

Гемодинамическая информация, получаемая при ЭхоКГ-исследовании

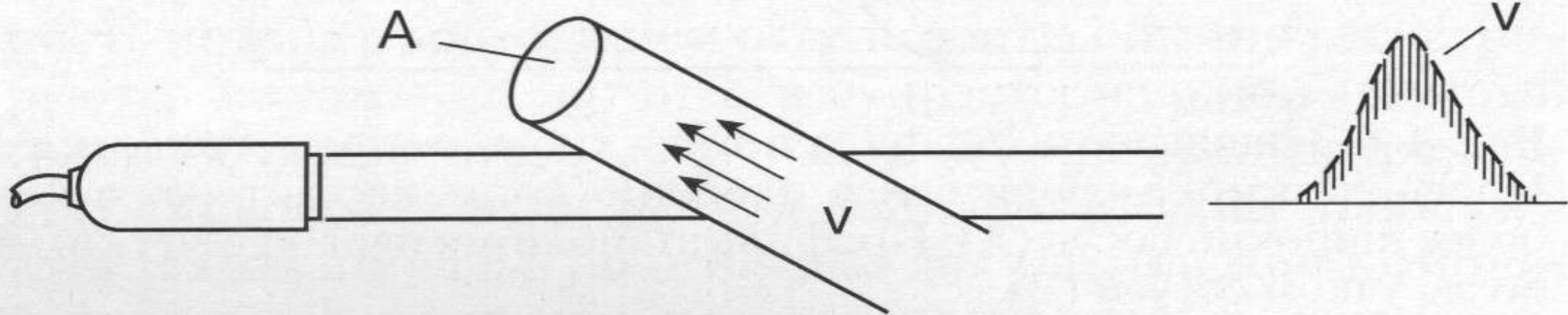
Доц. С.В. Поташев

Кафедра кардиологии и функциональной
диагностики НМАПО им. П.Л. Шупика

ЭхоКГ-анализ потока крови - Допплер

Измерение объемной скорости кровотока

Допплеровский
сигнал



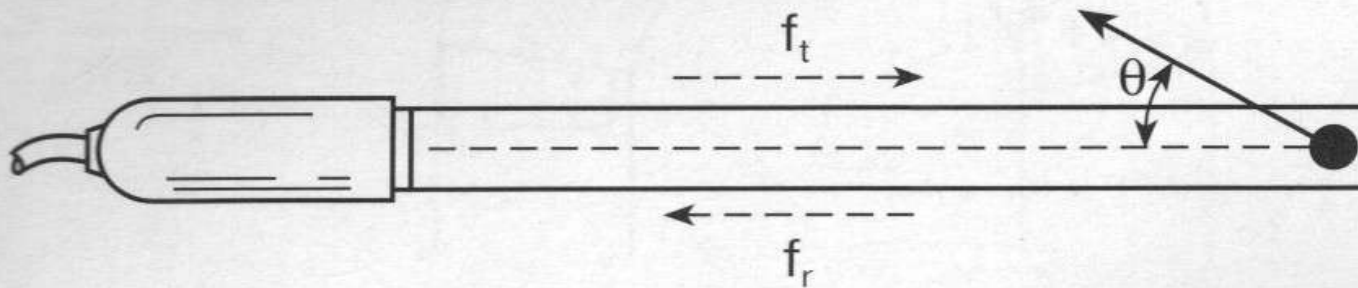
$$CO = A \times v \times HR$$

Принцип использования доплерэхокардиографии для измерения объемной скорости кровотока. CO — сердечный выброс; A — площадь поперечного сечения сосуда или отверстия; v — интегрированная по сердечному циклу скорость крови; HR — частота сердечных сокращений.

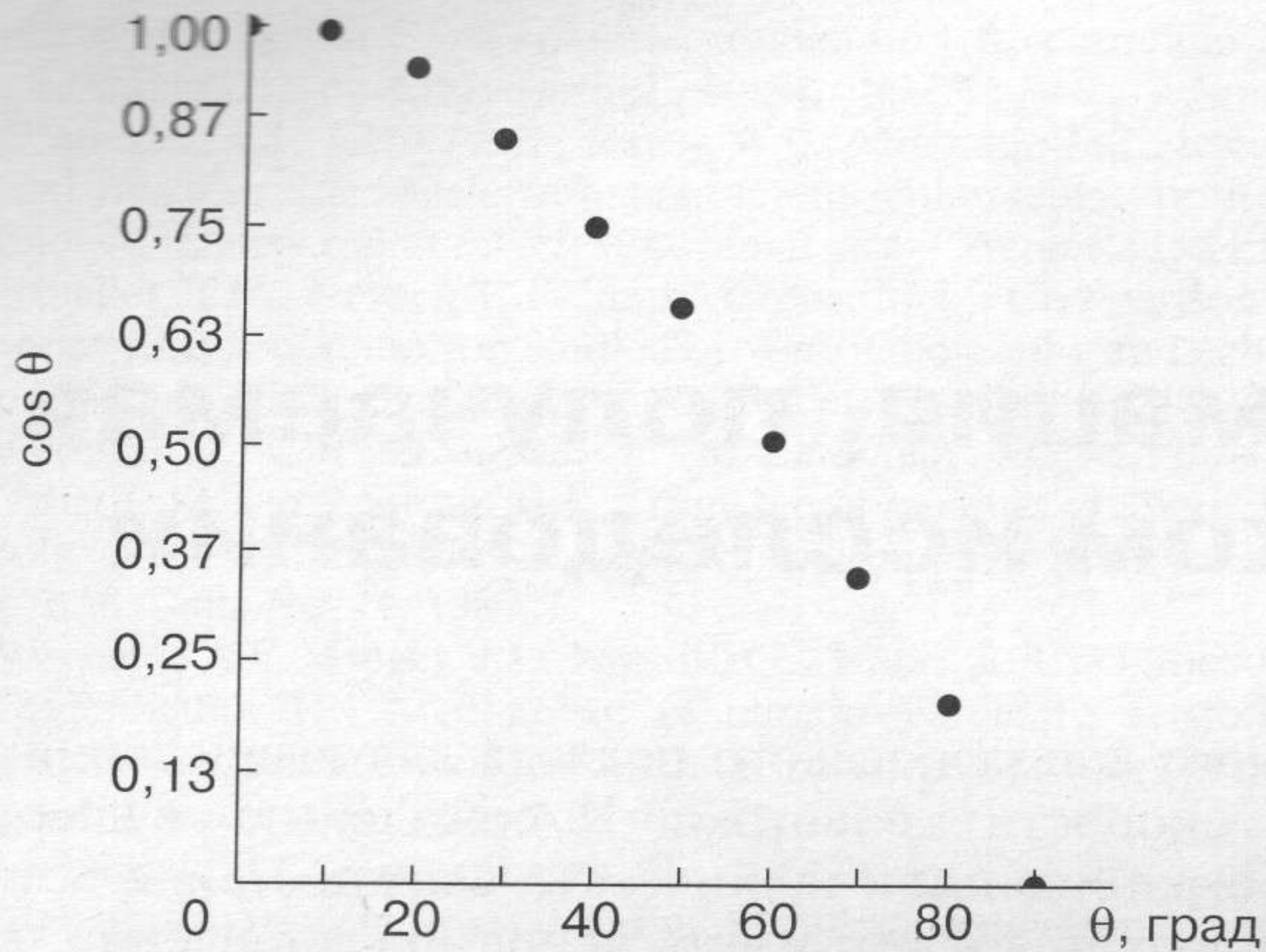
$$f_d = f_r - f_t$$

$$f_d = 2f_t \frac{v \cos \theta}{c}$$

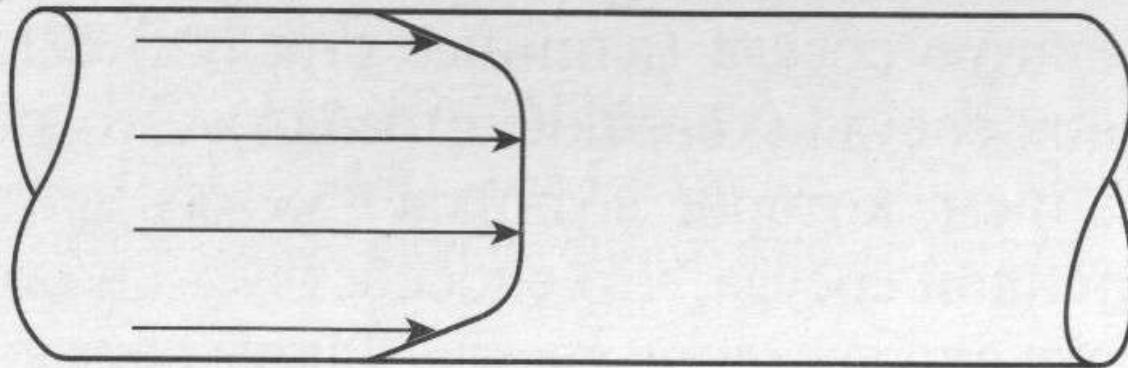
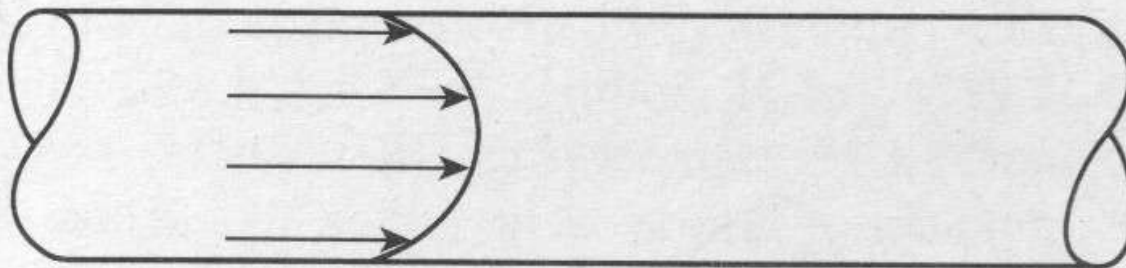
$$v = \frac{f_d c}{2f_t (\cos \theta)}$$



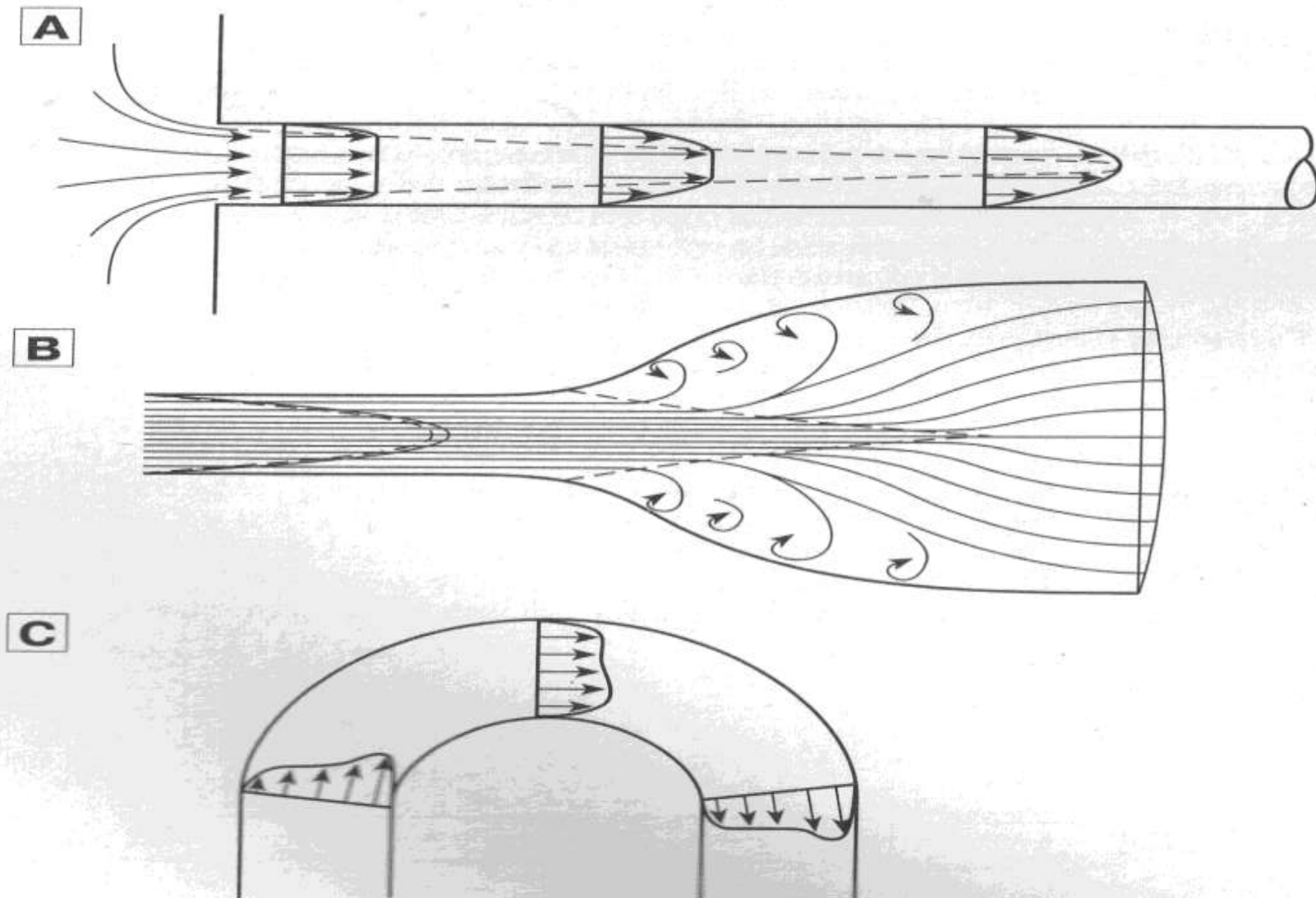
Допплеровские формулы. f_d — доплеровская частота (сдвиг частоты); f_r — принимаемая частота; f_t — передаваемая частота; c — скорость звука



Зависимость косинуса угла от величины этого угла.

A**B**

Зависимость профиля потока крови от диаметра сосуда. Профиль потока крови более плоский, когда кровь течет через более широкий сосуд (А). Профиль становится параболическим в более узком сосуде (В).



Соотношение длины (А), калибра (В) и формы (С) сосуда и профиля потока крови. (Из [1].)



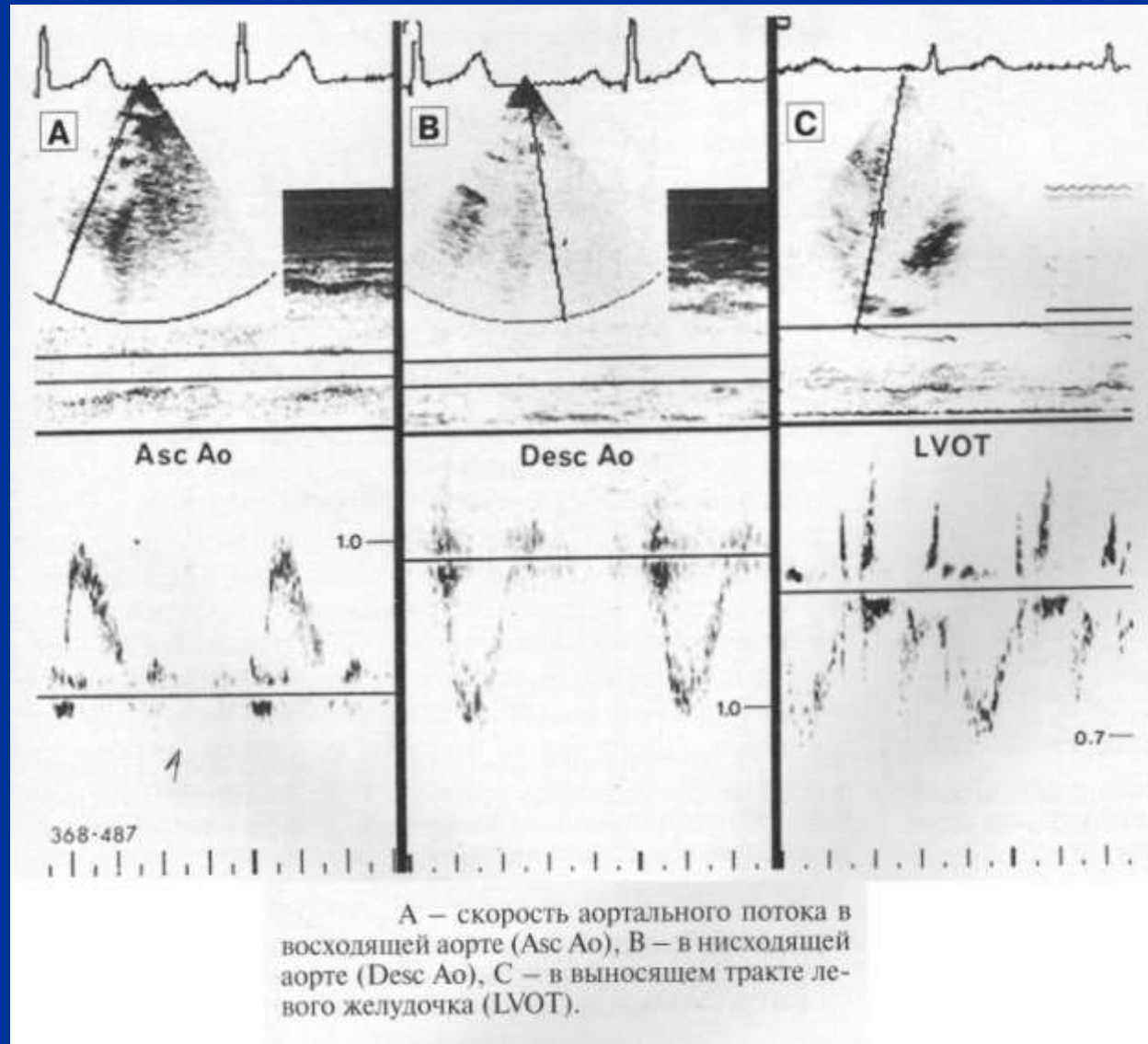
Схема, иллюстрирующая, как модальная частота является наиболее темной частью спектра дисплея.

