

ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России
КАФЕДРА ХИРУРГИИ, АКУШЕРСТВА И ГИНЕКОЛОГИИ ФДПО

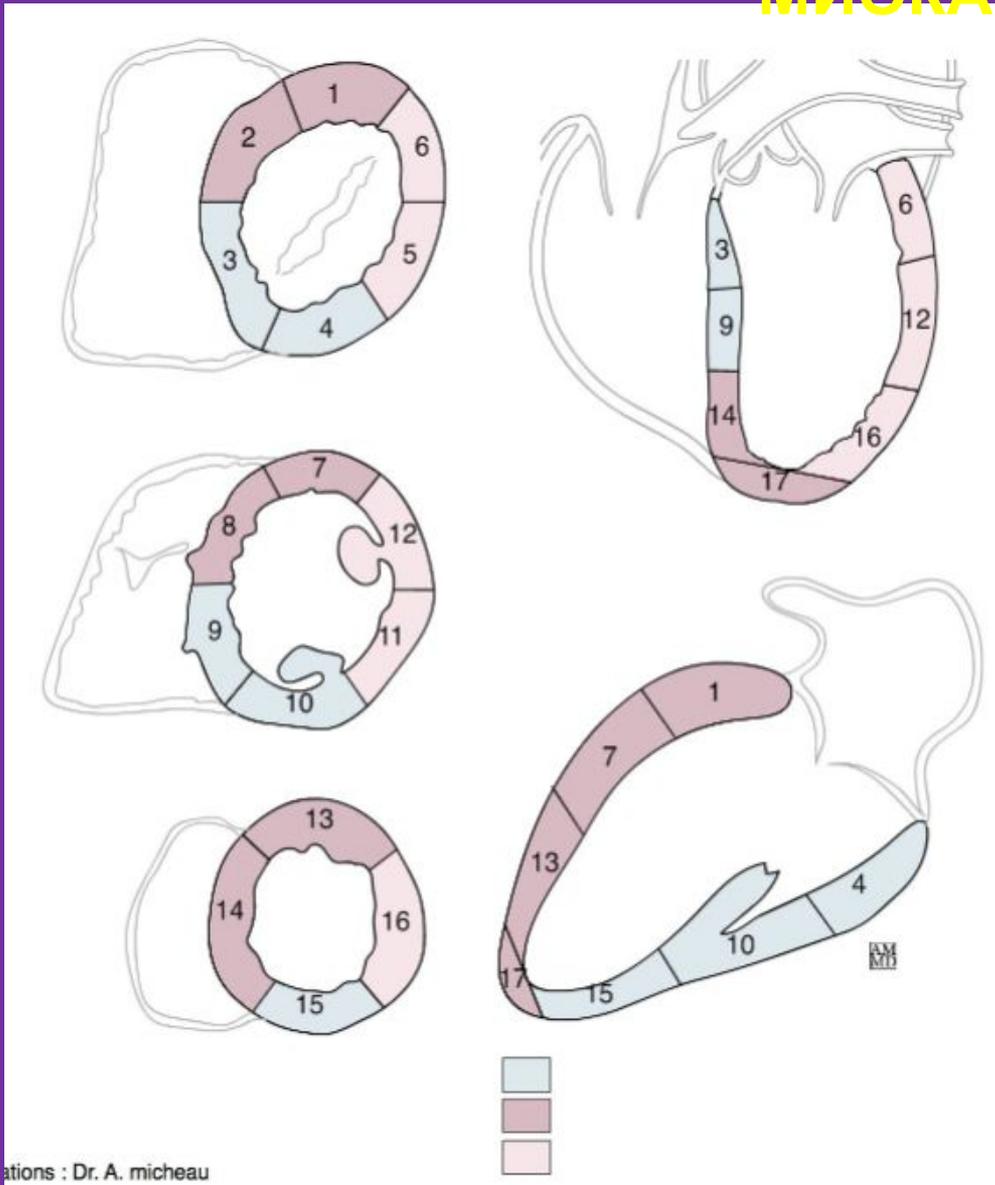
ДОППЛЕР-ЭХОКАРДИОГРАФИЯ. ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТЫ В ЭХОКАРДИОГРАФИИ



