелки)
- ❖ НЕТ слияния комиссур
- ❖ Свободные края НЕ вовлечены
- ❖ Клапан открывается звездообразно



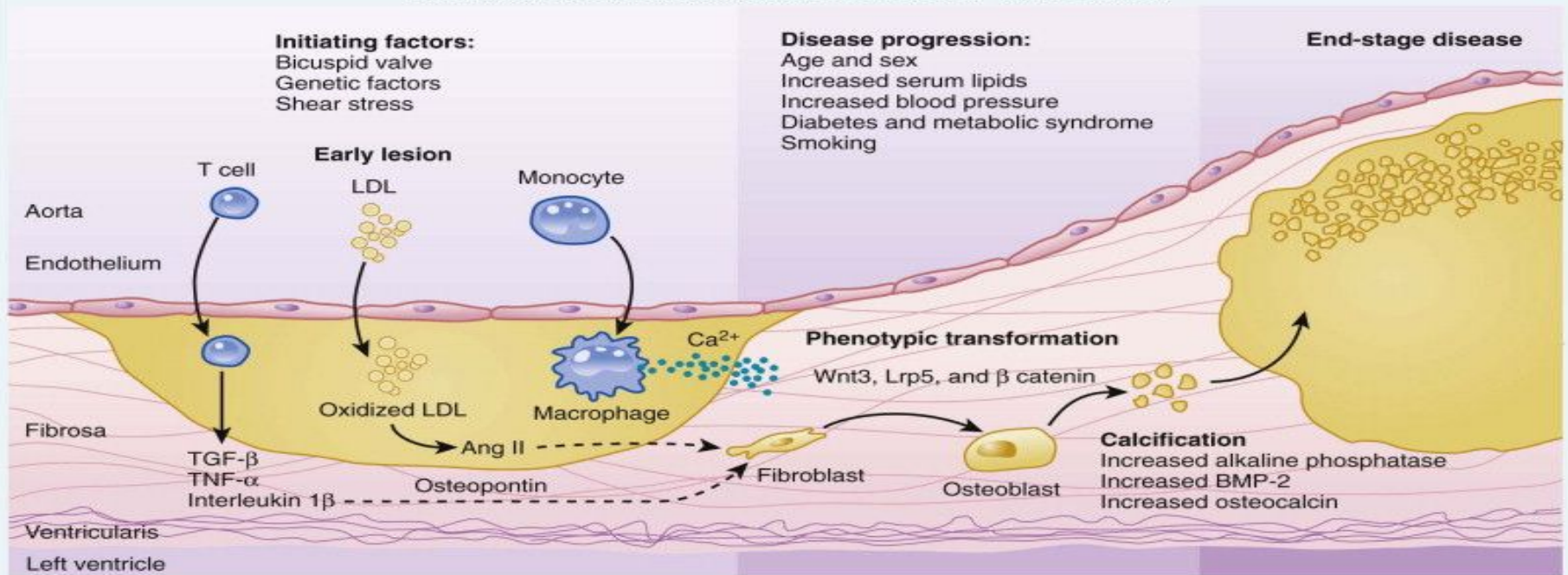
Возможный механизм развития кальциноза АК



Возможный механизм развития кальциноза АК



VALVE HISTOLOGY SHOWING PROGRESSION OF THE DISEASE

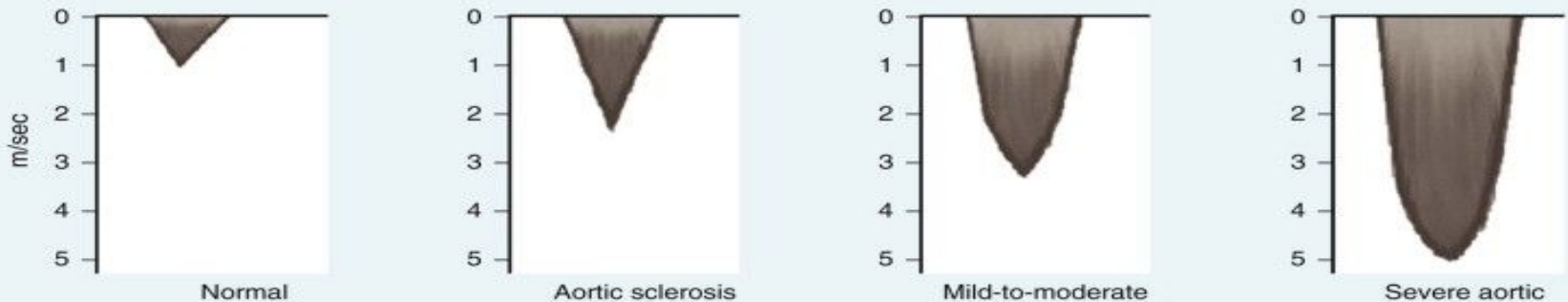


A

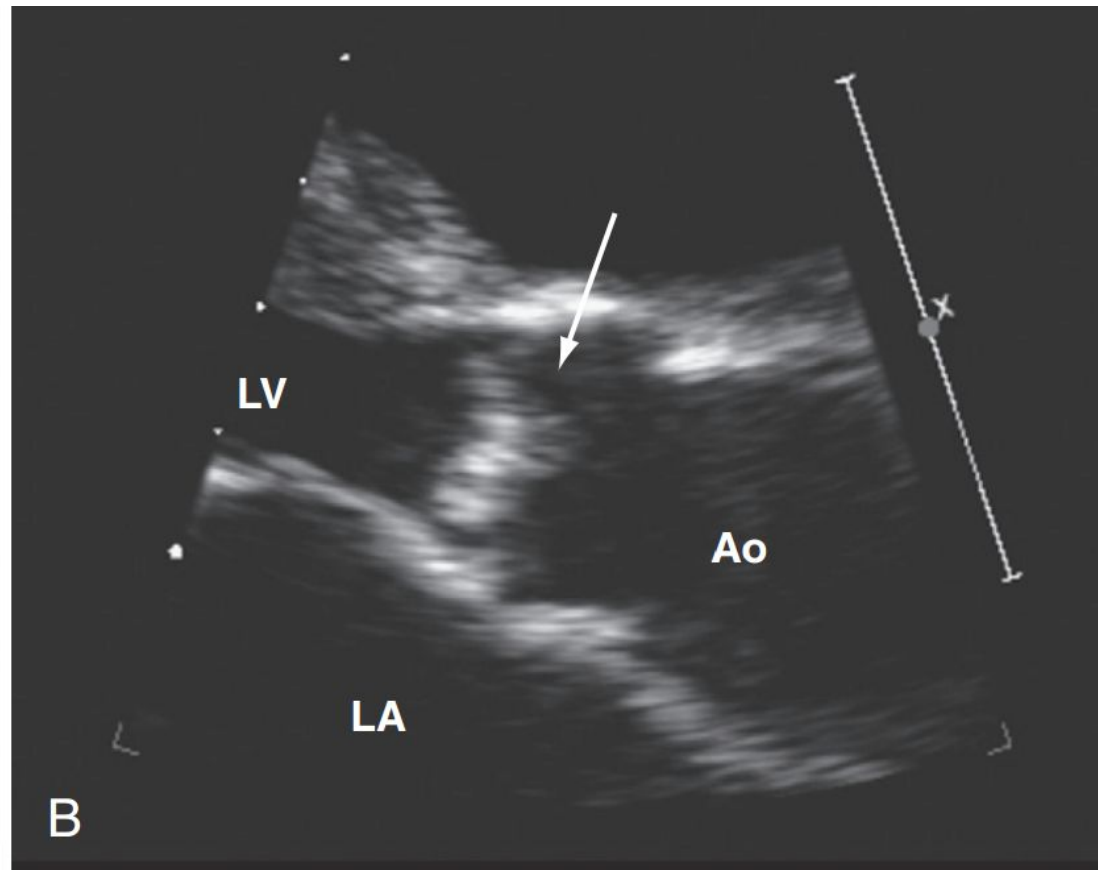
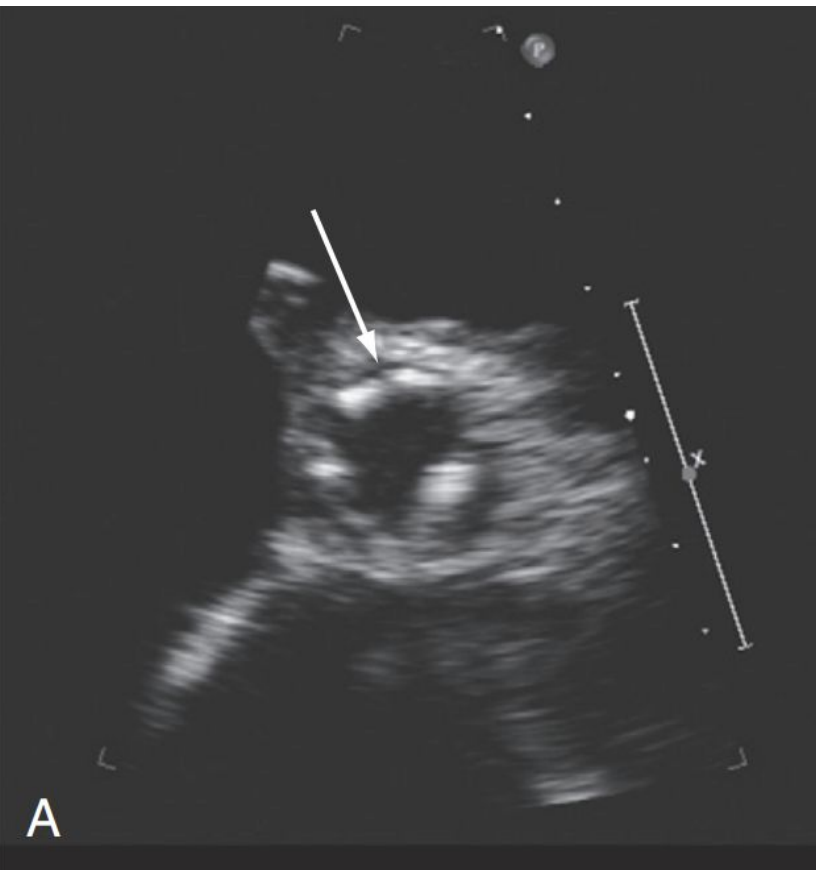
AORTIC-VALVE ANATOMY



DOPPLER AORTIC JET VELOCITY

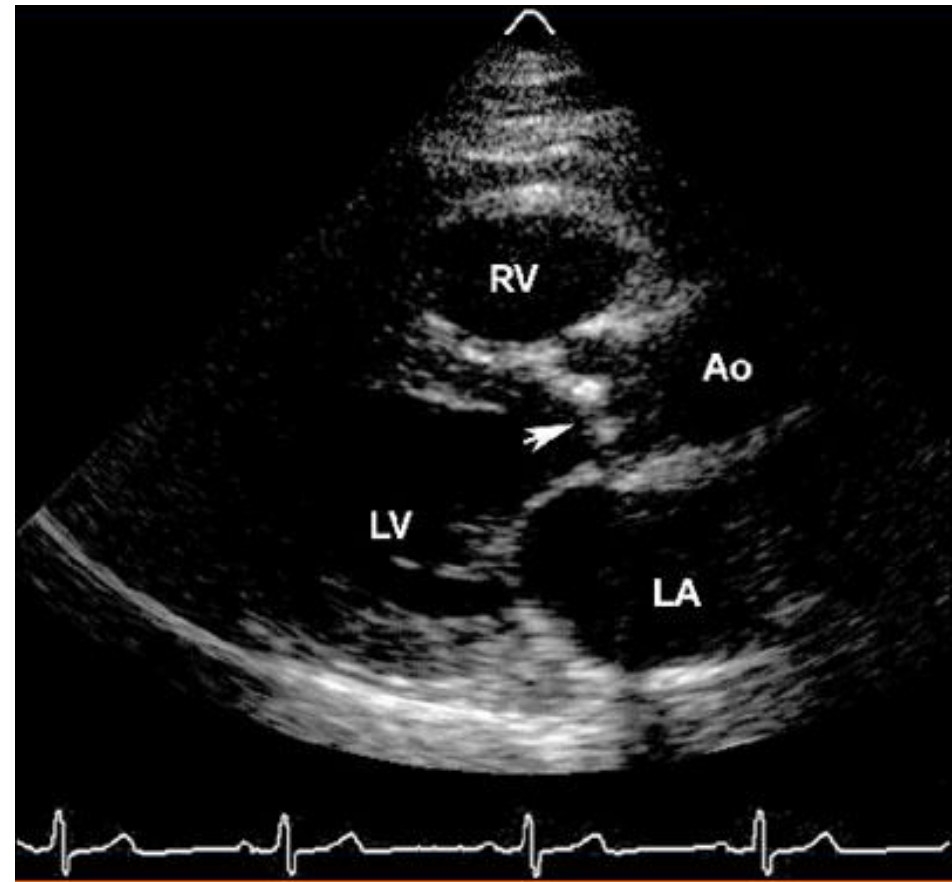


Кальциноз АК без формирования АС

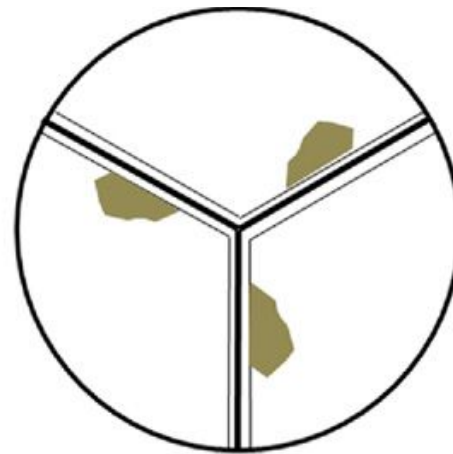
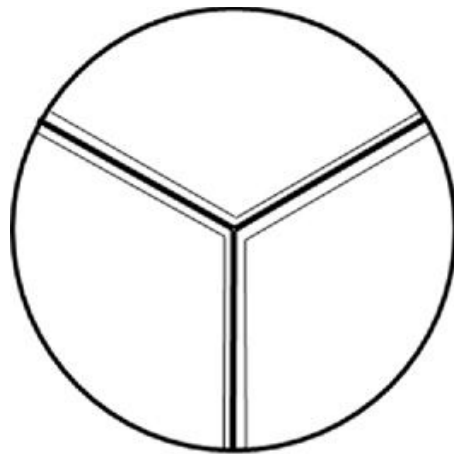


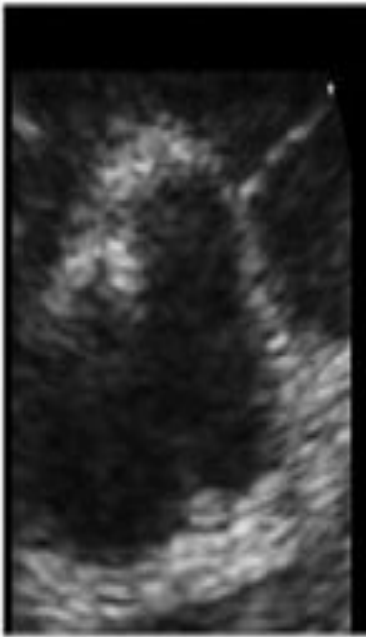
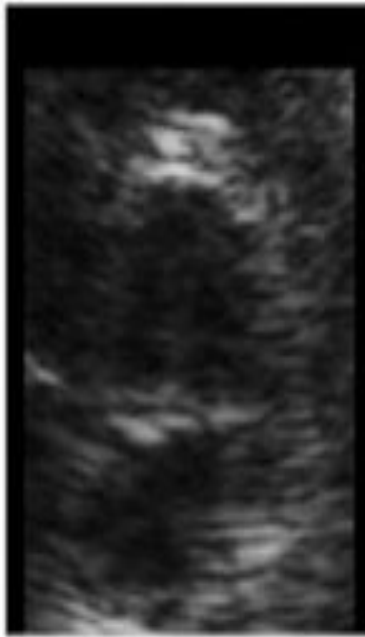
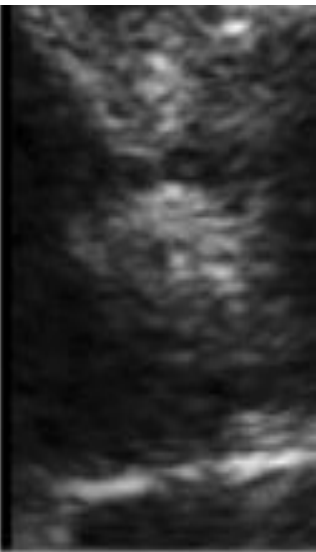
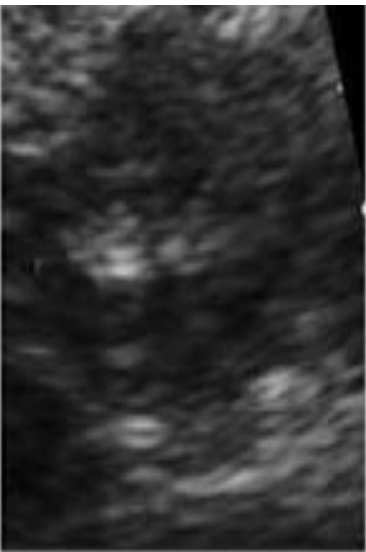
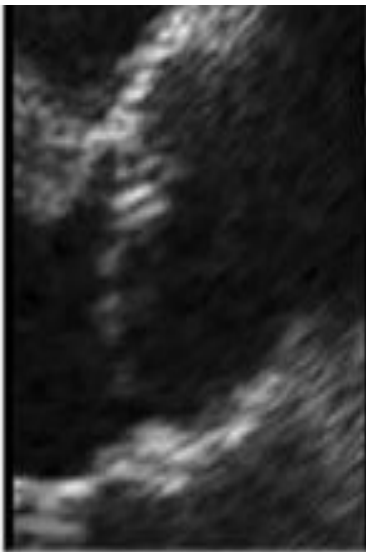
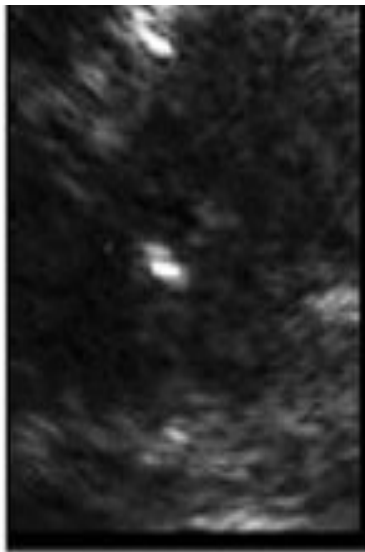
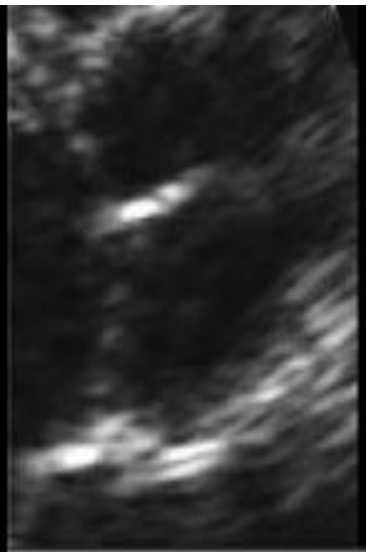
Calcific Aortic Stenosis

Кальциноз,
неподвижность
полулуний АК

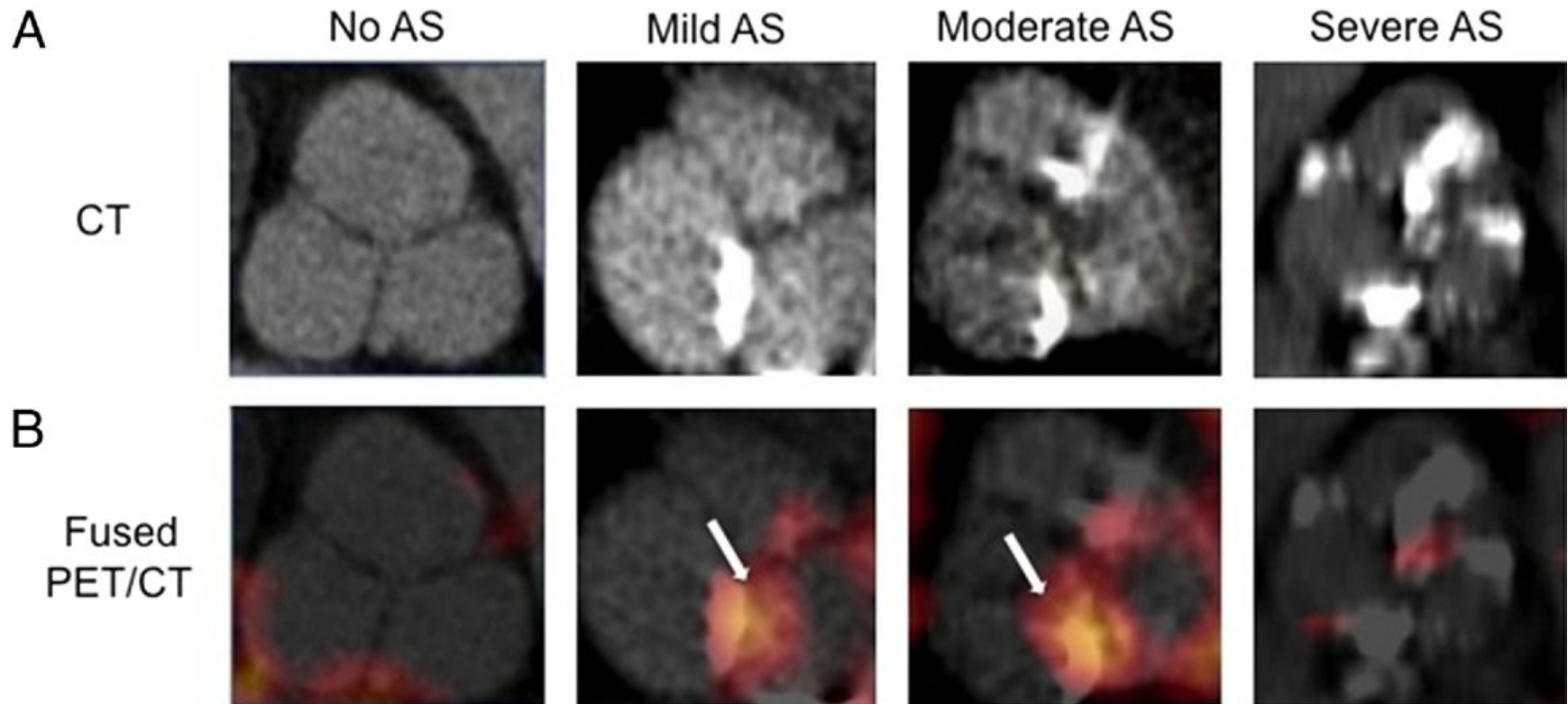


Степени кальциноза АК



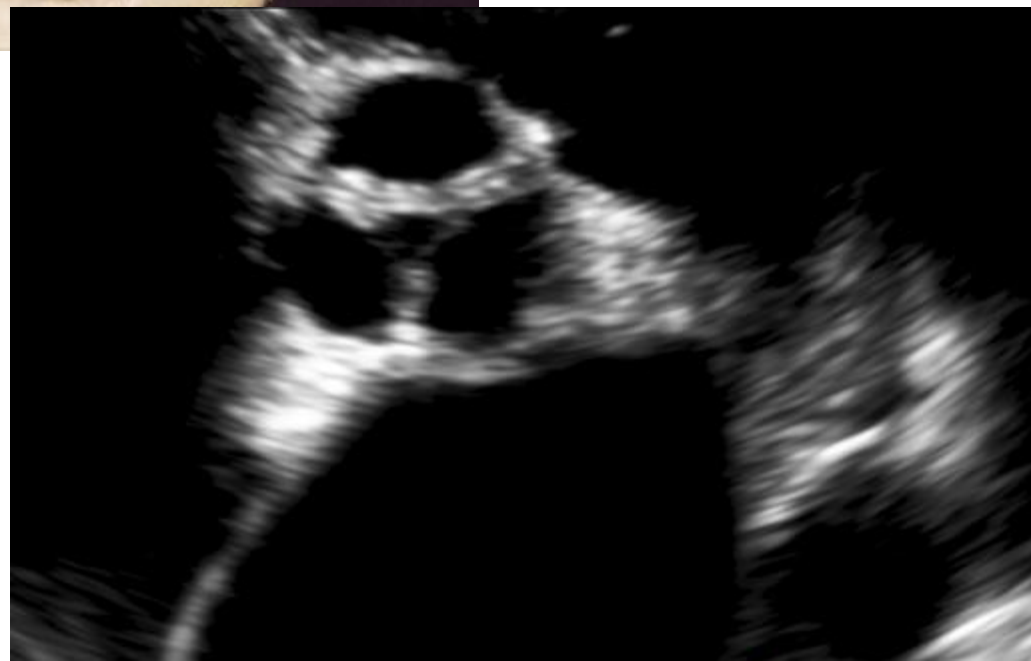
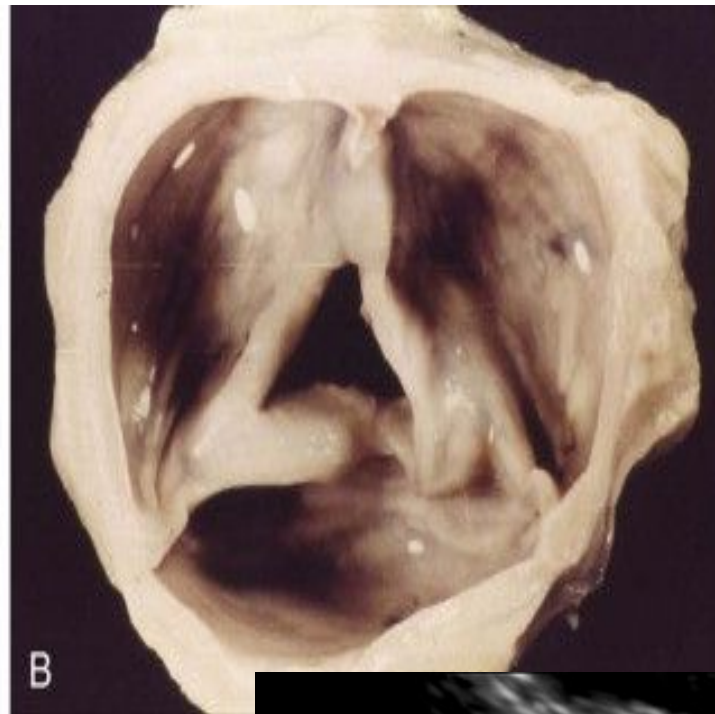