Расчет объемной скорости кровотока

- **VTI** – интеграл линейной скорости потока
- **Q** (Объем) = VTI (см) x S (площадь поперечного сечения, см²)
- **S** = $\pi \times r^2 = \pi \times d^2 / 4 = 0.785 \times d^2$
- * **Погрешность возводится в квадрат !!!**

Аортальный кровоток

- Обеспечивает системную циркуляцию → может быть использован для расчета минутного объема



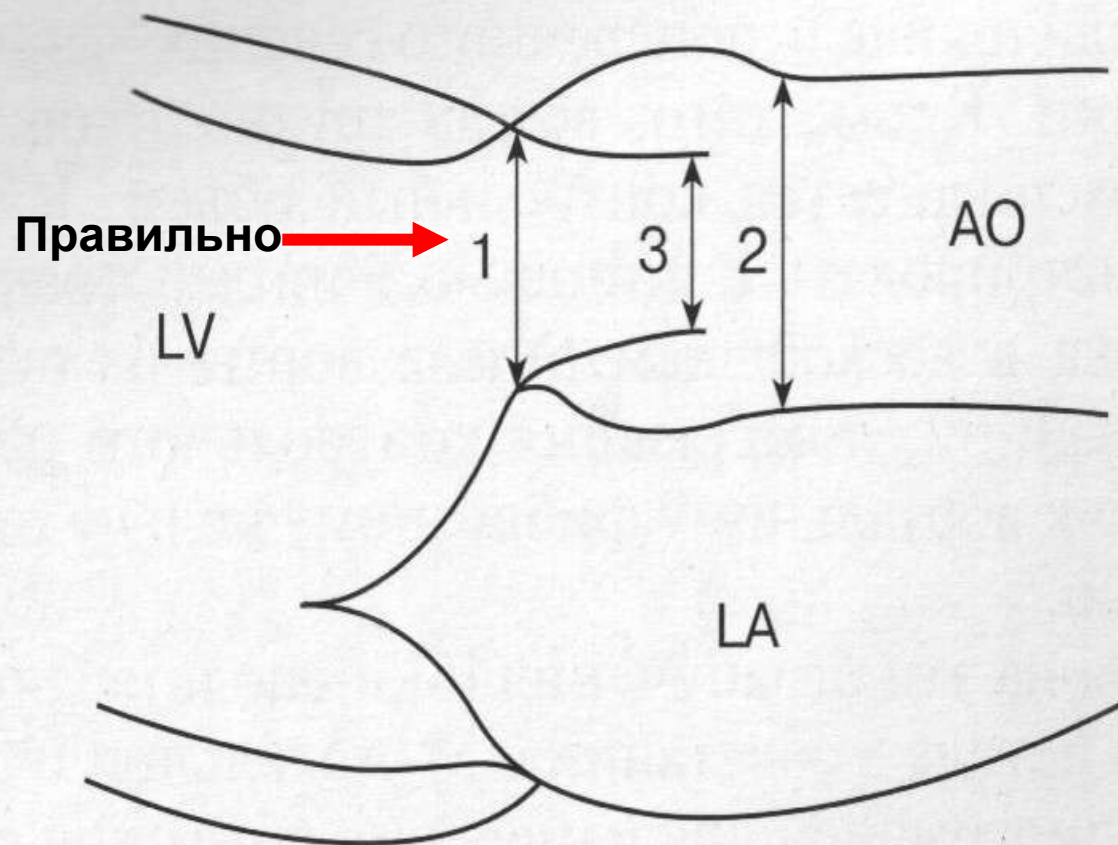
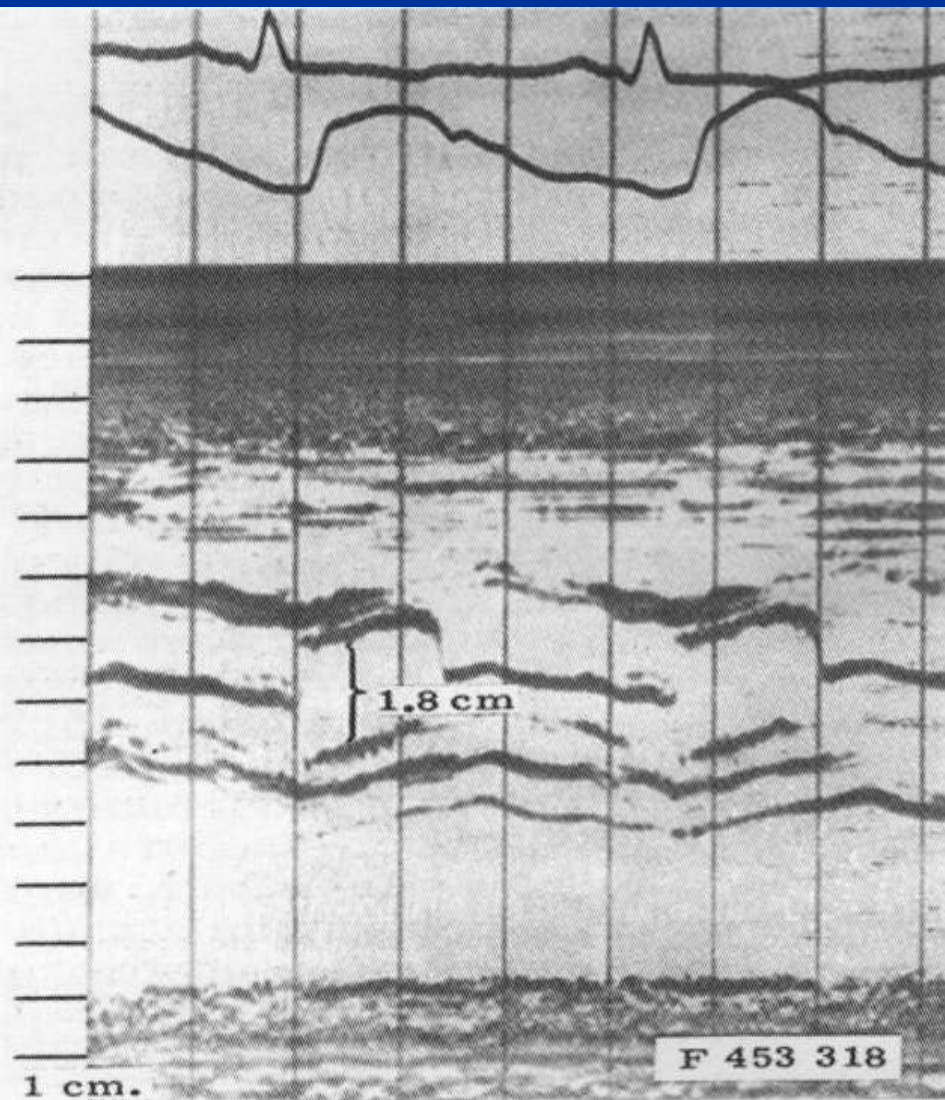


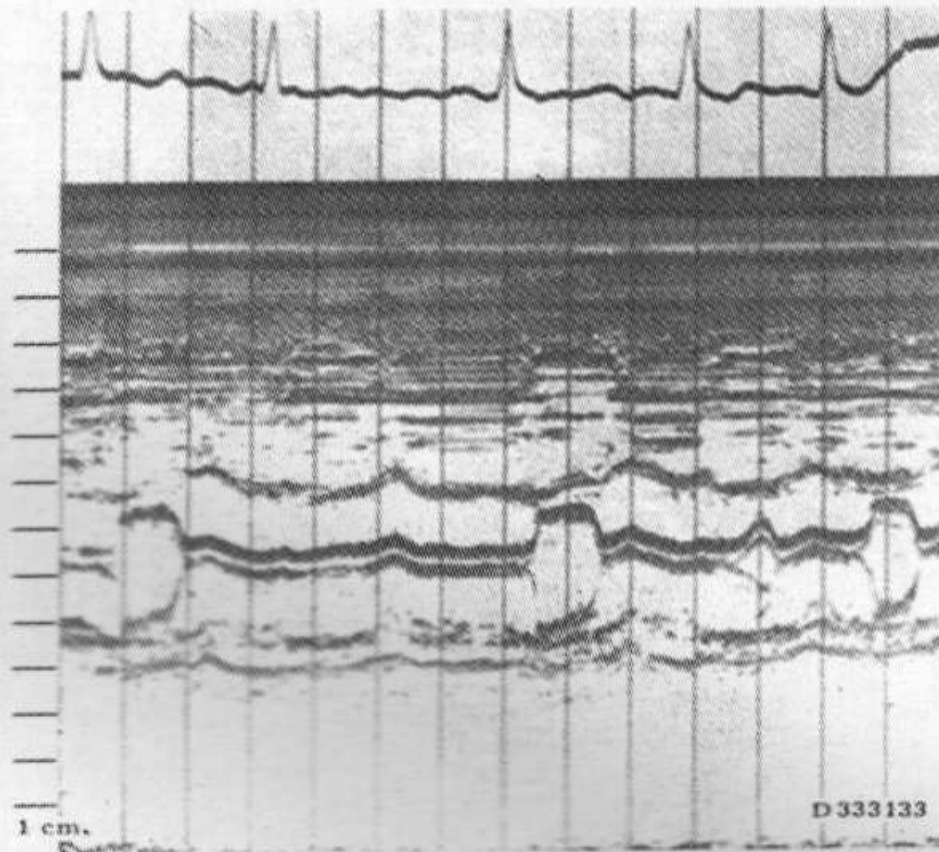
Схема вариантов измерений диаметра аорты и аортального клапана, которые могут быть использованы для расчета площади поперечного сечения аорты при определении аортального кровотока. LV – левый желудочек; АО – аорта; LA – левое предсердие.

$N = 1.5 - 2.0 \text{ cm}$



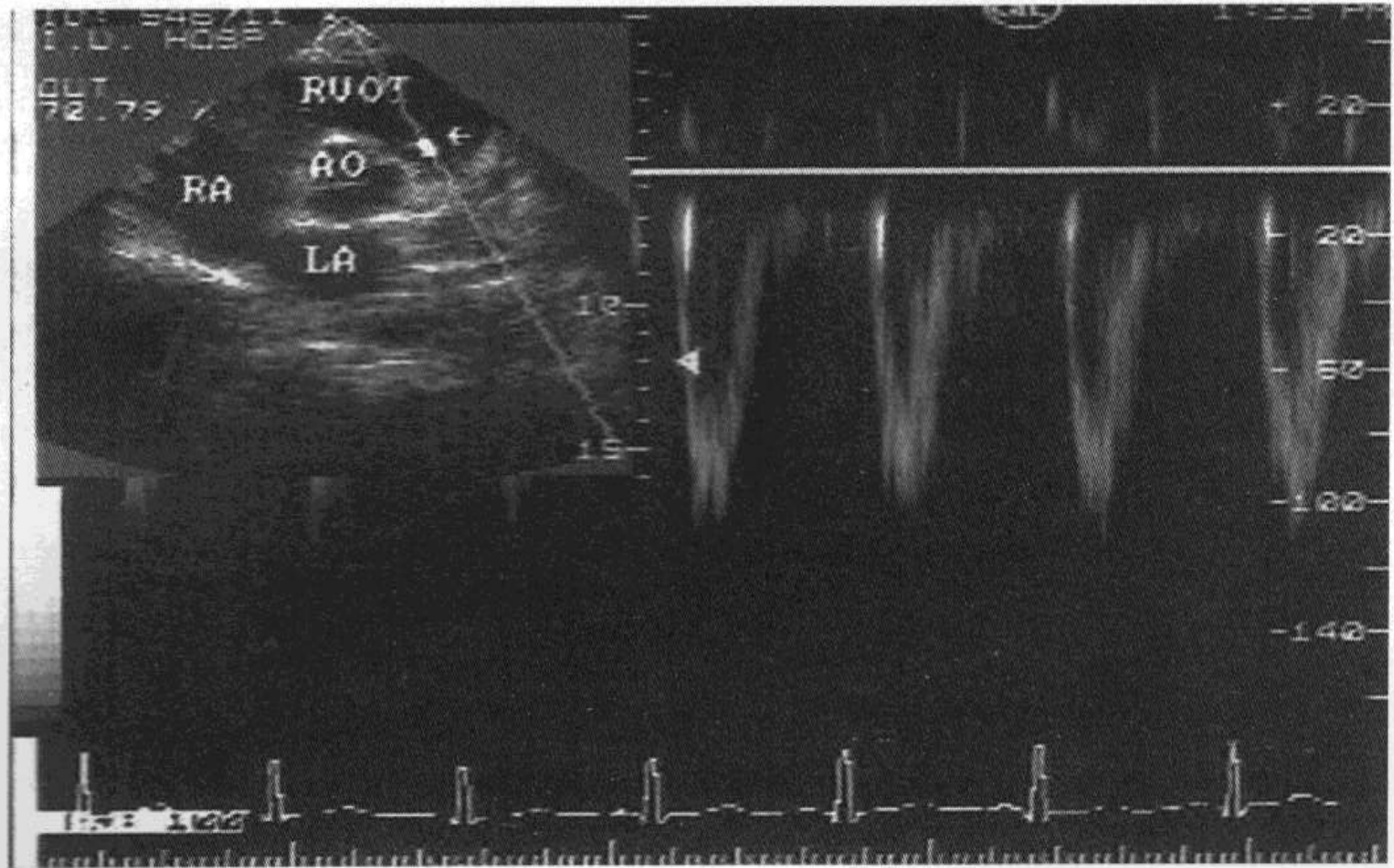
Эхограмма нормального аортального клапана. Открытие аортального клапана в систолу желудочков составляет 1,8 см.

Зависимость открытия АоК от продолжительности интервала RR (= дефицит пульса)



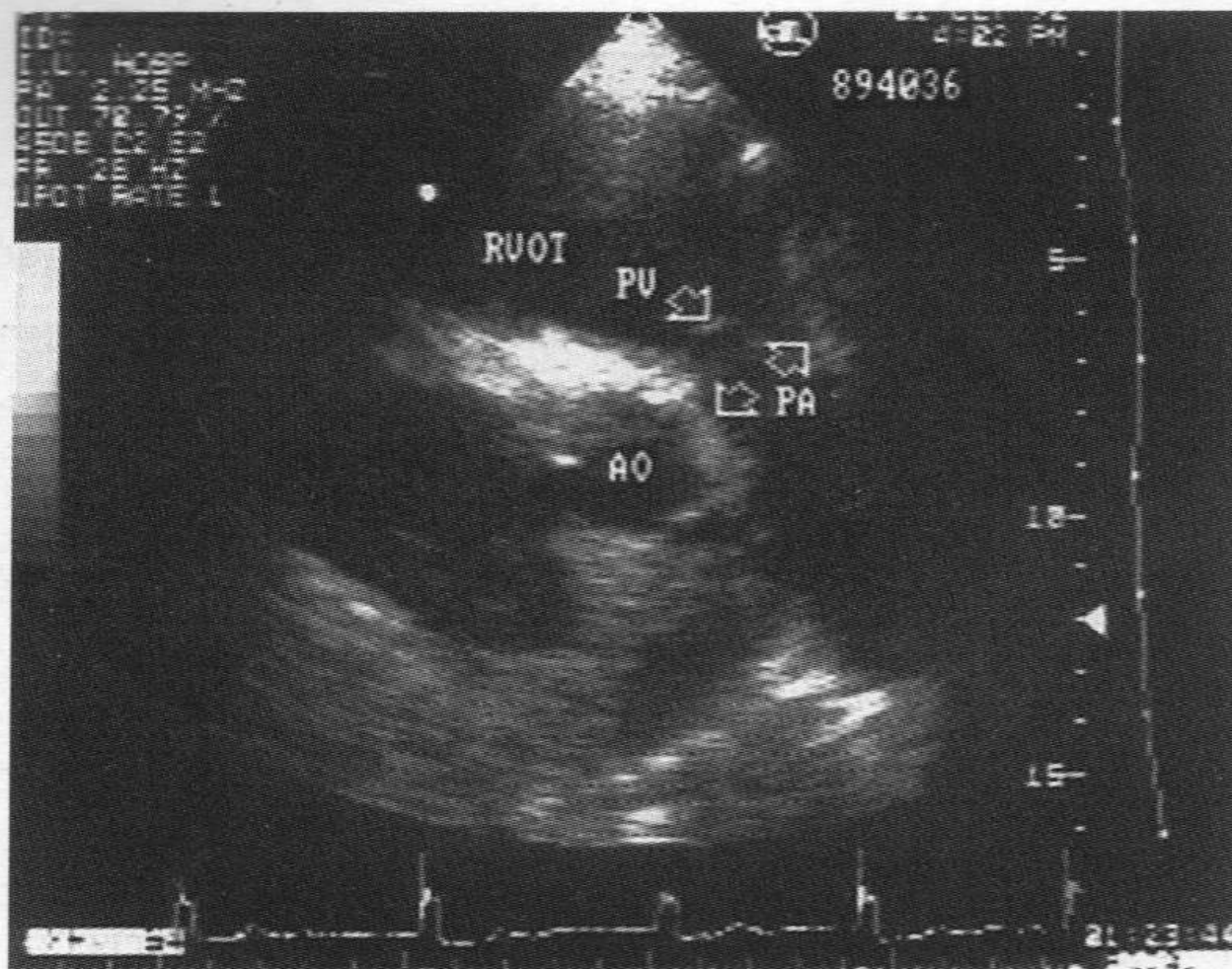
Движение створок аортального клапана при мерцательной аритмии. При коротком R-R-интервале открытие створок в систолу сильно ограничено или отсутствует.

Кровоток в легочной артерии



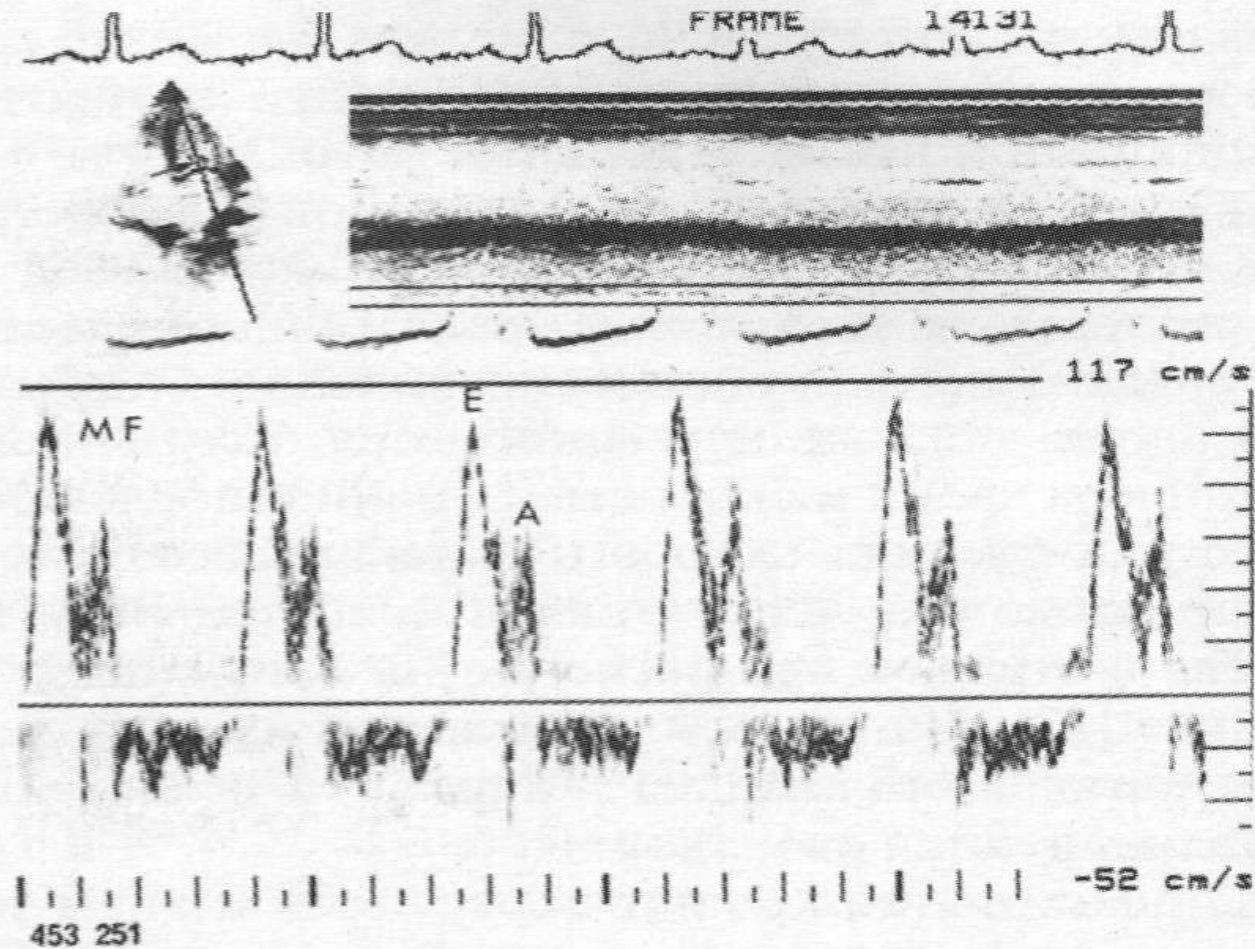
Поток в легочной артерии (режим импульсного доплера). RVOT — выносящий тракт правого желудочка; АО — аорта; RA — правое предсердие; LA — левое предсердие.