Доктор медицинских наук,
профессор
АНДРЕЕВА
Ирина Владимировна

2019

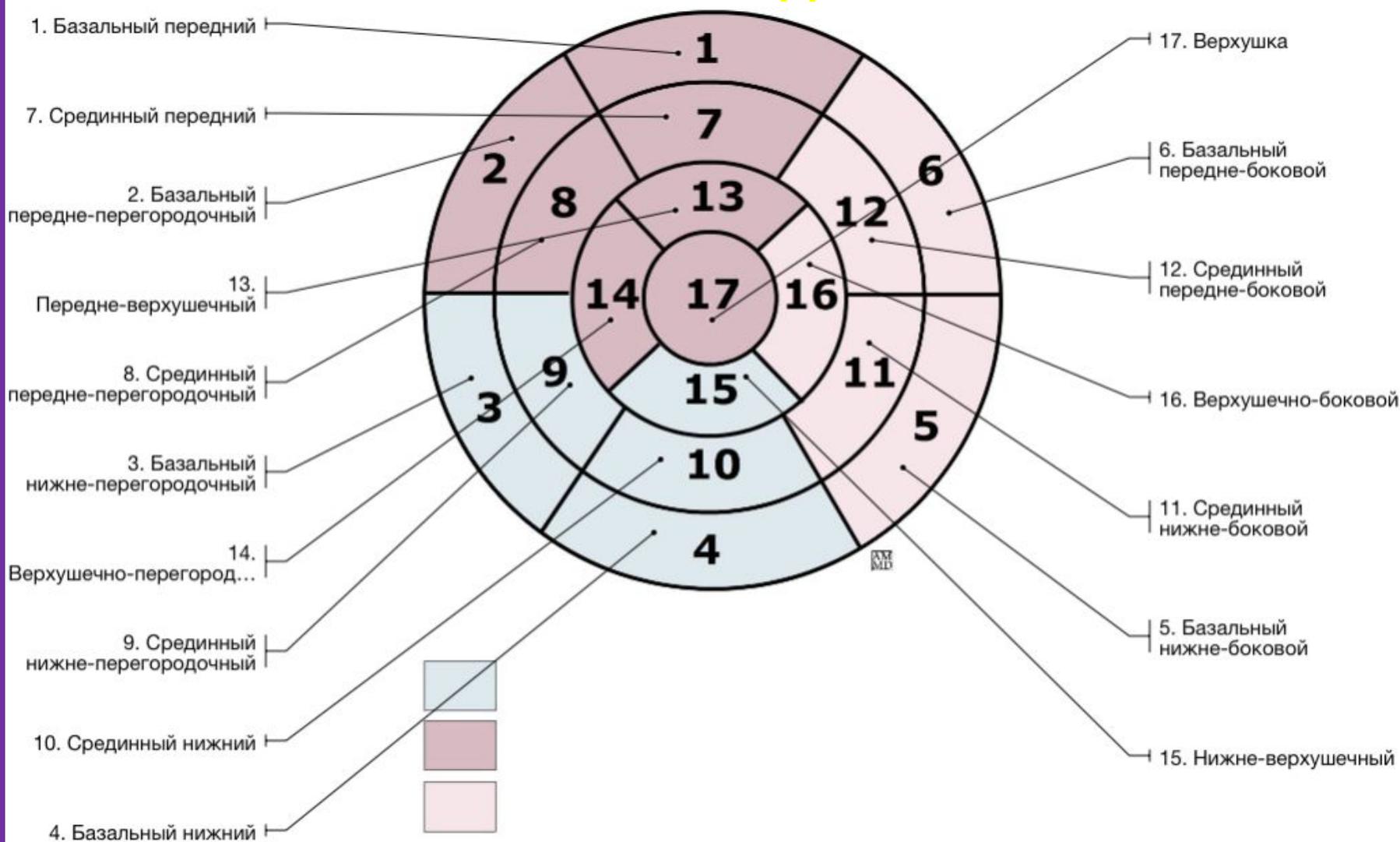
СТАНДАРТНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ МИОКАРДА



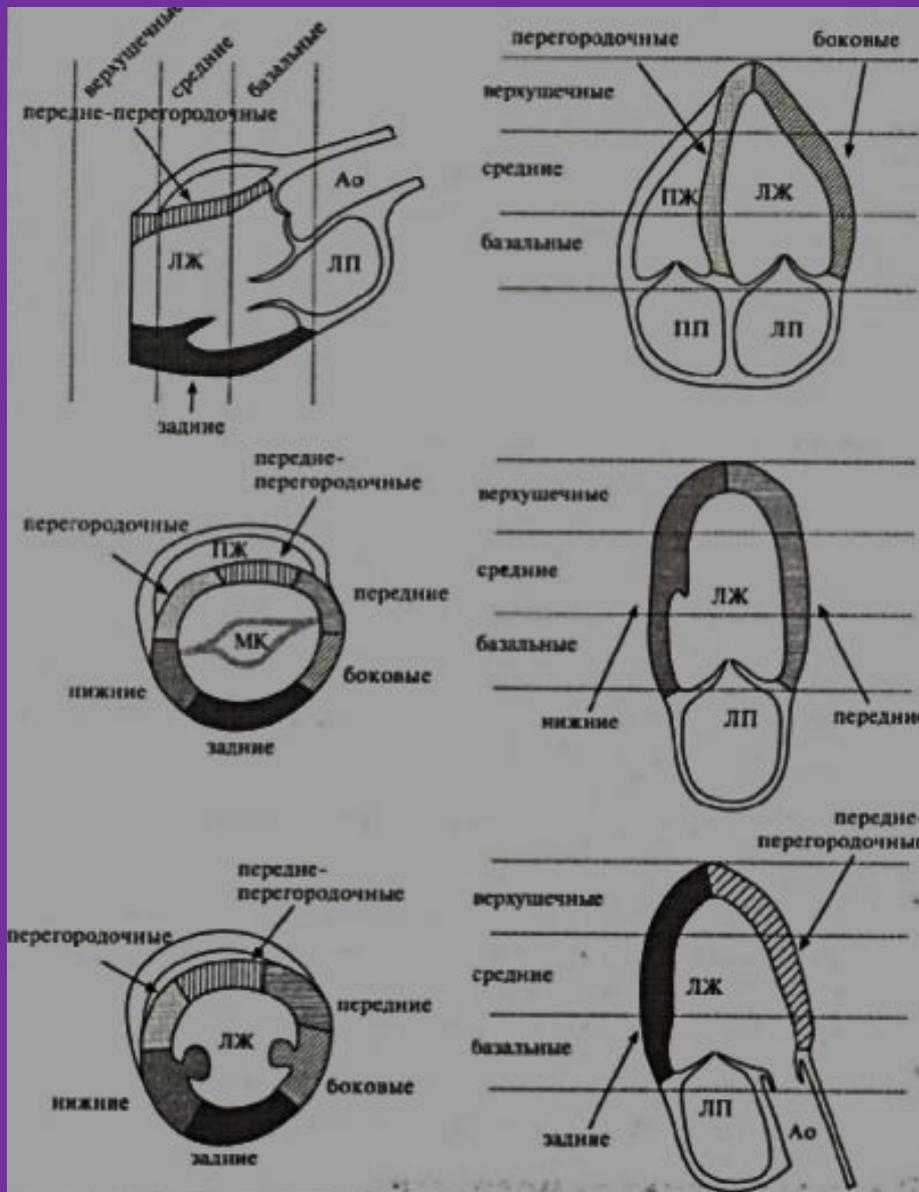
Для точного описания изменения в миокарде левого желудочка (нарушение сократимости, постинфарктный кардиосклероз) используется сегментарная классификация Американской Ассоциации Кардиологов.