Increased Valvular Fluorodeoxyglucose Uptake in Aortic Stenosis



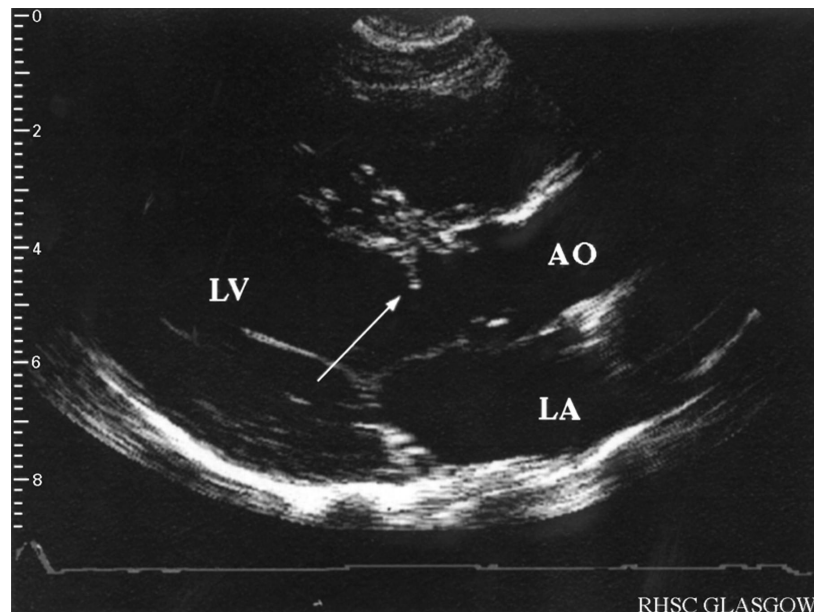
(J Am Coll Cardiol 2011;57:2507–15)

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)^{1*}, Judy Hung (co-chair)², Javier Bermejo³, John B. Chambers⁴, Thor Edvardsen⁵, Steven Goldstein⁶, Patrizio Lancellotti⁷, Melissa LeFevre⁸, Fletcher Miller Jr⁹, and Catherine M. Otto¹⁰

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 ¹²⁻¹⁵	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"> • Correct measurement requires parallel alignment of ultrasound beam • Flow dependent.
Mean gradient ¹²⁻¹⁴	mmHg	$\Delta P = \sum 4v^2/N$	40	Pressure gradient calculated from velocity using the Bernoulli equation	<ul style="list-style-type: none"> • Mean gradient is obtained by tracing the velocity curve • Units comparable to invasive measurements 	<ul style="list-style-type: none"> • Accurate pressure gradients depend on accurate velocity data • Flow dependent
Continuity equation valve area ¹⁶⁻¹⁸	cm ²	$AVA = (CSA_{LVOT} \times VT_{LVOT})/VT_{AV}$	1.0	Volume flow proximal to and in the stenotic orifice is equal	<ul style="list-style-type: none"> • Measures effective orifice area • Feasible in nearly all patients • Relatively flow independent 	Requires LVOT diameter and flow velocity data, along with aortic velocity. Measurement error more likely
Simplified continuity equation ^{18,19}	cm ²	$AVA = (CSA_{LVOT} \times V_{LVOT})/V_{AV}$	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 ^{19,20}	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 ^{21,22}	cm ²	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 ²³	%	$\%SWL = \frac{\overline{\Delta P}}{\Delta P + SBP} \cdot 100$	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)

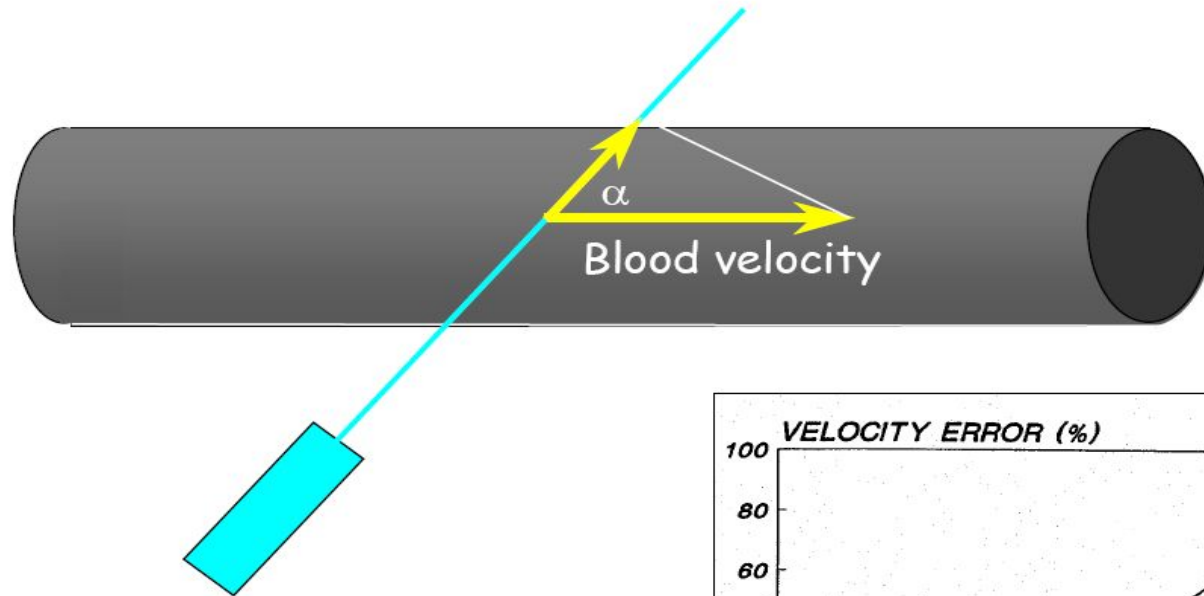
- Максимальная скорость кровотока (V_{max})
- Средний градиент давления (Δp_{mean})
- Расчетная площадь АК (AVA) по уравнению непрерывности потока

Максимальная скорость кровотока

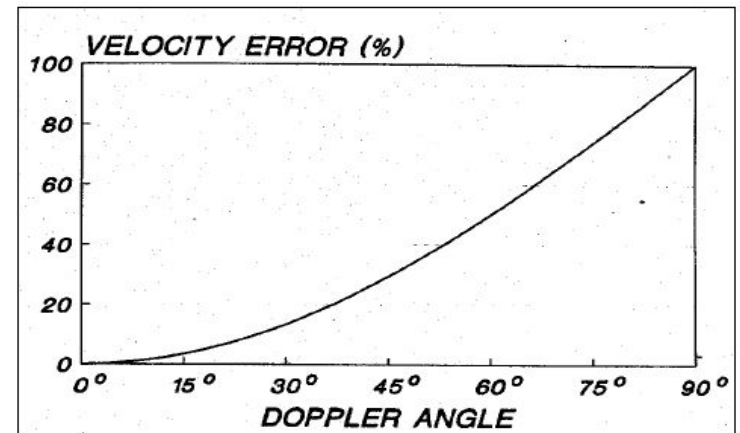
- $\Delta P \text{ max} = 4v^2$

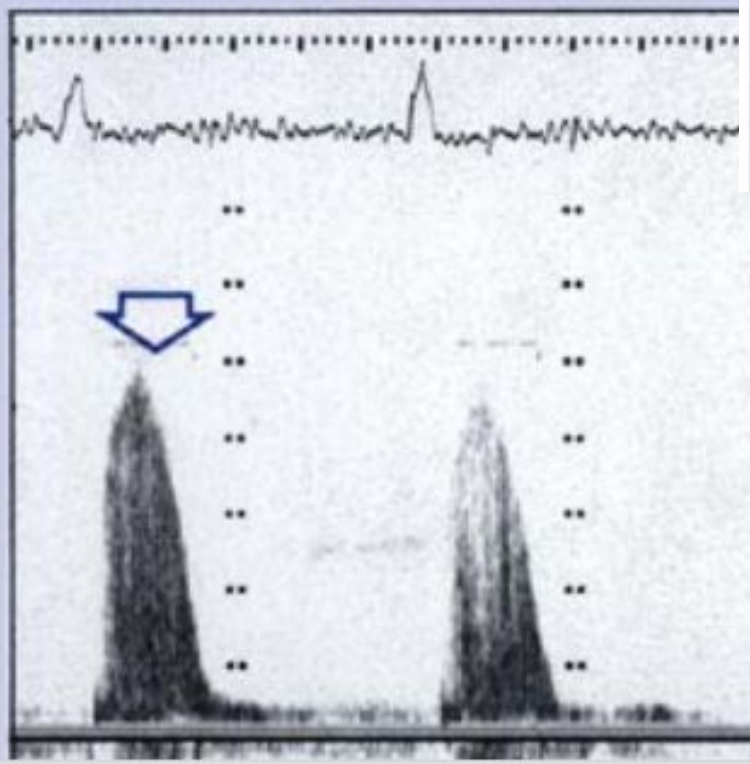
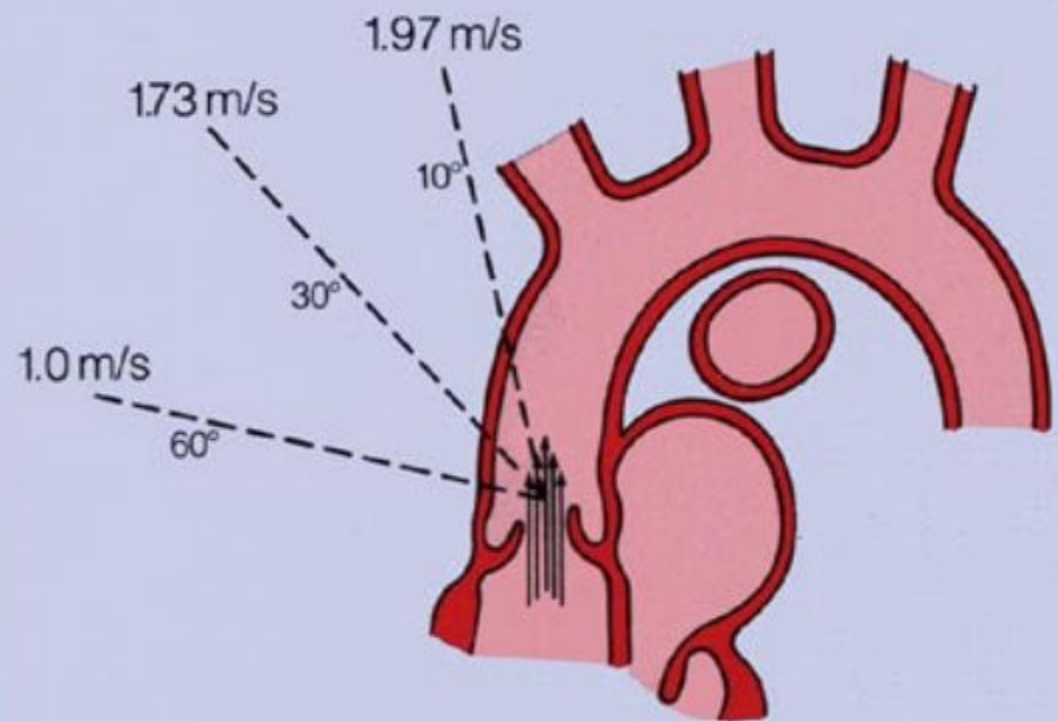
- | | | |
|---------------------------|---------|------|
| Вариабельность | AV max/ | LVOT |
| – внутриисследовательская | 3,2% / | 3% |
| – межисследовательская | 3,1% / | 3.9% |

Зависимость значения максимальной скорости от угла расхождения луча и потока

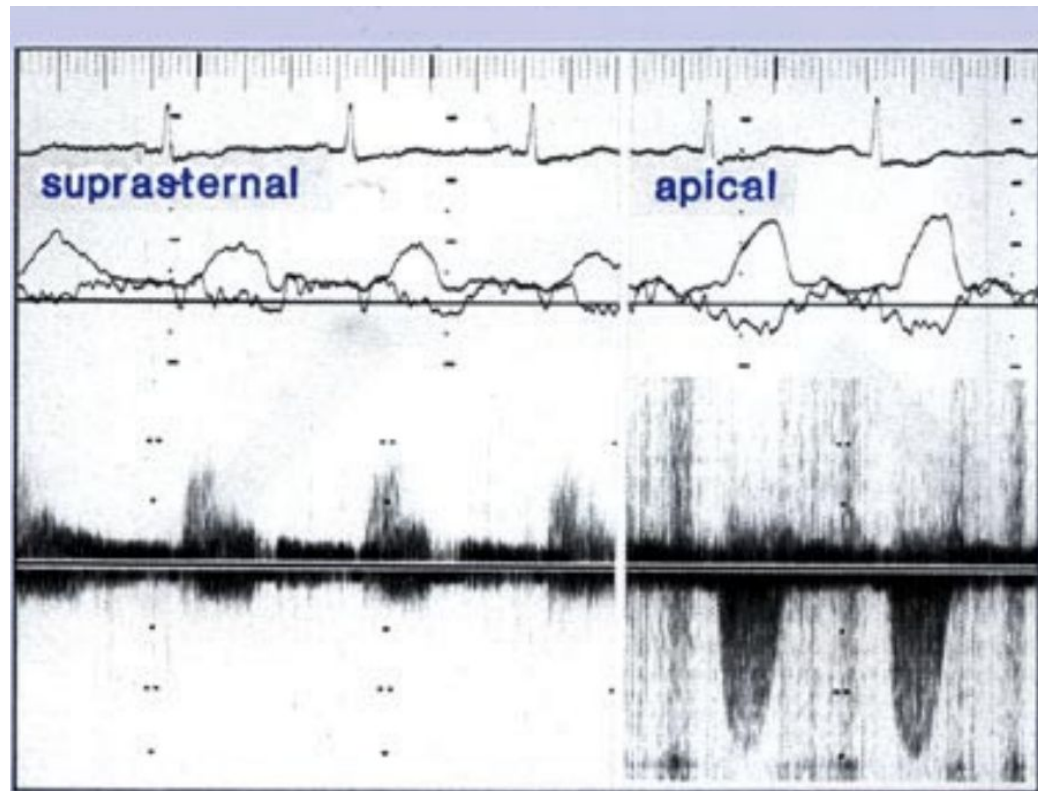
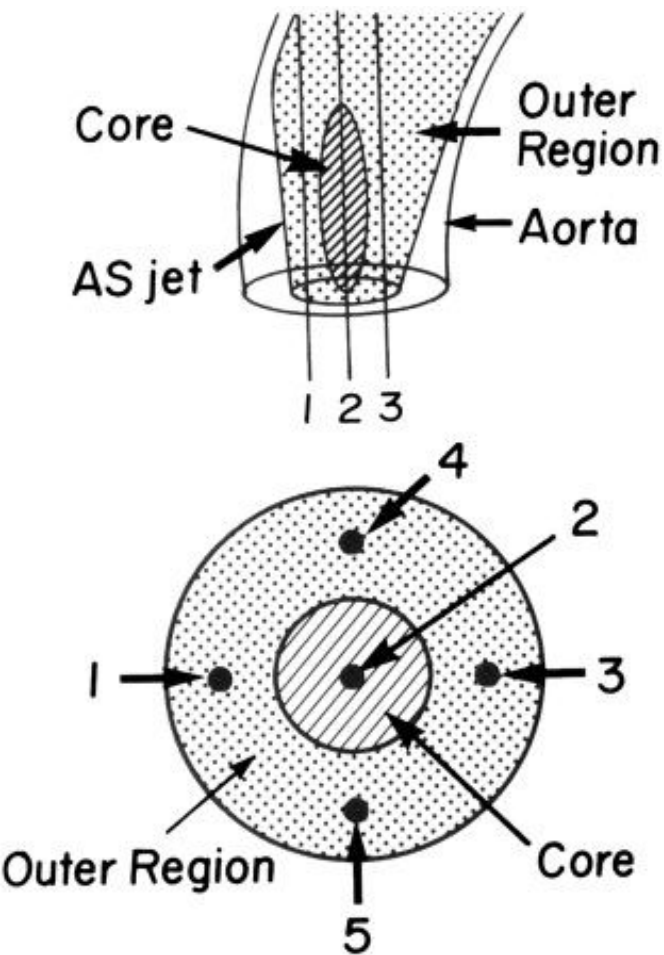


$$\text{Blood velocity} = \frac{\text{Doppler velocity}}{\cosine \alpha}$$





Составные части стенотического потока

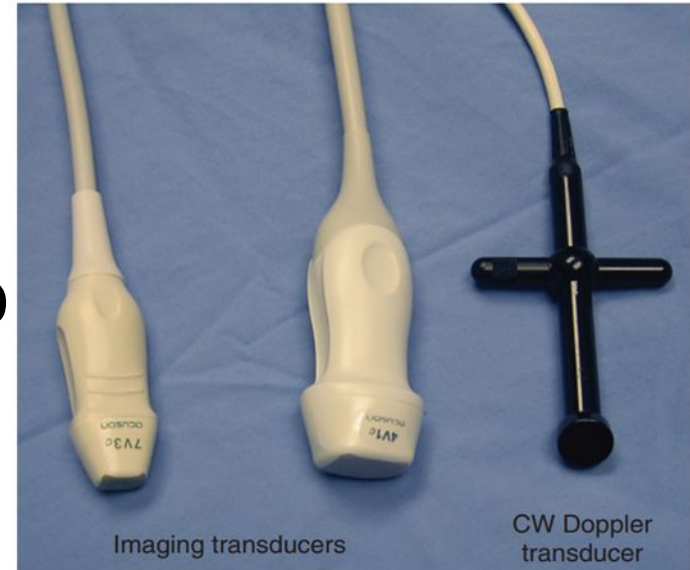


Недооценка градиента ,
если не в центральной
части потока

Неудовлетворительная форма потока

-Карандашный датчик

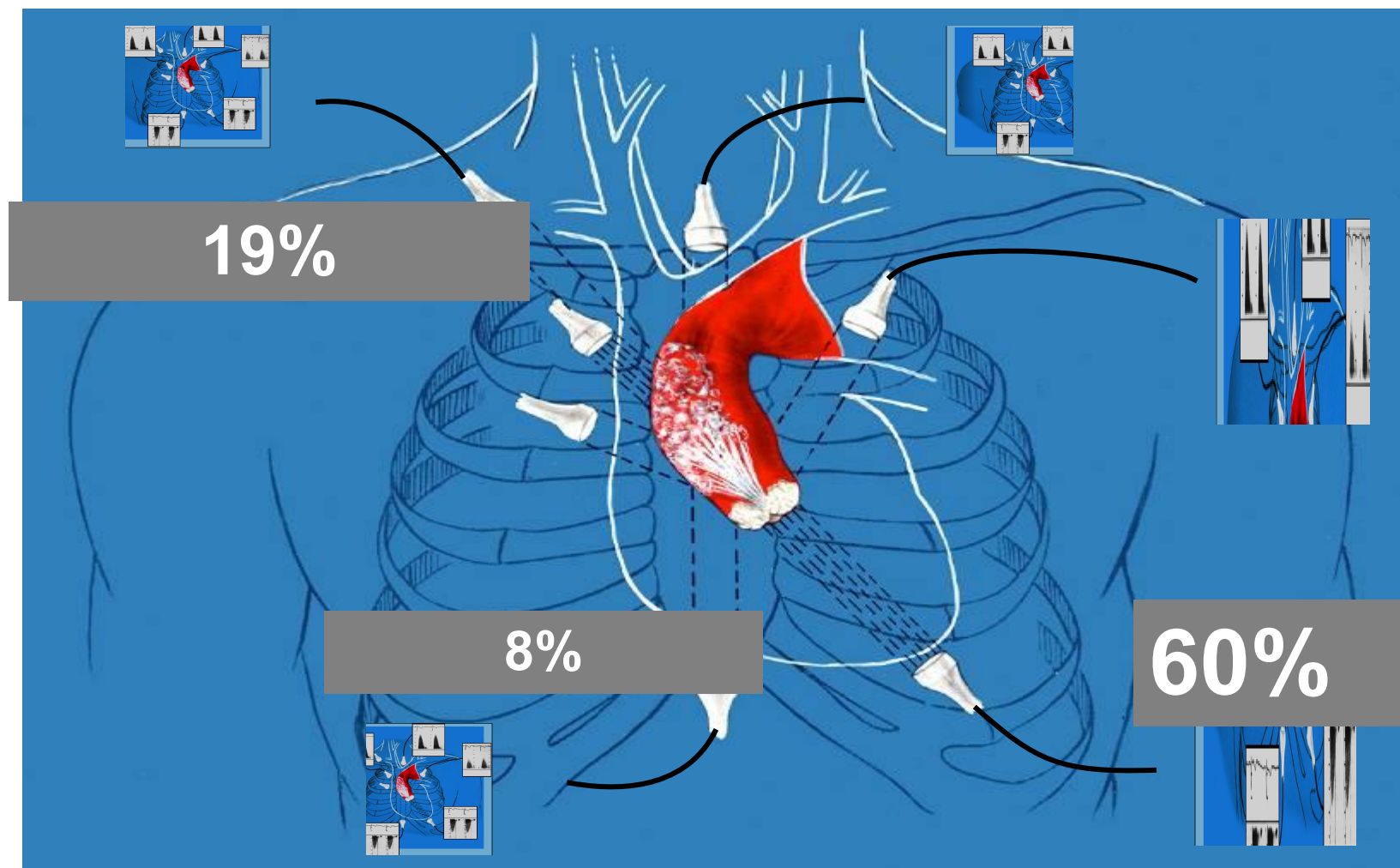
-Полипозиционное исследование (доступы)

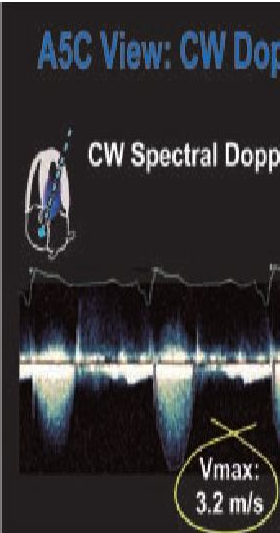
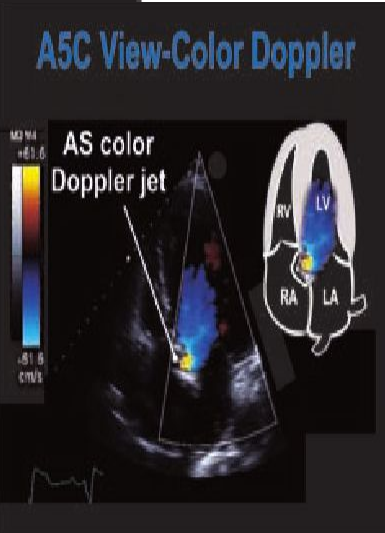
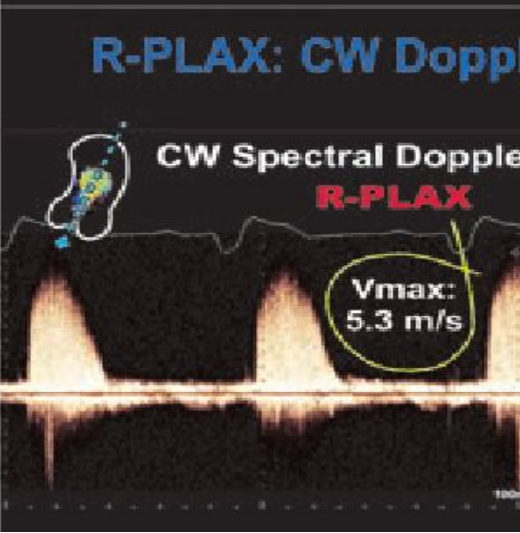
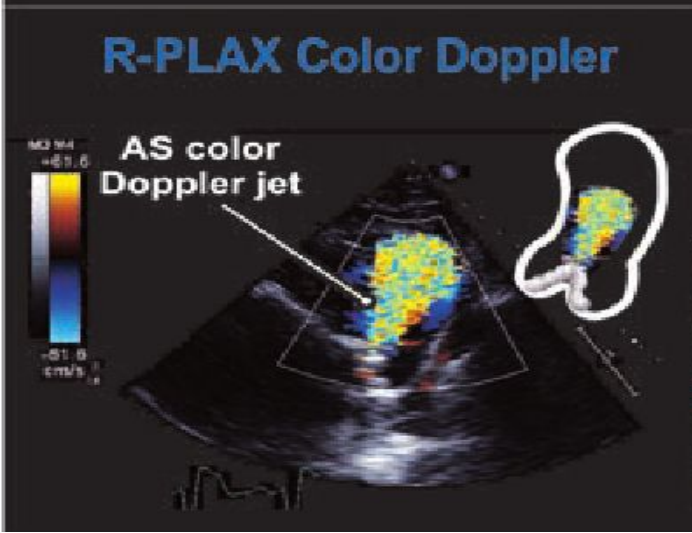
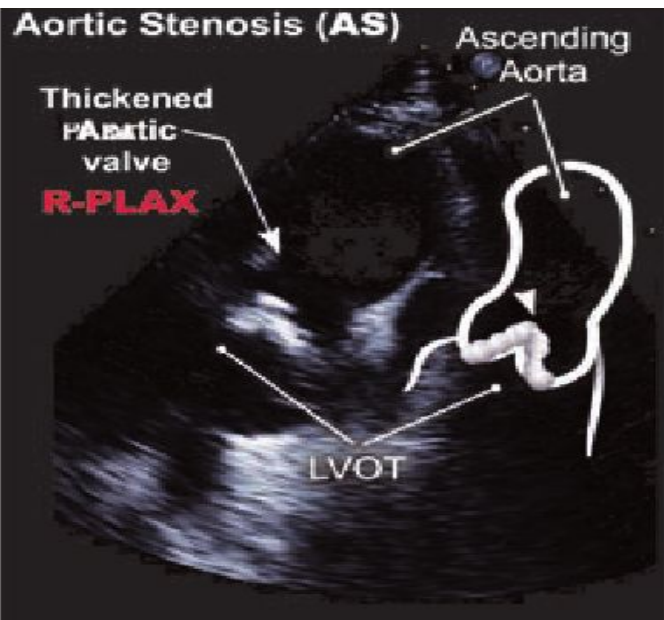
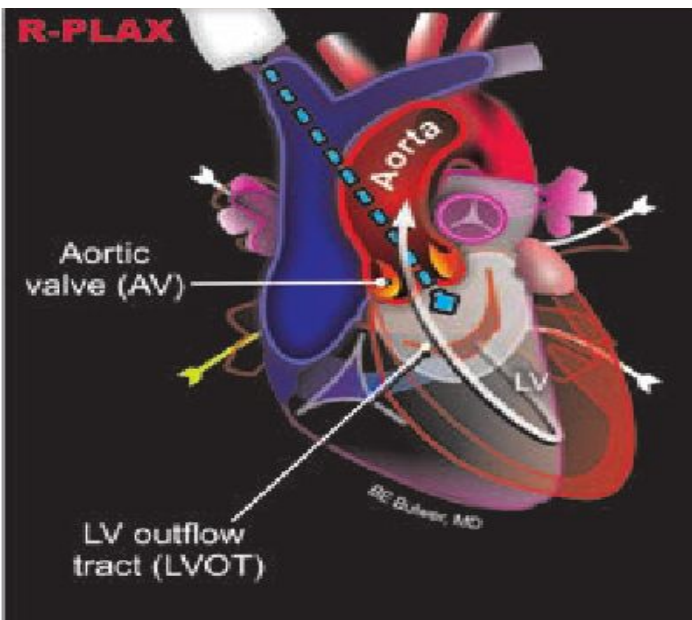