- Расчет МОК по параметрам легочного кровотока чаще применяется у детей
- Интраоперационно – по данным ЧПЭхоКГ
- Альтернатива расчетам на АоК при аортальных пороках, ряде ВПС

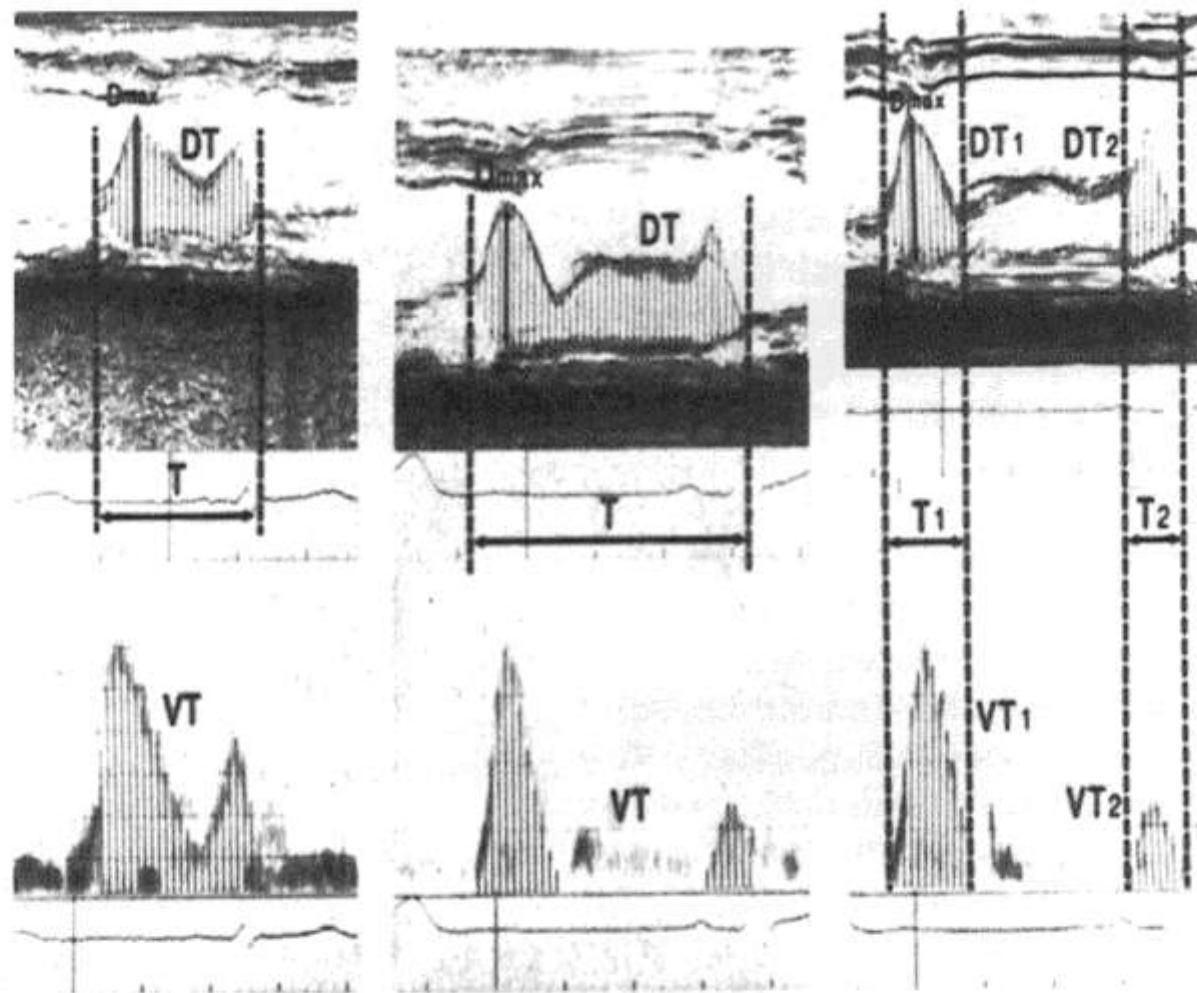


Двухмерная эхокардиограмма, позиция по короткой оси на уровне выносящего тракта правого желудочка (RVOT), клапана легочной артерии (PV) и ствола легочной артерии (PA). Измерение диаметра ствола легочной артерии (стрелки) у взрослых пациентов часто бывает затруднено. АО — аорта.

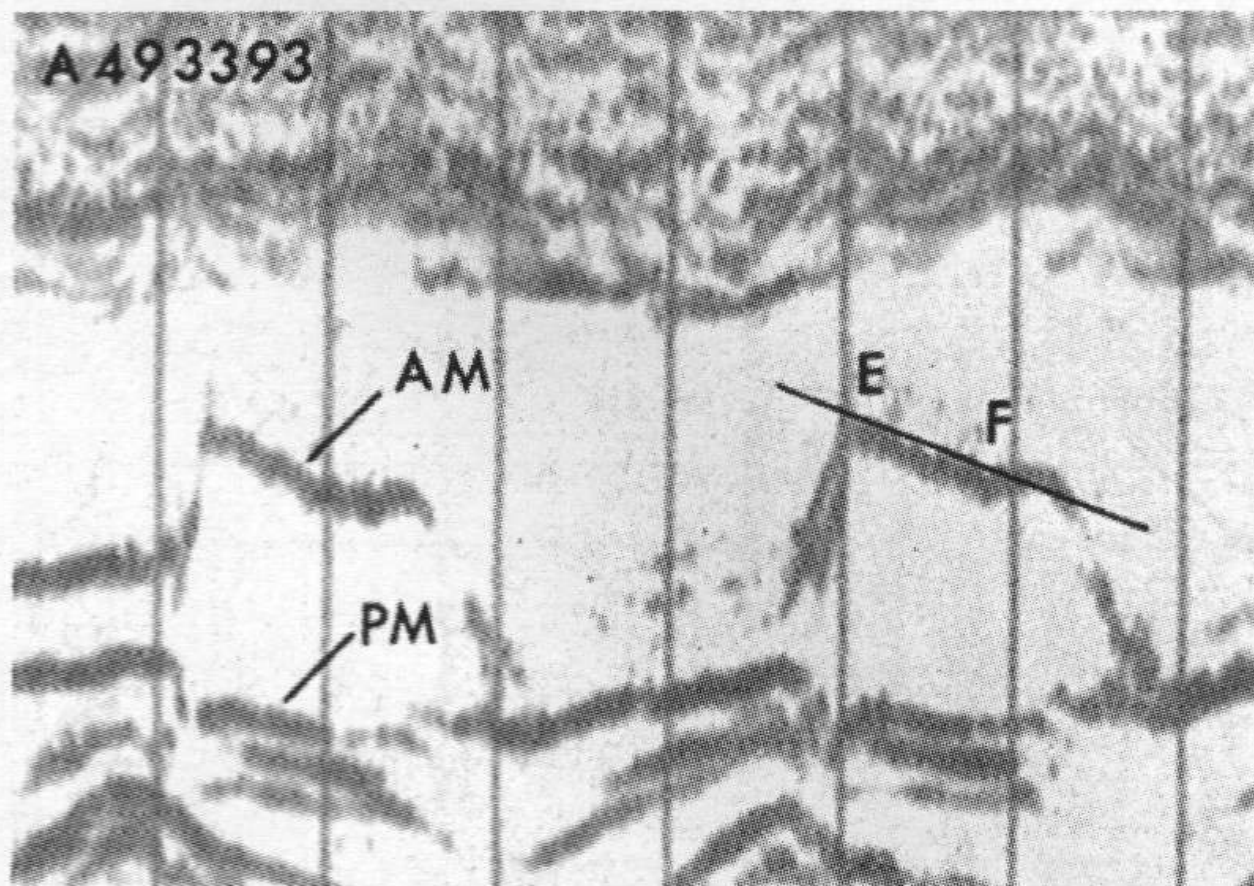
Кровоток через митральный клапан



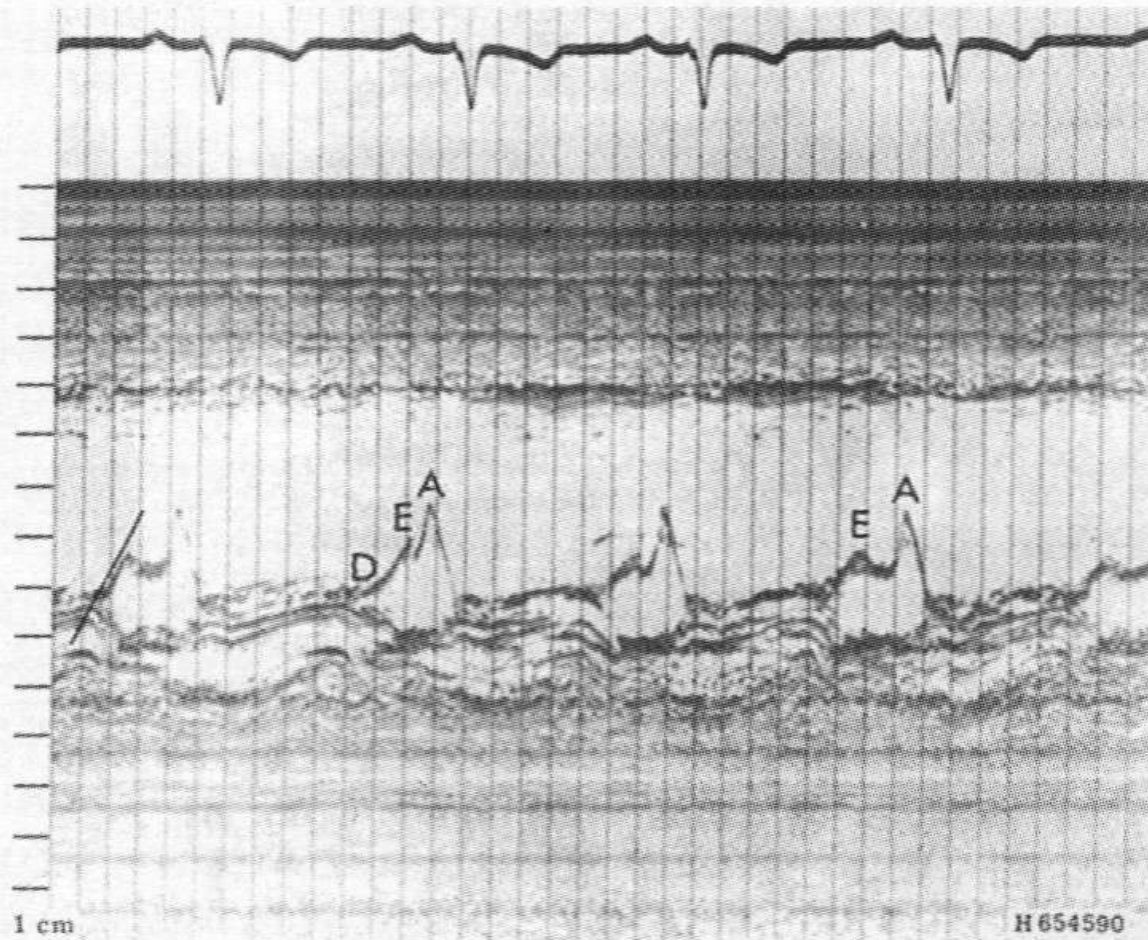
Импульсная доплерограмма скорости нормального потока через митральный клапан. MF — митральный поток; стрелка — контрольный объем; E — скорость потока в раннюю диастолу; A — систола предсердий.



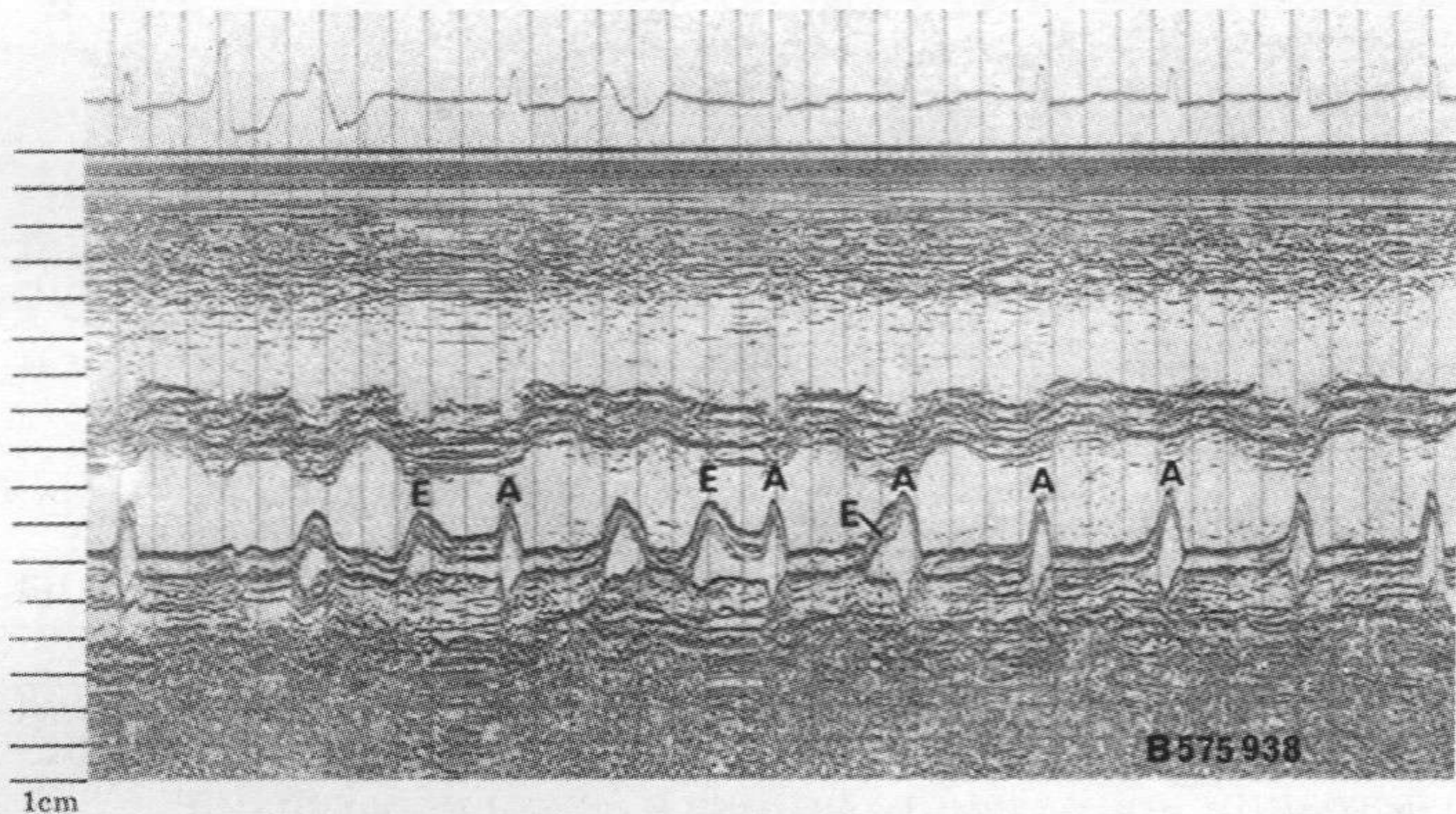
Расчеты трансмитрального кровотока на примере эхограмм движения створок митрального клапана в М-режиме и регистрации скоростей митрального потока в режиме импульсного доплера. Регистрируются диастолические временные интервалы митрального клапана (DT) и время продолжительности диастолы (T). На рисунках внизу показано трансмитральный поток в режиме импульсного доплера у тех же больных и измерение интеграла линейной скорости потока (VT). На рисунке в центре показан эффект брадикардии. На рисунке справа показан среднедиастолический интервал, когда не регистрируется кровоток, поэтому рассчитывают интегралы линейной скорости первого и второго пика отдельно (VT₁ и VT₂).



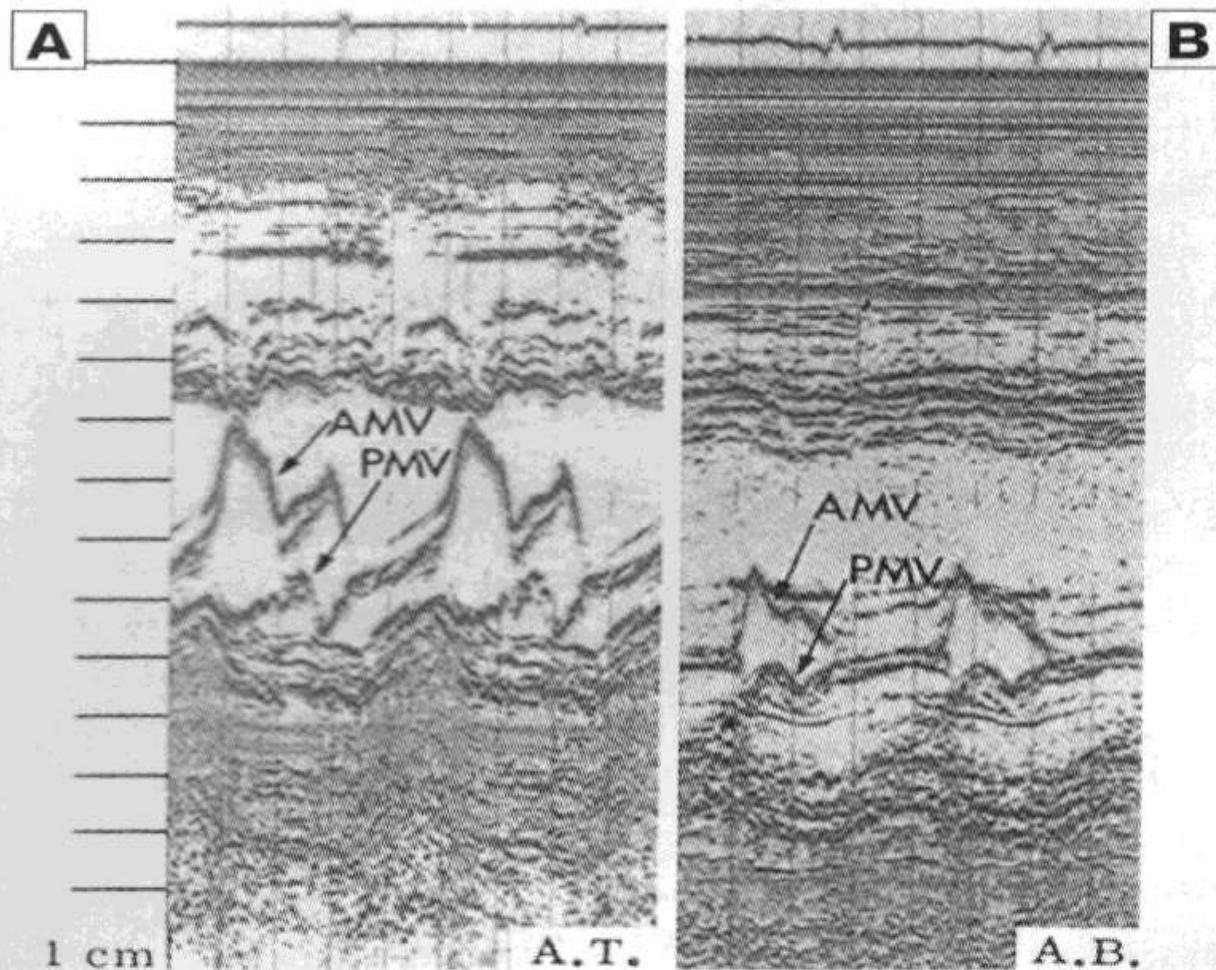
Эхограмма движения створок митрального клапана в М-режиме у больного с уплощением склона Е—F движения передней створки митрального клапана (АМ) при отсутствии митрального стеноза. Вопреки уплощению склона Е—F створки тонкие, и задняя створка митрального клапана (РМ) движется нормально.



Эхограмма движения створок митрального клапана у больного с левожелудочковой недостаточностью, низким сердечным выбросом и повышенным диастолическим давлением в левом желудочке. Скорость открытия митрального клапана (склон E—F) снижена, и предсердный компонент движения митрального клапана увеличен.