Миокард левого желудочка относительно папиллярных мышц, разделяется на три отдела. Базальный отдел от митрального клапана до папиллярных мышц, средний отдел - уровень папиллярных мышц, апикальный отдел - ниже папиллярных мышц. Базальный и средний отдел делятся на 6 сегментов, апикальный на 5 сегментов, таким образом всего выделяется 17 сегментов:

СТАНДАРТНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ МИОКАРДА



Illustrations : Dr. A. micheau

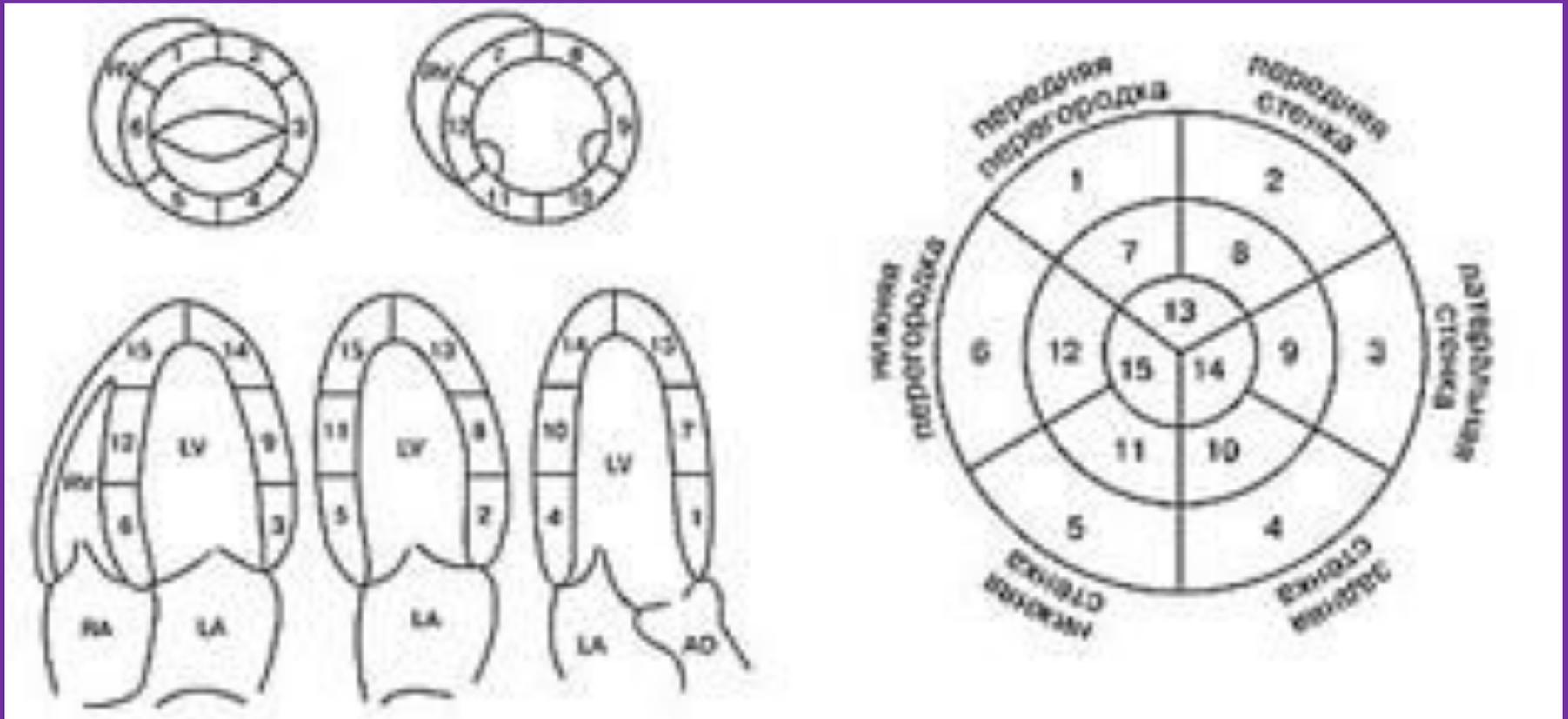


СЕКМЕНТЫ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОЗИЦИЯХ ДАТЧИКА

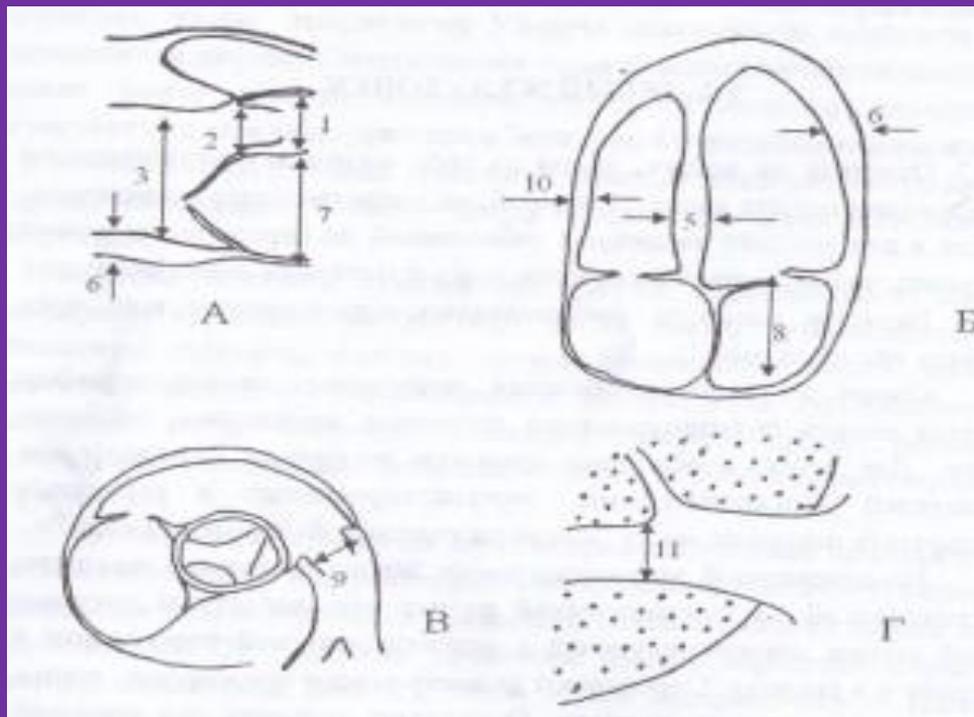
1. Базальный передний