-Изменение положения пациента

-Привлечение наиболее опытного специалиста

Полипозиционная доплерография

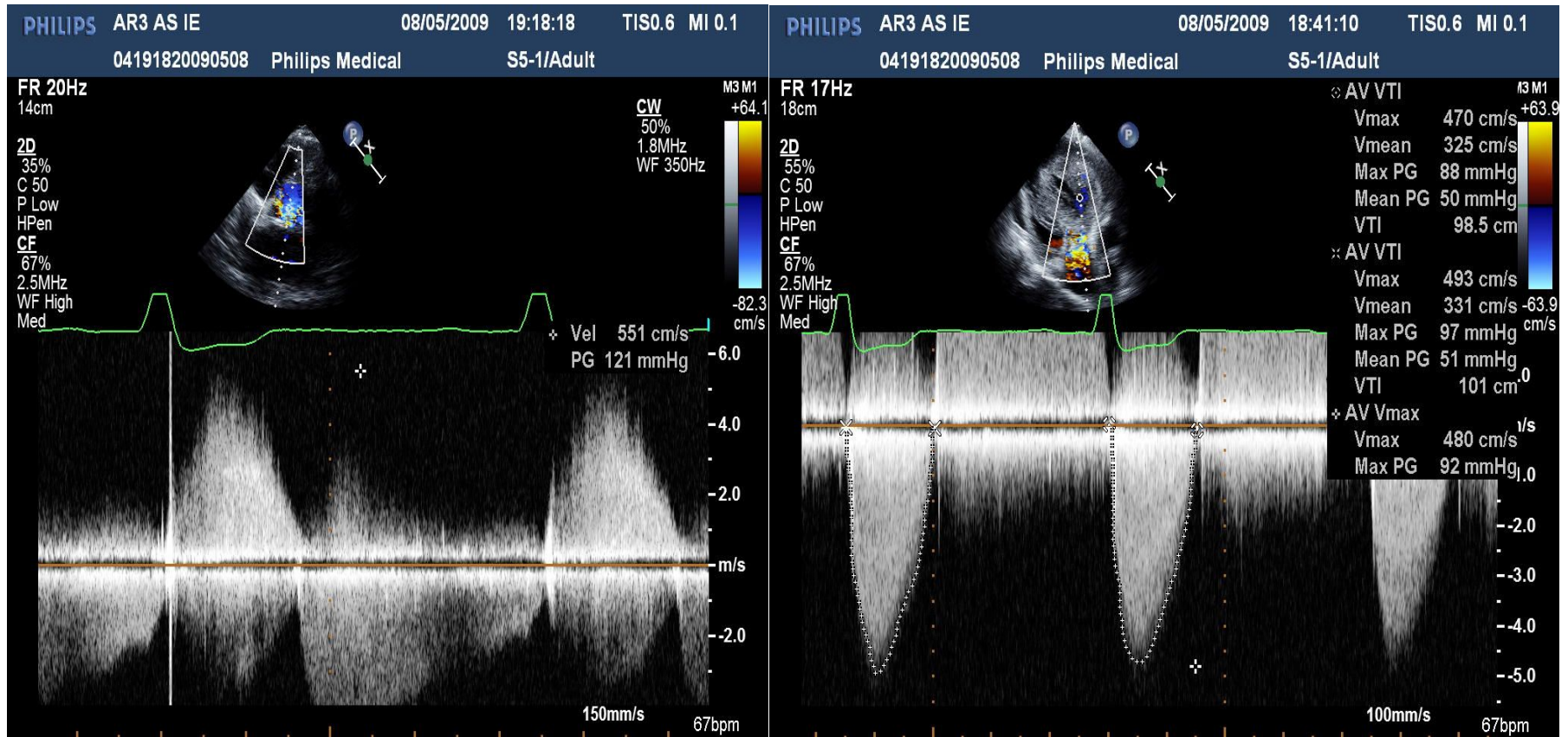




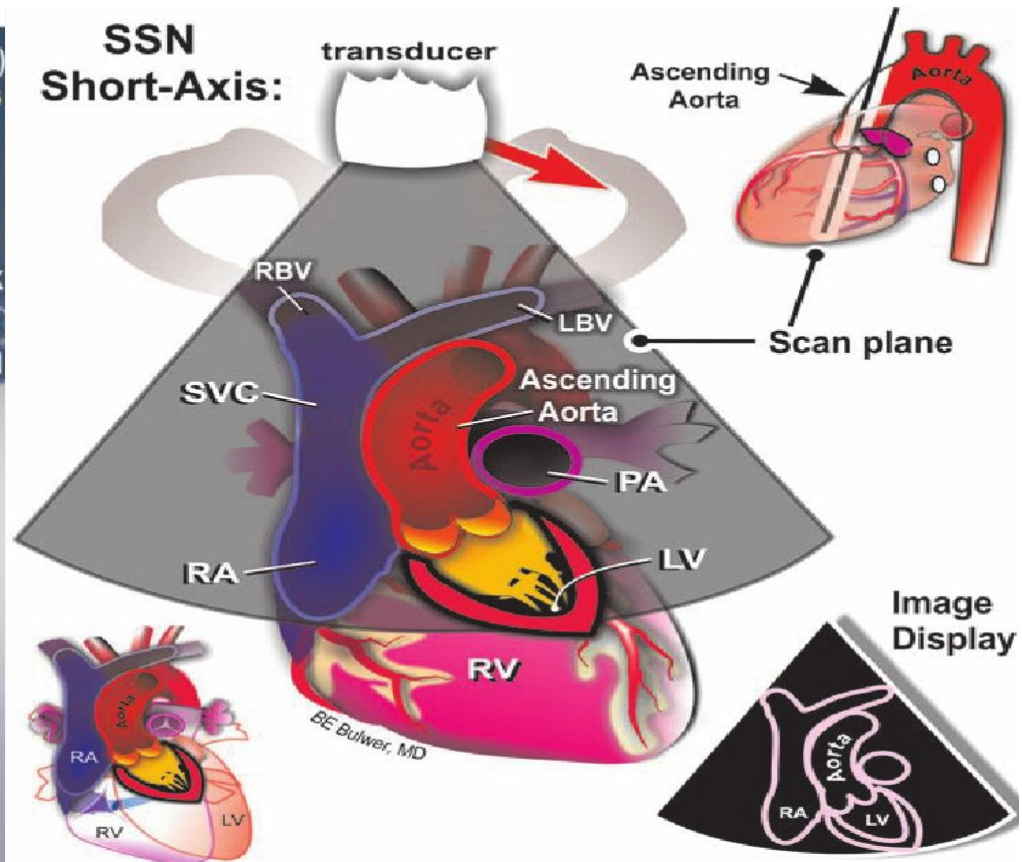
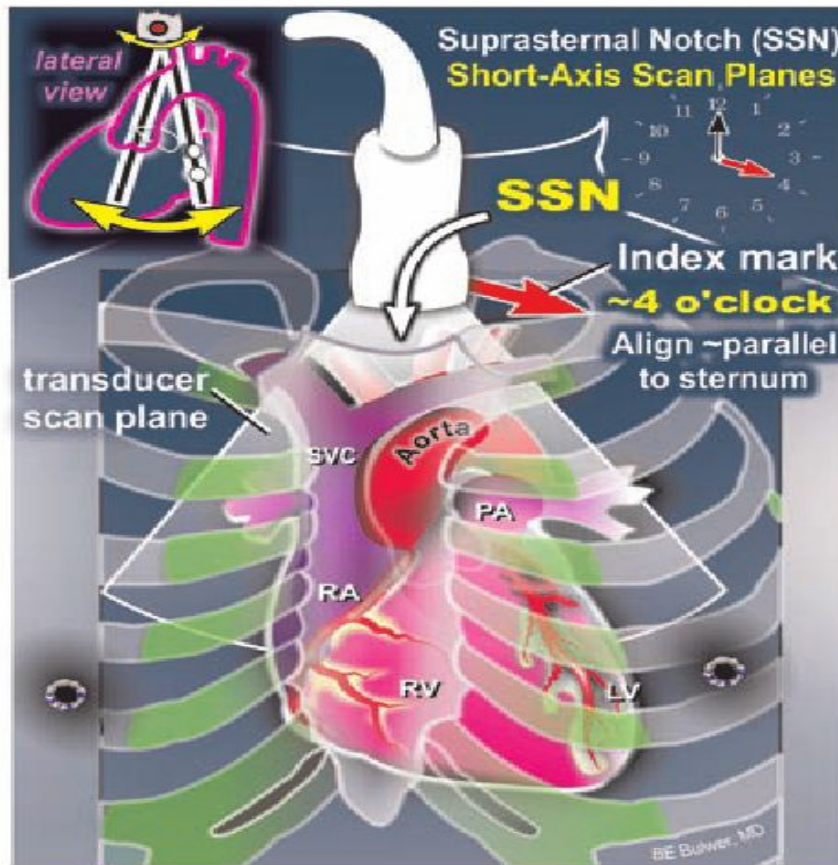
Аортальный поток

из

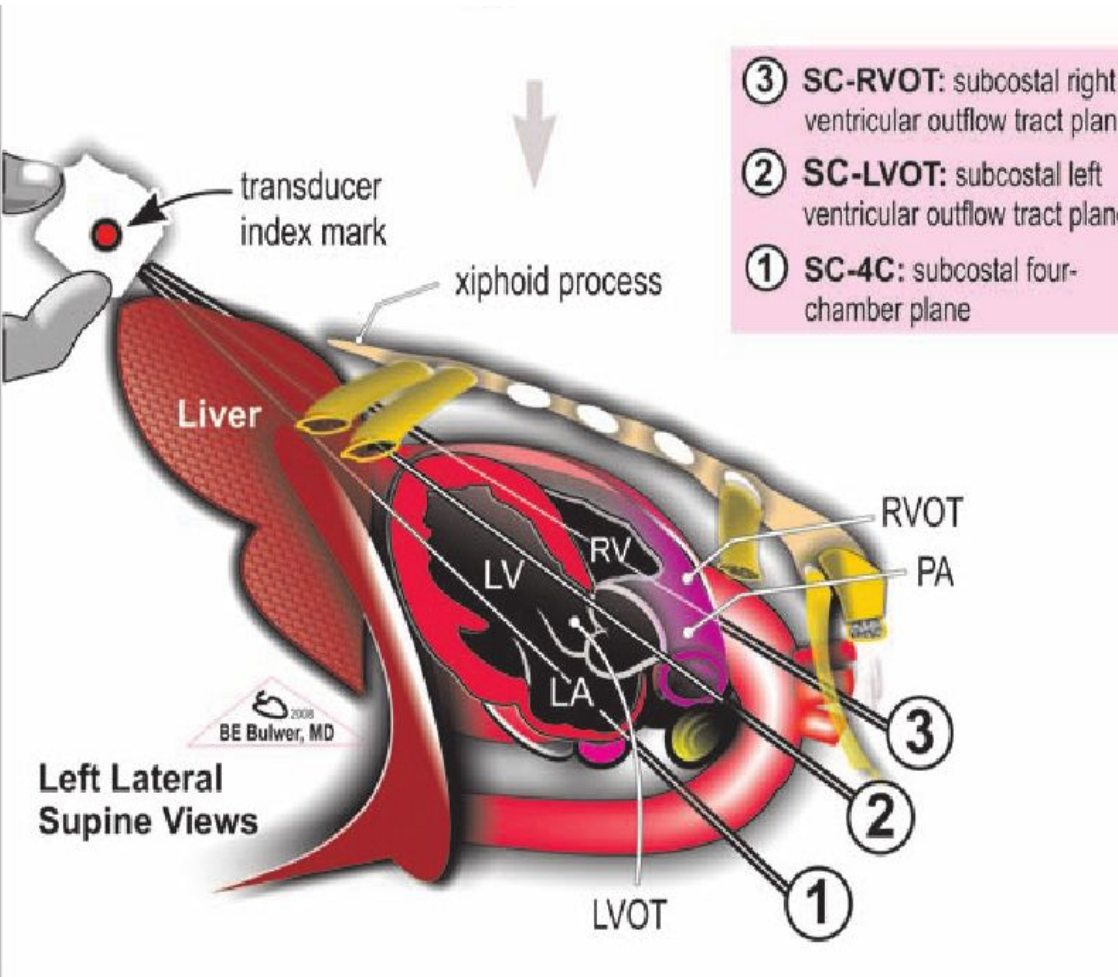
правого парастернального и пятикамерного сечения