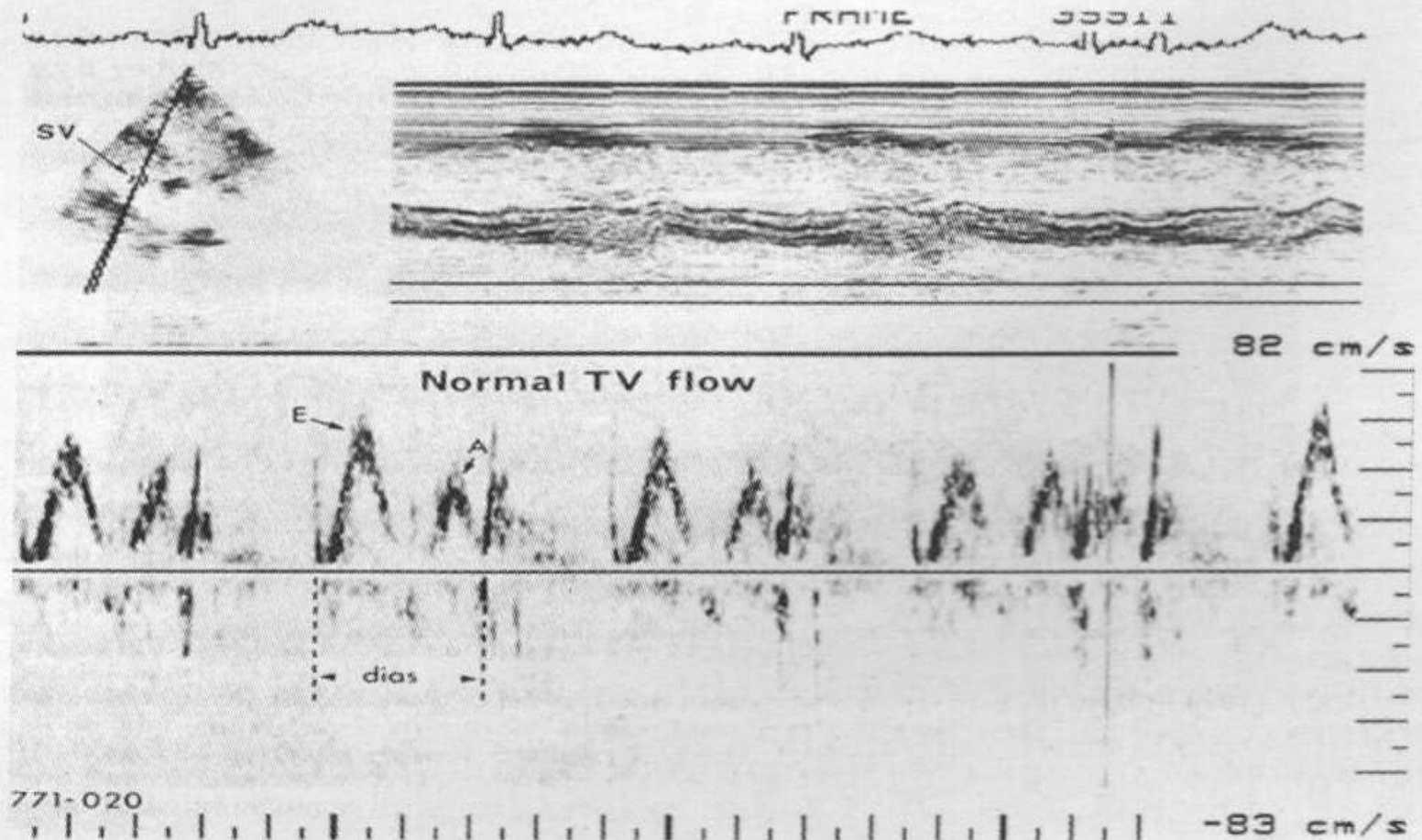


Эхограмма движения митрального клапана у больного с легочной гипертензией, низким сердечным выбросом и частой желудочковой экстрасистолой. При синусовом ритме открытие митрального клапана происходит только во время предсердной систолы.



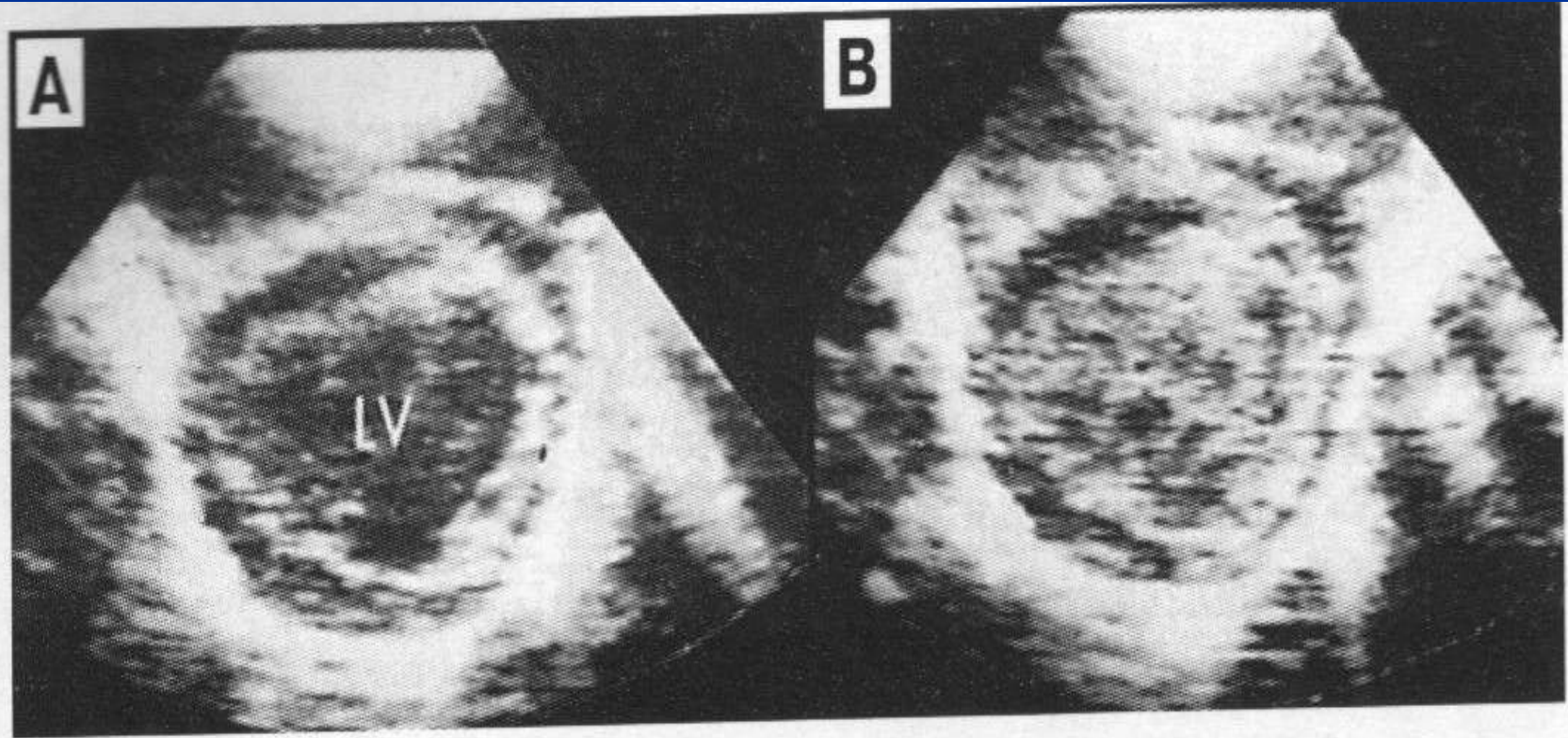
Эхограмма движения митрального клапана у больного с высокой скоростью трансмитрального потока (А) и у больного с низкой скоростью трансмитрального потока (В). Калибровка скоростей приводится одинаковой в обоих случаях. АМВ — передняя створка митрального клапана; РМВ — задняя створка митрального клапана.

Кровоток через трикуспидальный клапан

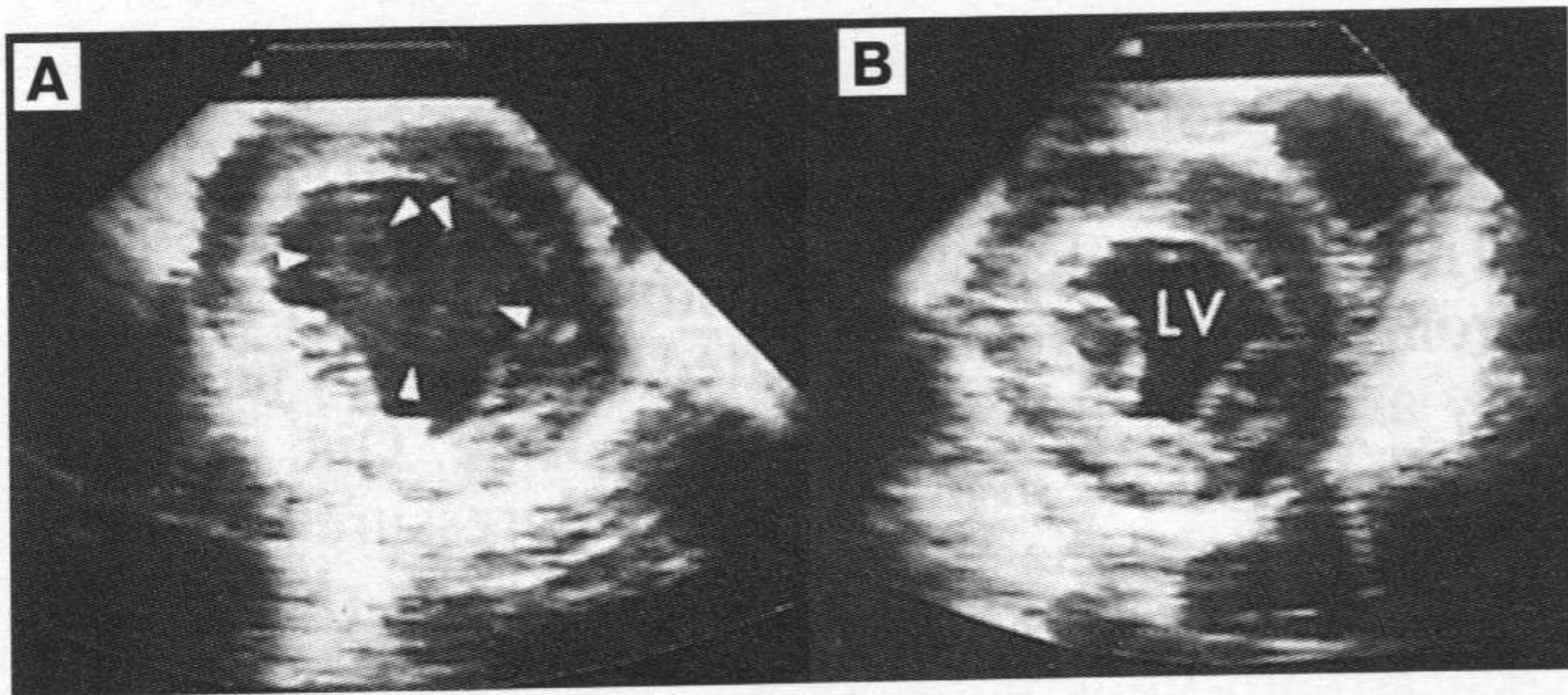


Нормальный поток через трикуспидальный клапан у здорового человека. SV — контрольный объем; TV — трикуспидальный клапан; E — скорость раннего диастолического потока; A — скорость потока в фазу систолы предсердий.

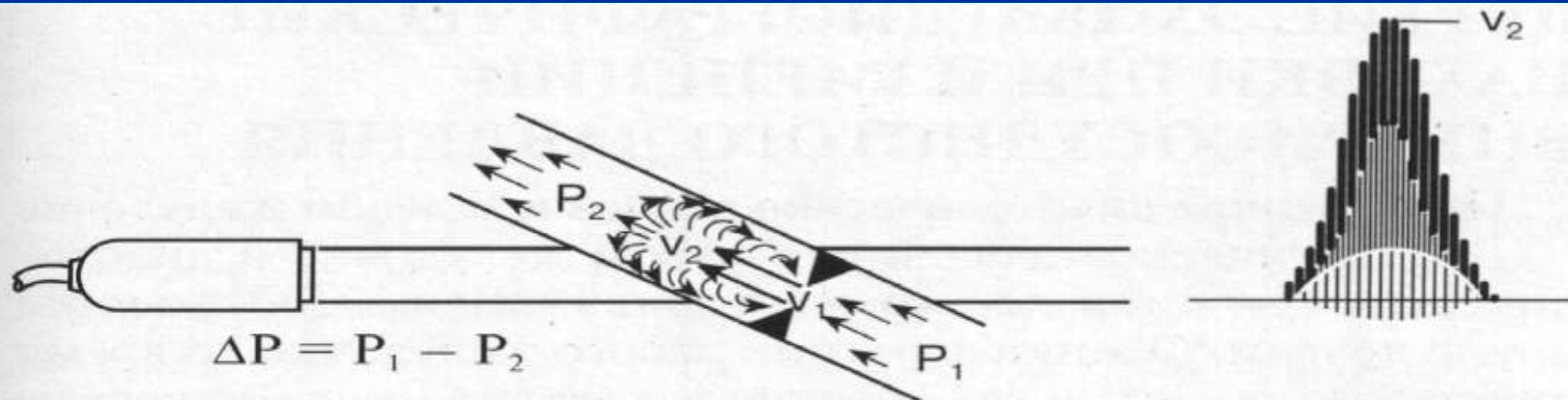
Определение застоя крови



Двухмерная эхограмма собаки до (А) и после (В) остановки сердца. При отсутствии кровотока полость стала более эхогенной. LV — левый желудочек.



Внутриполостная эхогенность. В эксперименте на собаке получена зона акинезии вследствие перевязки коронарной артерии. Когда артерия была перевязана, и передняя стенка выпала из сокращения (А), облаковидный эхо-сигнал (треугольнички) появился в полости левого желудочка. После восстановления кровотока по сосуду (В) полость левого желудочка вновь хорошо контрастировалась, облаковидная тень в полости левого желудочка исчезла. LV — левый желудочек.



уравнение Бернулли

$$P_1 - P_2 = \underbrace{\frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2)}_{\text{конвекционное ускорение}} + \underbrace{\rho \int_1^2 \frac{d\vec{v}}{dt} dS}_{\text{ускорение потока}} + \underbrace{R(\vec{v})}_{\text{вязкое трение}}$$

$$P_1 - P_2 = 1/2\rho(v_2^2 - v_1^2)$$

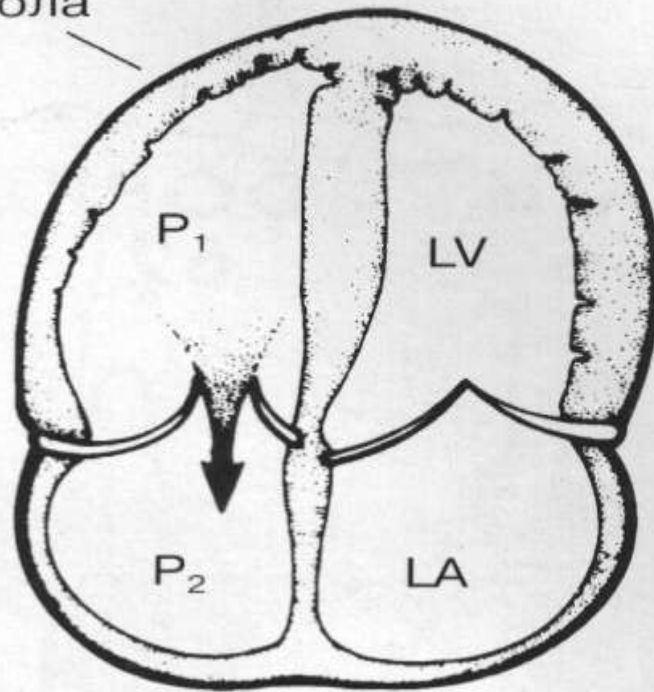
$$v_1 \ll v_2 \Rightarrow v_1 \text{ игнорировать}$$

$$\rho = \text{плотность крови} = 1,06 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$\Rightarrow \Delta P = 4v_2^2$$

Принцип использования доплерэхокардиографии для измерения перепада давления в области обструкции. P_2 — давление дистальнее обструкции; v_2 — скорость кровотока дистальнее обструкции; v_1 — скорость кровотока проксимальнее обструкции; P_1 — давление проксимальнее обструкции. ρ = плотность крови = $1,06 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$

Систола



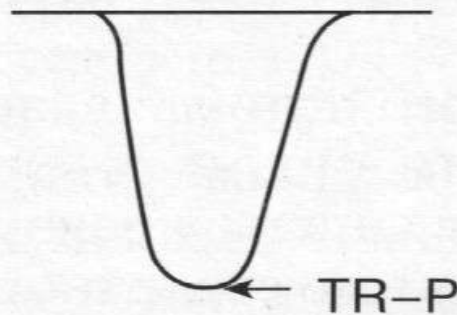
$$P_1 - P_2 = 4v^2$$

$$P_1 = 4v^2 + P_2$$

$$RVSP = 4v^2 + P_{RA}$$

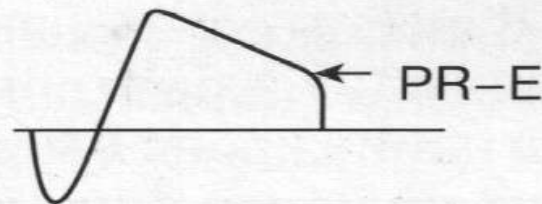
Схема измерения систолического давления в правом желудочке с использованием доплеровской регистрации потока трикуспидальной регургитации. Используя модифицированное уравнение Бернулли, рассчитывают разницу давления между правым желудочком и предсердием ($P_1 - P_2$). Систолическое давление в правом желудочке (P_1) равно квадрату скорости потока трикуспидальной регургитации (v), умноженному на четыре, плюс давление в правом предсердии (P_{RA}). Одним из путей расчета давления в правом предсердии является использование пульсового давления в яремной вене.