2. Базальный переднеперегородочный
3. Базальный нижнеперегородочный
4. Базальный нижний
5. Базальный нижнебоковой
6. Базальный переднебоковой
7. Средний передний
8. Средний переднеперегородочный
9. Средний нижнеперегородочный
10. Средний нижний
11. Средний нижнебоковой
12. Средний переднебоковой
13. Апикальный передний
14. Апикальный перегородочный

Схема парастернальной позиции по короткой оси на уровне головок папиллярных мышц. Схема деления миокарда на сегменты.

Диаграмма типа "мишень" (Otto SM. Pearlman A.S. 1995)



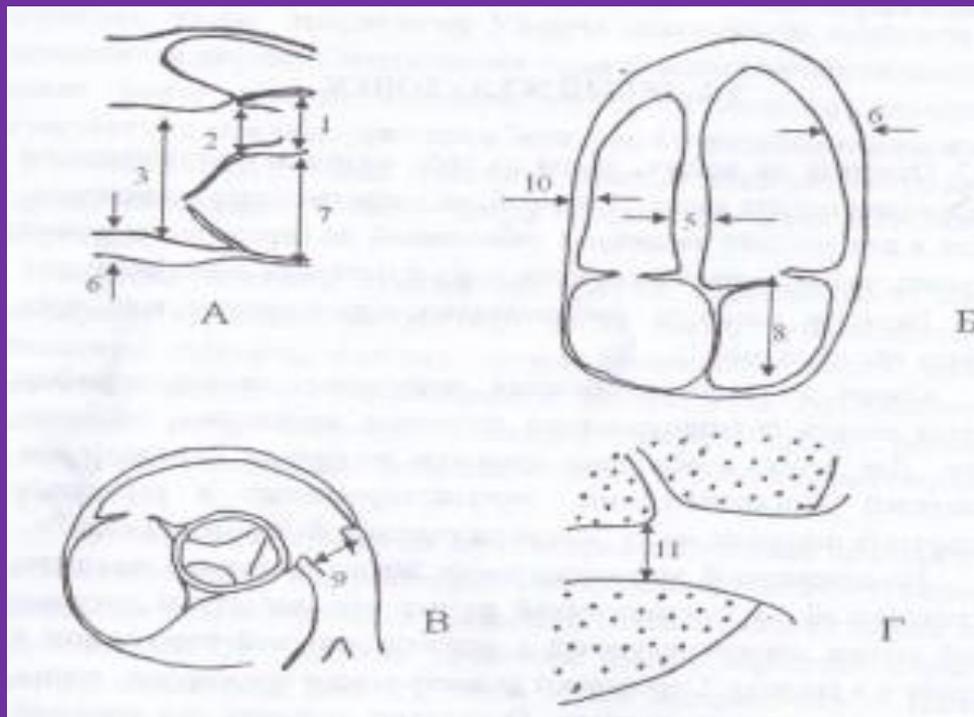
Основные изменения на двухмерной эхокардиограмме