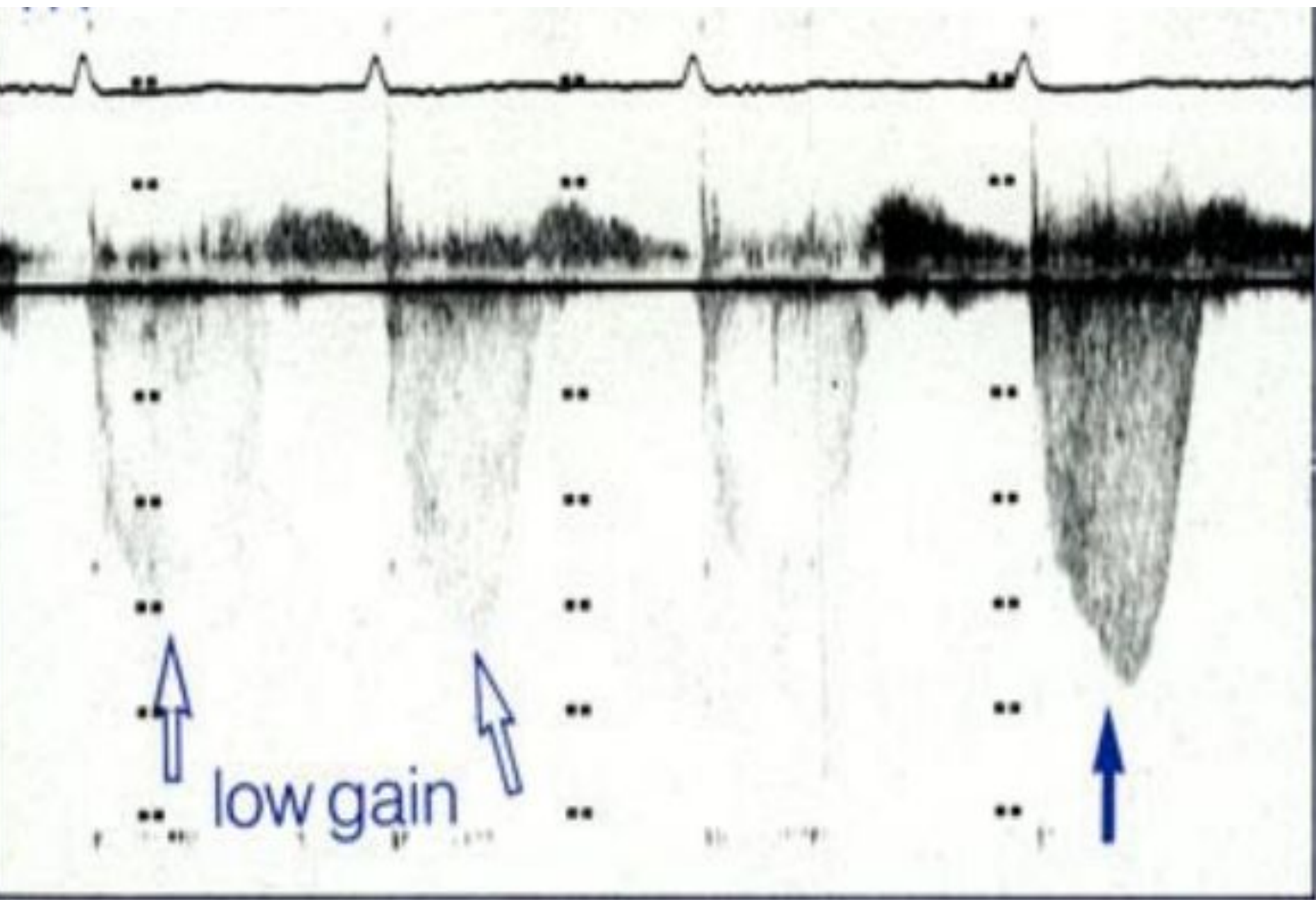


Надгрудинный доступ

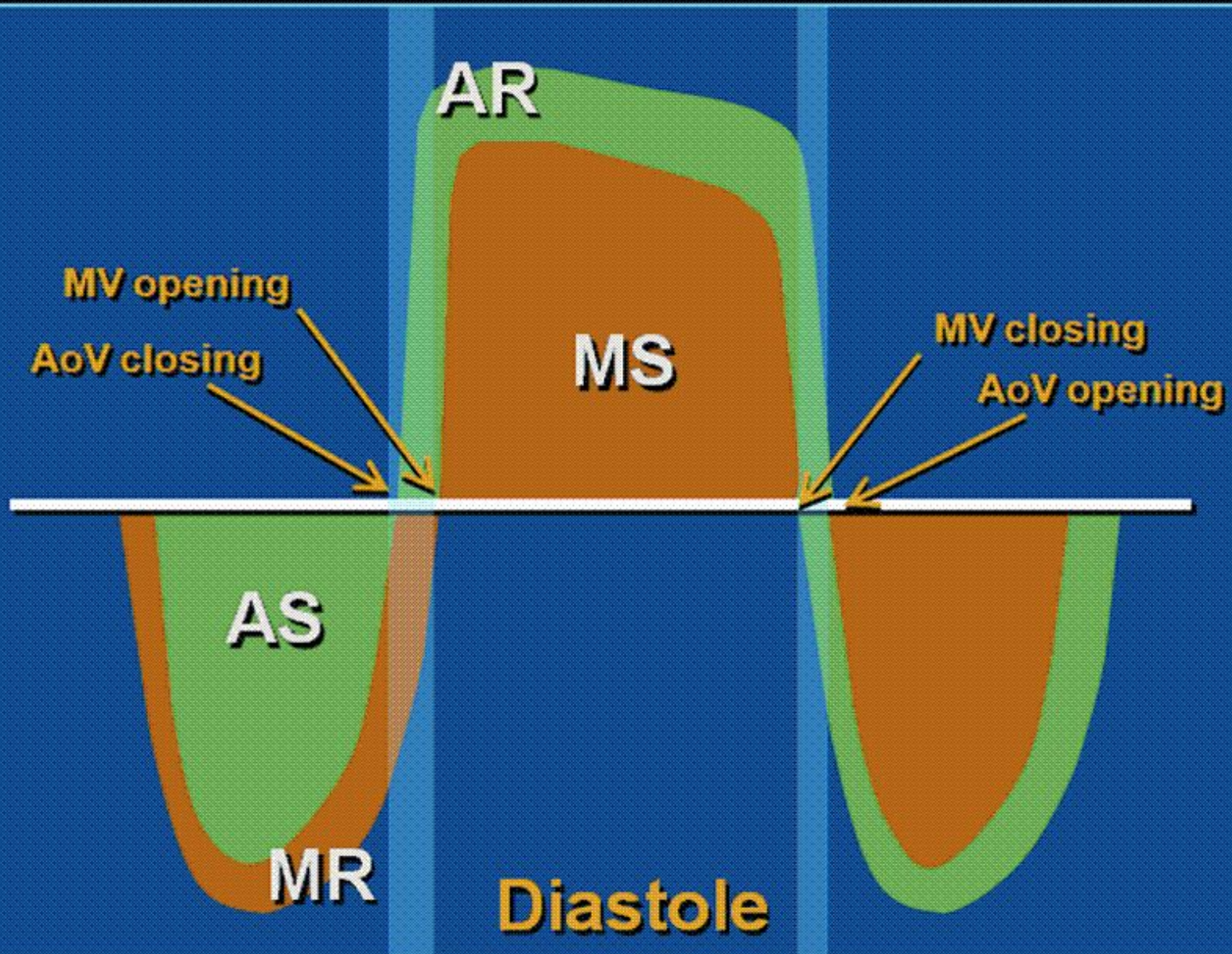


Субкостальный доступ

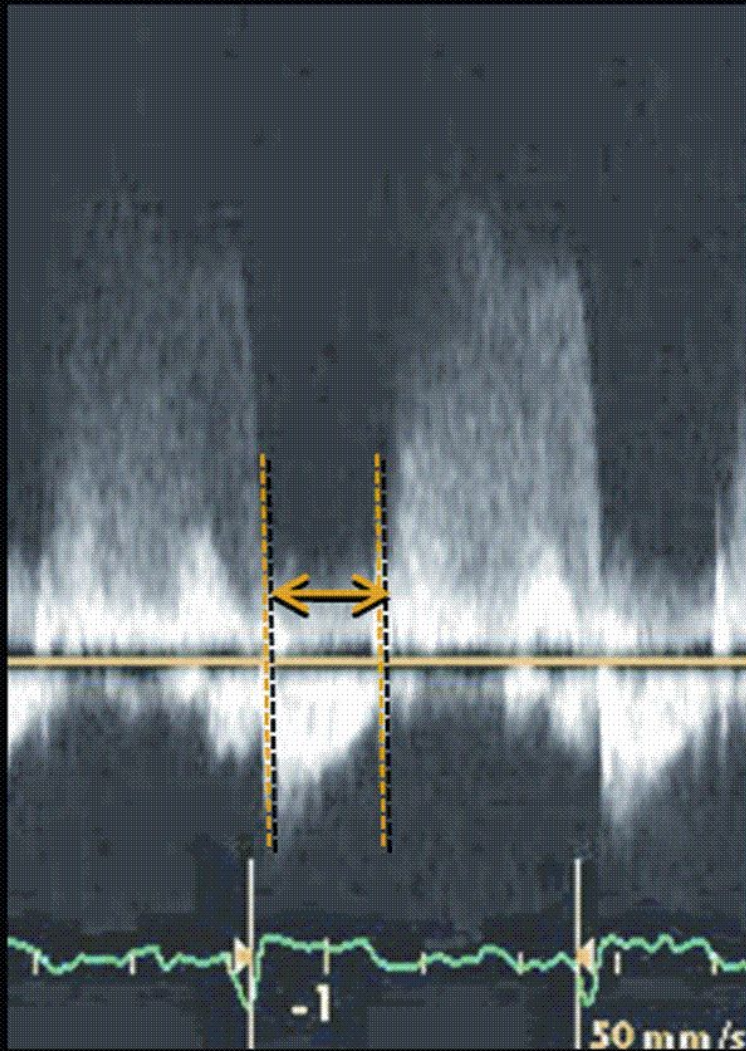




Time Relationships

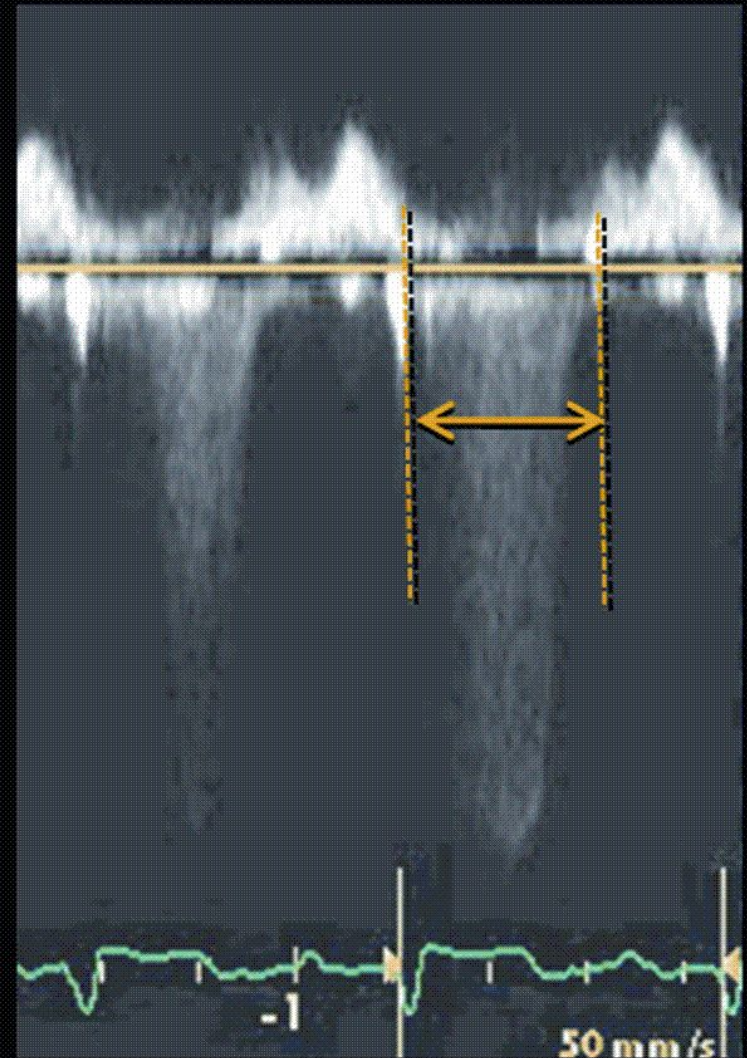


Differentiating Aortic and Mitral Flow

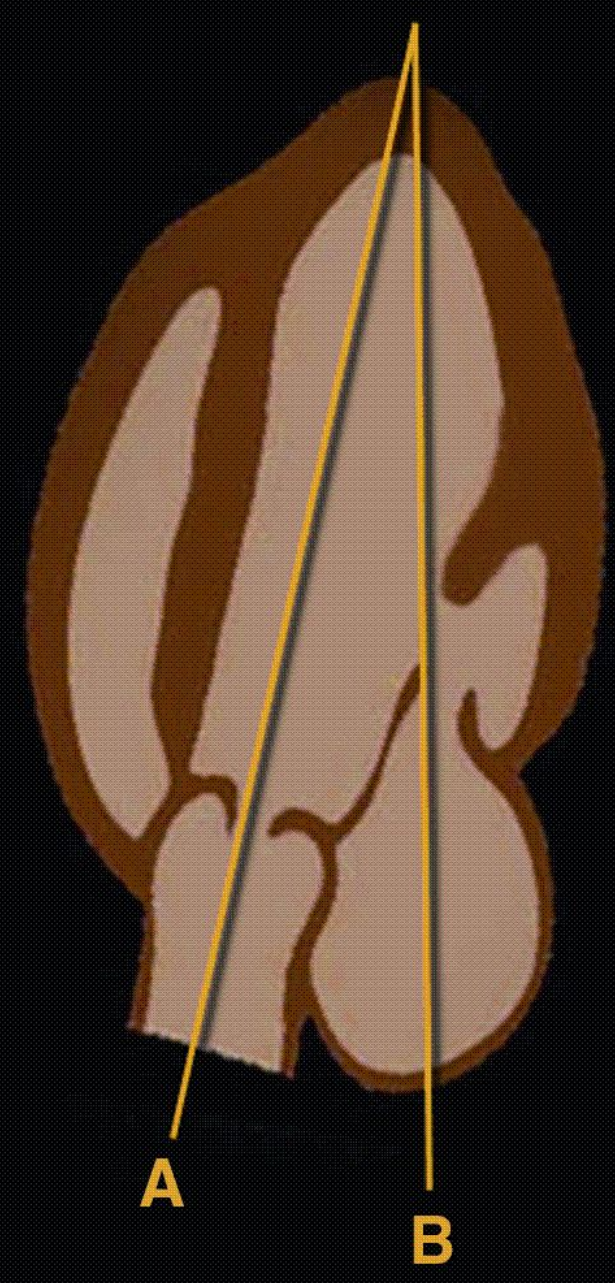
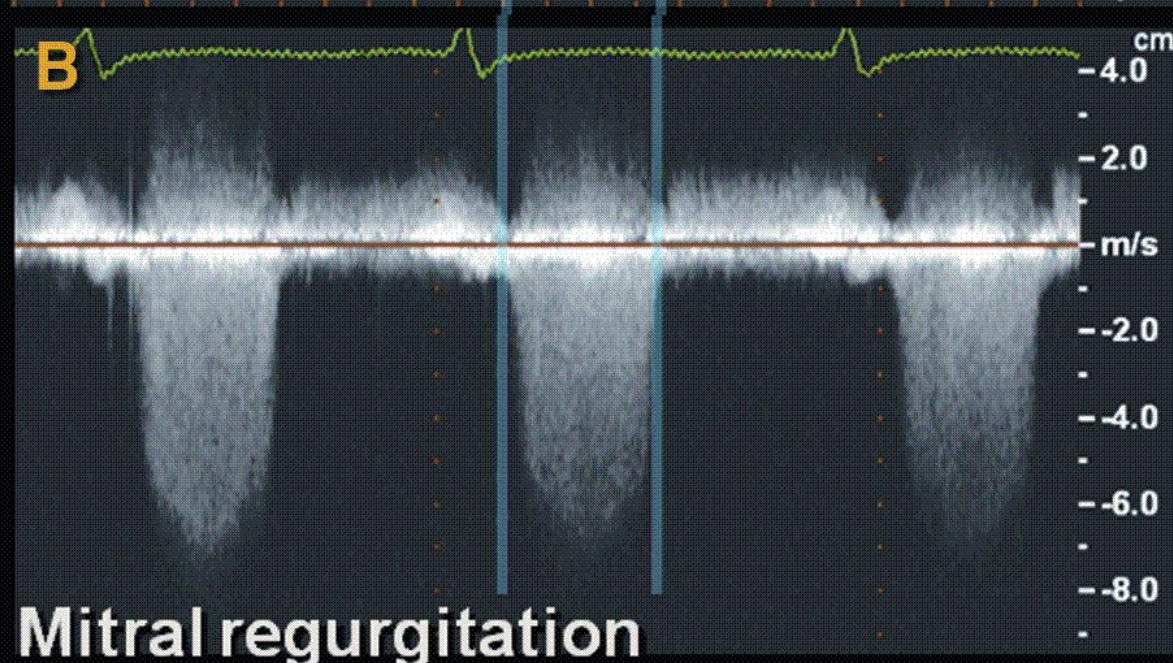
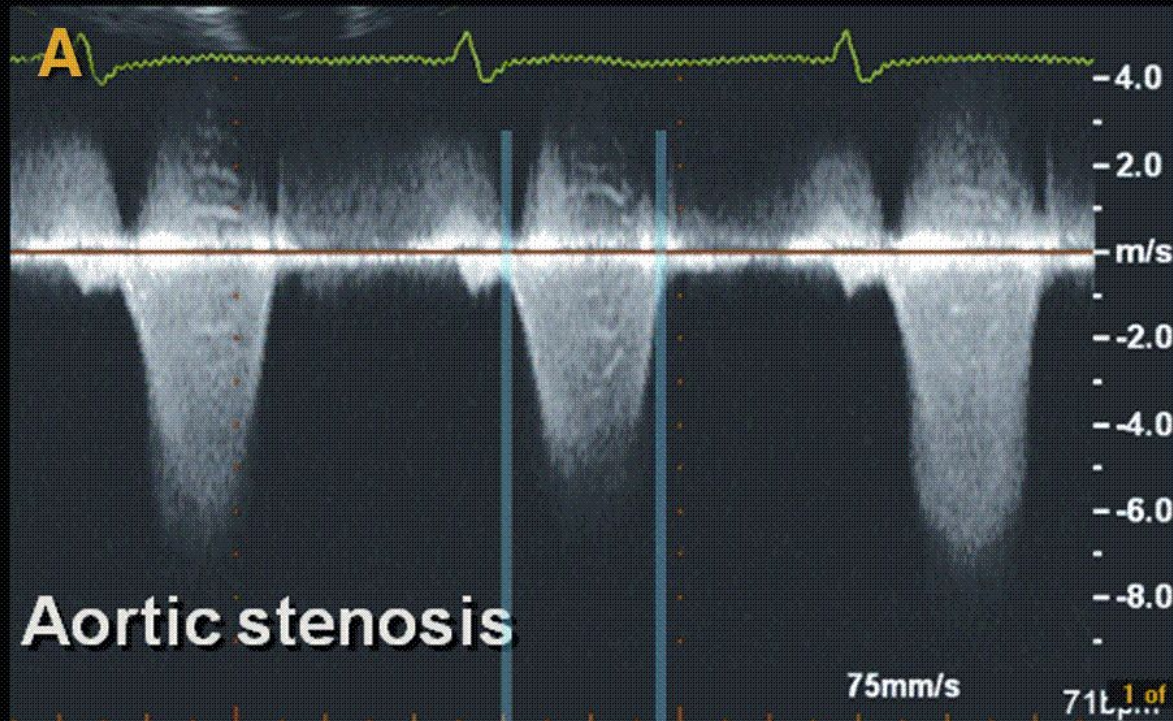


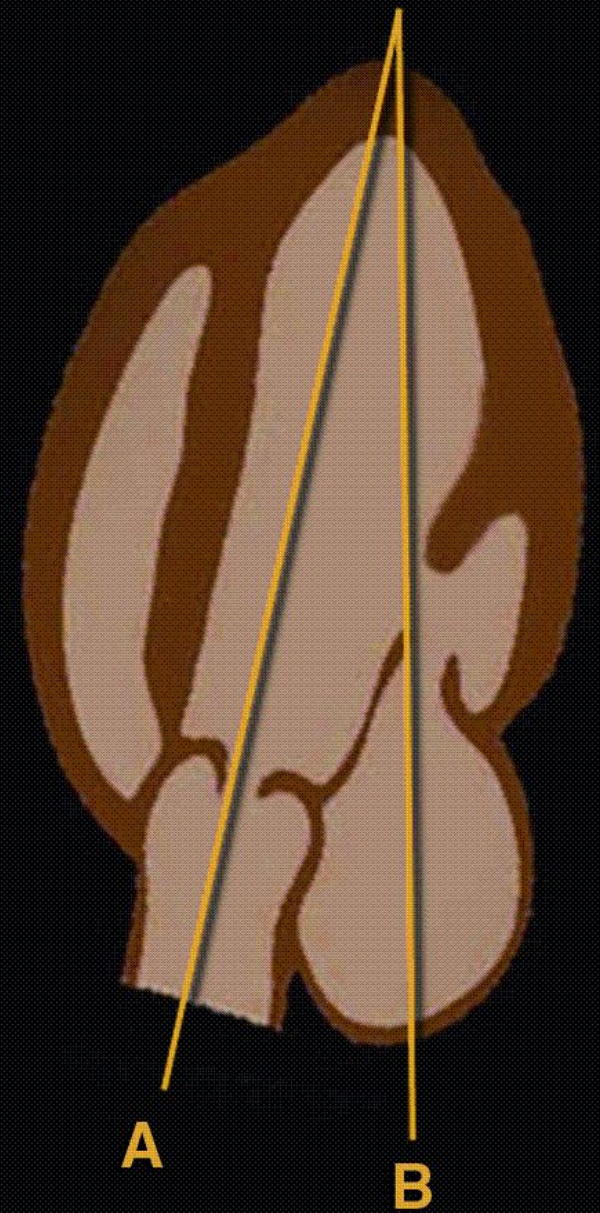
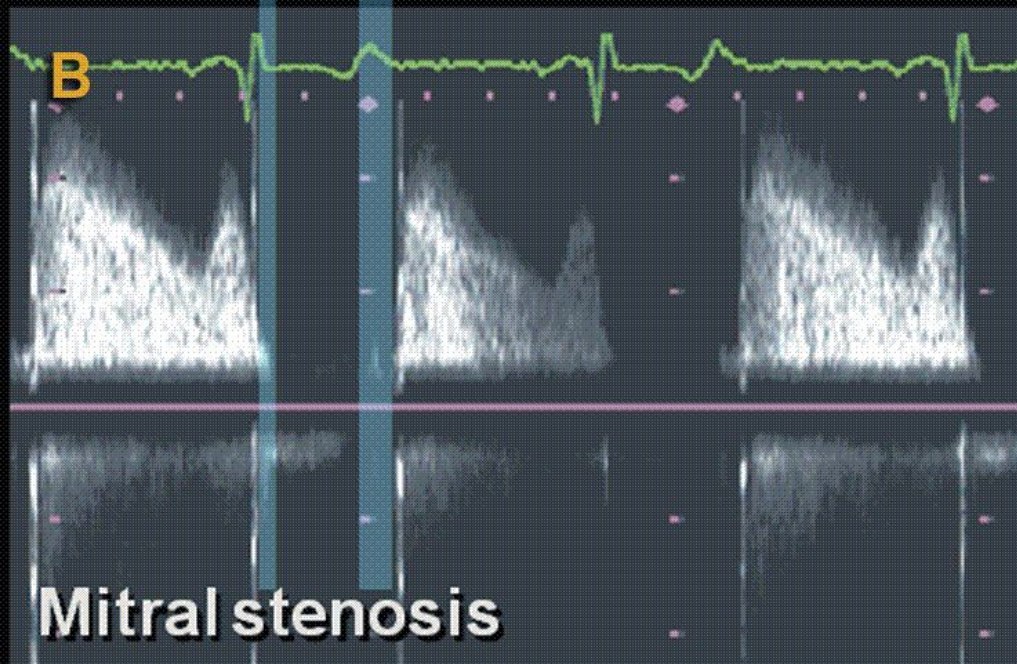
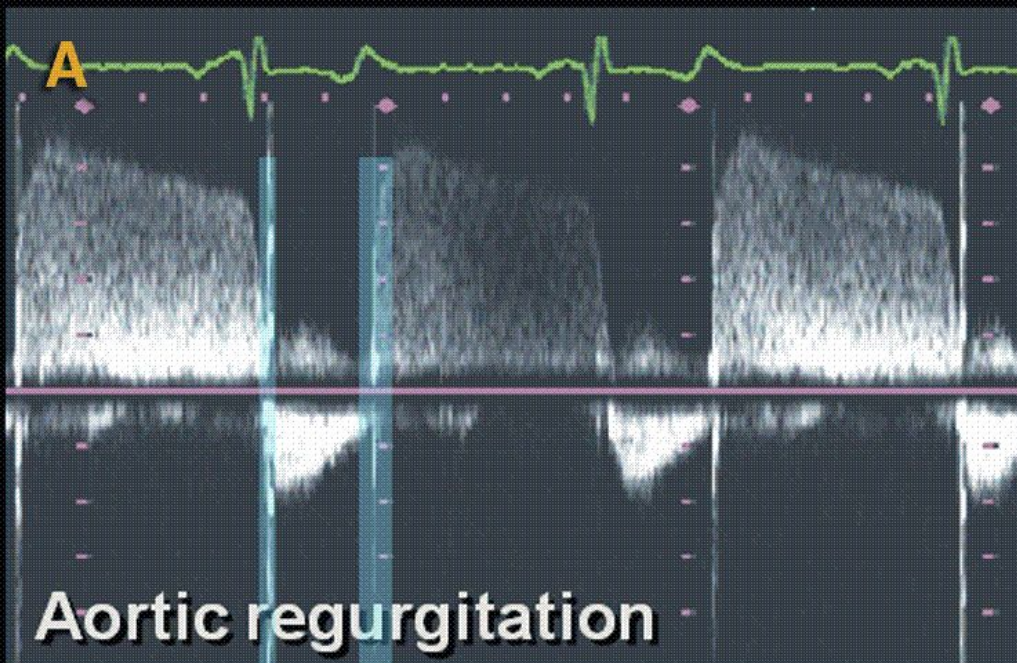
aortic outflow

↑
2 m/sec
↓

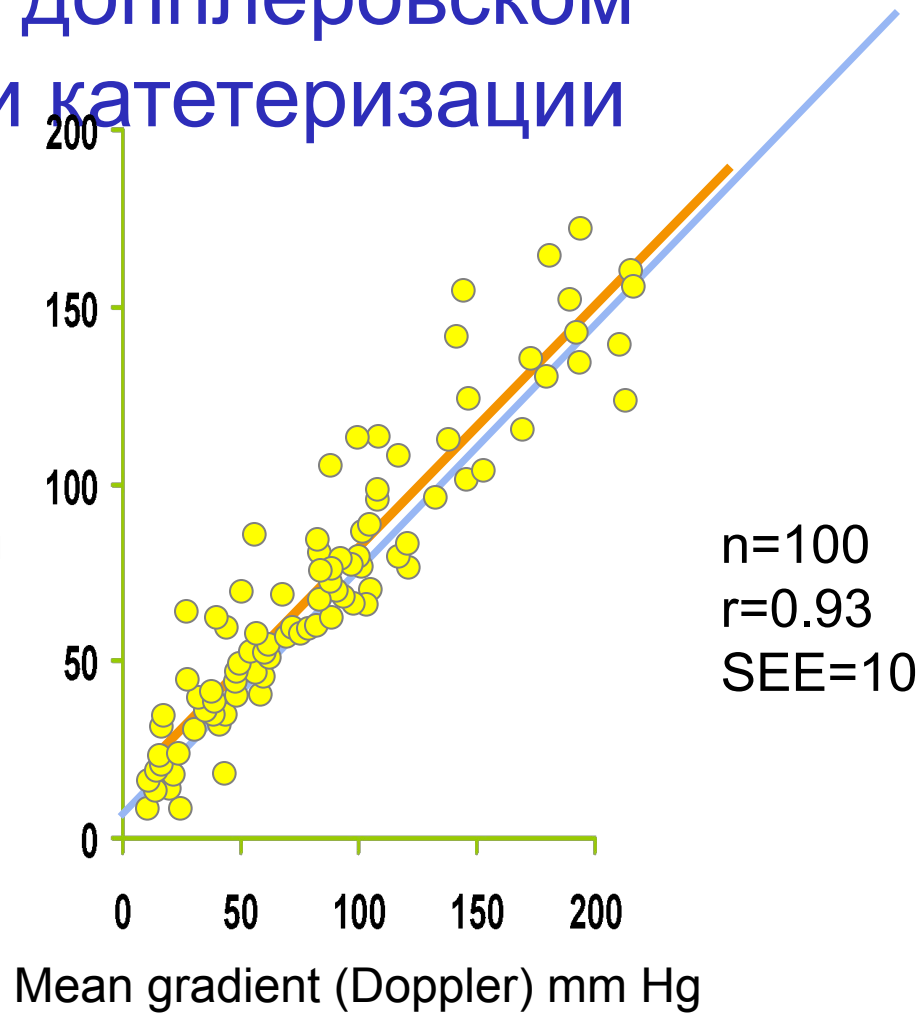
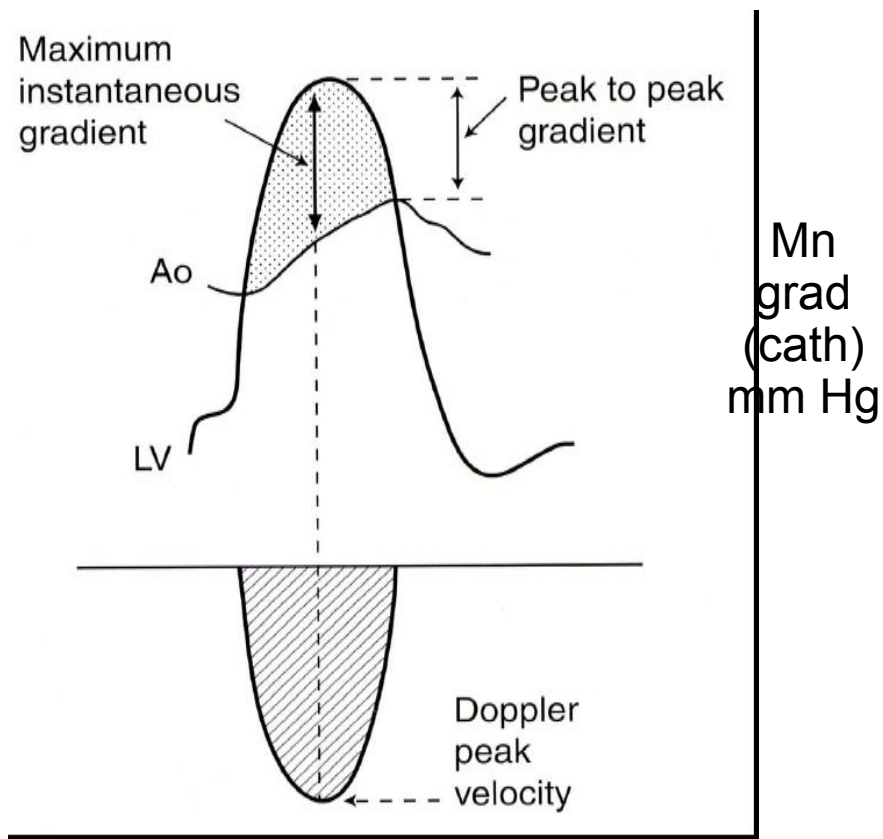


mitral
regurgitation





Отличия измеряемых максимальных градиентов при доплеровском исследовании и катетеризации



Несоответствие градиентов (ЭХОКГ и инвазивных)

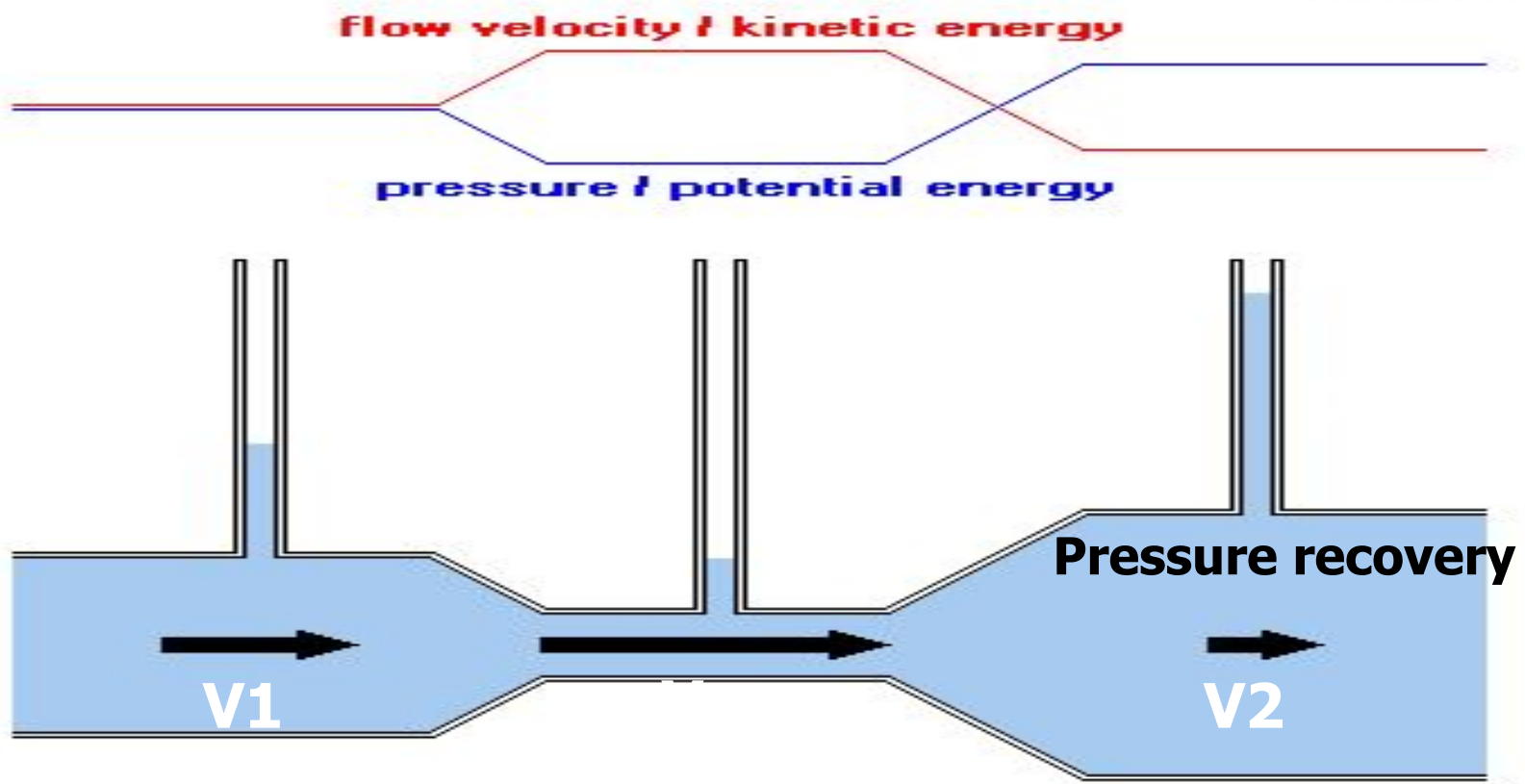
Физиологические отличия (УО, ОПСС)

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

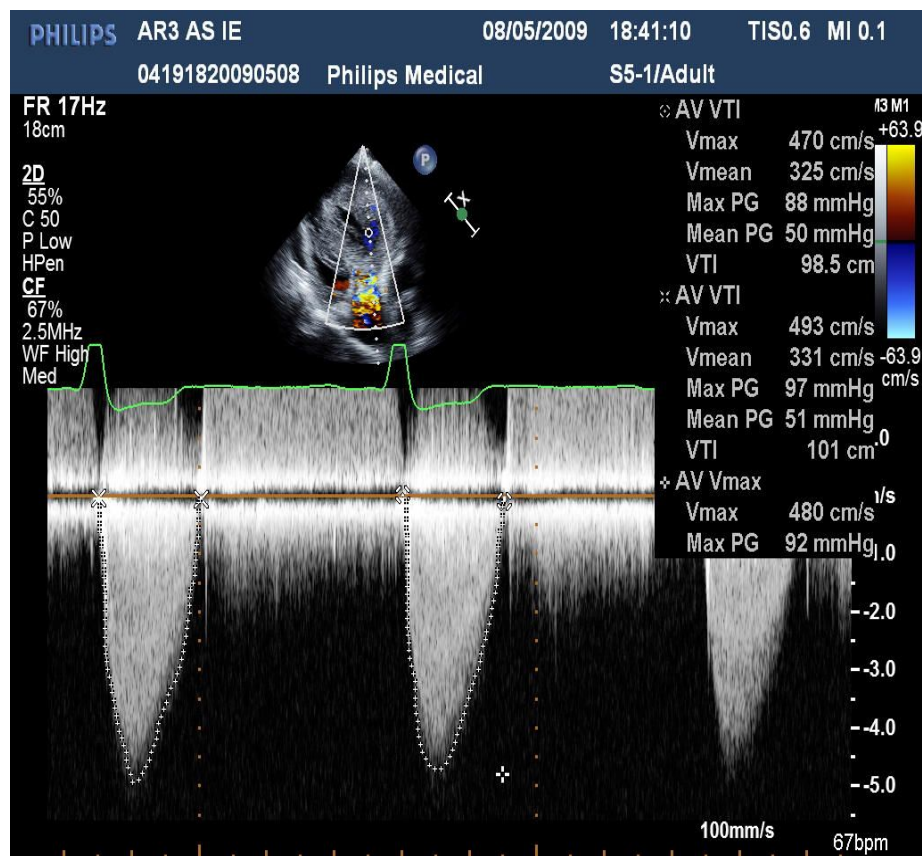
GUG/PD/1.1



Оценка тяжести аортального стеноза Стандартный подход (класс I)

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

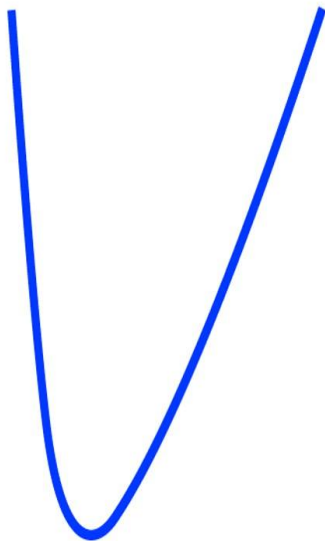
Средний градиент давления



Форма доплеровского сигнала при умеренном и тяжелом АС

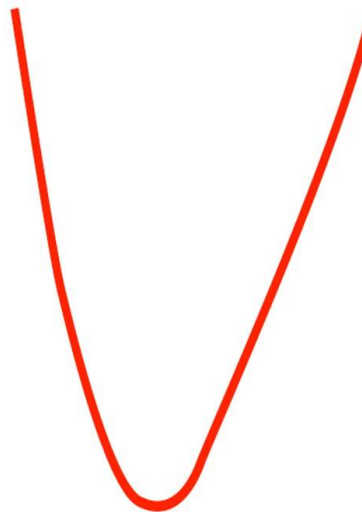
АС -тяжелый, если отношение максимального к среднему $\Delta P < 1.5$