TR



$$RVSP = 4(v_{TR-P})^2 + P_{RA}$$

PR

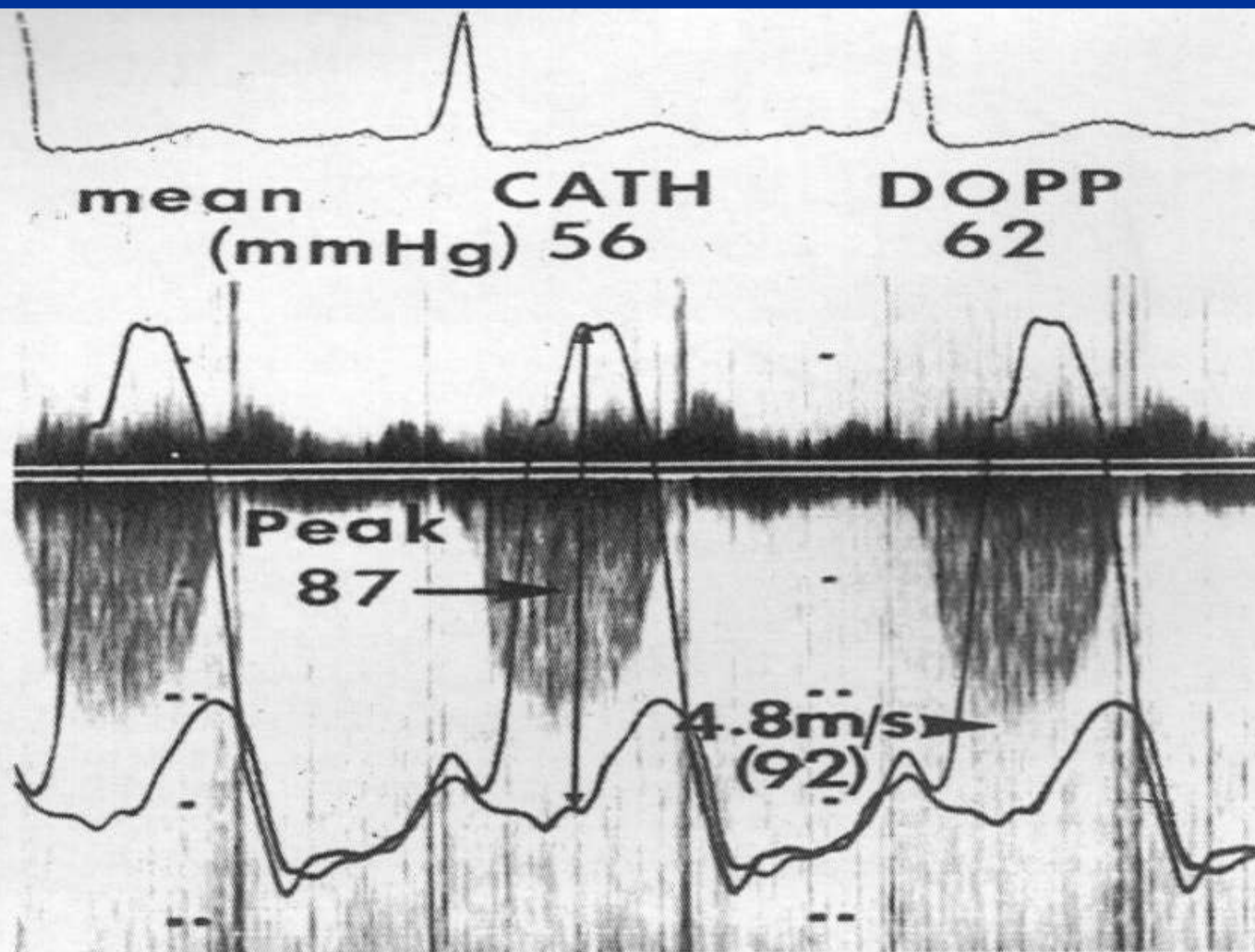


$$PADP = 4(v_{PR-E})^2 + RVDP$$

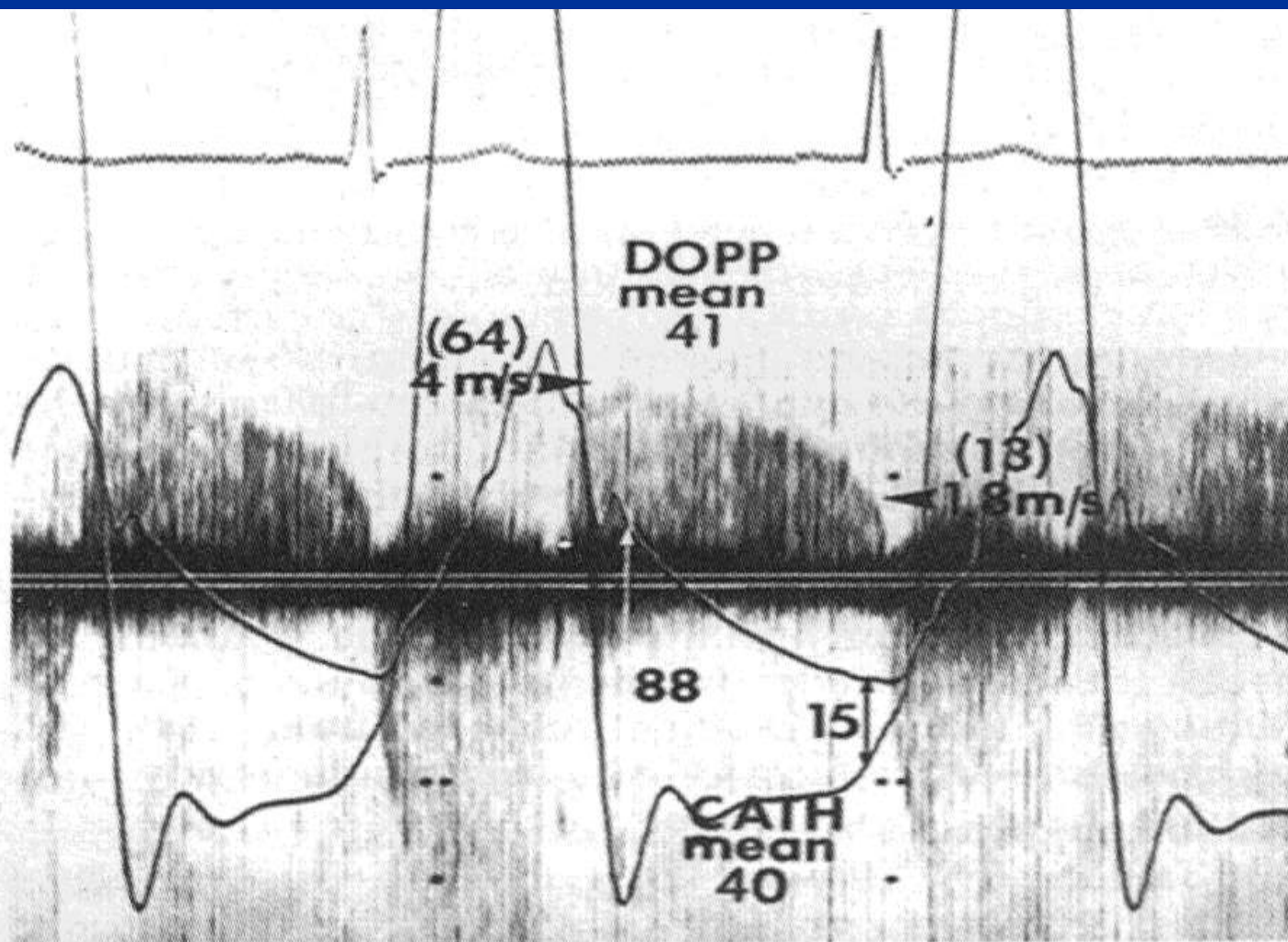
ИЛИ

$$PADP = 4(v_{PR-E})^2 + RA$$

Схема расчета систолического давления в правом желудочке с помощью струи трикуспидальной регургитации и схема расчета конечного диастолического давления в легочной артерии с использованием струи легочной регургитации (PR). Систолическое давление в правом желудочке (RVSP) рассчитывают по скорости струи трикуспидальной регургитации, подставленной в уравнение Бернулли (TR—P), и предположительному давлению в правом предсердии (RA). Диастолическое давление в легочной артерии (PADP) складывается из скорости струи легочной регургитации в конце диастолы (PR—E), подставленной в уравнение Бернулли, и диастолического давления в правом желудочке или диастолического давления в правом предсердии.



1. Непрерывноволновое доплеровское исследование и одновременное измерение давления в левом желудочке и в левом предсердии показывает достоверность использования струи митральной регургитации для расчета давления в левом предсердии. Измеренный с помощью катетеризации пиковый градиент давления между левым желудочком и левым предсердием составил 87 мм рт. ст., при одновременном измерении с помощью доплера градиент составил 92 мм рт. ст.



Одновременная регистрация доплеровского спектра и давления в левом желудочке и в аорте у больного с аортальной регургитацией. Конечный диастолический градиент давления между аортой и левым желудочком, измеренный с использованием доплера, равен 13 мм рт. ст., при катетеризации — 15 мм рт. ст.

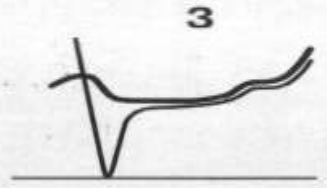
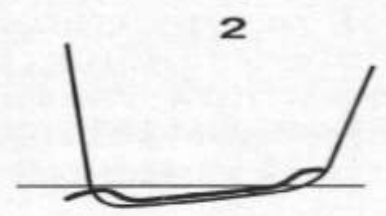
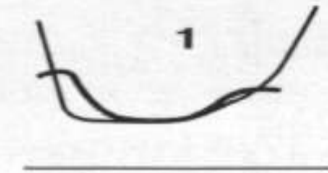
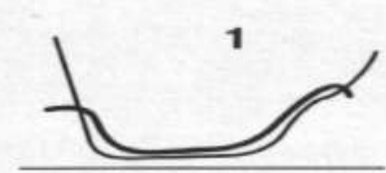
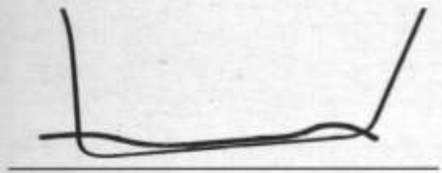
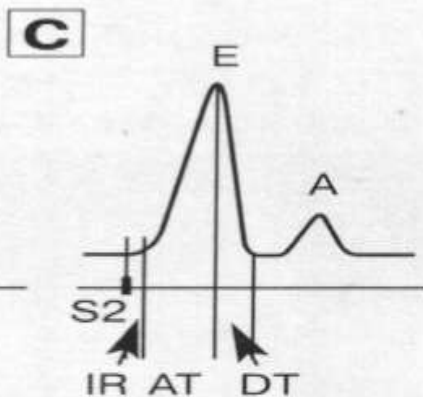
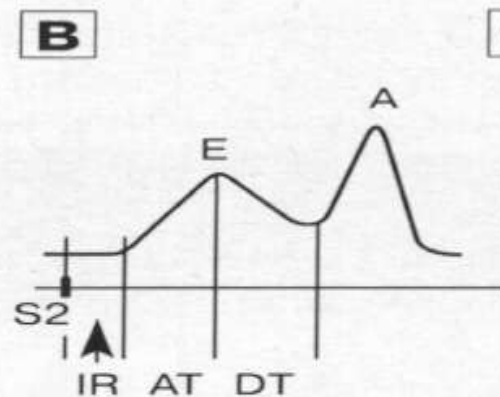
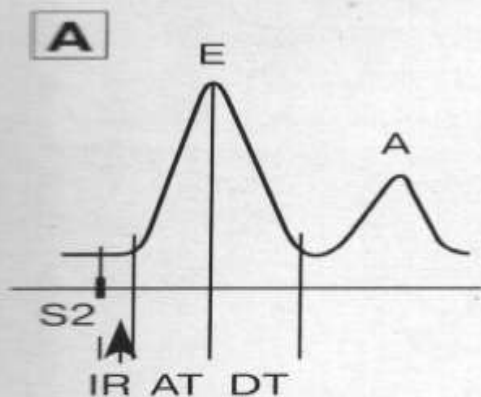


Схема взаимосвязи между скоростями трансмитрально-го потока и давления в левом желудочке и предсердии
S2 — второй тон сердца; **IR** — изоволюметрическое расслабление;
AT — время ускорения; **DT** — время замедления потока.

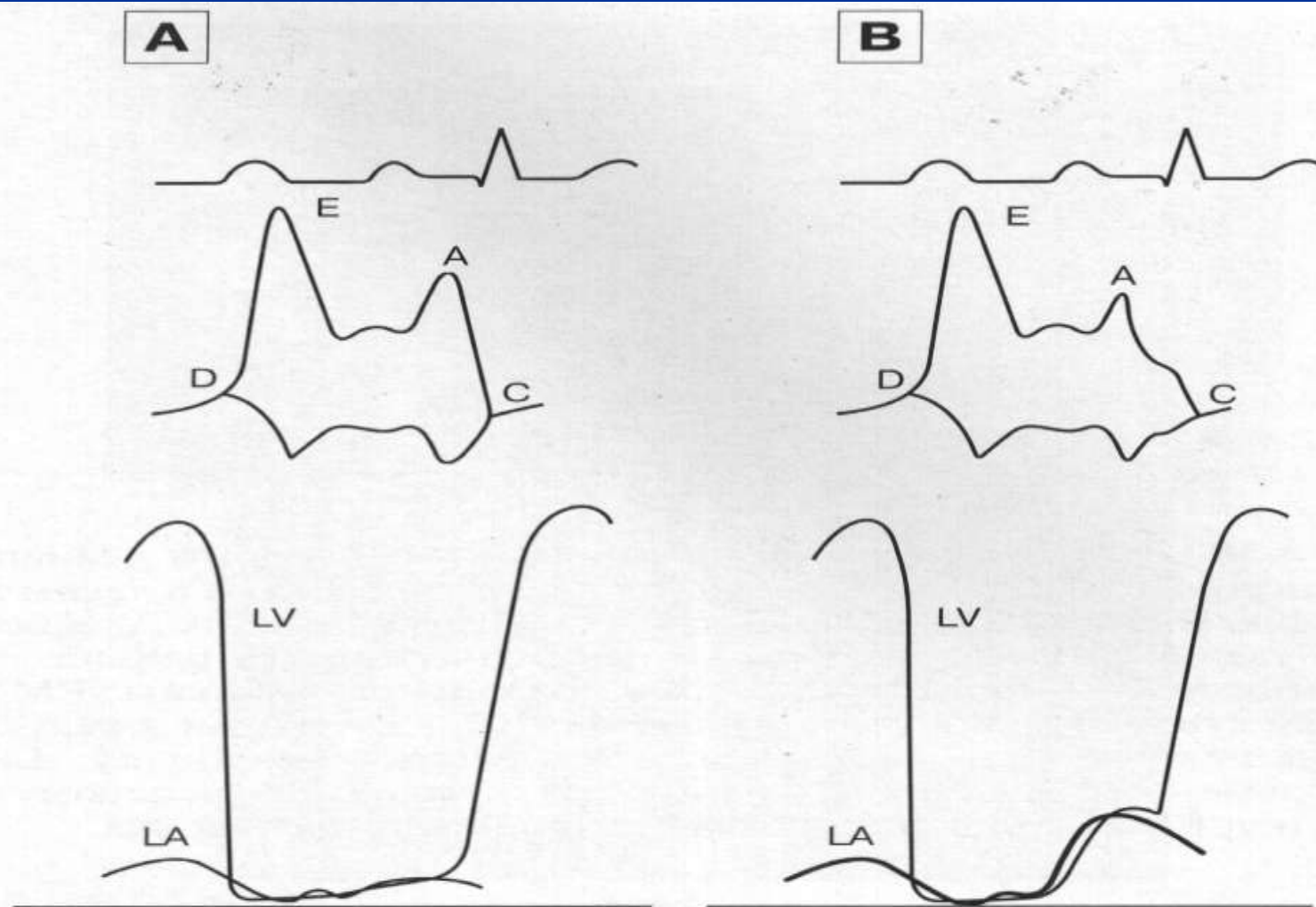
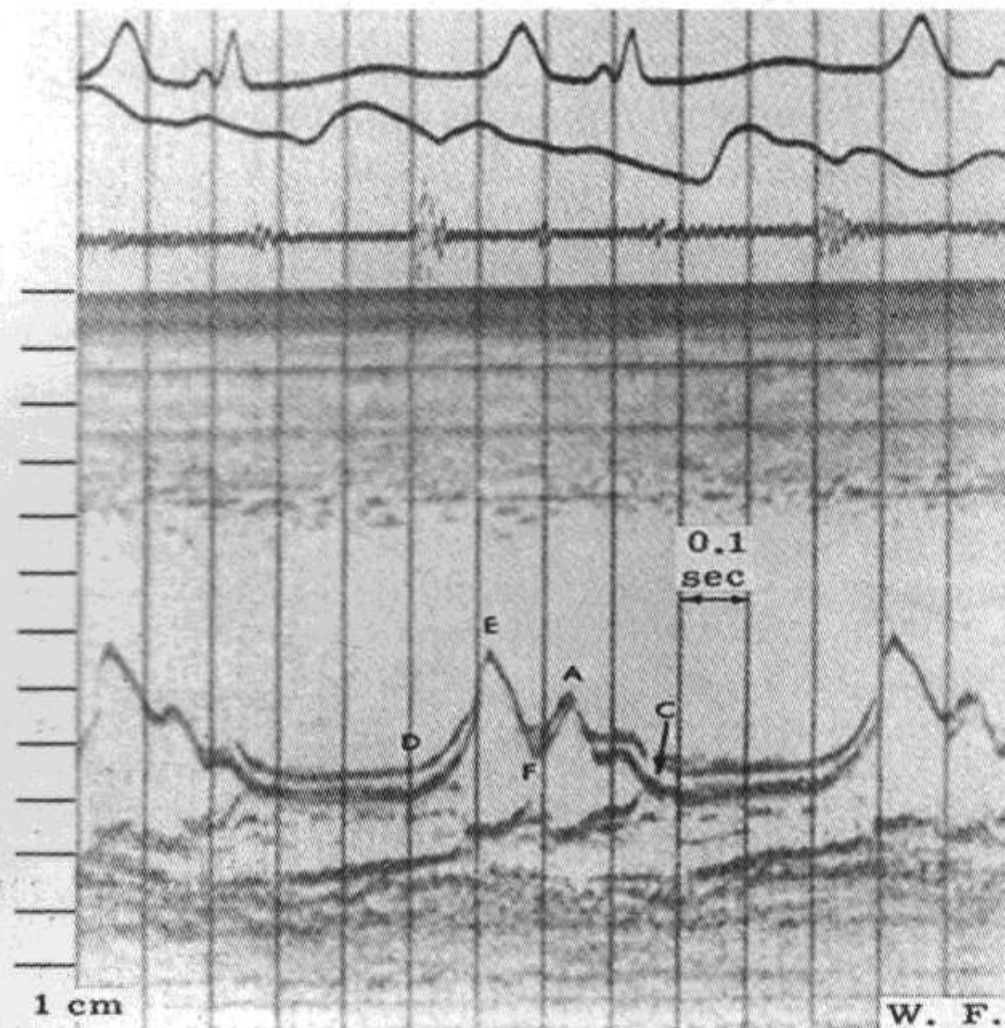
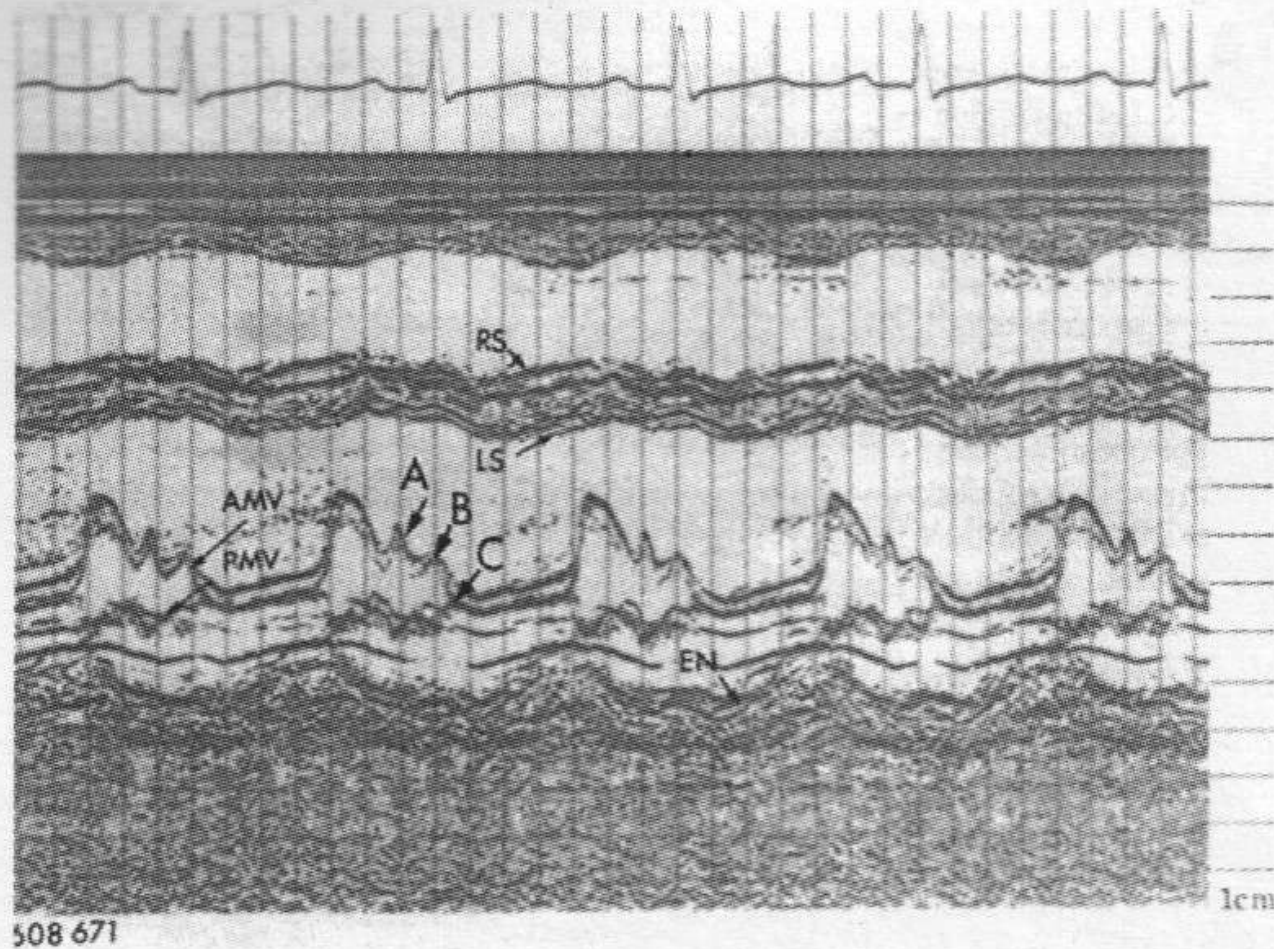