А-парастернальное продольное сечение ,
Б-верхушечное четырехкамерное сечение ;
В- парастернальное поперечное сечение на уровне аорты;
Г-эпигастральное сечение нижней полой вены

ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТЫ В ЭХОКАРДИОГРАФИИ

Основные изменения на двухмерной эхокардиограмме



А-парастернальное продольное сечение ,
Б-верхушечное четырехкамерное сечение ;
В- парастернальное поперечное сечение на уровне аорты;
Г-эпигастральное сечение нижней полой вены

Нормативы стандартных измерений у взрослых

Нормативы стандартных измерений в парастернальной позиции по M. Graig:

диаметр ПЖ в конце диастолы – 25–38 мм (обычно <28 мм);

диаметр выносящего тракта ЛЖ или аортального фиброзного кольца – 16–26 мм;

диаметр аорты на уровне синусов Вальсальвы – 24–39 мм;

диаметр аорты в области синотубулярного сужения – 21–34 мм;

диаметр ЛП – 25–38 мм (в конце систолы);

диаметр ЛЖ в конце диастолы и в конце систолы – 37–53 мм (<56 мм) и 23–36 мм;

толщина стенки ПЖ в конце диастолы <5 мм;

толщина МЖП в конце диастолы <12 мм;

толщина задней стенки ЛЖ в конце диастолы <11 мм.

Мы используем следующие нормативы для парастернальной позиции:

диаметр ПЖ не более 30 мм (в ряде случаев в норме до 40 мм);

толщина стенки ПЖ не более 5 мм;

толщина МЖП не более 12 мм

конечный диастолический и систолический диаметры ЛЖ не более 56 мм и 40 мм;

толщина задней стенки ЛЖ не более 12 мм;

диаметр ЛП не более 40 мм;

диаметр АО не более 40 мм;

диаметр ЛА не более 28 мм.

Для апикальной четырехкамерной позиции мы используем нормативы:

диаметр ЛЖ не более 54 мм;

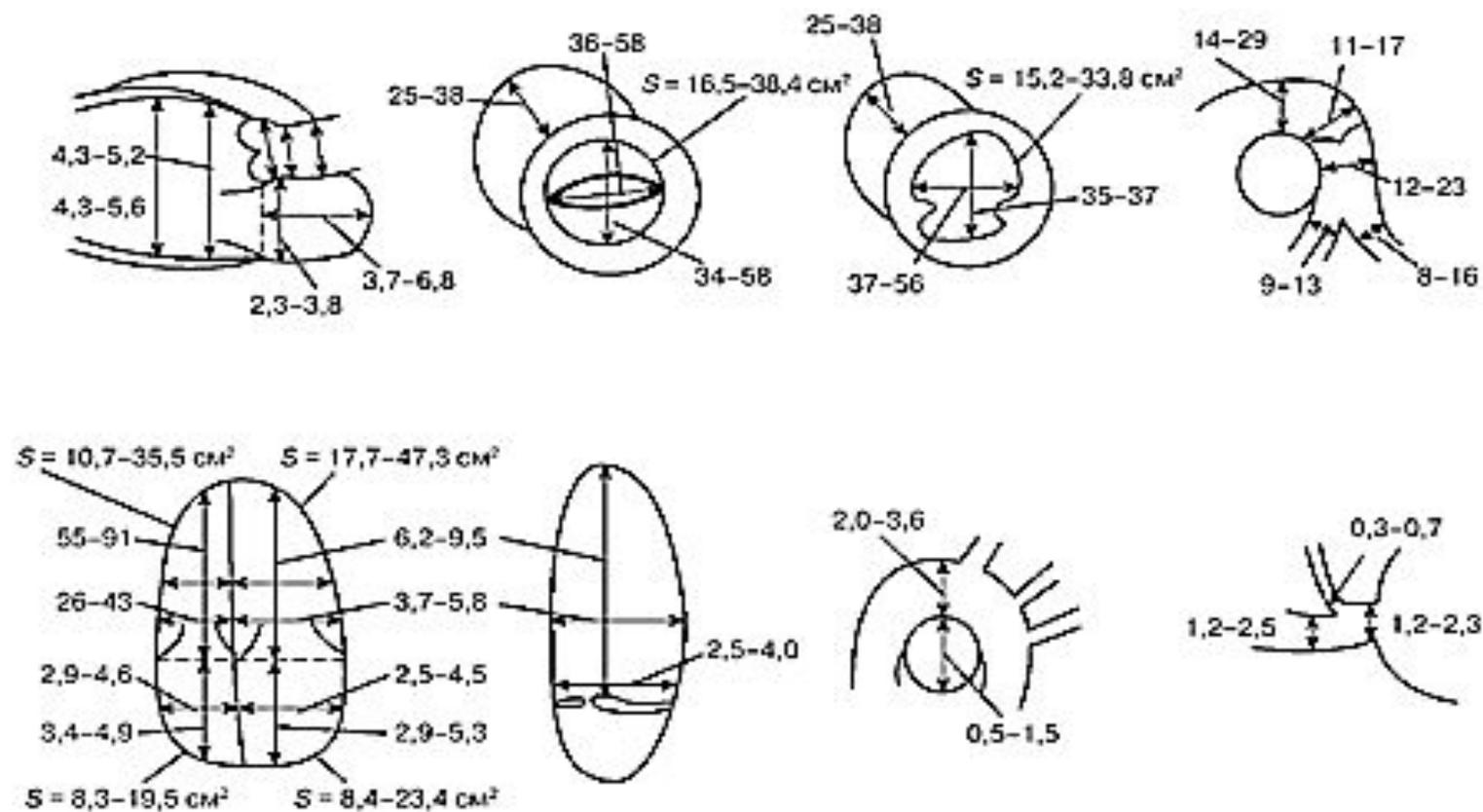
размеры ЛП не более 40 × 48 мм;