Moderate

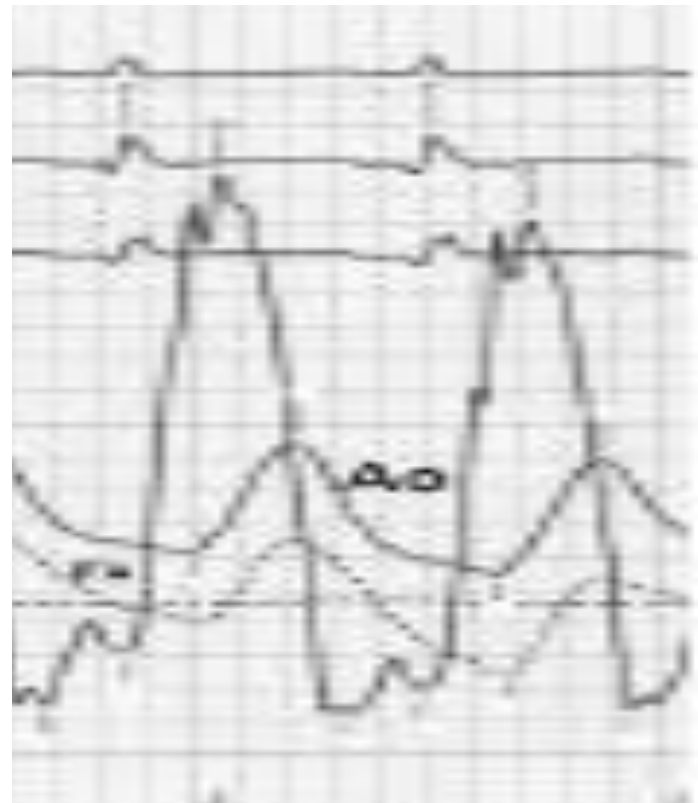


mean $\Delta P \cong \frac{1}{2}$ peak ΔP

Severe



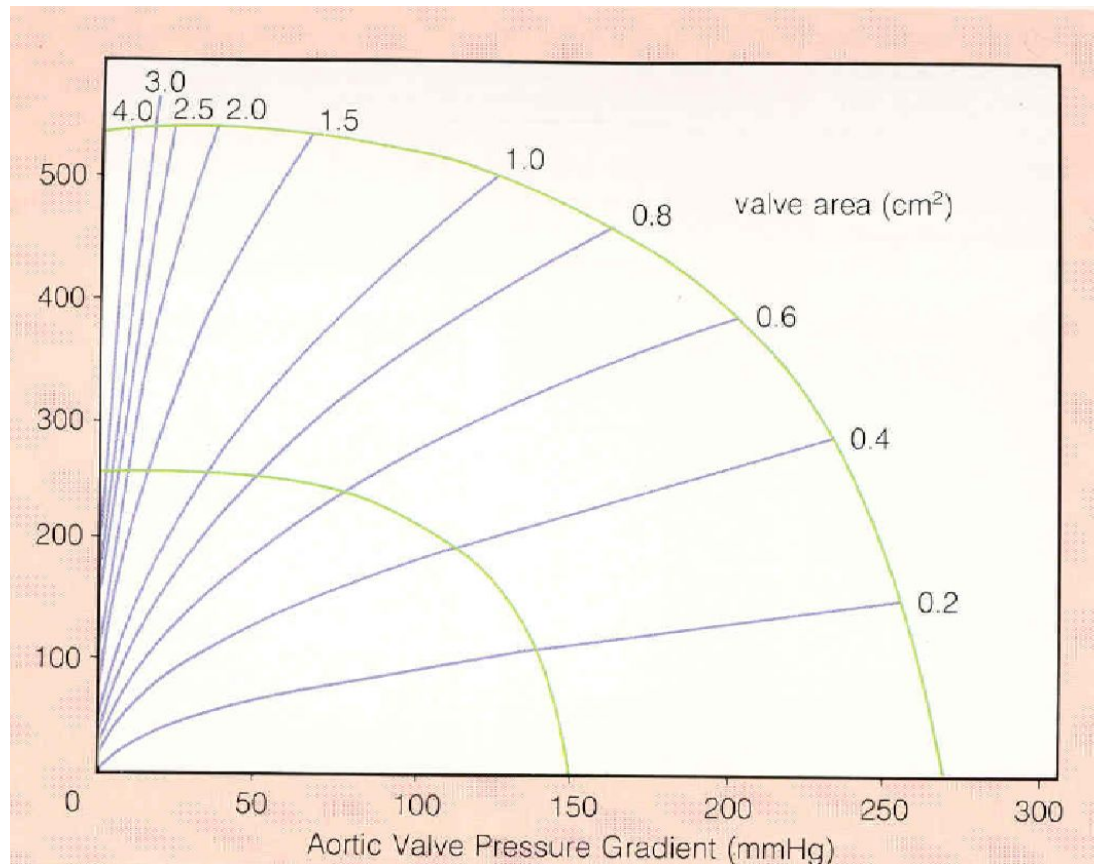
mean $\Delta P \cong \frac{2}{3}$ peak ΔP



ΔP зависит от объемного кровотока

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

Значения градиентов давления при различной объемной скорости кровотока и стенозировании АК



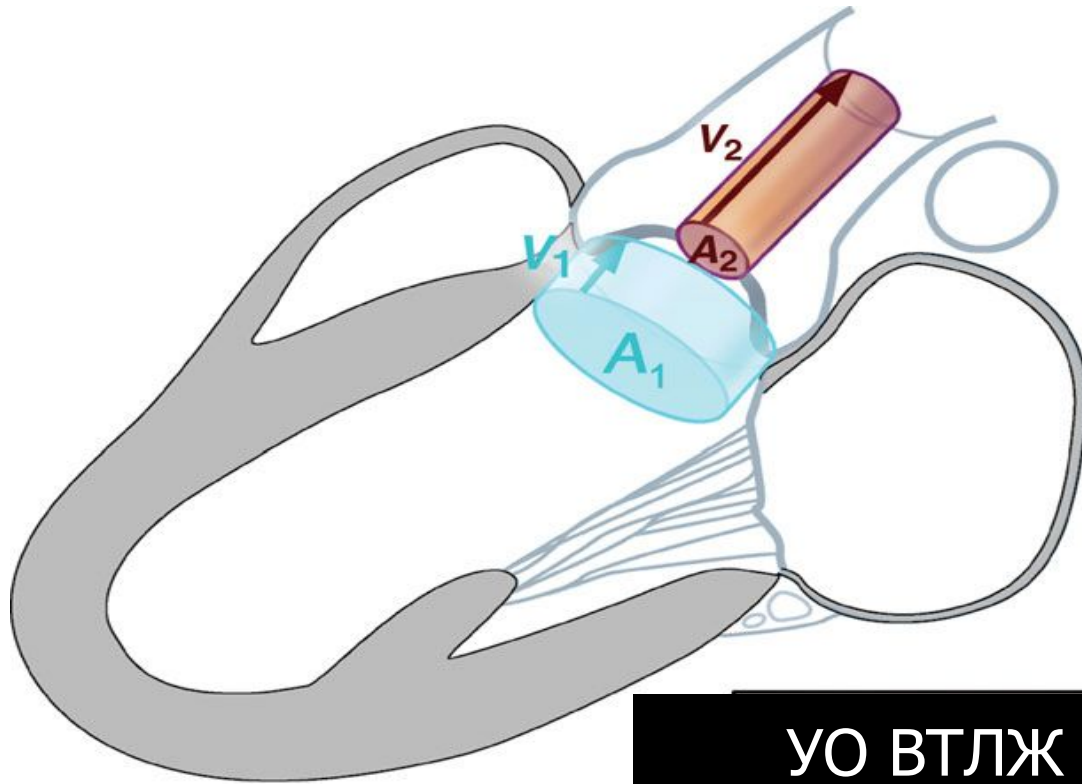
Оценка тяжести аортального стеноза Стандартный подход (класс I)

- Максимальная скорость кровотока (V_{max})
- Средний градиент давления (Δp_{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



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

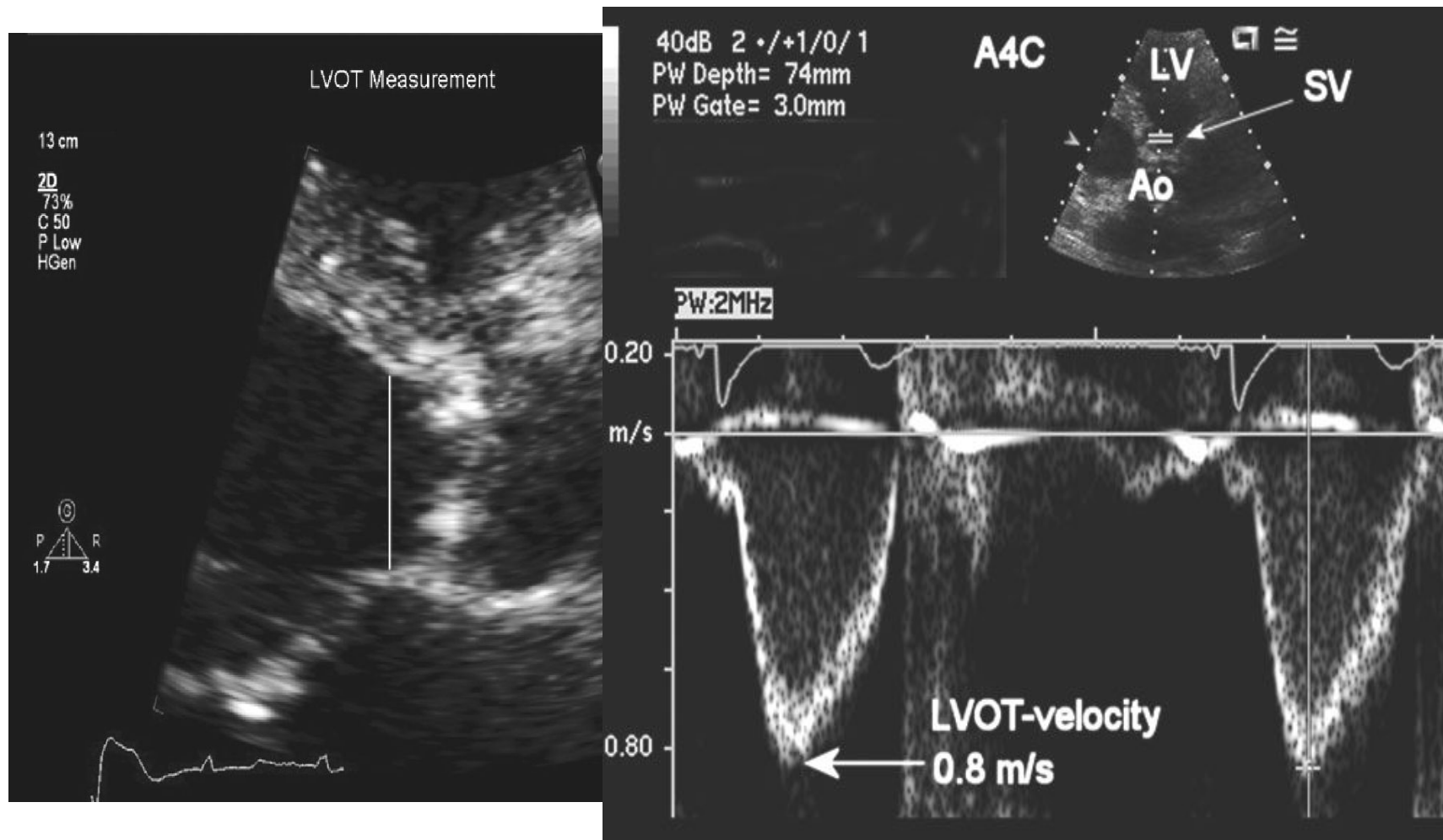
Расчет площади аортального отверстия по уравнению непрерывности потока

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

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

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

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



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

Классификация степени тяжести АС

Степень тяжести АС	V_{\max} , м/с	mean Δp mm Hg	AVA, cm^2	Индекс AVA cm^2/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.

C.M. Otto, 2006

Оценка прогрессирования АС

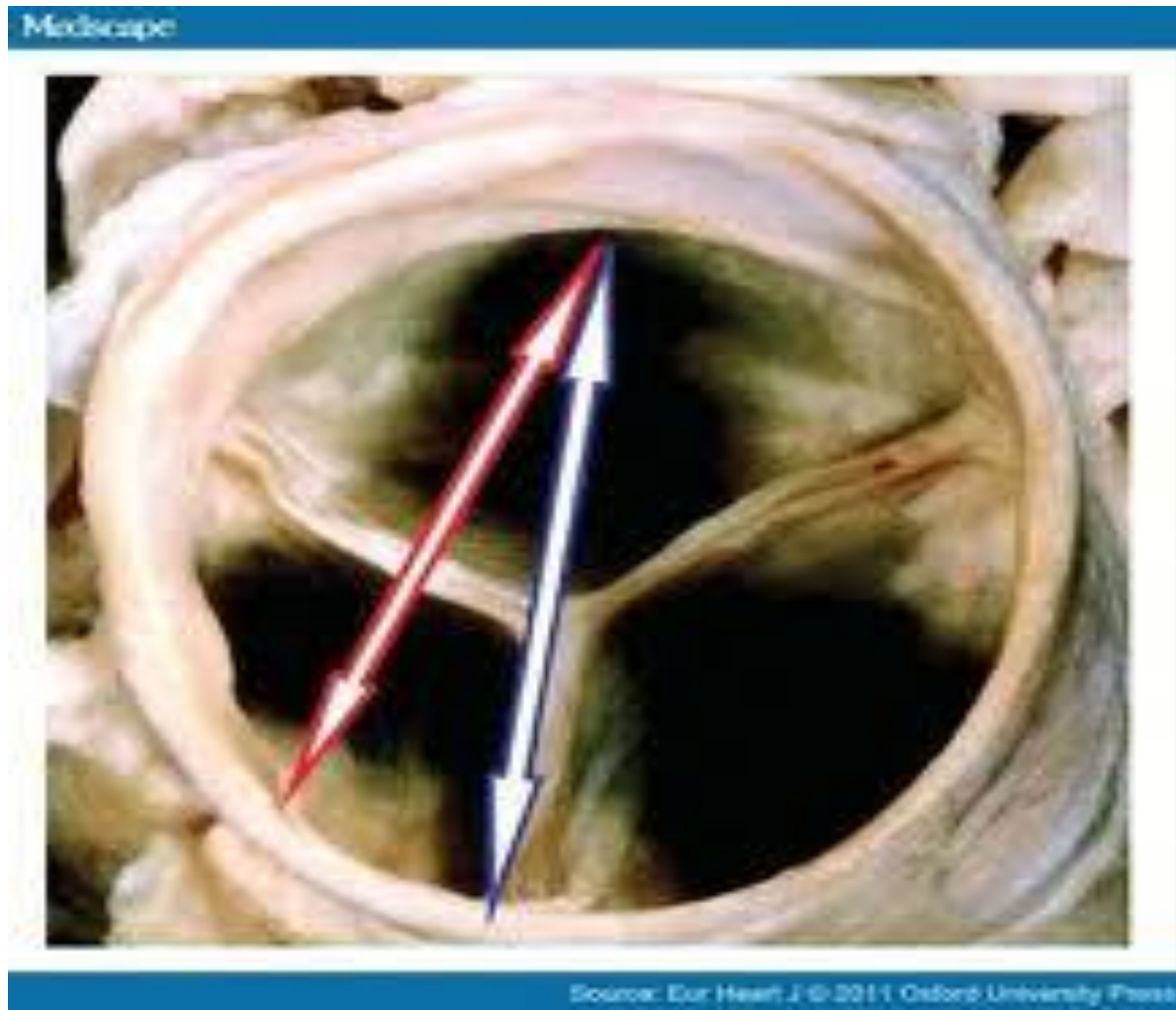
Отличия значимы при -

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

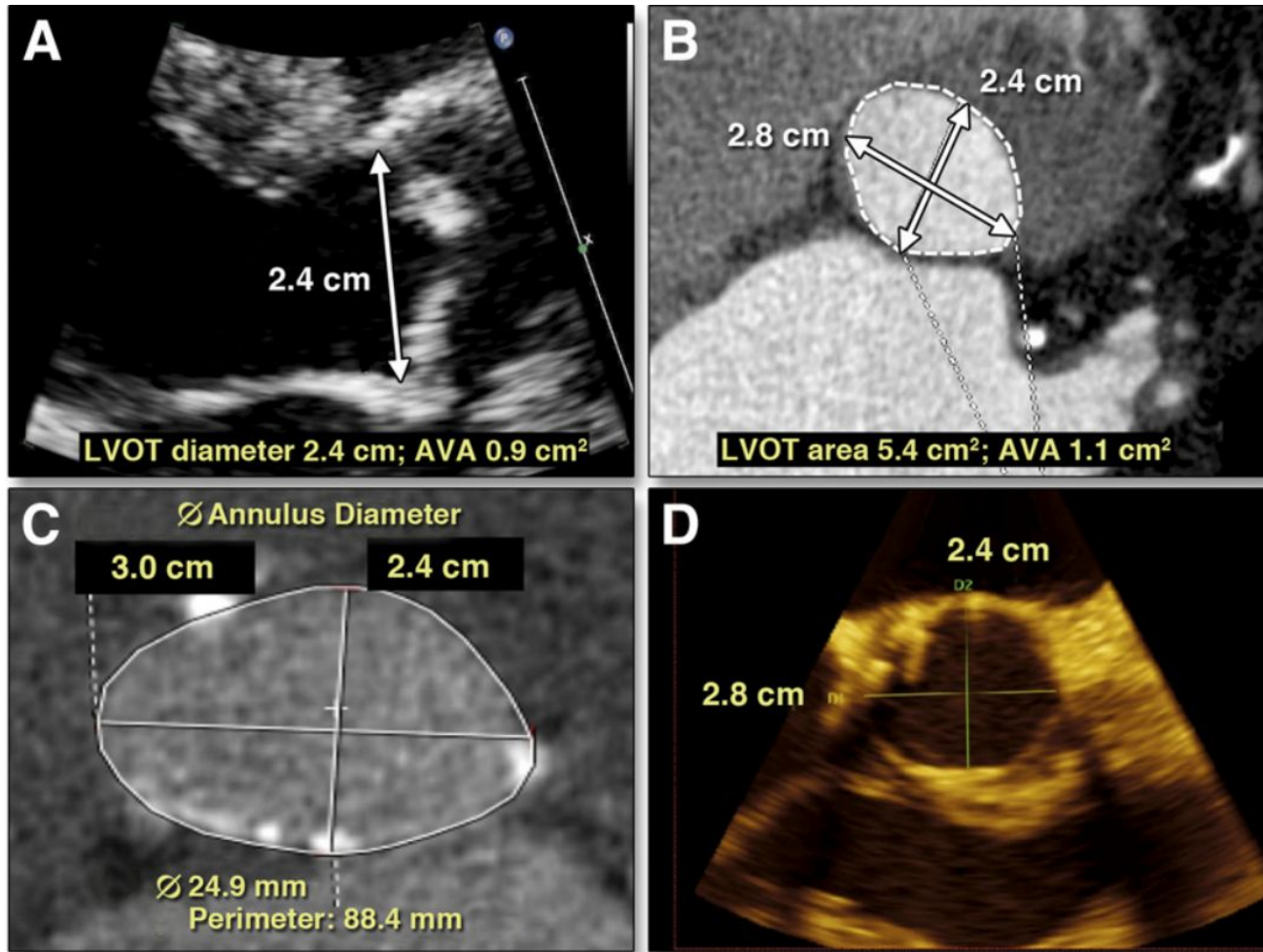
Причины несоответствий градиентов и AVA **общие**

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 m²
 - c. ИМТ менее 22

Возможная причина занижения расчетной площади АК



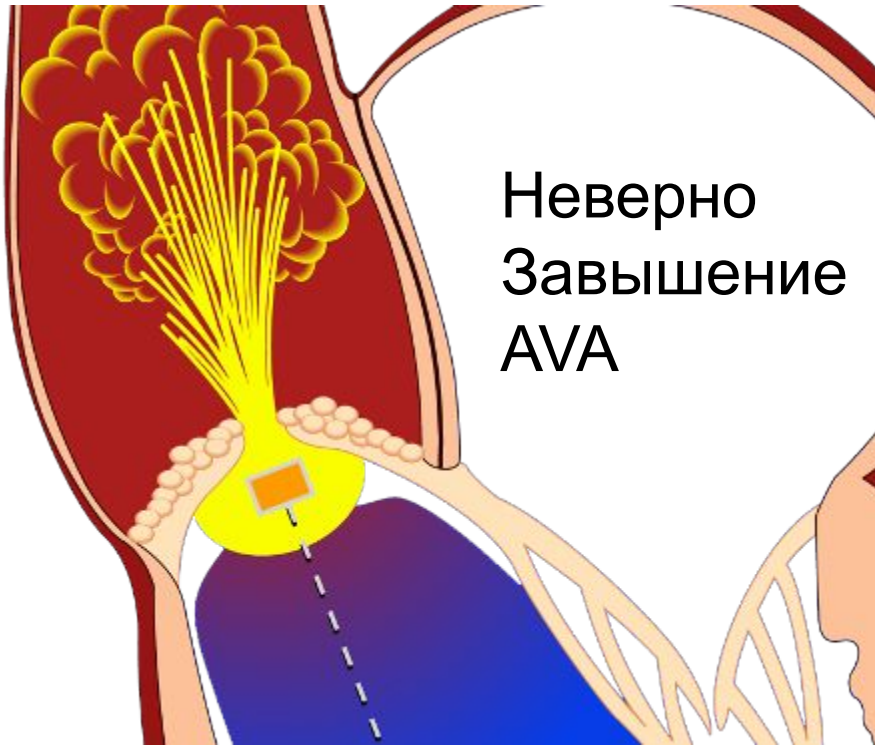
Преимущество 3D при определении площади LVOT



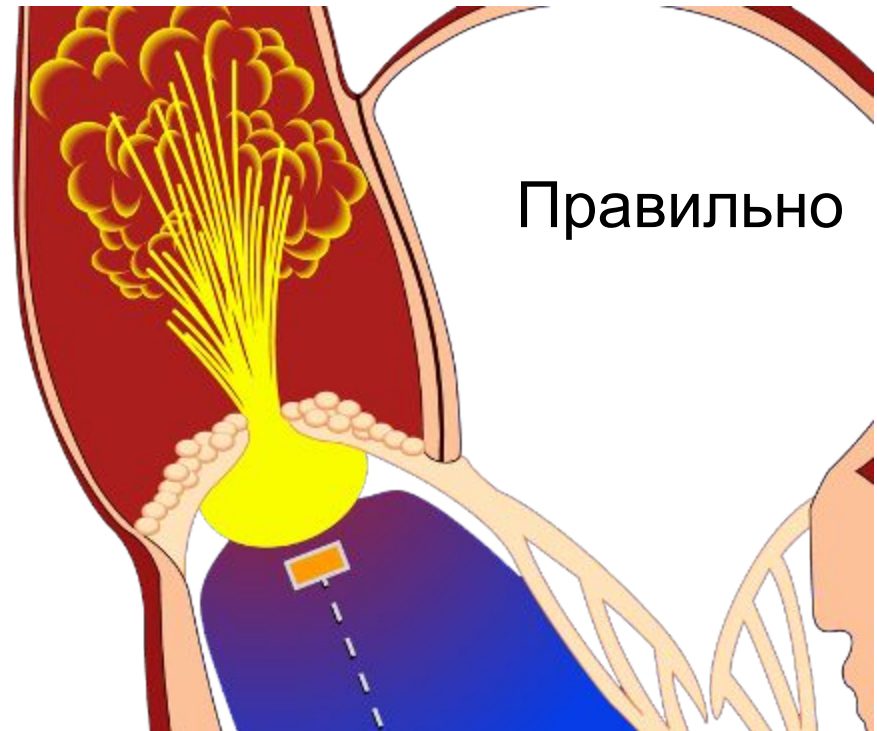
Причины несоответствий градиентов и AVA общие

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^2
 - 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
 - a. УО по VTI LVOT
 - b. 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

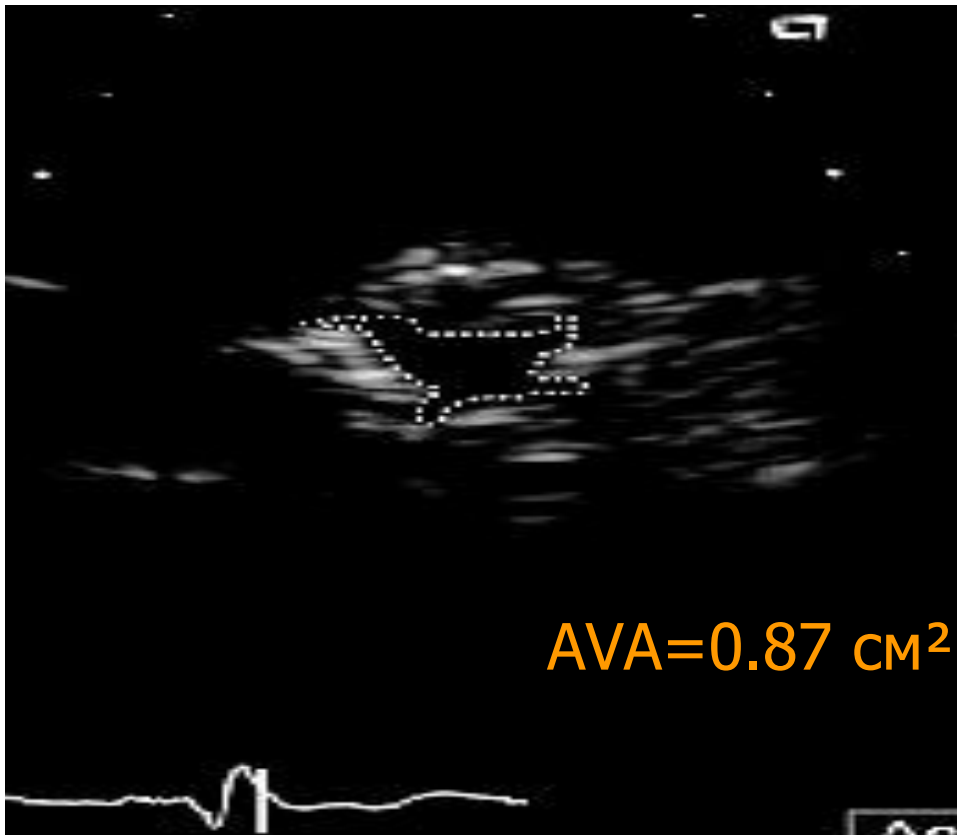
$$AVA = \frac{CSA_{LVOT} \times V_{LVOT}}{V_{AV}}$$