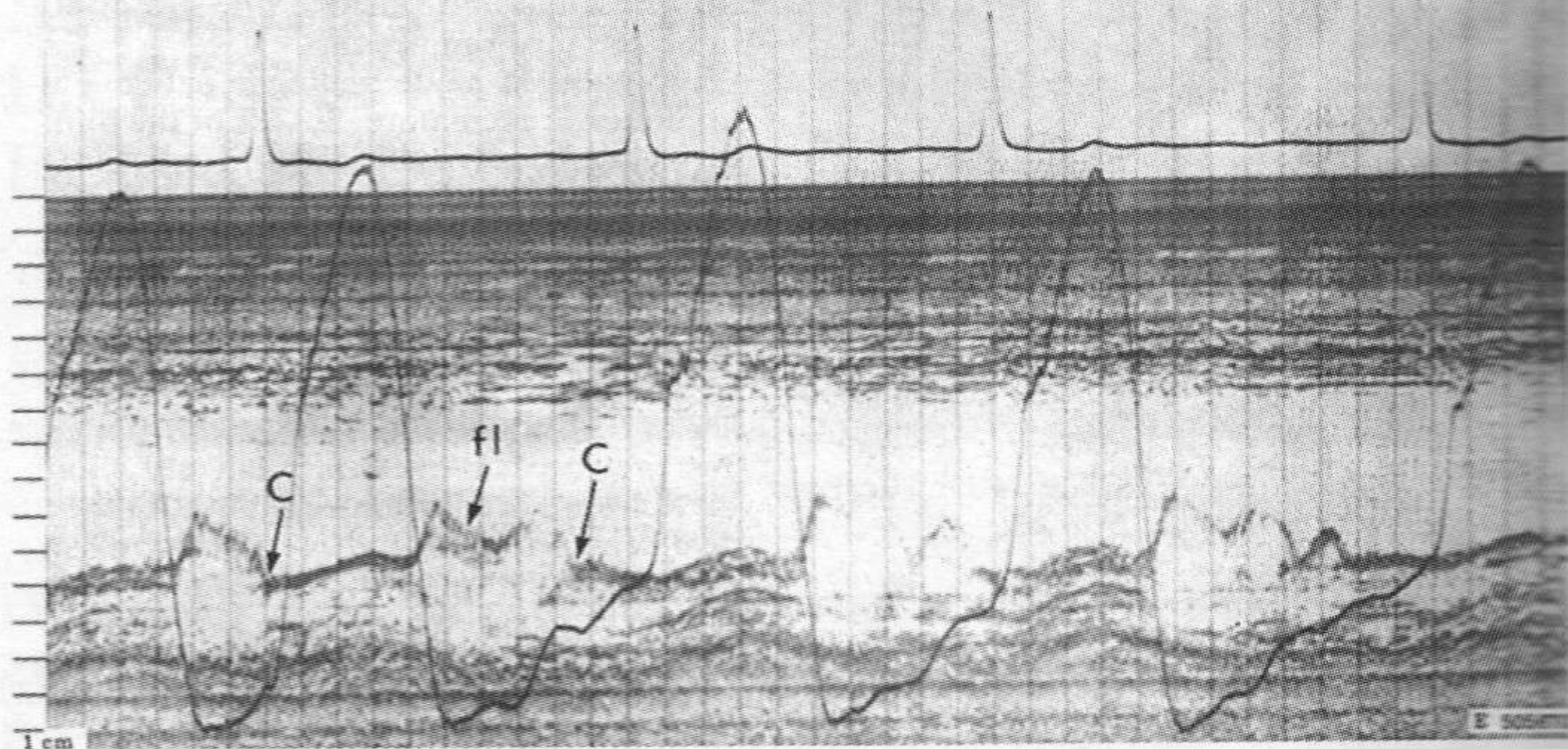
Схема зависимости формы движения створок митрального клапана от изменения давления в полости левого желудочка в диастолу LV — левый желудочек; LA — левое предсердие.



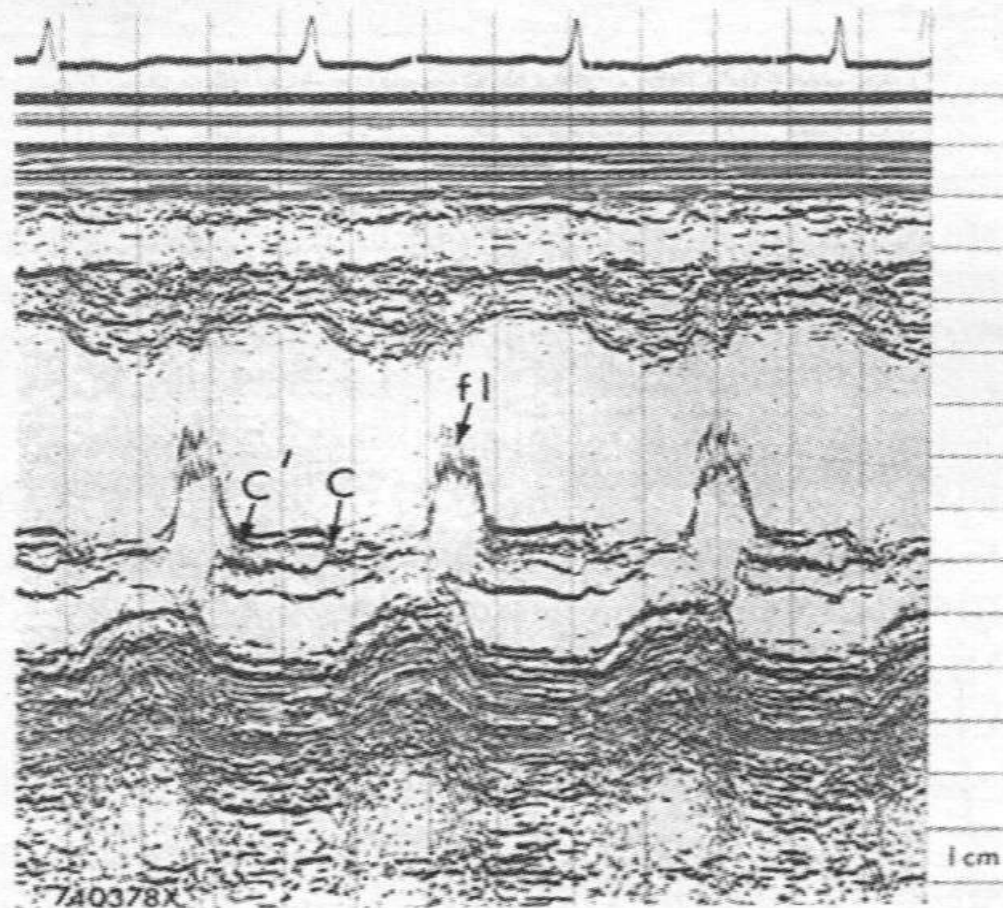
Движение створок митрального клапана повышенным конечнодиастолическим давлением вследствие низкого сердечного выброса и увеличения предсердного компонента давления в левом желудочке. Время закрытия створок митрального клапана (A—C) увеличено и прерывается.



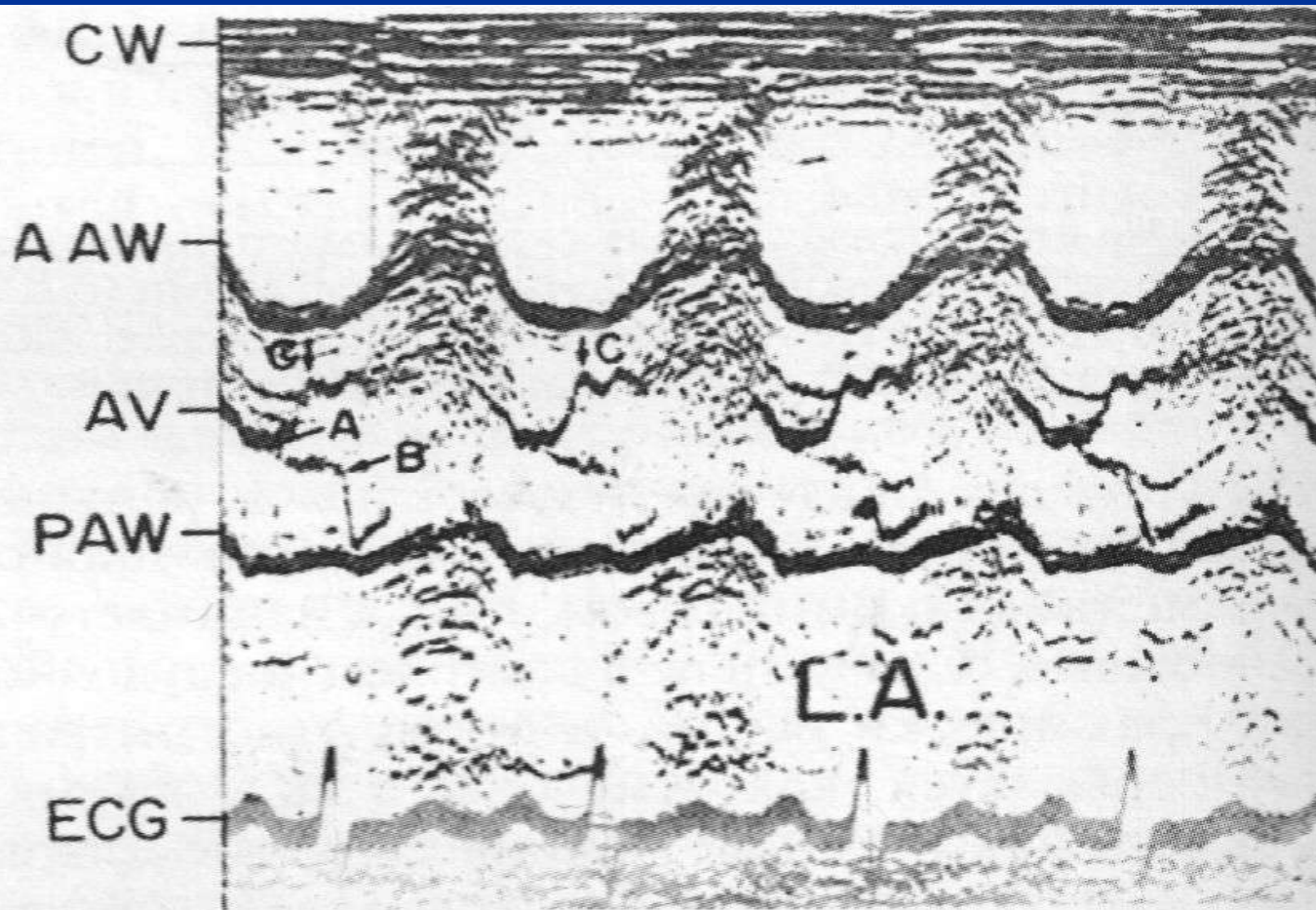
Эхограмма движения створок митрального клапана у больного с повышенным диастолическим давлением в левом желудочке. Выемка В выражена и накладывается на пик А. У больного увеличен Р—R-интервал, и пик А начинается раньше, чем обычно.



Одновременная регистрация давления в полости левого желудочка и движения створок митрального клапана у больного с тяжелой аортальной регургитацией и мерцательной аритмией. Закрывание митрального клапана (С) происходит раньше электрической деполяризации при увеличении диастолического интервала и повышении диастолического давления в левом желудочке. Отмечено трепетание (fl) передней створки митрального клапана.



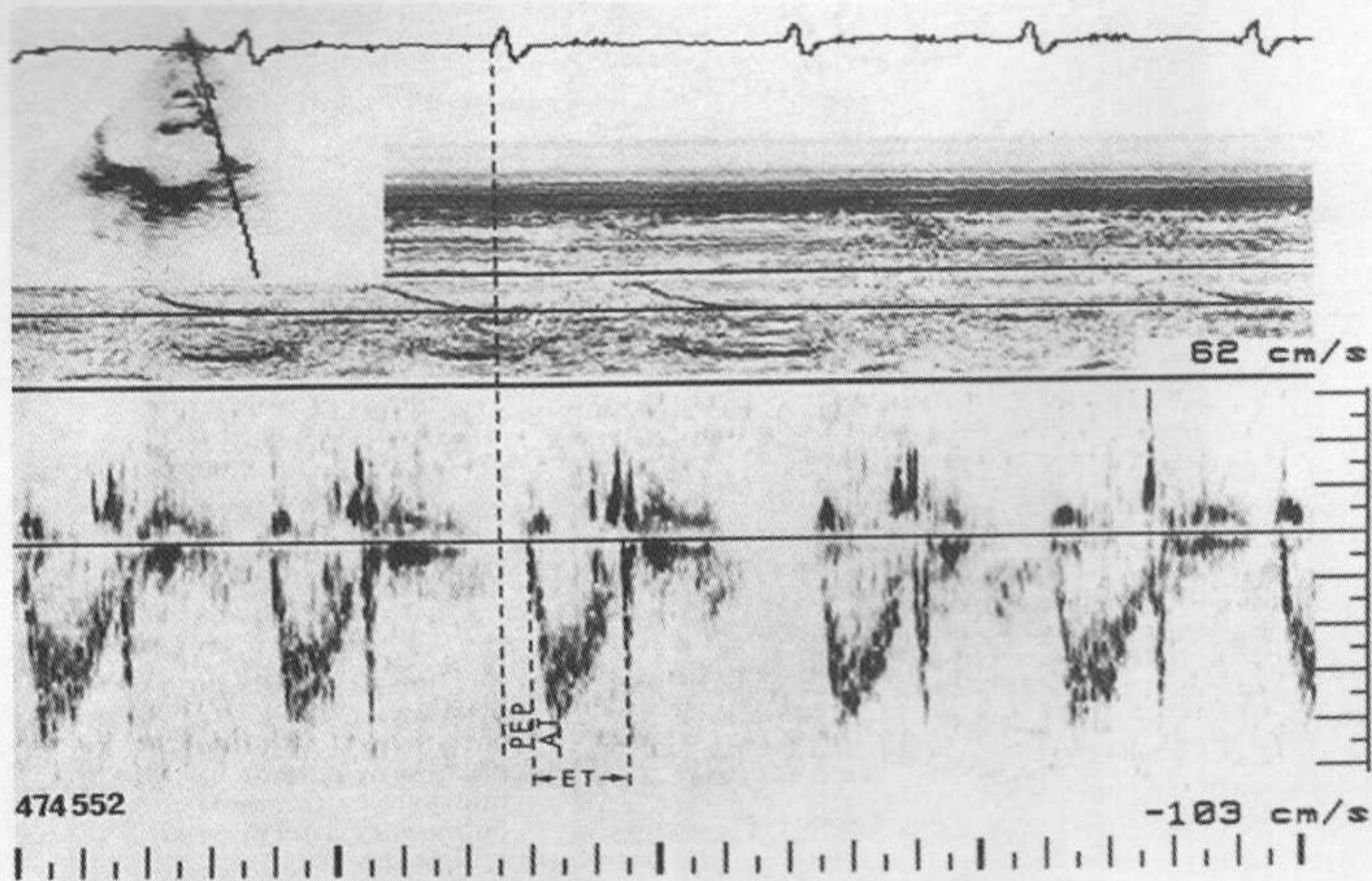
Движение створок митрального клапана при тяжелой аортальной регургитации. Клапан практически полностью закрывается (C') намного раньше наступления систолы желудочков. Сокращение предсердий оказывает незначительное влияние на повторное открытие клапана. Полное закрытие клапана совпадает с систолой желудочков (C). Отмечено трепетание митрального клапана (fl).



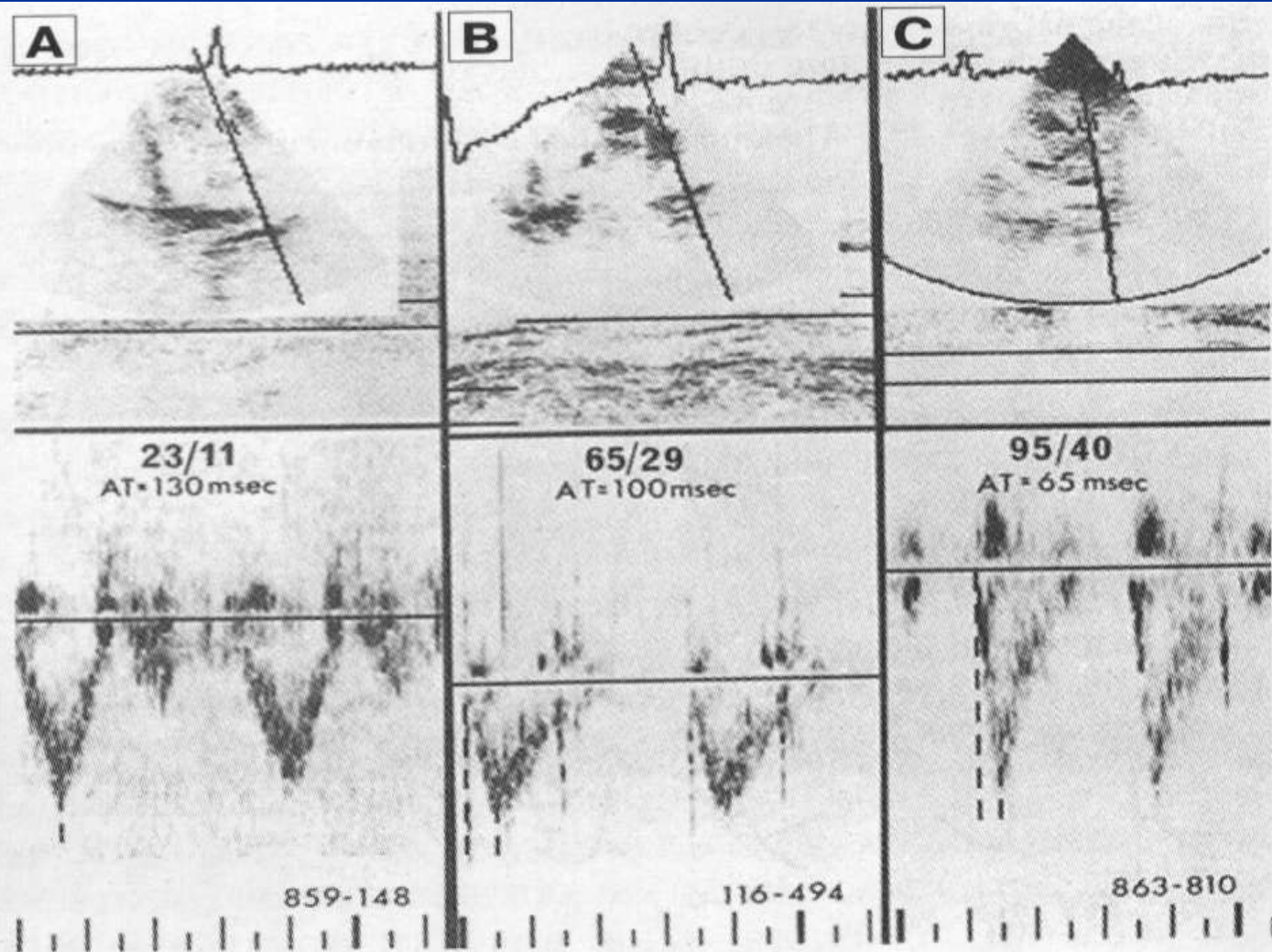
Преждевременное открытие аортального клапана (AV) у больного с тяжелой аортальной регургитацией. Клапан открывается (стрелка) до наступления электрической деполяризации (C). Дополнительное открытие клапана совпадает с выбросом из желудочка (B). CW — грудная стенка; AAW — передняя стенка аорты; PAW — задняя стенка аорты; LA — левое предсердие;