диаметр ПЖ не более 36 мм;

размеры ПП не более 38 × 46 мм;

диаметр НПВ не более 25 мм (в ряде случаев у подростков – до 27 мм);

диаметр ПВ не более 7 мм (рис. 29).



Нормативы эхокардиографических измерений у взрослых

Ниже приводятся нормативы по С.М. Otto, A.S. Pearlman.

Аорта: диаметр кольца – 14–26 мм; диаметр на уровне концов створок аортального клапана – 22–36 мм; диаметр восходящей аорты – 21–34 мм; нисходящая грудная аорта – 20–36 мм; дуга аорты – 20–36 мм.

ЛЖ, короткая ось: диастола – 35–60 мм, систола – 21–40 мм;

ЛЖ, длина: диастола – 63–103 мм, систола – 46–84 мм;

ЛЖ, конечный диастолический объем: мужчины – 96–157 мл, женщины – 59–138 мл;

ЛЖ, конечный систолический объем: мужчины – 33–68 мл, женщины – 18–65 мл;

ЛЖ, фракция выброса мужчины – $0,59 \pm 0,06\%$, женщины – $0,58 \pm 0,07\%$;

ЛЖ, толщина стенок (конец диастолы): 0,6–1,1 см (верхний предел нормы: мужчины – 1,2 см, женщины – 1,1 см);

ЛЖ, масса: мужчины – до 294 г, женщины – до 198 г;

ПП: передне-задний размер (PLAX) – 23–45 мм, медиально-латеральный размер (A4C) – 25–45 мм; верхне-нижний размер (A4C) – 34–61 мм.

Диаметр фиброзного митрального кольца: конец диастолы – 27–40 мм; конец систолы – 29–30 мм;

ПЖ: толщина стенок – 2–5 мм; диаметр – 22–44 мм;

ПЖ, длина: диастола – 55–95 мм; систола – 42–81 мм;

ЛА: диаметр кольца – 10–22 мм; диаметр ствола – 9–29 мм;

НПВ в месте впадения в ПП, диаметр – 12–23 мм.

РАЗМЕРЫ СТРУКТУР СЕРДЦА

- Масса миокарда левого желудочка (ММЛЖ): 95-183 г;
- Индекс массы миокарда левого желудочка (ИММЛЖ): 71-94 г/м²;
- Конечно-диастолический объем левого желудочка (КДО): 112±27 (65-193) мл;
- Конечно-диастолический размер (КДР): 4,6 – 5,7 см;
- Конечный систолический размер (КСР): 3,1 – 4,3 см;
- Толщина стенки в диастолу: 1,1 см
- Аорта (АО): 2.1 – 4.1;
- Аортальный клапан (АК): 1.5 – 2.6;
- Левое предсердие (ЛП): 1.9 – 4.0;
- Правое предсердие (ПР); 2.7 – 4.5;

- Толщина миокарда межжелудочковой перегородки диастолическая (ТММЖПд): 0.4 – 0.7;
- Толщина миокарда межжелудочковой перегородки систолическая (ТММЖПс): 0.3 – 0.6;
- Фракция выброса (ФВ): 55-60%;
- Легочная артерия (ЛА): 0.75;
- Ударный объем (УО) — количество объема крови, выбрасываемое левым желудочком за одно сокращение: 60-100 мл.
- Диастолический размер (ДР): 0,95-2,05 см;
- Толщина стенки ЛЖ (диастолическая): 0,75-1,1 см.