2. Отношение скоростей/интегралов ВТЛЖ/АК

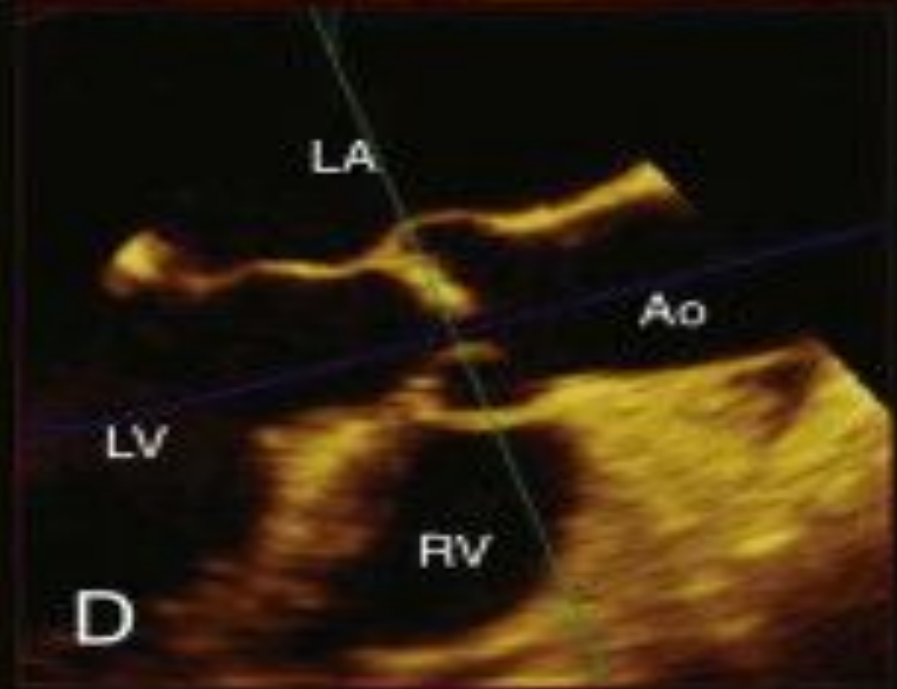
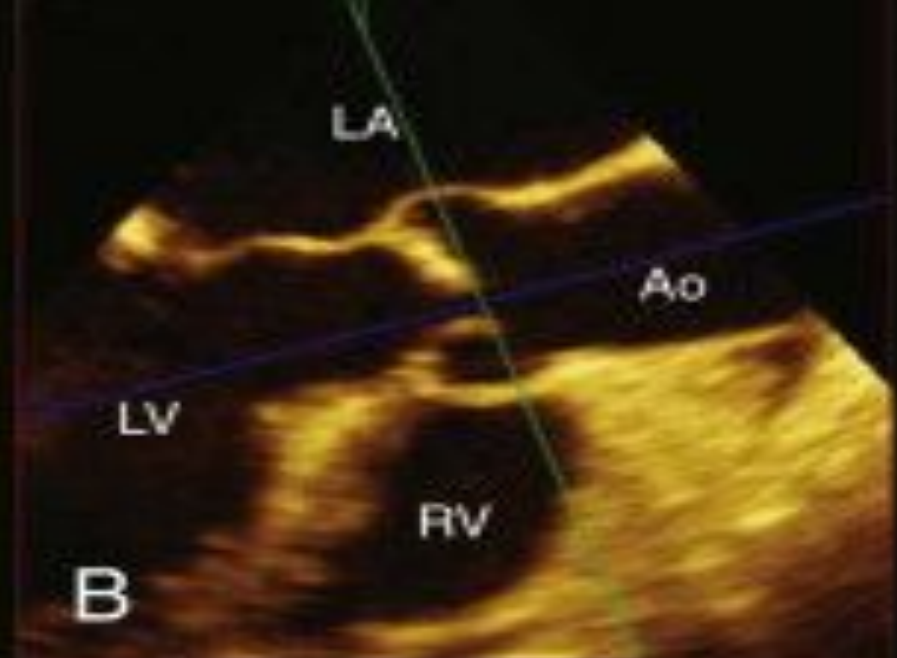
$$\text{Velocity ratio} = \frac{V_{LVOT}}{V_{AV}}$$

3. Планиметрия 2D / 3D TTE / TEE

Планиметрический метод определения площади аортального отверстия в режиме 2D



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

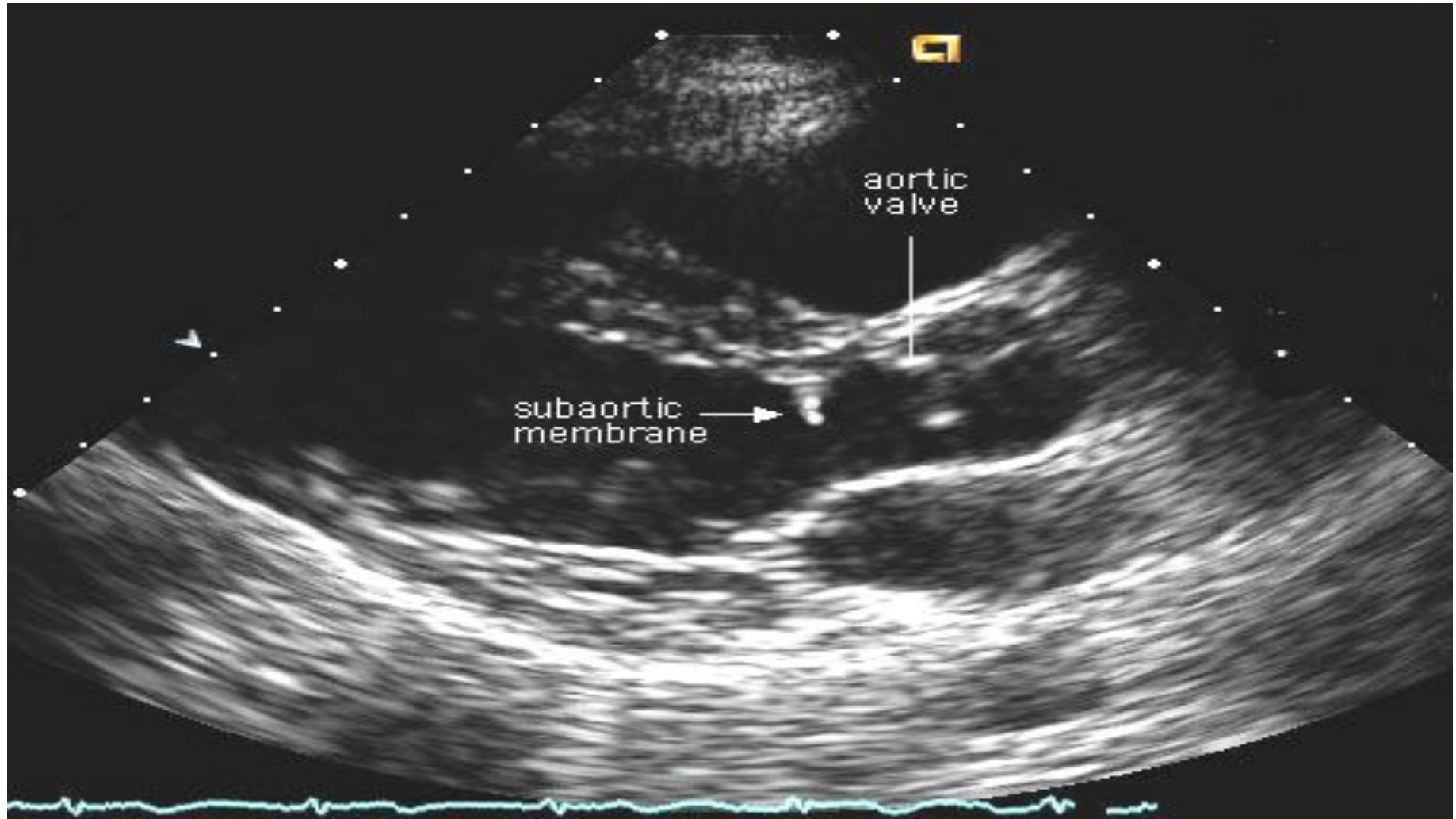


Area 26, 34	cm	1E, 1EE, 3D-echo	1.0	valve orifice as measured by 2D or 3D echo.	are unavailable.	may be variable. Difficult with severe valve calcification.
LV % Stroke Work Loss ²⁷	%	$\%SWL = \frac{\overline{\Delta P}}{\Delta P + SBP} \cdot 100$	25	Work of the LV wasted each systole for flow to cross 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 ² /m ²	$ELI = \frac{AVA \cdot AA}{AA - AVA} / BSA$	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 ³¹	mm Hg/ml/m ²	$Z_{VA} = \frac{\overline{\Delta P_{net}} + SBP}{SVI}$	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 ⁵	$AVR = \frac{\overline{\Delta P}}{Q} = \frac{\overline{4 \cdot v^2}}{v_{LVOT}^2 \cdot v_{LVOT}} \cdot 1333$	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 ²	$AVA_{proj} = AVA_{rest} + VC \cdot (250 - Q_{rest})$	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.

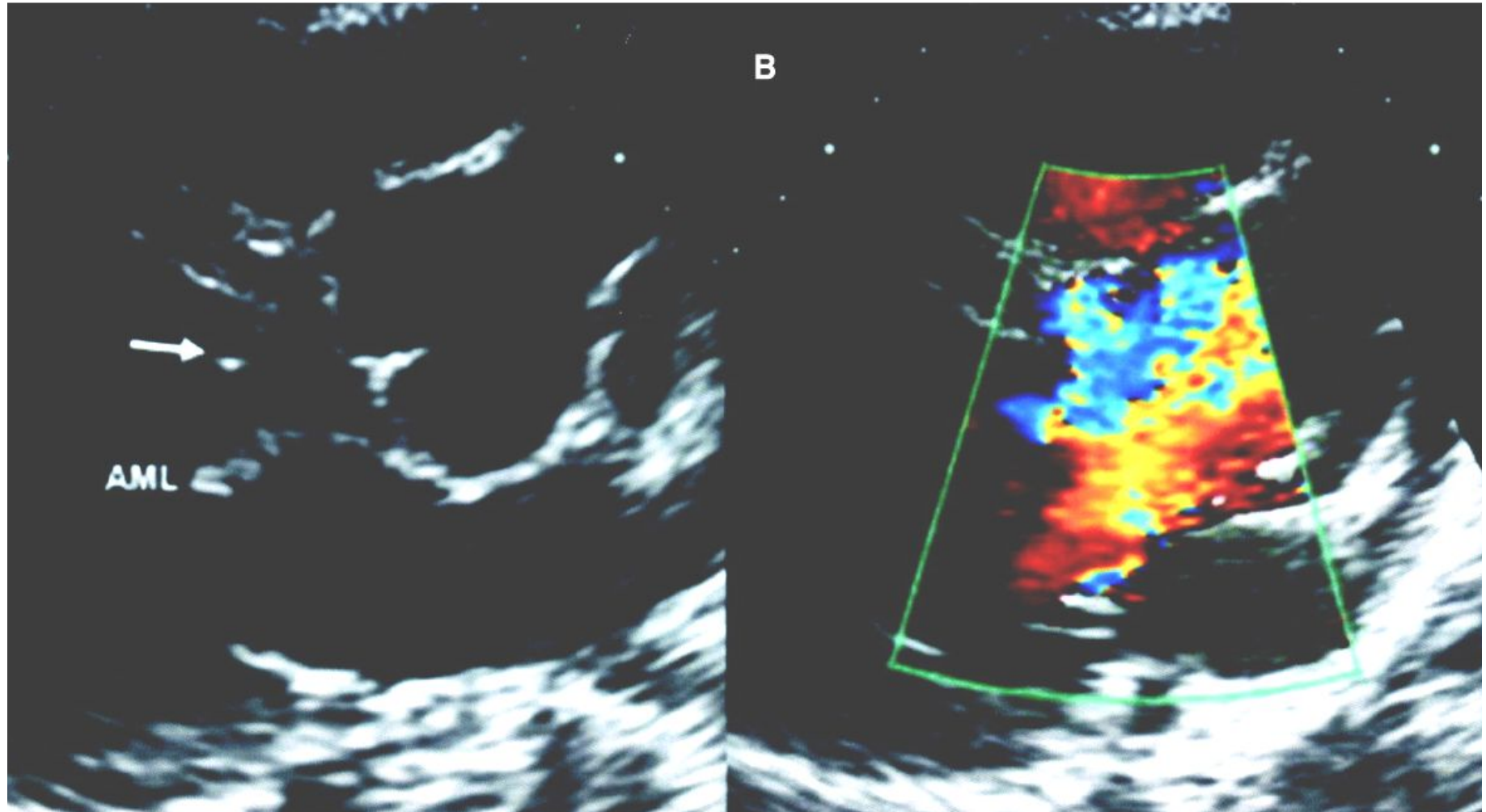
Дифференциальный диагноз обструкций выходного тракта ЛЖ

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

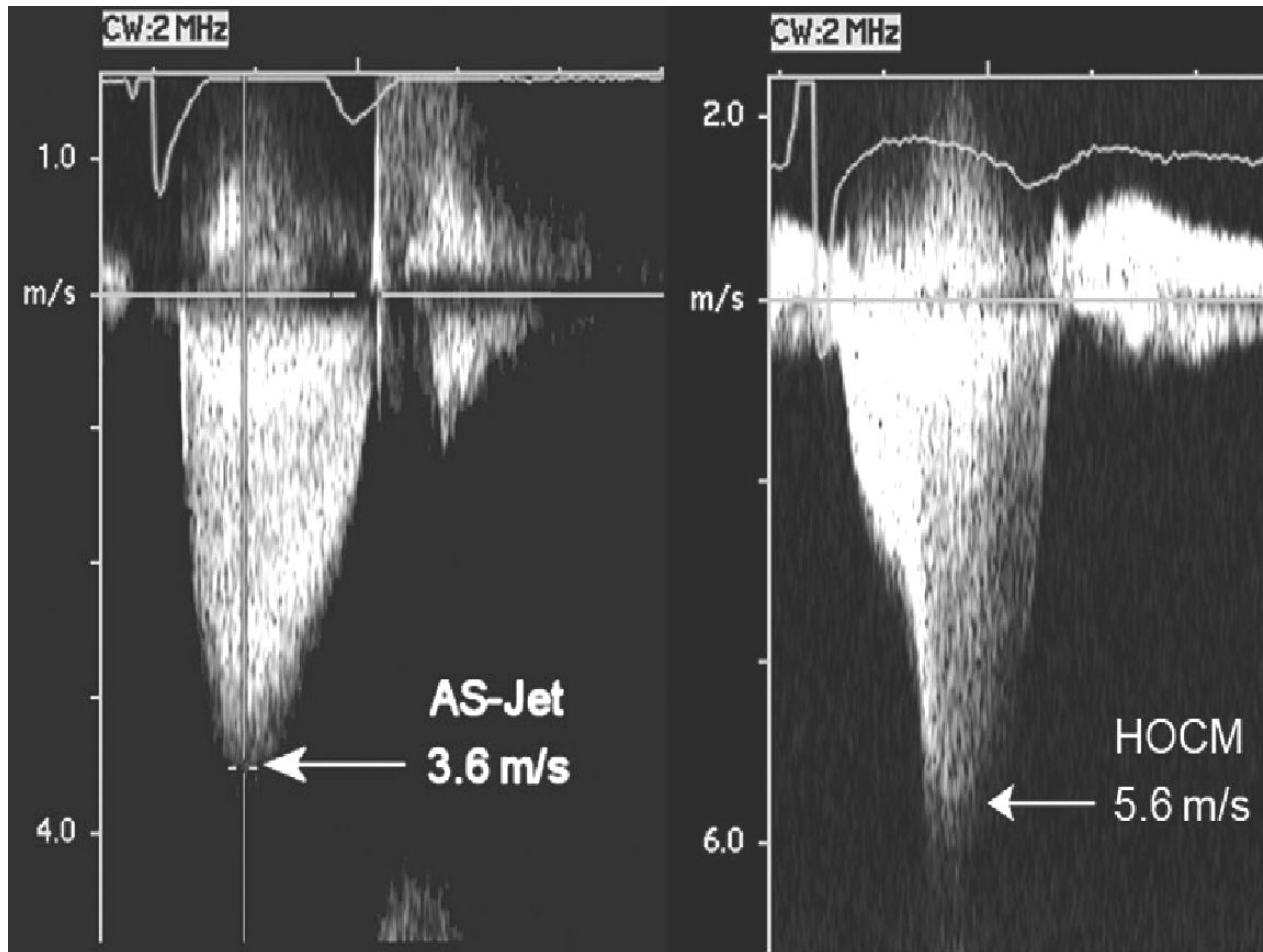
Дискретный субаортальный стеноз



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 см²
- Индекс AVA $< 0,6$ см²/м²
- Фракция выброса ЛЖ $< 40\%$