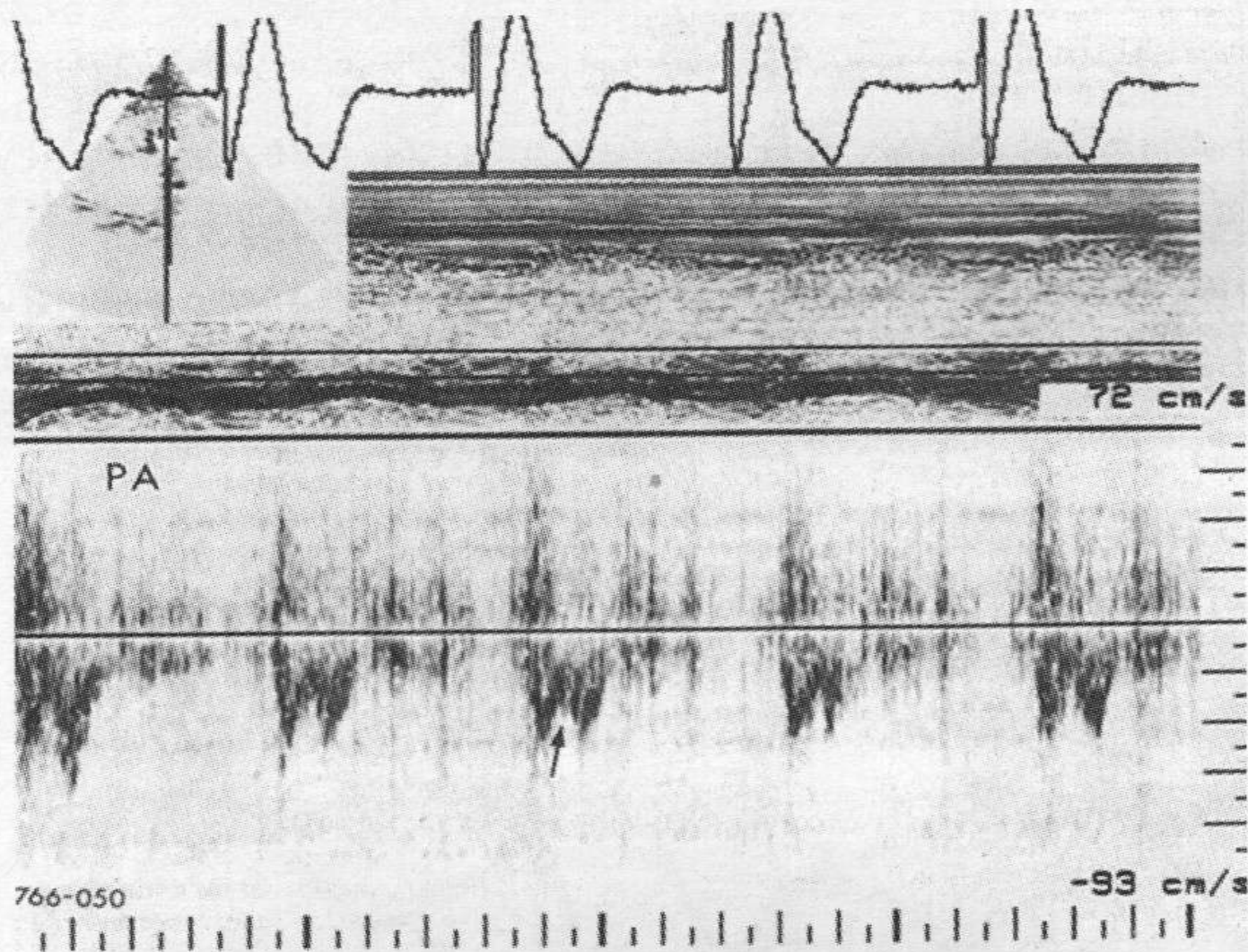
Трансторакальное (вверху) и чреспищеводное (внизу) исследование кровотока в легочных венах. Контрольный объем импульсного доплера располагают дистальнее места впадения правой верхней легочной вены в левое предсердие (рисунки вверху левый и правый), и кровоток из легочной вены регистрируется оранжевым цветом (стрелка, вверху средний рисунок). При проведении чреспищеводной эхокардиографии контрольный объем импульсного доплера можно поместить в левую верхнюю легочную вену (А) или в правую верхнюю легочную вену (В).



Измерения потока в легочной артерии, которые могут быть использованы для определения давления в легочной артерии. PER — период предызгнания; AT — время ускорения поток; ET — время выброса.



Поток в легочной артерии у троих больных с различными цифрами давления в легочной артерии. Время ускорения потока (АТ) уменьшается с увеличением давления в легочной артерии.



Поток в легочной артерии у больного с легочной гипертензией, стрелкой отмечена выемка в середине систолы. РА — легочная артерия.

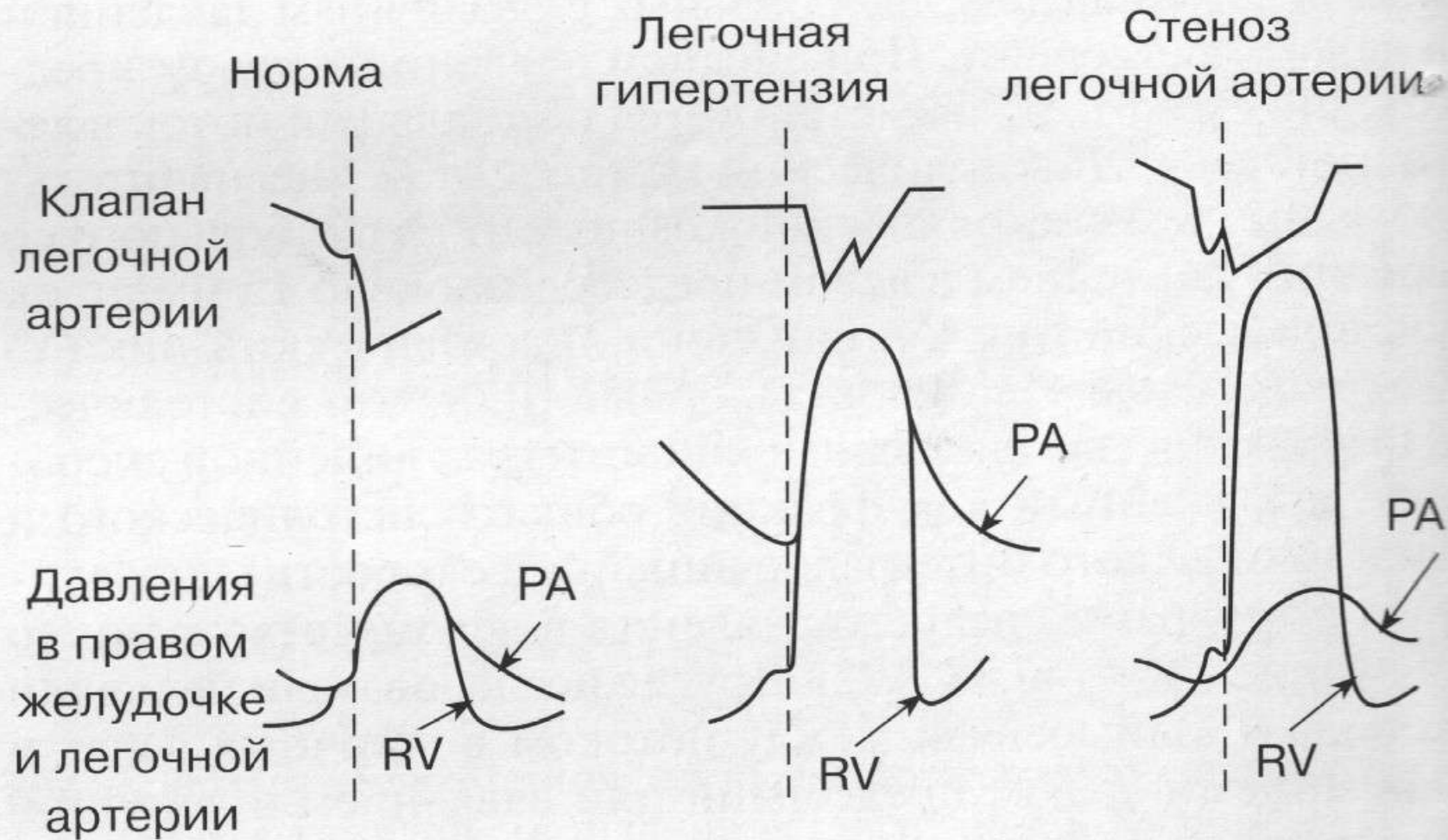
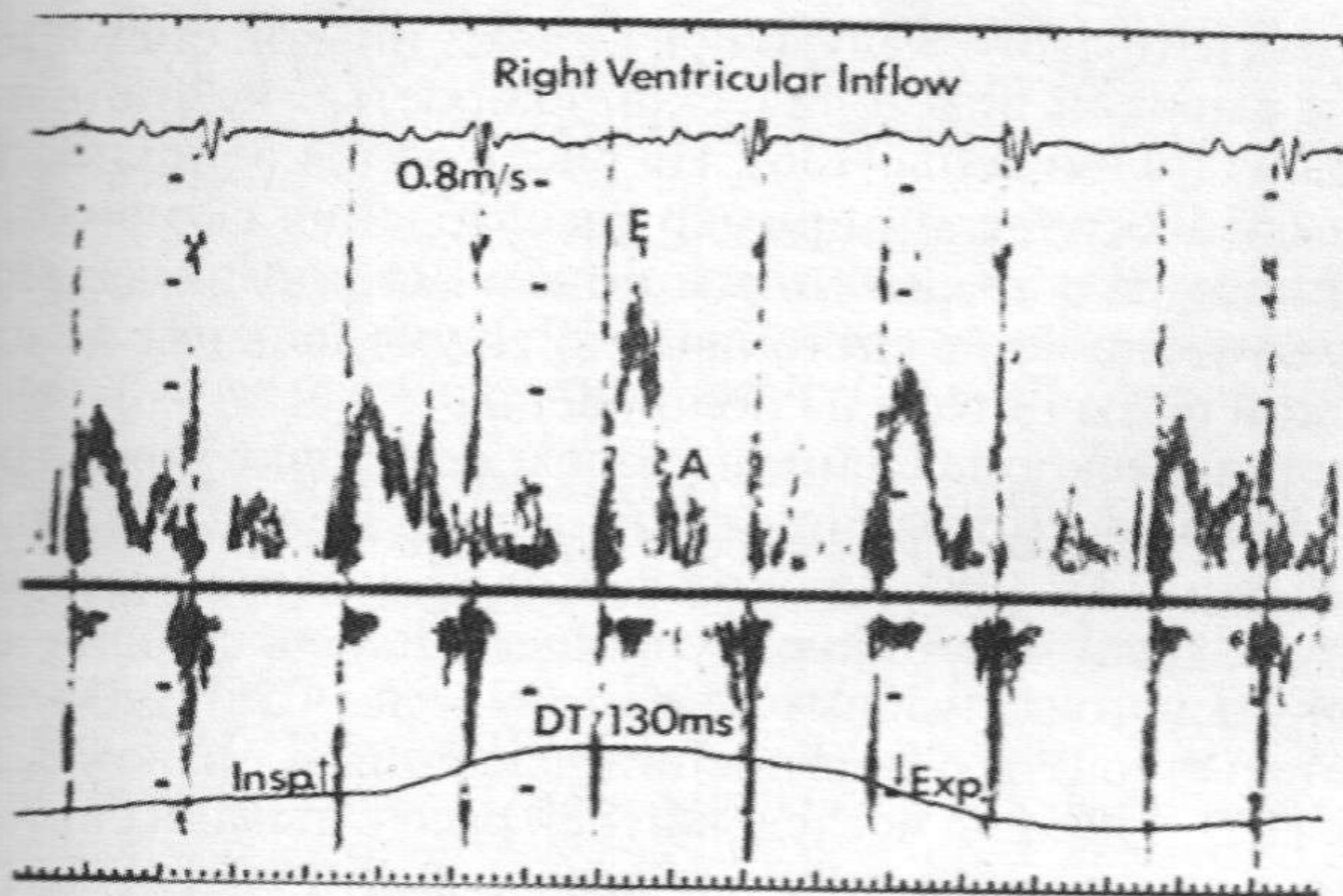
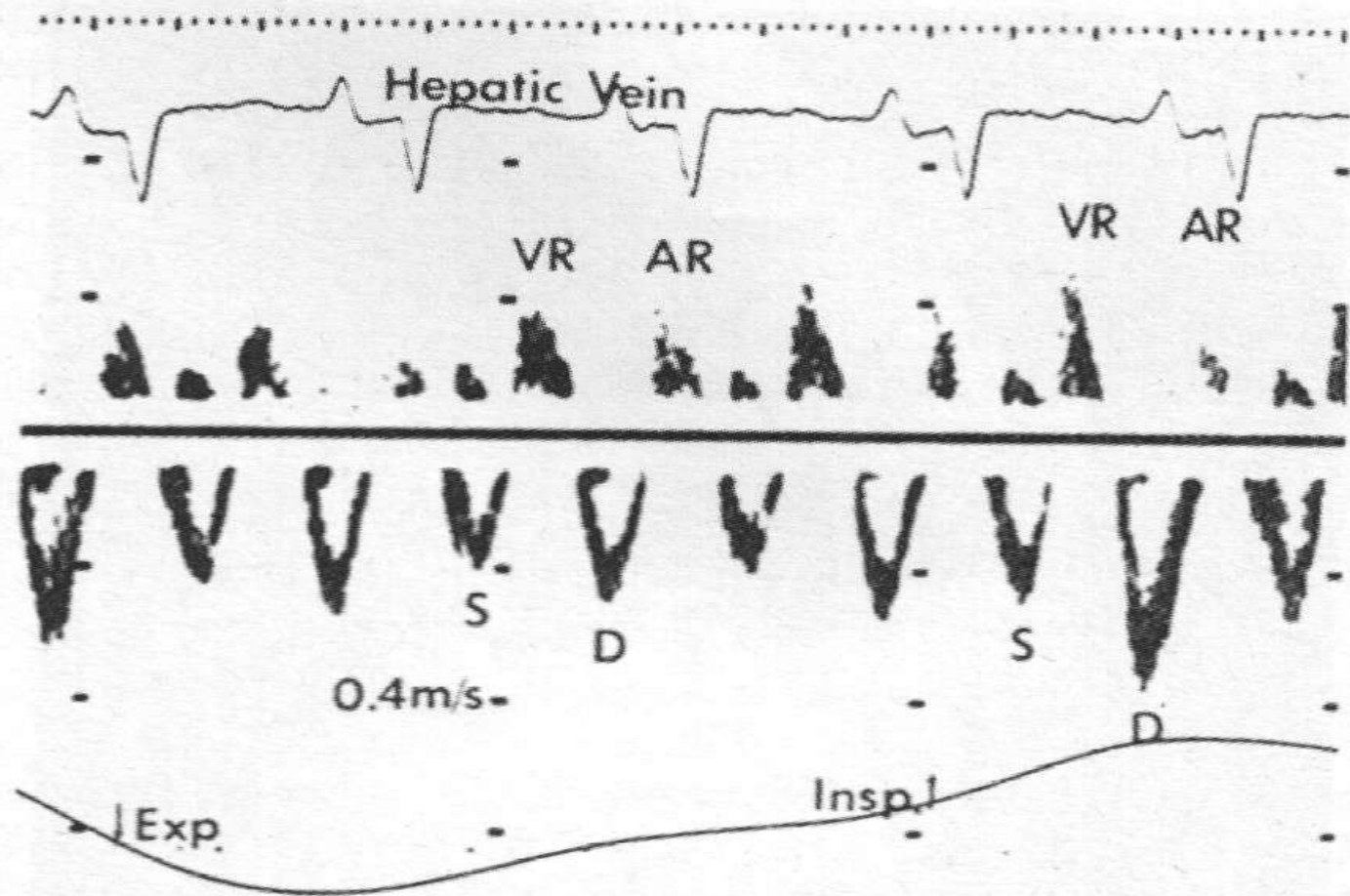


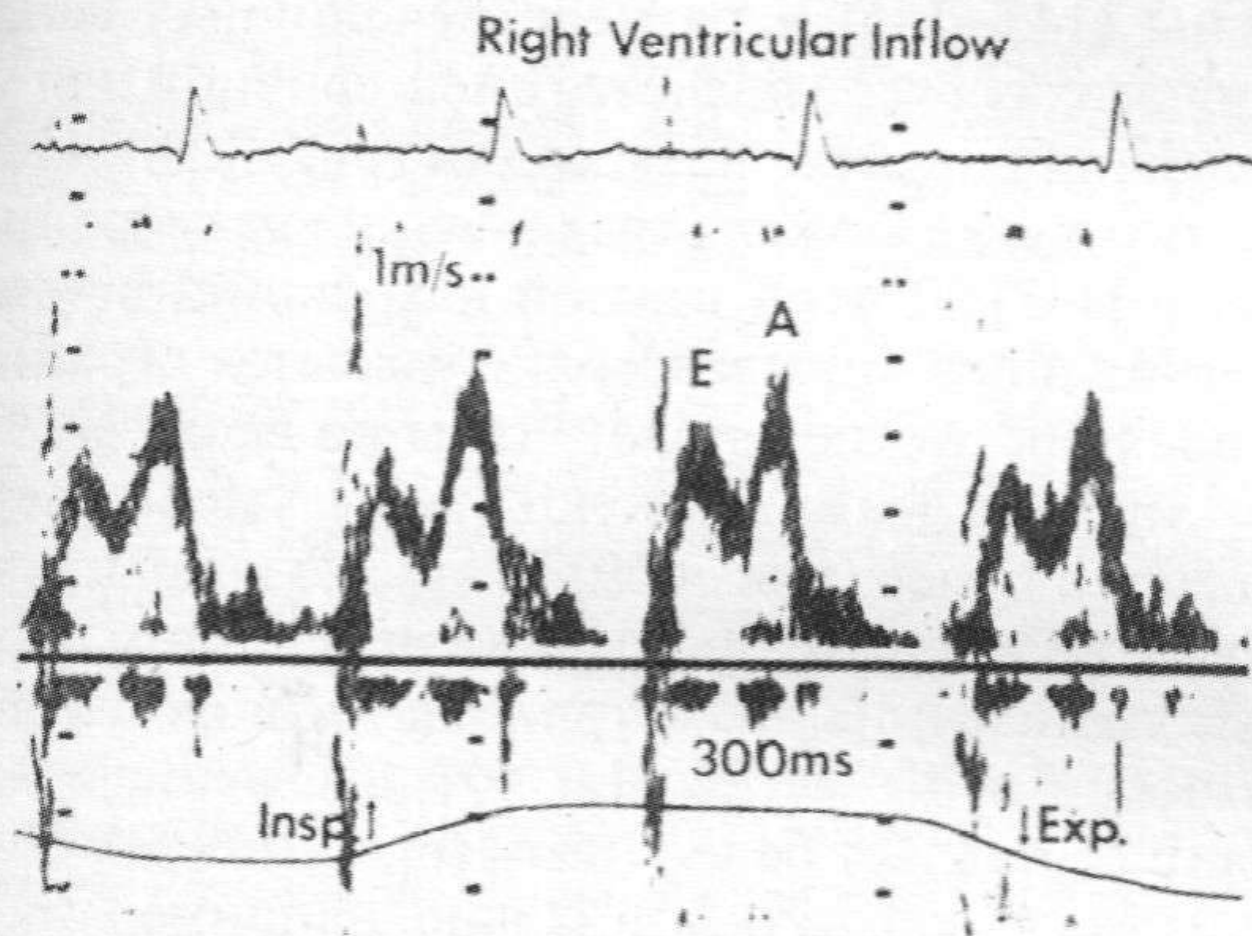
Схема зависимости между формой движения клапана легочной артерии и изменениями давления в легочной артерии и правом желудочке. RV — правый желудочек; PA — легочная артерия.