Гемодинамические показатели	М-режим	Двухмерная эхокардиограмма		
		Метод "площадь-длина" (апикальная позиция)		Метод дисков (по Simpson)
		4-камерная	2-камерная	
КДО м-ны (мл)	110-145	112	130	111
КДО ж-ны (мл)		89	92	80
Индекс КДО (мл/м ²)	55-73	57	63	55
КСО м-ны (мл)	45-75	45	52	45
КСО ж-ны (мл)		36	39	35
Индекс КСО (мл/м ²)	23-38	23	26	23
УО м-ны (мл)	60-80	68	78	67
УО ж-ны (мл)		54	56	48
УИ (мл/м ²)	25-34	30-38	31-44	27-38
ФВ (%)	55-65			
МО (л/мин)	3,5-4,5			
СИ (л/мин/м ²)	2,2-2,7			
ЛП мужчины	19-33 мм	41 мл	50 мл	41 мл
ЛП женщины		34 мл	36 мл	32 мл
Индекс ЛП (мм/м ²)	14,5-29	24	21	21
%DS (%)	28-43	-	-	-
VCF (с-1)	0,8-1,2	-	-	-

Нормальные размеры аорты.

Показатель	мм	мм/м ²
Кольцо, мм	20-31	13±1
Синусы, мм	29-45	19±1
Синотубулярное соединение, мм	22-36	15±1
Восходящий отдел, мм	22-36	15±2
Дуга, мм	22-36	
Нисходящий отдел, мм	20-30	

H. Feigenbaum, W.F. Armstrong, T. Ryan, Feigenbaum's Echocardiography, 6-th edition, 2005.

Нормальные показатели правого желудочка и легочного ствола.

Показатель	Норма	Легкое отклонение	Значит. отклонение	Резкое отклонение
Поперечный размер (базальный), мм	20-28	29-33	34-38	≥39
Поперечный размер (срединный), мм	27-33	34-37	38-41	≥42
Длинная ось, мм	71-79	80-85	86-91	≥92
Площадь, см ²	11-28	29-32	33-37	≥38
Выходной тракт (АК), мм	25-29	30-32	33-35	≥36
Выходной тракт (ПК), мм	17-23	24-27	28-31	≥32
Легочный ствол, мм	15-21	22-25	26-29	≥30

J. Am. Soc. Echocardiogr., 2005, 18, 1440-1463.

Нормальные величины правого предсердия.

Показатель	Женщины				Мужчины			
	Норма	Легкое отклонение	Значит. отклонение	Резкое отклонение	Норма	Легкое отклонение	Значит. отклонение	Резкое отклонение
Поперечный размер, мм	29-45	46-49	50-54	≥55	30-40	46-49	50-54	≥55
Поперечный размер, мм/м ²	17-25	26-28	29-31	≥32	15-23	26-28	29-31	≥32

J. Am. Soc. Echocardiogr., 2005, 18, 1440-1463.



Таблица 1. Морфометрические показатели сердца у детей

Возраст	Группы детей	Показатели ЭхоКГ (М ± m)			
		КДР (см)	ДЛП (см)	ДА (см)	ММЛЖ (г)
3-7	Основная	3,69 ± 0,02	2,36 ± 0,06	2,06 ± 0,03	74,2 ± 3,69
	Контрольная	3,68 ± 0,06	2,19 ± 0,06	2,05 ± 0,03	73,99 ± 2,6
	P	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
8-12	Основная	4,06 ± 0,02	2,52 ± 0,05	2,26 ± 0,04	102,26 ± 5,07
	Контрольная	4,03 ± 0,04	2,48 ± 0,05	2,26 ± 0,02	95,42 ± 2,36
	P	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	P1	< 0,001	< 0,05	< 0,001	< 0,001
12-18	Основная	4,1 ± 0,02	2,65 ± 0,03	2,49 ± 0,04	111,96 ± 5,65
	Контрольная	4,07 ± 0,07	2,52 ± 0,06	2,48 ± 0,02	103 ± 3,83
	P	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05
	P1	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	P2	< 0,001	< 0,05	< 0,001	> 0,05

Примечание: P – достоверность отличий с контрольной группой; P1 – достоверность отличий с 1-й группой; P2 – достоверность отличий со 2-й группой

Размеры сердца (по Ю. И. Аркуескому) и площадь сердца
(по В. В. Зодиеву)