АС со сниженной систолической функцией ЛЖ и низким градиентом

AVA < 1cm²
Низкий СВ
Низкий Δр

Истинно тяжелый АС

Причина
снижения ФВ ЛЖ

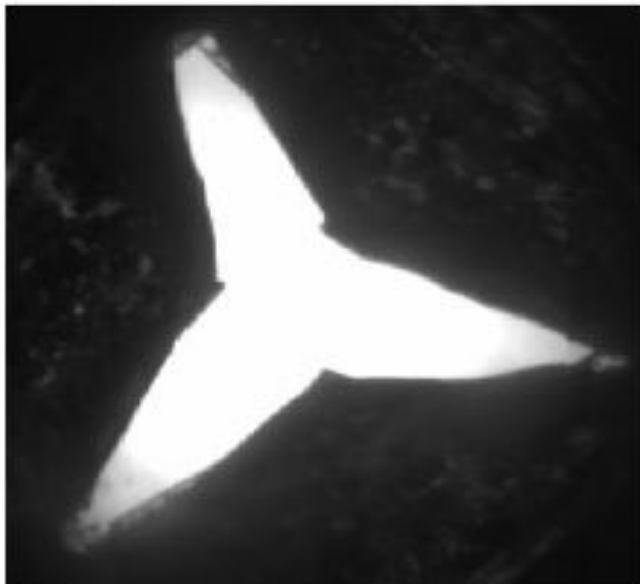
Псевдостеноз

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

Псевдотяжелый стеноз

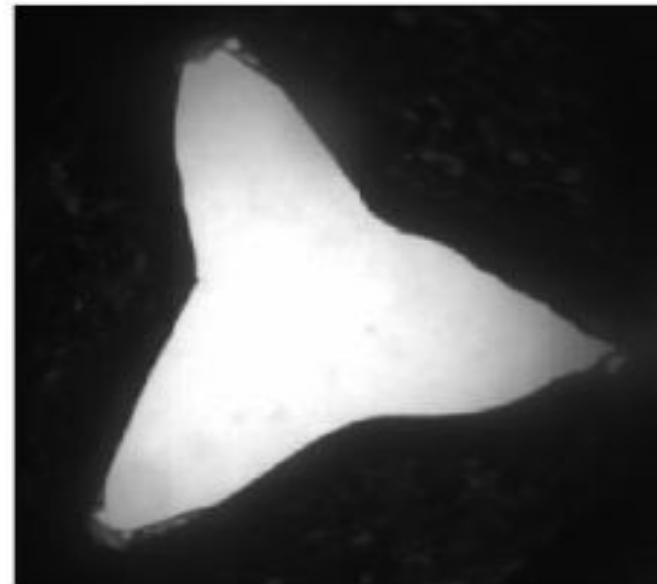
Pseudo Severe Valve

Panel A



SV: 20 mL
EOA: 0.57 cm²
MG: 9 mm Hg

Panel B



SV: 70 mL
EOA: 1.08 cm²
MG: 26 mm Hg

Истинно тяжелый АС

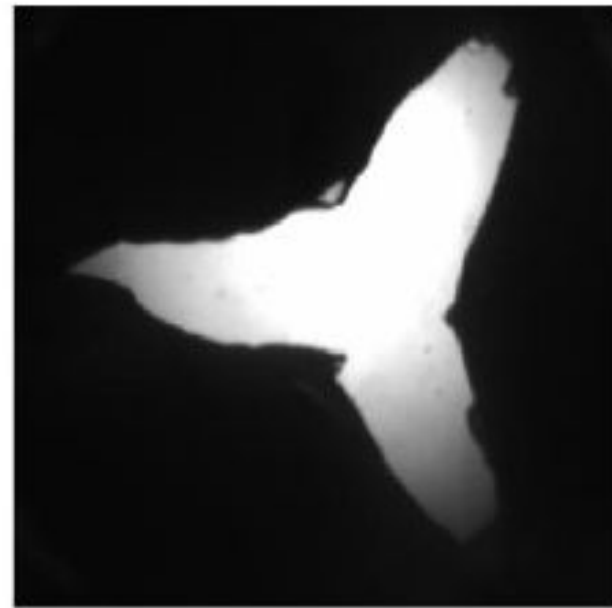
Truly Severe Valve

Panel C

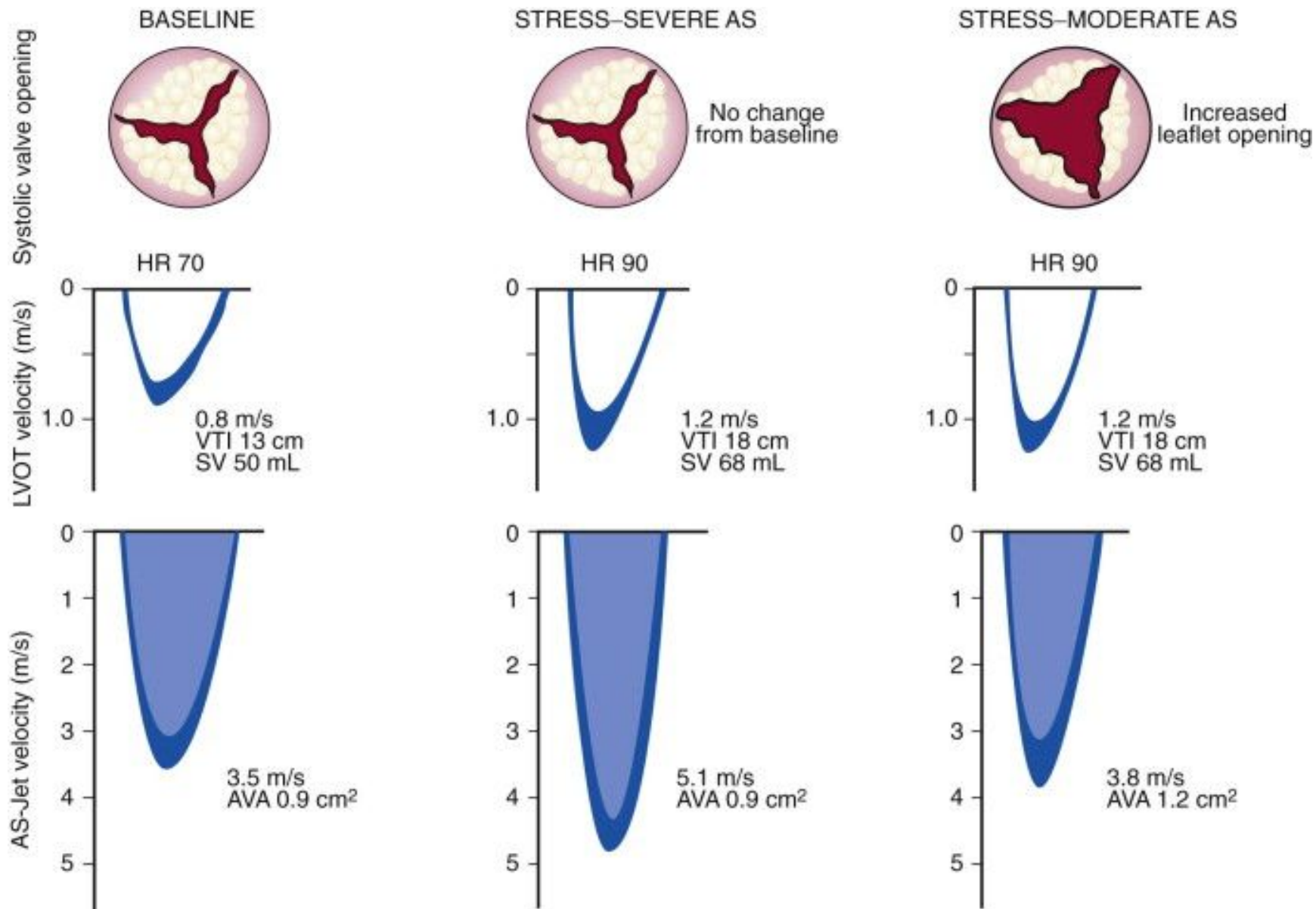


SV: 20 mL
EOA: 0.50 cm²
MG: 20 mm Hg

Panel D



SV: 70 mL
EOA: 0.84 cm²
MG: 42 mm Hg



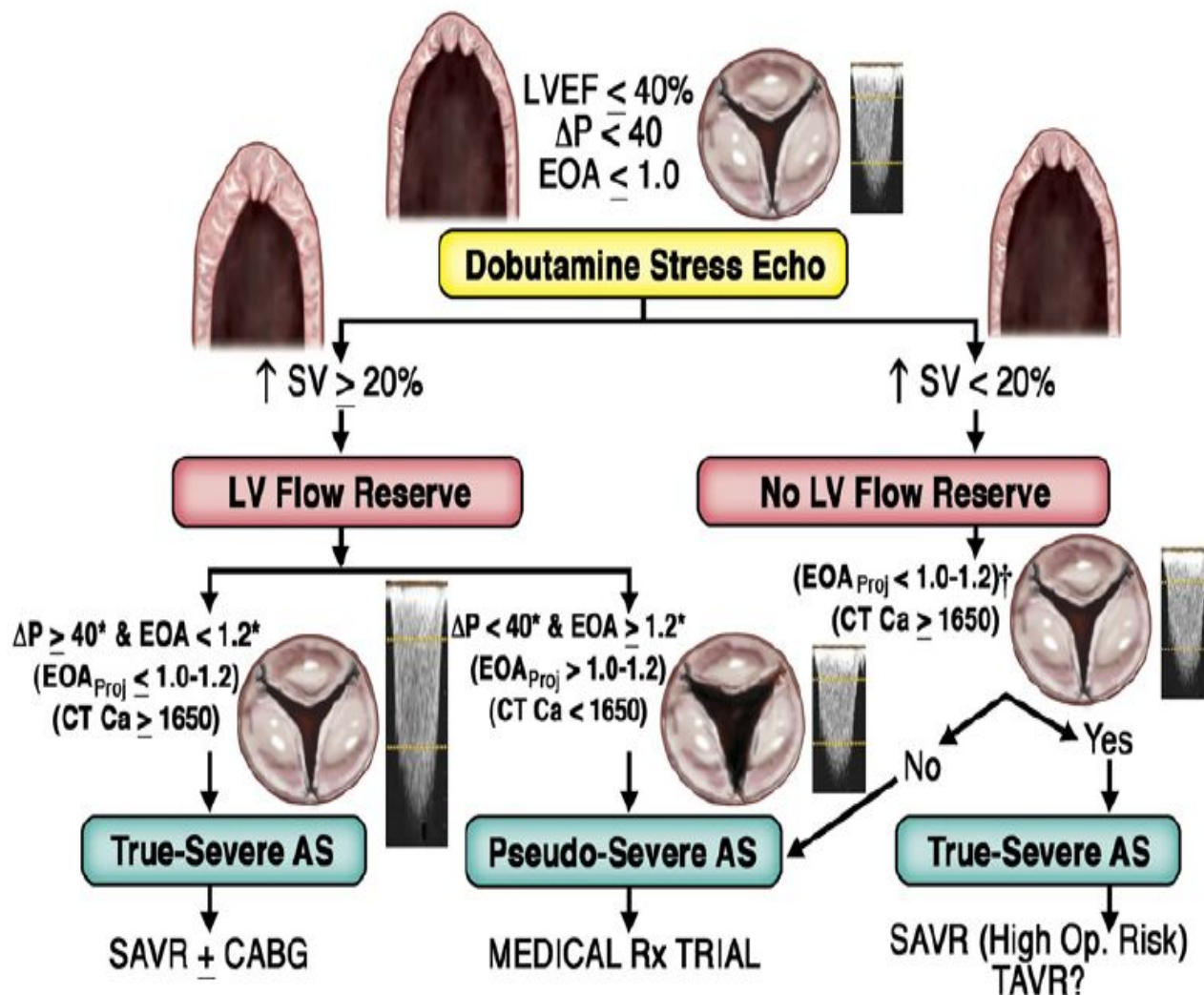
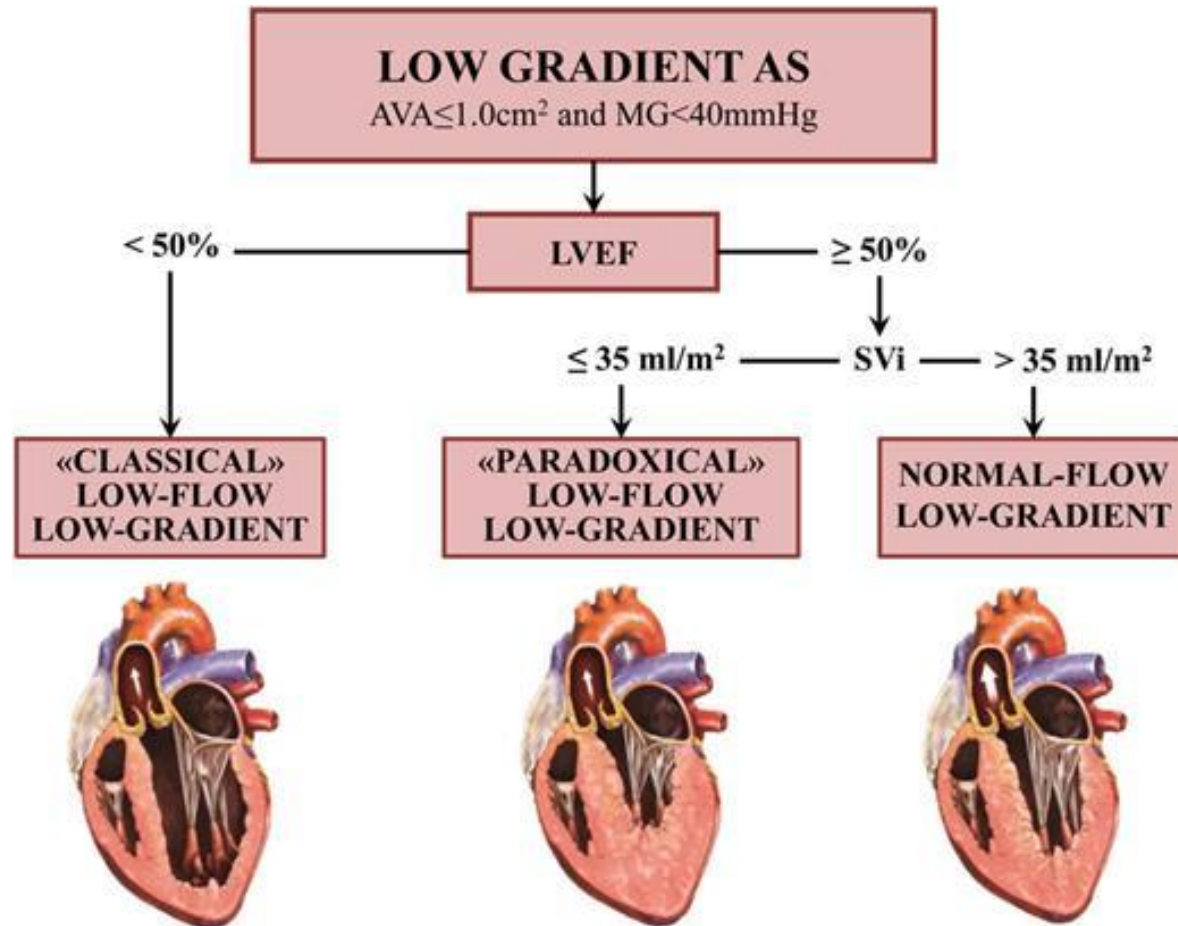


Figure 2 Clinical Decision Making Process in Low LVEF, LF-LG Severe AS

Стресс-эхокардиография с добутамином

	УО	Δp	AVA
Тяжелый АС	↑ (>20%)	↑ (>40 mm Hg)	→ ($\Delta < 0.2(0.3)$ см ²) ≤ 1(1.2) см ²
Псевдотяжелый АС	↑	→	↑ >1.0 см ²
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)

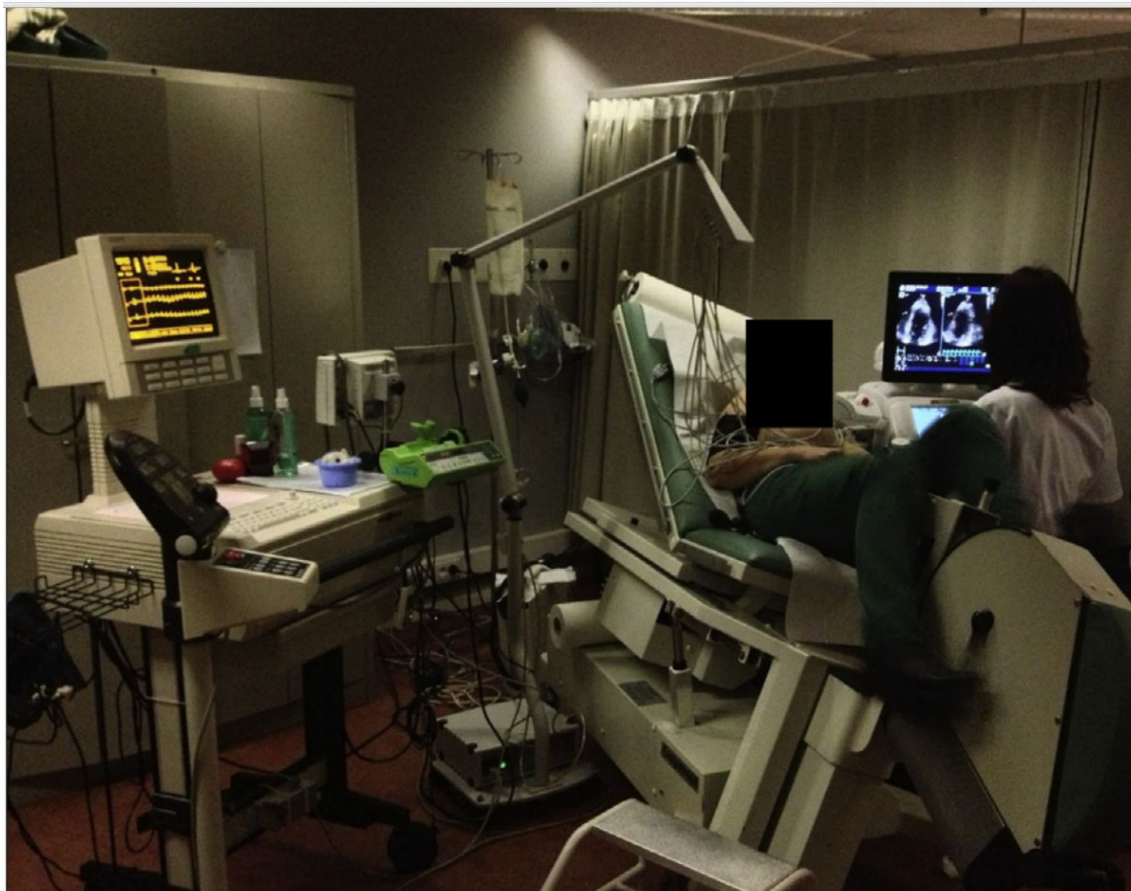
Градиенты — только из желудочного доступа, возможны ошибки в неопытных руках

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^{1,2*}, Patricia A. Pellikka³, Werner Budts⁴, Farooq A. Chaudhry⁵, Erwan Donal⁶, Raluca Dulgheru¹, Thor Edvardsen⁷, Madalina Garbi⁸, Jong-Won Ha⁹, Garvan C. Kane³, Joe Kreeger¹⁰, Luc Mertens¹¹, Philippe Pibarot¹², Eugenio Picano¹³, Thomas Ryan¹⁴, Jeane M. Tsutsui¹⁵, and Albert Varga¹⁶

¹Department of Cardiology, University of Liège Hospitals, GIGA-Cardiovascular Sciences, Liège, Belgium; ²Gruppo Villa Maria Care and Research, Anthon Hospital, Bari, Italy; ³Division of Cardiovascular Ultrasound, Department of Cardiovascular Medicine, Mayo Clinic, Rochester, MN, USA; ⁴Congenital and Structural Cardiology, University Hospitals Leuven, Leuven; ⁵Echocardiography 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; ⁶Service de Cardiologie, CHU RENNES et LTS U 1099 – Université Rennes-1, Rennes, France; ⁷Department 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, Δ blood pressure, exercise tolerance

Valve

- Δ 18-20 mmHg MPG in AS
- $\text{MPG} \geq 15-18$ mmHg in MS
- $\Delta > 10-13$ mm² EROA in MR

Ventricle

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

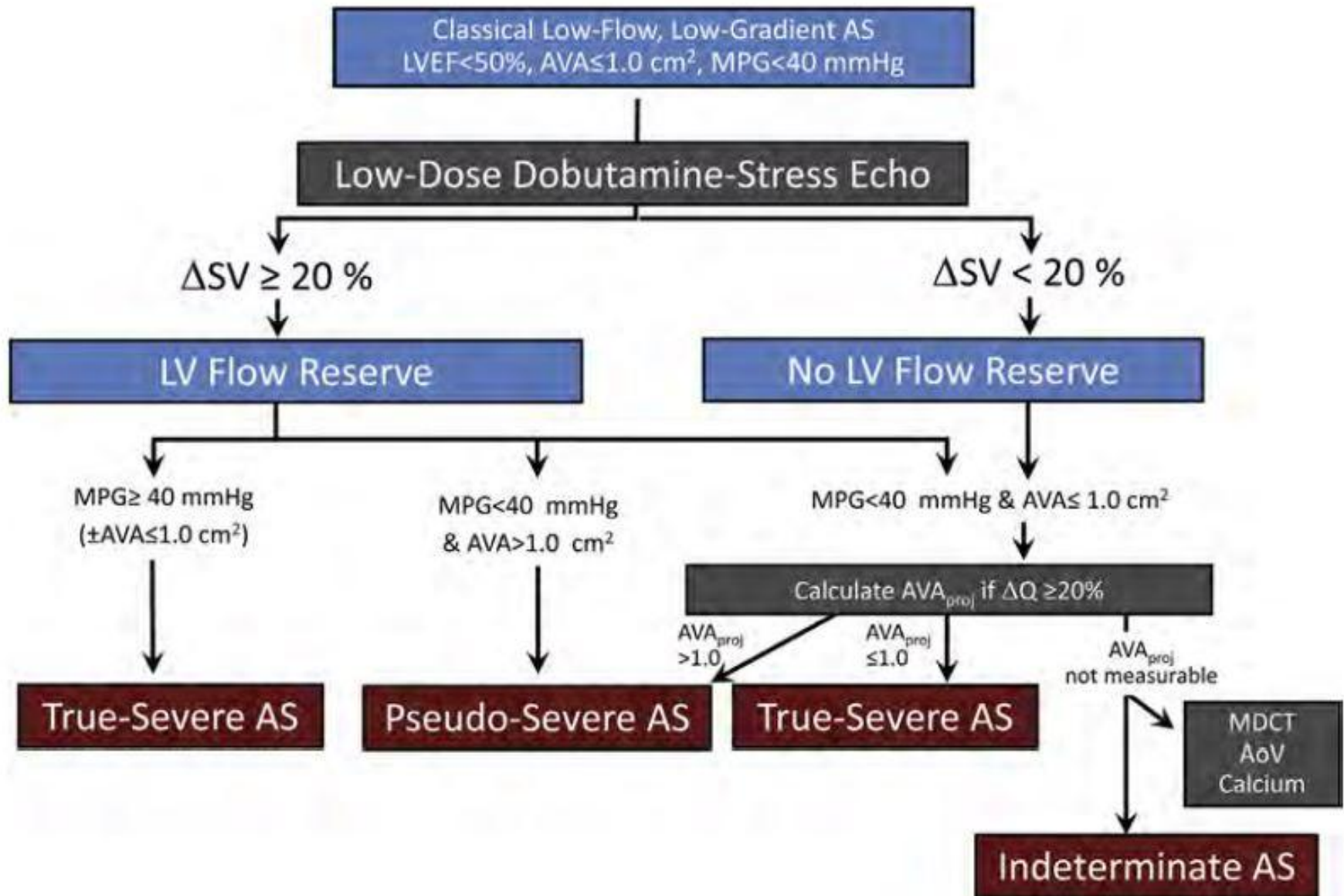
Hemodynamics

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

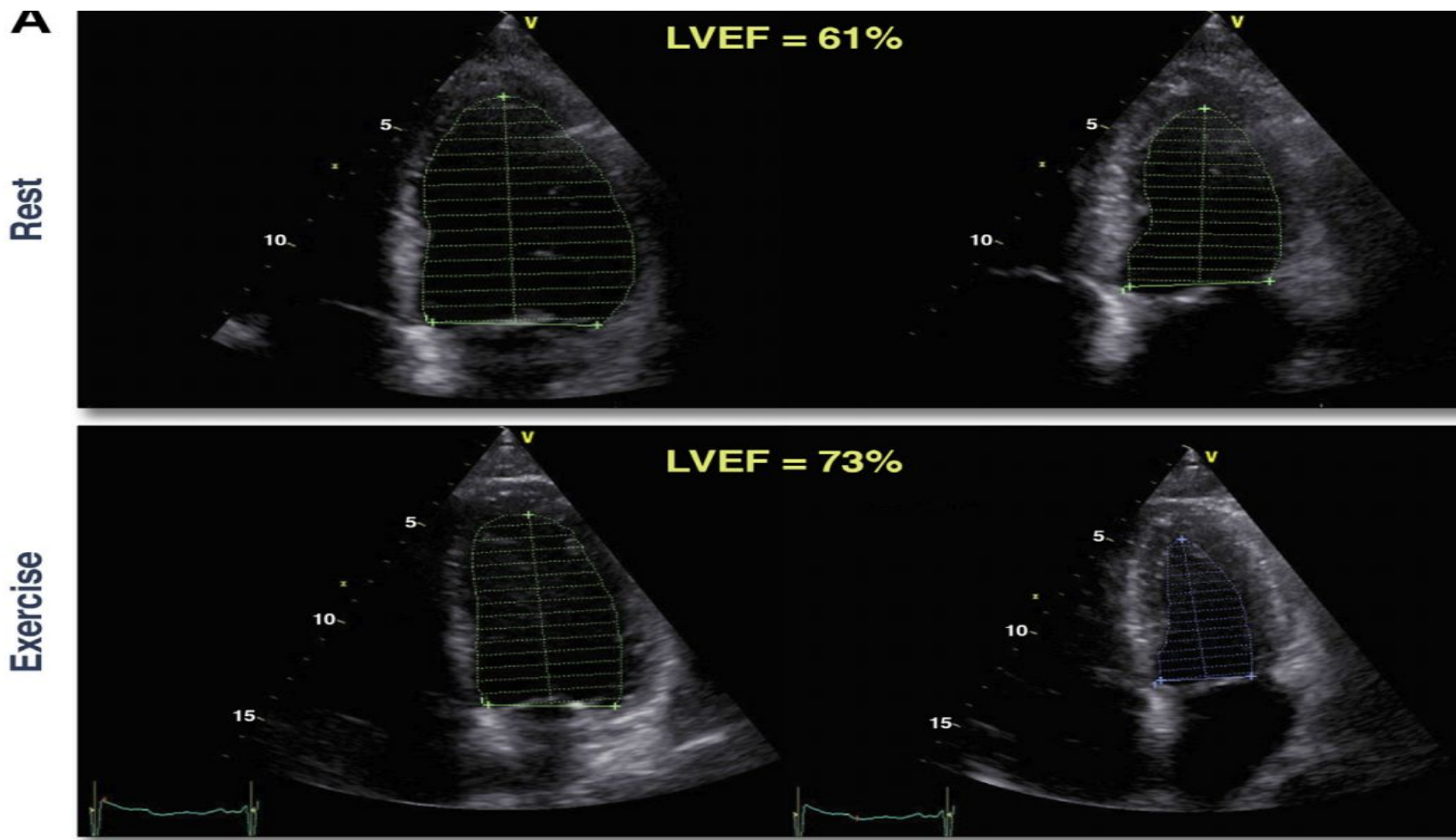
Match symptoms with
the cardiac involvement

Risk stratification

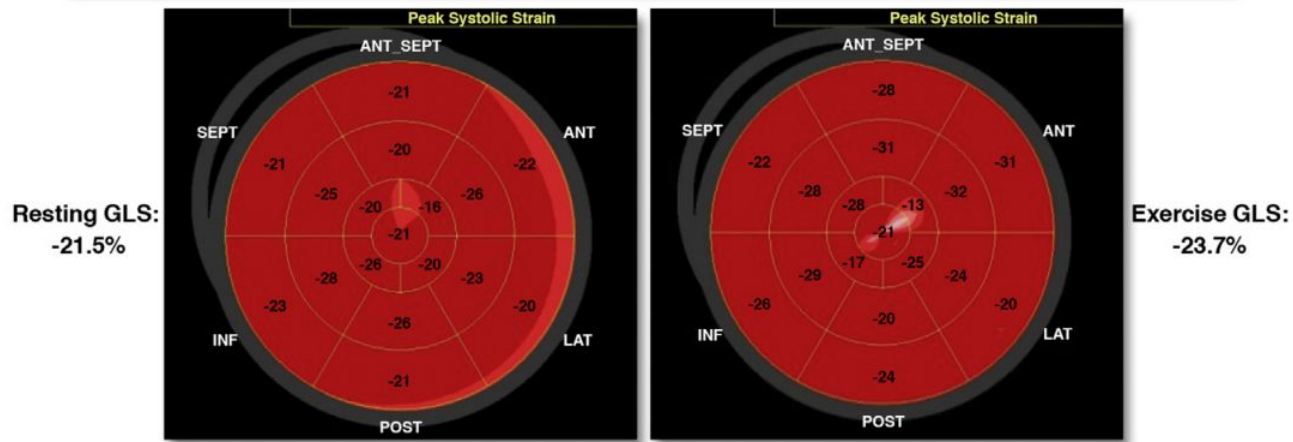
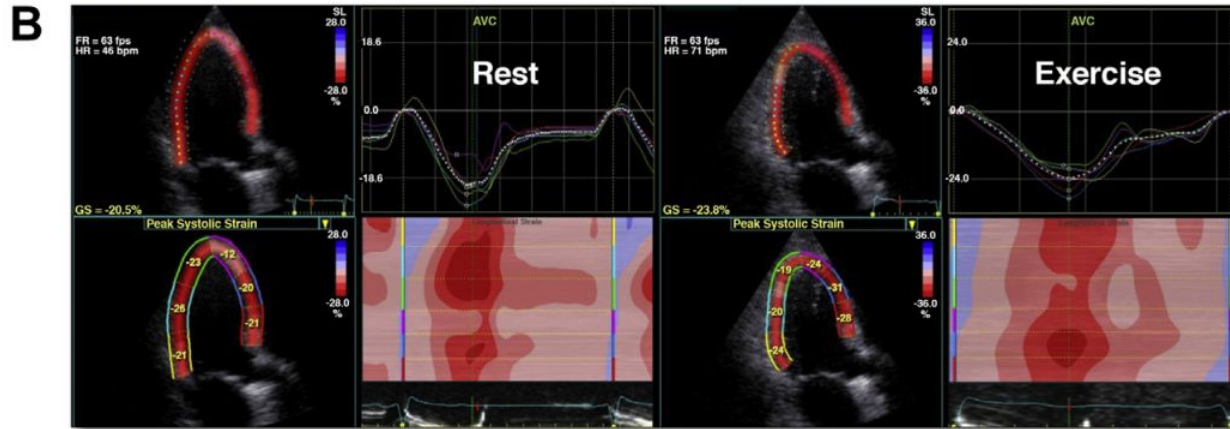
Guide decision making and help
define the optimal timing for surgery