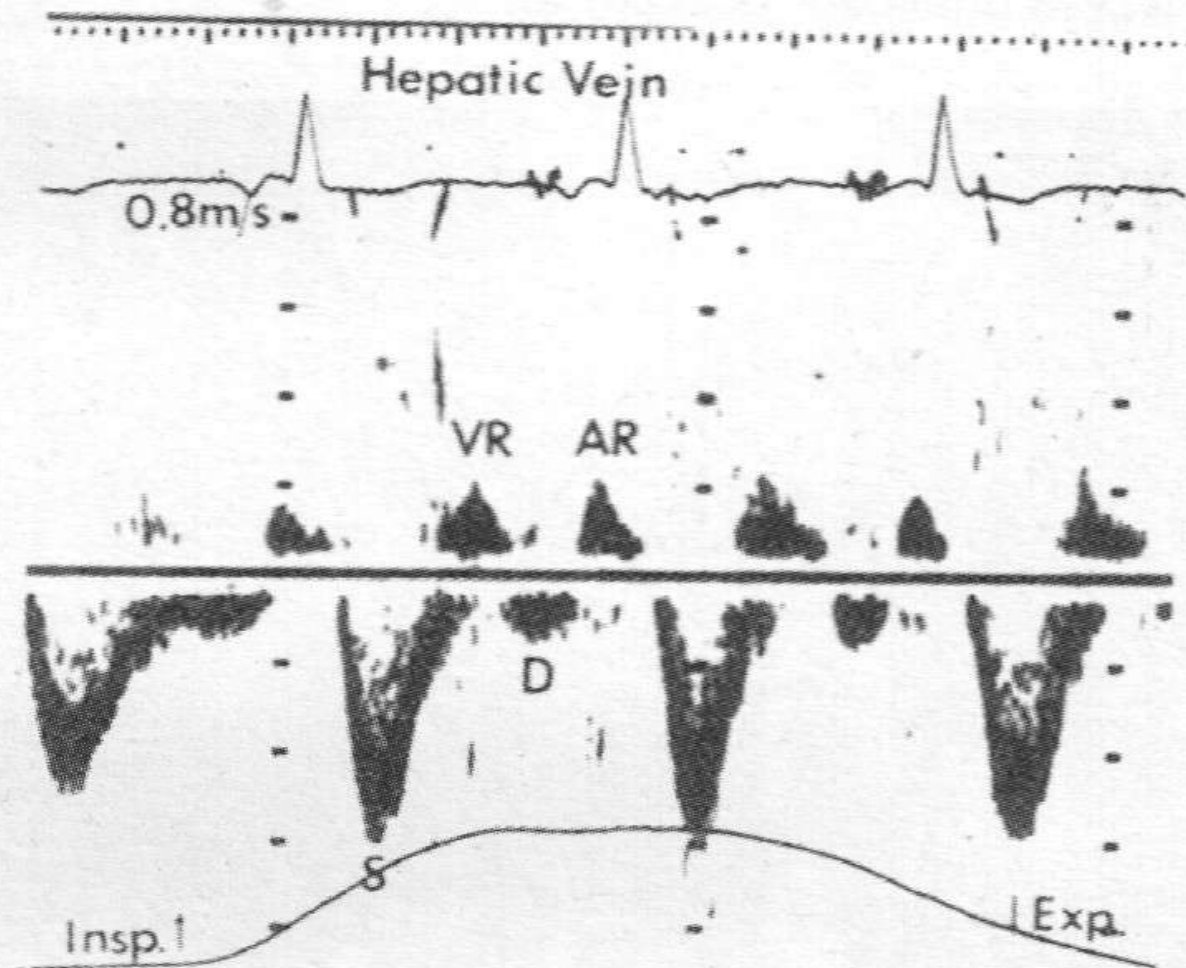
Поток в приносящем тракте правого желудочка у больного с рестриктивной кардиомиопатией с вовлечением правого желудочка (режим импульсного доплера). На вдохе волна E выражена, а волна A уменьшается. DT — время замедления.



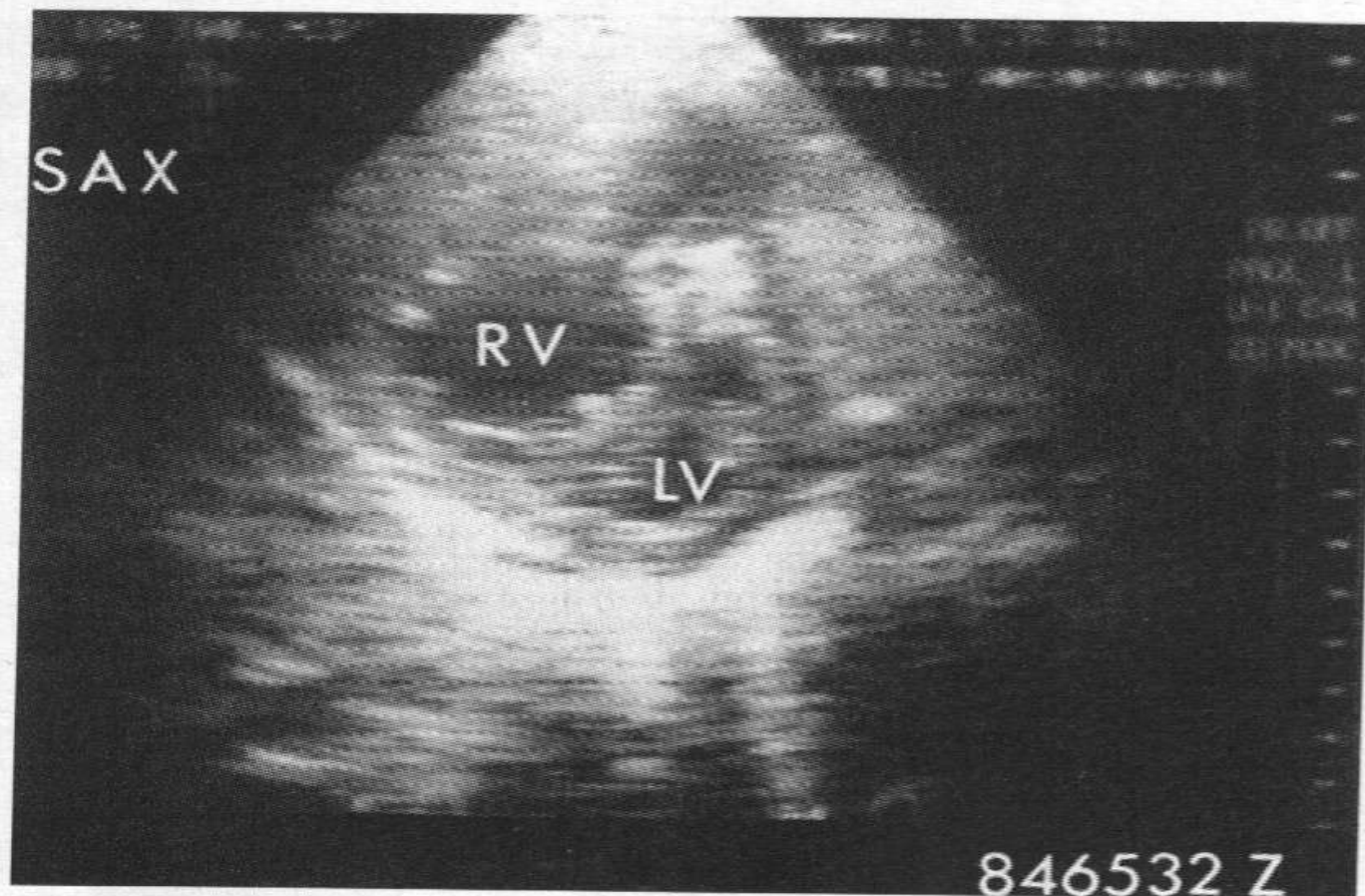
Кровоток в печеночной вене у больного с рестриктивным поражением правого желудочка (режим импульсного доплера). Систолическая скорость потока (S) уменьшается, и диастолическая скорость (D) увеличивается во время акта дыхания. VR — желудочковая реверсия потока; AR — предсердная реверсия потока.



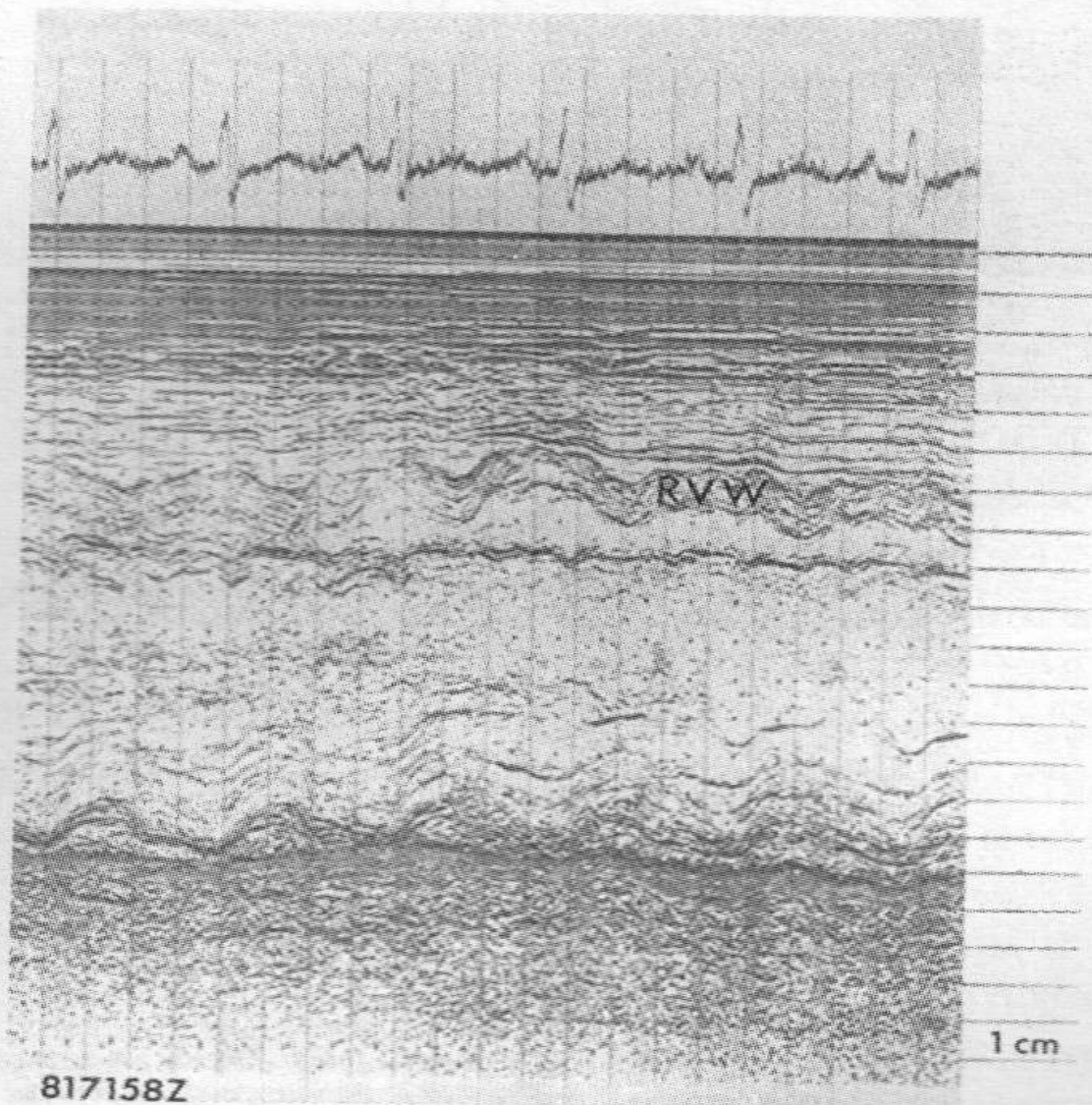
Поток в приносящем тракте правого желудочка у больного с нарушением расслабления правого желудочка (режим импульсного доплера). У данного больного пик Е снижен и пик А увеличен.



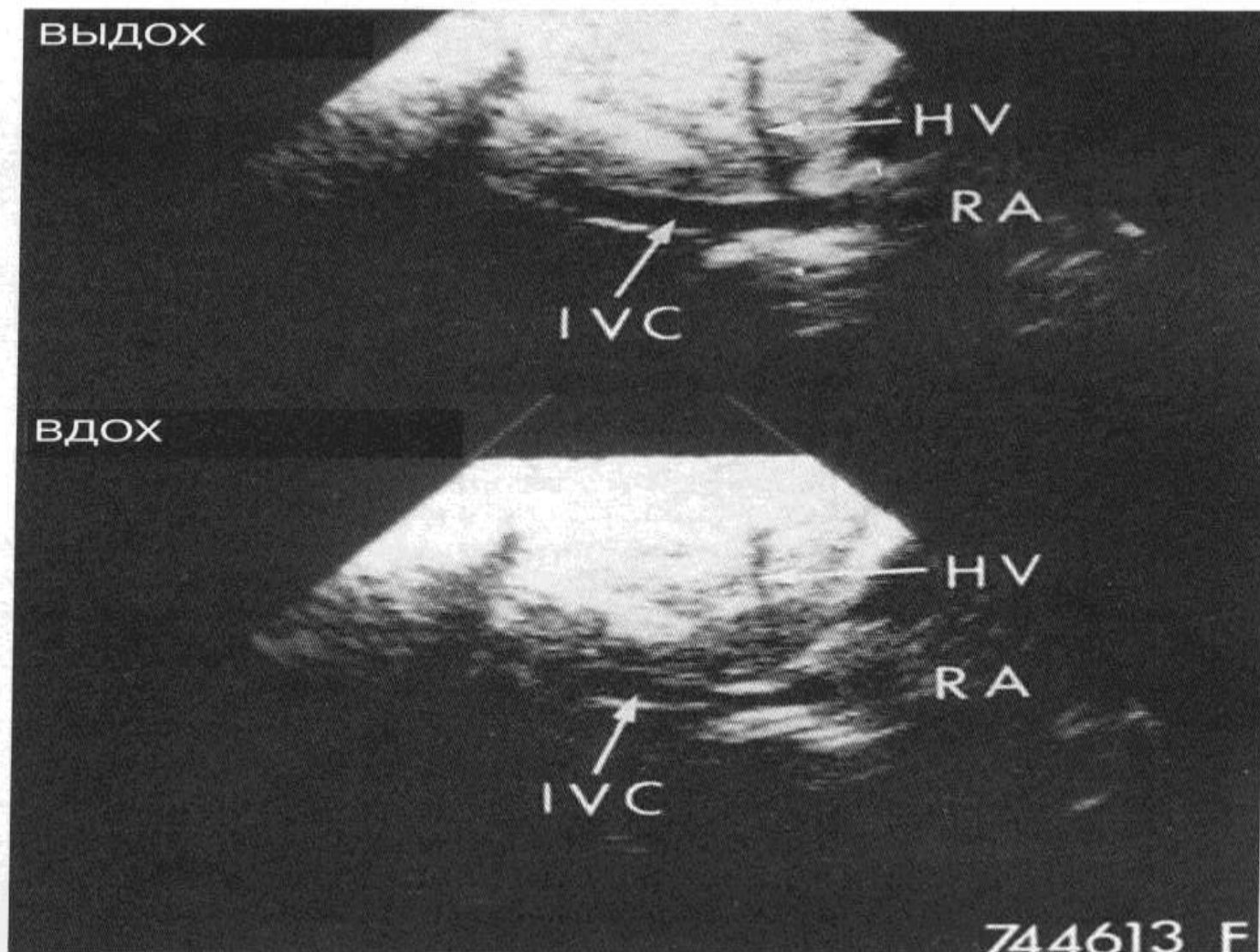
Кровоток в печеночной вене у больного с нарушением функции расслабления правого желудочка (режим импульсного доплера). Выражена систолическая фаза потока (S), уменьшена скорость диастолической фазы потока (D).



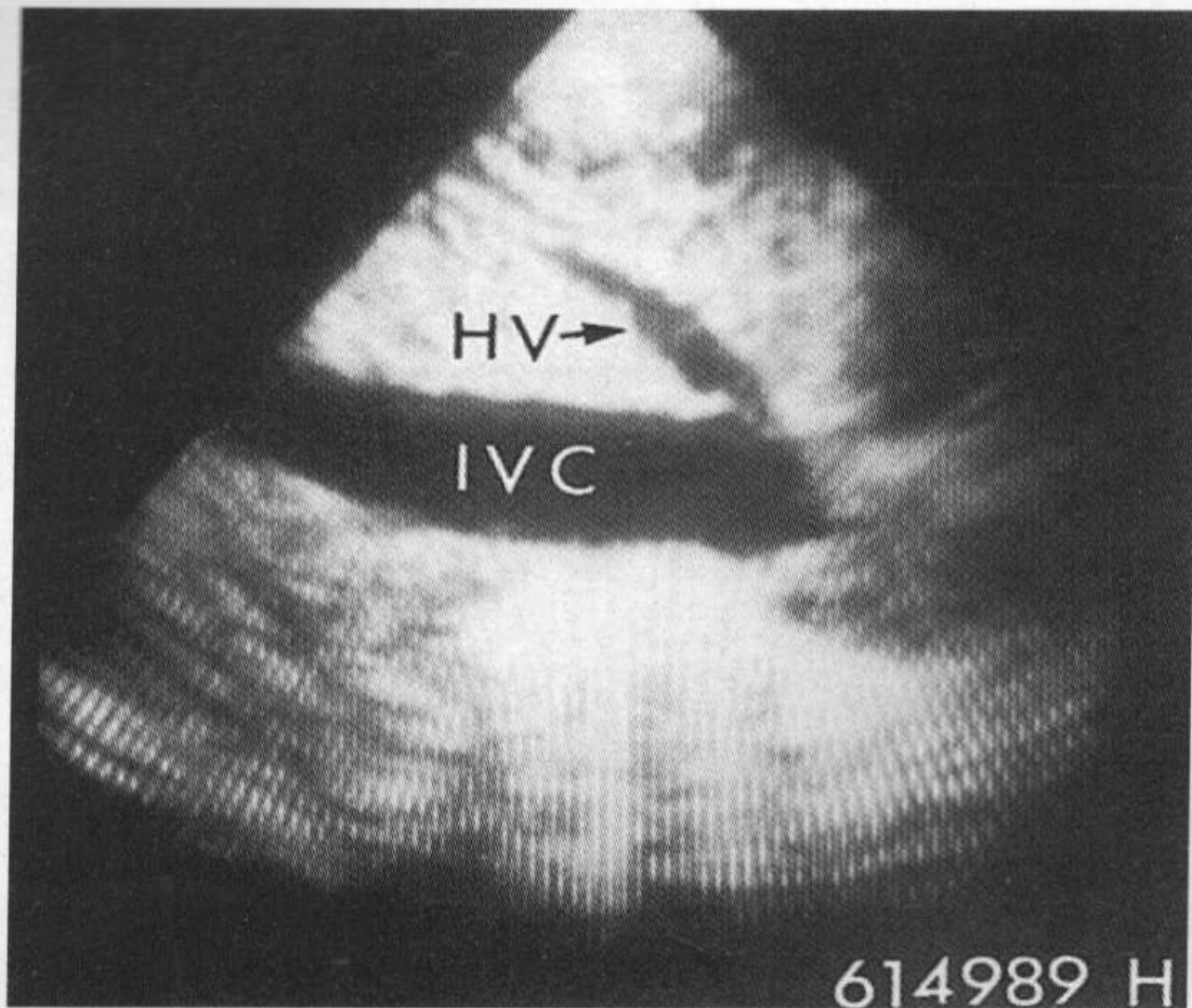
Двухмерное сканирование по короткой оси, эхограмма больного со значительным увеличением систолического давления в правом желудочке и гипертрофией стенки правого желудочка. Межжелудочковая перегородка превратилась, условно говоря, в стенку правого желудочка, правый желудочек имеет округлую форму, а левый желудочек имеет форму полумесяца. RV — правый желудочек; LV — левый желудочек.



М-режим, эхограмма утолщенной стенки правого желудочка (RVW) у больного с гипертрофией правого желудочка.



Двухмерное сканирование, субкостальная позиция. Нижняя полая вена (IVC), печеночная вена (HV) и правое предсердие (RA) в норме. На вдохе происходит уменьшение диаметра нижней полой и печеночной вен.



Двухмерное сканирование, субкостальная позиция. Дилатация нижней полой вены (IVC) и печеночной вены (HV) у больного с правожелудочковой недостаточностью и повышенным давлением в правом предсердии.

Определение давления в правом предсердии на основании исследования нижней полой вены

Диаметр на выдохе (см)	Процент спадения на вдохе	Давление (мм рт.ст.)
<2,0	100 %	<5
<2,0	>50 %	5-10
>2,0	25-50 %	10-15
>2,0	<25 %	15-20

SA9900

989

Zayats Anna Mich.

KMAPO
Cardiac

#255

P2-5AC /

/ 18.0cm MI 0.9

Gen TIs 0.8

13-05-2006

11:42:17

M

[2D] G50 / 85dB

FA1 / P90

INV



Lossy 3:1

+D 2.85cm

SA9900

989

Zayats Anna Mich.

KMAPO

Cardiac

#1

P2-5AC /

/ 20.0cmMI 0.9

Gen TIs 0.8

13-05-2006

11:44:24

M

[2D] G50 / 85dB

FA1 / P90

INV