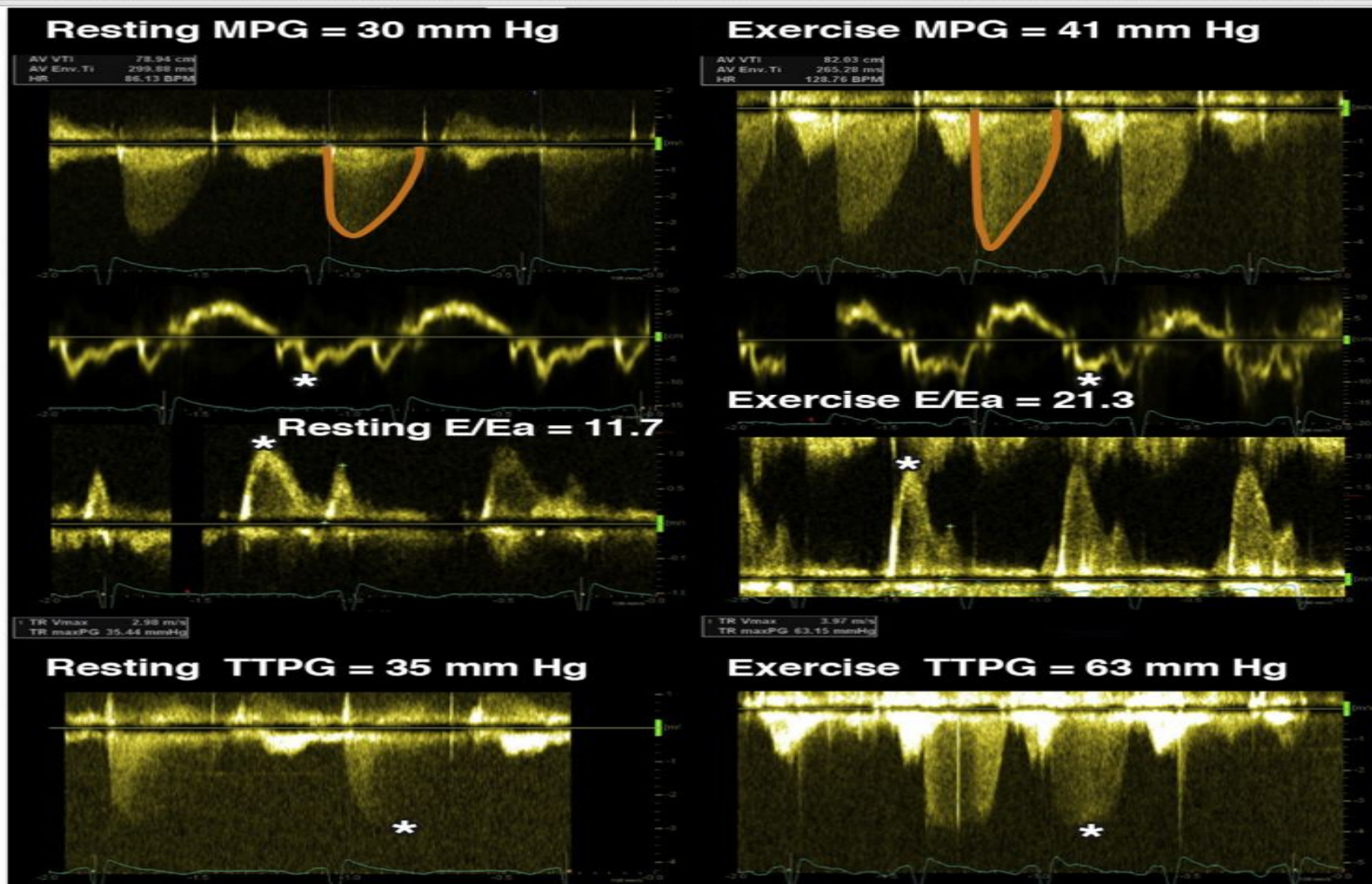
Контрактивный резерв - ФВ



Контрактильный резерв — продольная деформация



Диастолическая функция и СДЛА



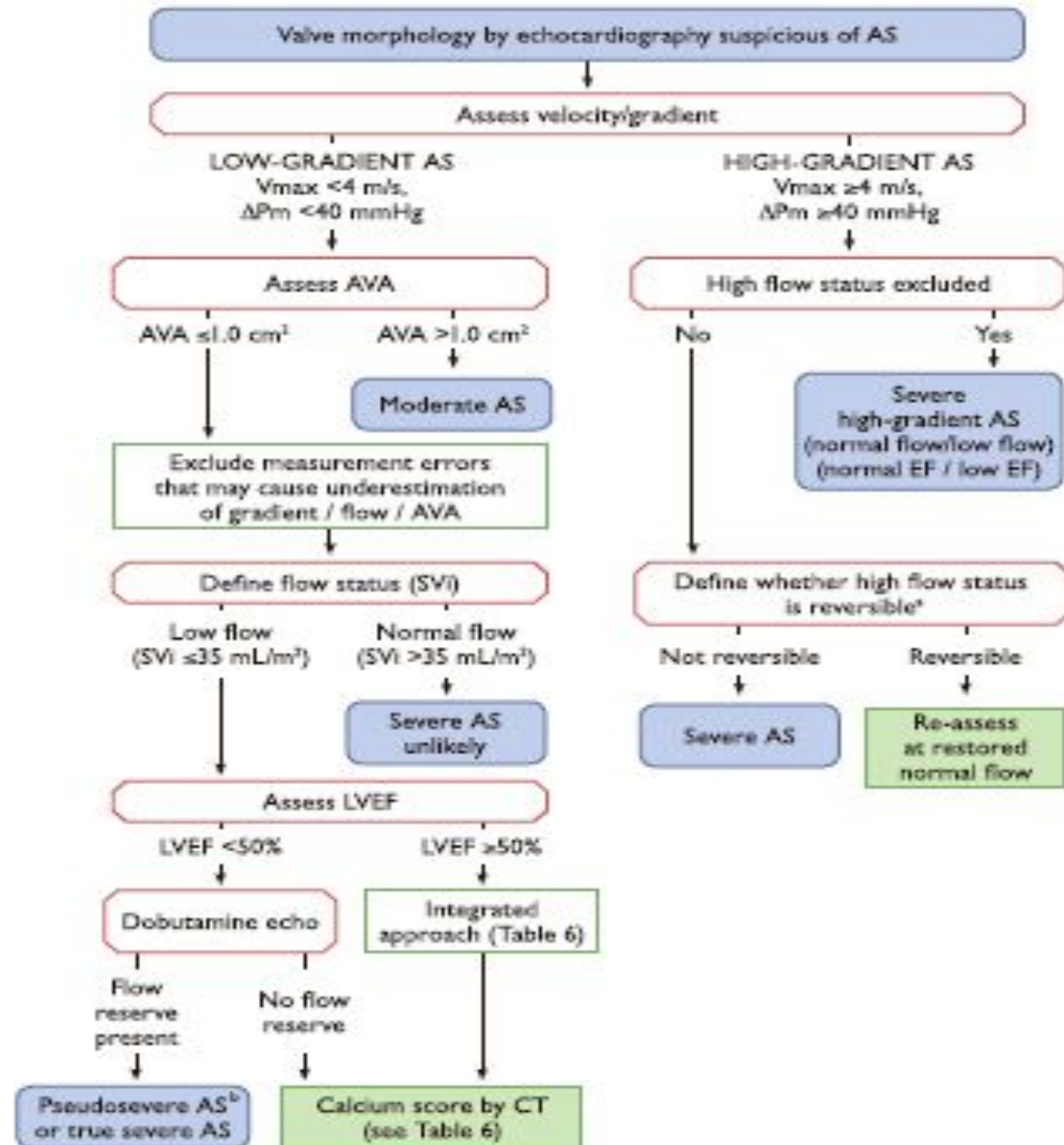


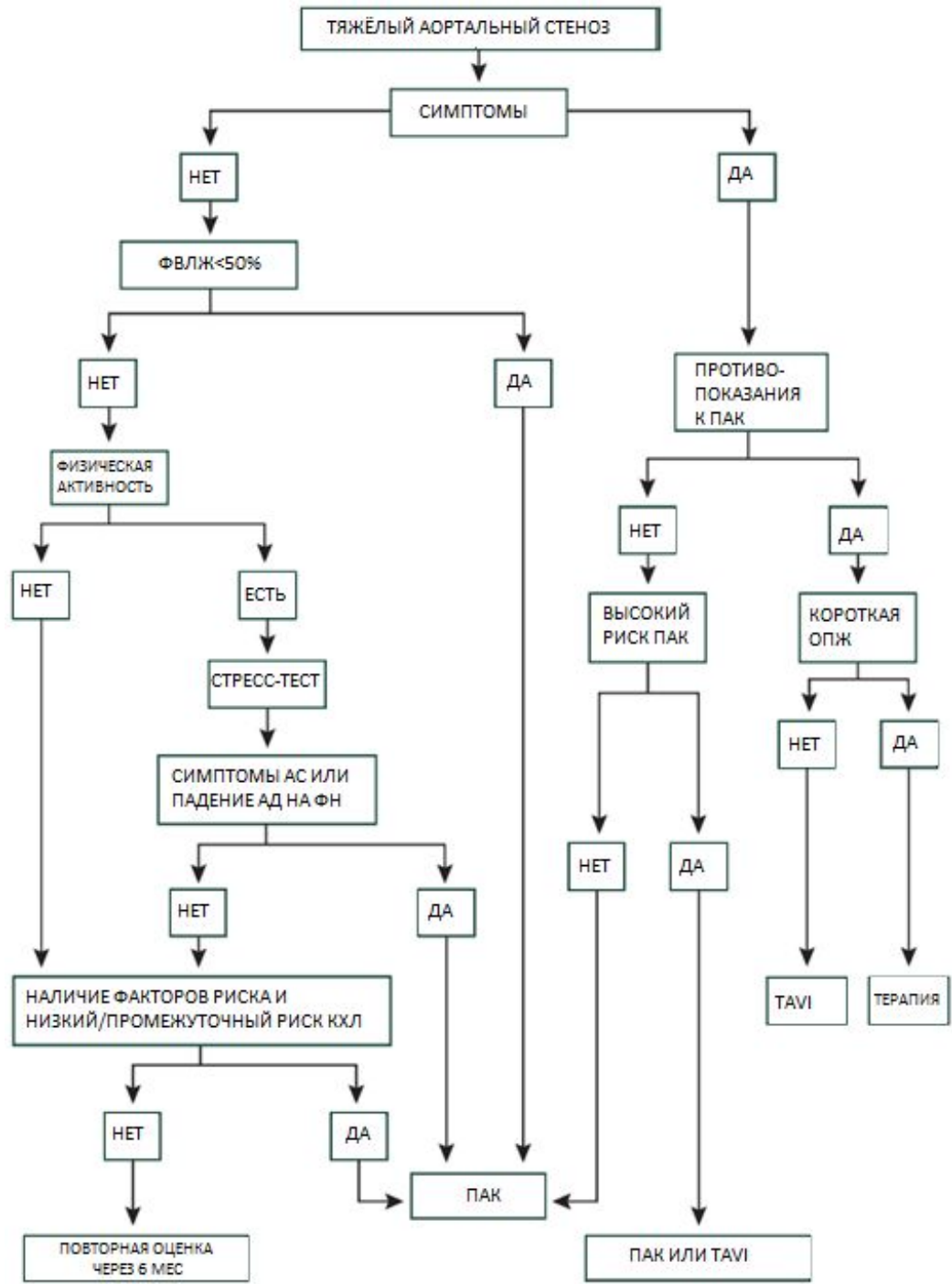
2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease

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)

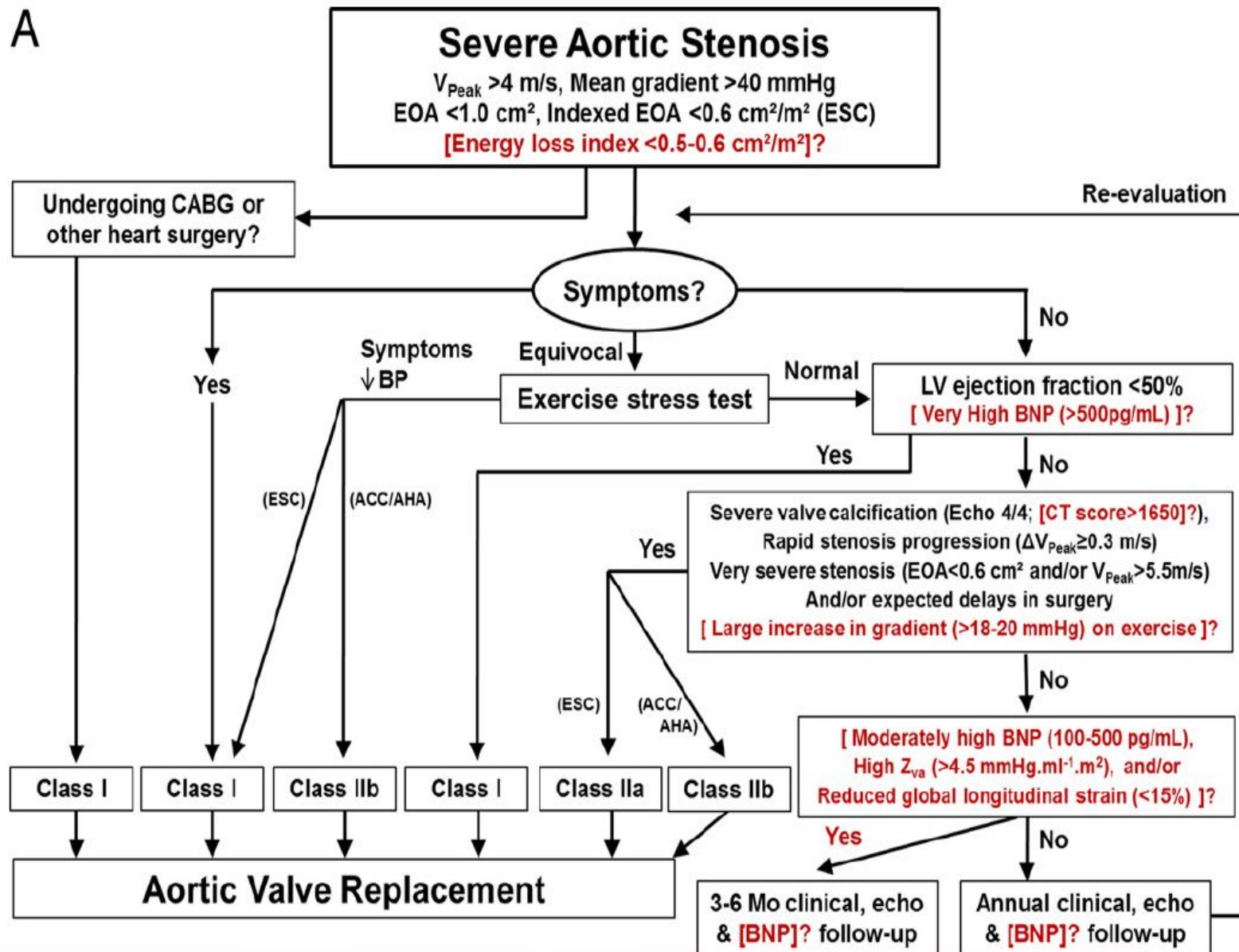
Authors/Task Force Members: Helmut Baumgartner* (ESC Chairperson) (Germany), Volkmar Falk*¹ (EACTS Chairperson) (Germany), Jeroen J. Bax (The Netherlands), Michele De Bonis¹ (Italy), Christian Hamm (Germany), Per Johan Holm (Sweden), Bernard Jung (France), Patrizio Lancellotti (Belgium), Emmanuel Lansac¹ (France), Daniel Rodriguez Muñoz (Spain), Raphael Rosenhek (Austria), Johan Sjögren¹ (Sweden), Pilar Tomos Mas (Spain), Alec Vahanian (France), Thomas Walther¹ (Germany), Olaf Wendler¹ (UK), Stephan Windecker (Switzerland), Jose Luis Zamorano (Spain)

Document Reviewers: Marco Roffi (CPG Review Coordinator) (Switzerland), Ottavio Alfieri¹ (EACTS Review Coordinator) (Italy), Stefan Agewall (Norway), Anders Ahlsson¹ (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 Folliguet¹ (France), Oliver Gaemperli (Switzerland), Gilbert Habib (France), Wolfgang Harringer¹ (Germany), Michael Haude (Germany), Gerhard Hindricks (Germany), Hugo A. Katus (Germany), Juhani Knuuti (Finland), Philippe





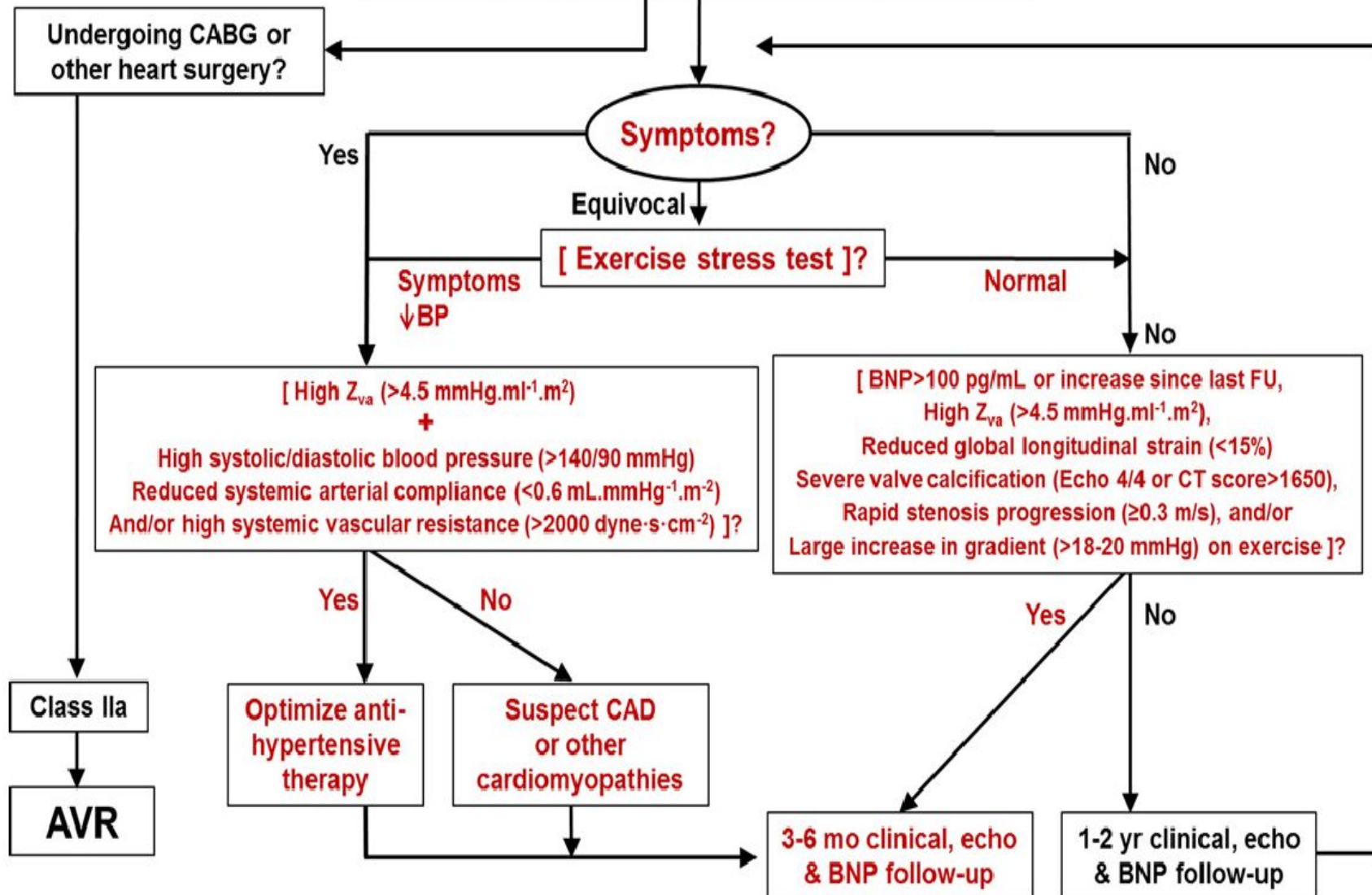
A



B

Moderate Aortic Stenosis

V_{peak} : 3-4 m/s, Mean gradient: 25-40 mmHg
EOA 1.0-1.5 cm², Indexed EOA: 0.6-0.9 cm²/m²
[Energy loss index: 0.6-0.9 cm²/m²?]



Современные способы эхокардиографической оценки аортального стеноза

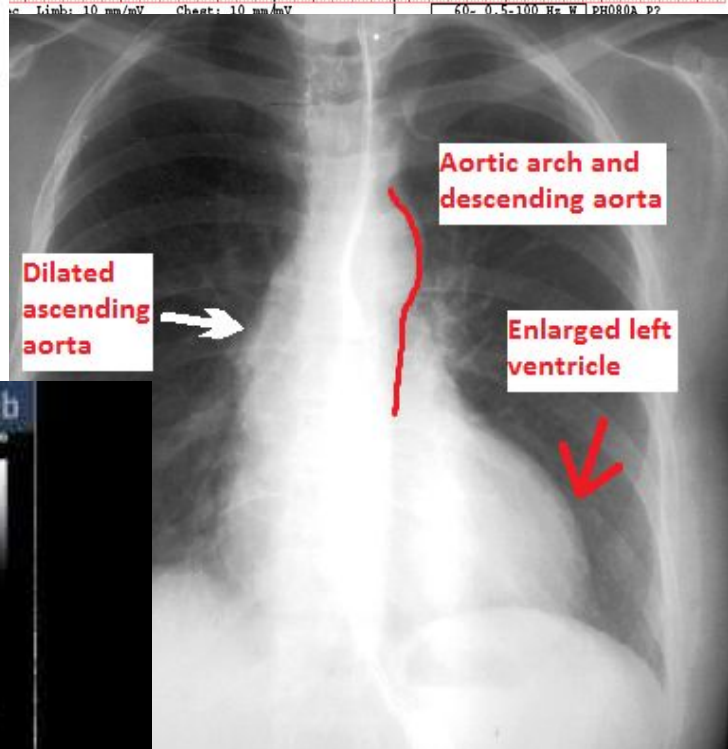
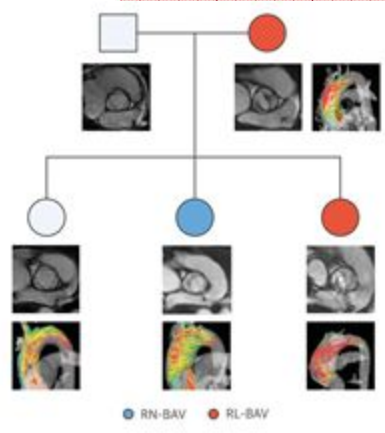
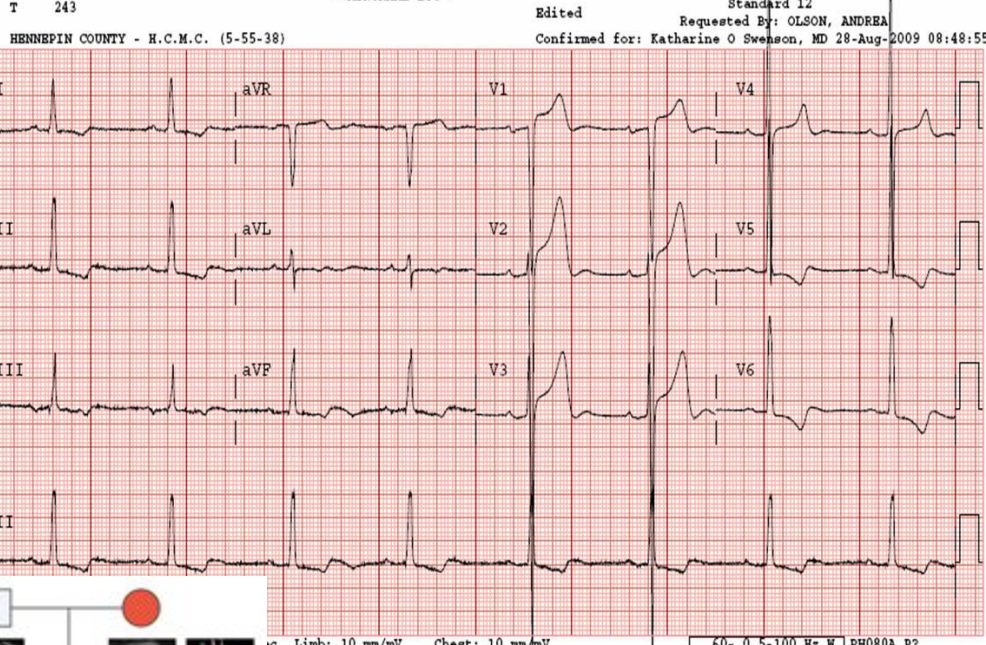
Первое описание аортального стеноза 1663 г

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



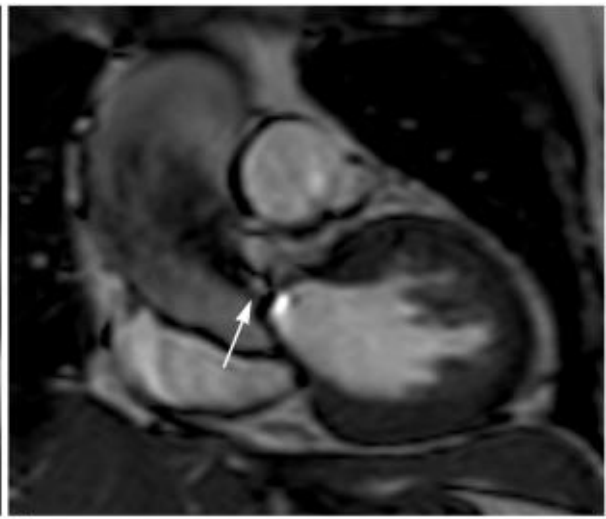
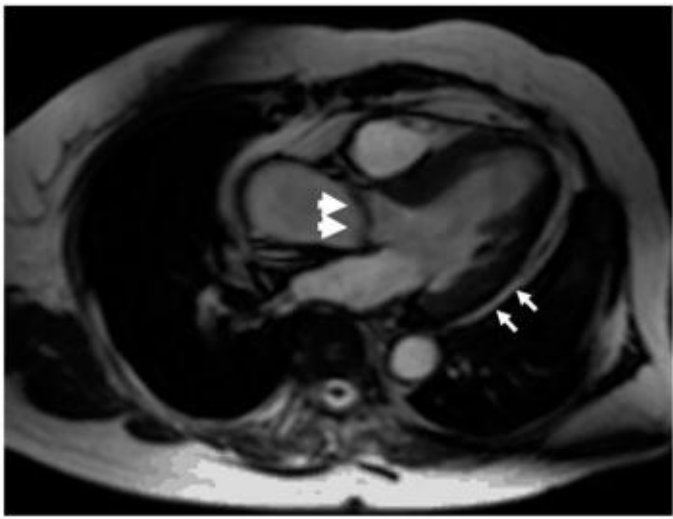
Диагностика аортального стеноза

- 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

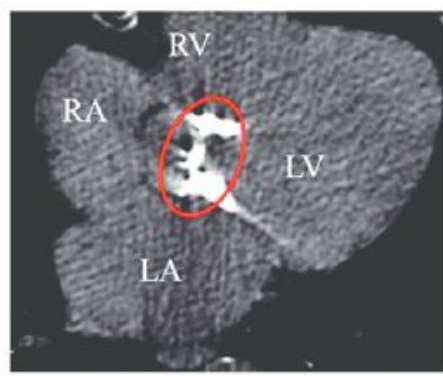
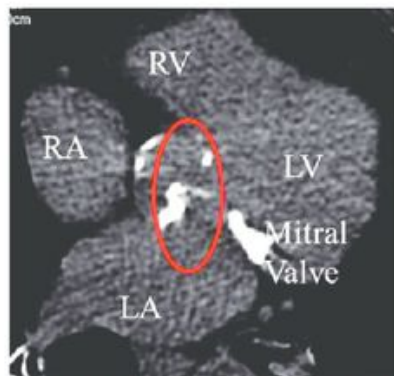
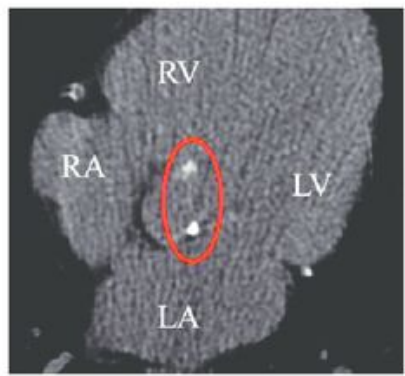


A

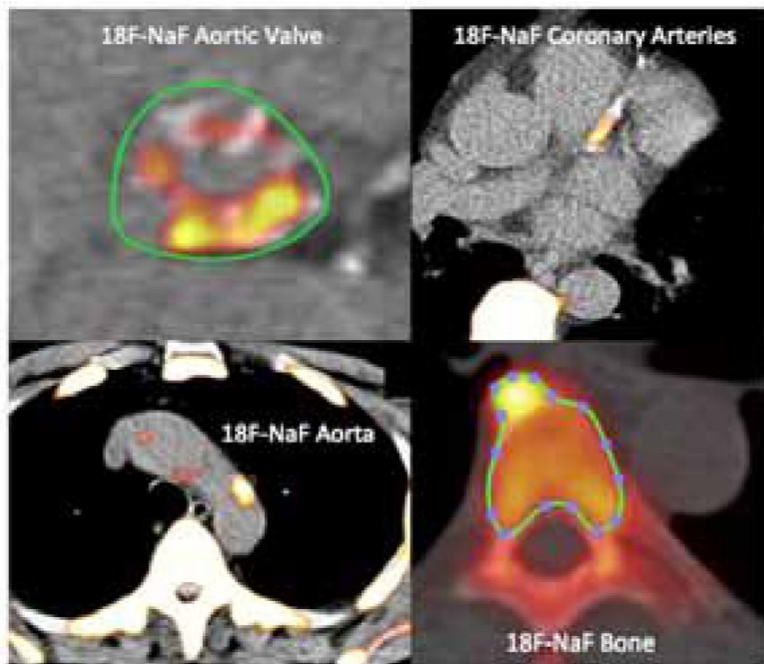
B

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

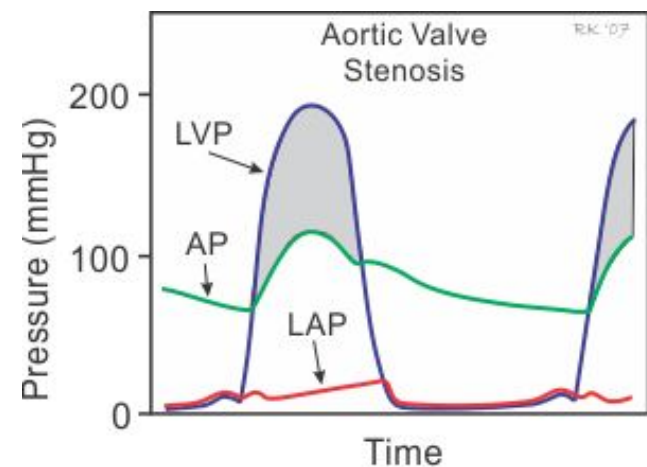


ПЭТ-КТ сердца

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)				
Aortic Stenosis														
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!