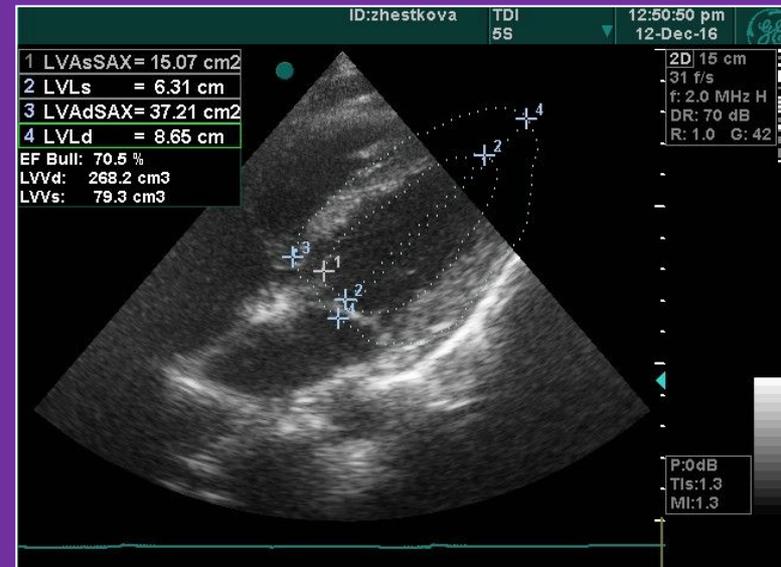
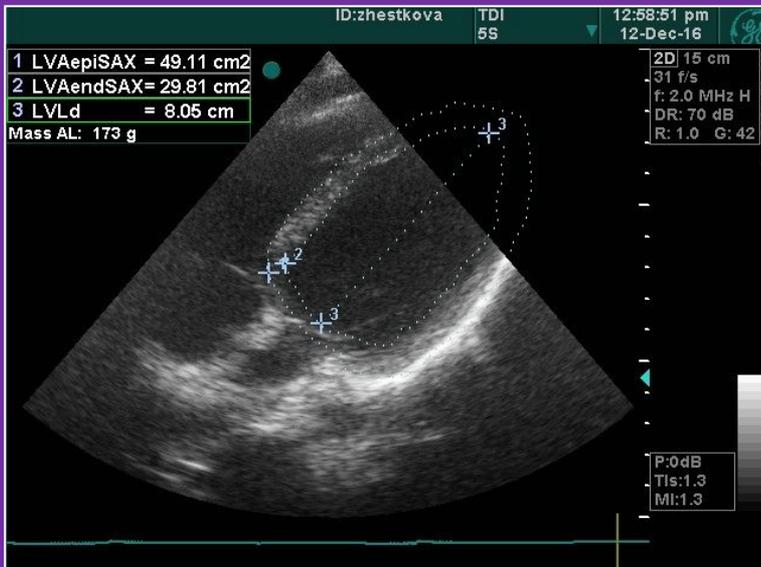
Рост, см	Поперечник T_c , см	Длинник, L , см	Косой размер Q , см	Площадь сердца, см ²
Дети				
91—100	8,4	8,6	7,0	54,2
101—110	8,7			58,6
111—120	9,0			64,6
121—130	8,4			71,6
131—140	8,8			76,5
Подростки-мальчики				
141—160 (12—15 лет)	10,0	10,5	9,2	87,0
161—175 (13—16 лет)	10,4	11,1	10,1	100,9
Подростки-девочки				
141—160 (13—16 лет)	10,1	10,7	9,3	89,6
161—175 (14—16 лет)	10,4	11,0	9,6	95,1
Мужчины				
145—154	11,2	12,5	10,2	114,8
155—164	11,0	12,1	10,2	111,1
165—174	11,5	12,5	10,6	119,3
175—185	12,0	12,8	10,6	122,1
Женщины				
145—154	10,0	11,0	9,4	—
155—164	10,5	11,5	9,6	99,1
165—175	11,0	12,3	10,0	110,7

ОЦЕНКА СИСТОЛИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА

Для изучения систолической функции необходимо исследовать левый желудочек по парастернальной длинной и короткой осям. Из апикального доступа левый желудочек исследуют в двухмерном режиме в четырех- и двухкамерной позициях.

1. Расчет массы миокарда левого желудочка. С помощью курсора получают графическое изображение ЛЖ в парастернальной позиции, измеряют его диаметр в конце диастолы и систолы, толщину задней стенки левого желудочка и межжелудочковой перегородки в диастолу и систолу. Целесообразным является использование расчета массы миокарда левого желудочка по алгоритму площадь – длина и по модели усеченного эллипса.

ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ МИОКАРДА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА И ФРАКЦИИ ВЫБРОСА В В-РЕЖИМЕ



Метод дисков (модифицированный метод *Simpson*) дает наиболее точные результаты и основан на планиметрическом определении и суммировании площадей 20 дисков, представляющие собой своеобразные поперечные срезы левого желудочка на различных уровнях.

Показатель фракции выброса и процента фракции выброса рассчитывается с помощью вычисления объемов по формуле Симпсона в апикальной четырехкамерной или двухкамерной позиции.

Расчет напряжения стенки ЛЖ σ (в дин/см²), проводят по короткой оси ЛЖ на уровне папиллярных мышц (рис. 3):

$$\sigma = 1,33 \times P (A_c \times A_m) \times 10^3,$$

где A_c – внутренняя площадь полости ЛЖ, A_m – наружная площадь эпикарда, P – давление в ЛЖ.

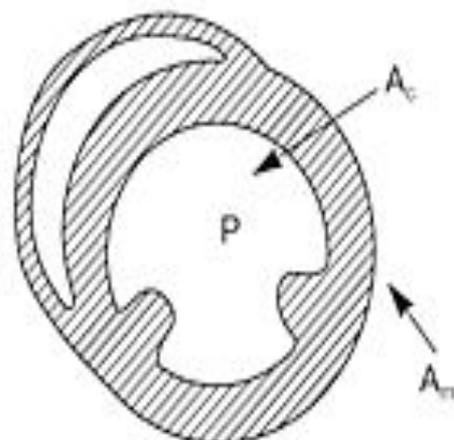


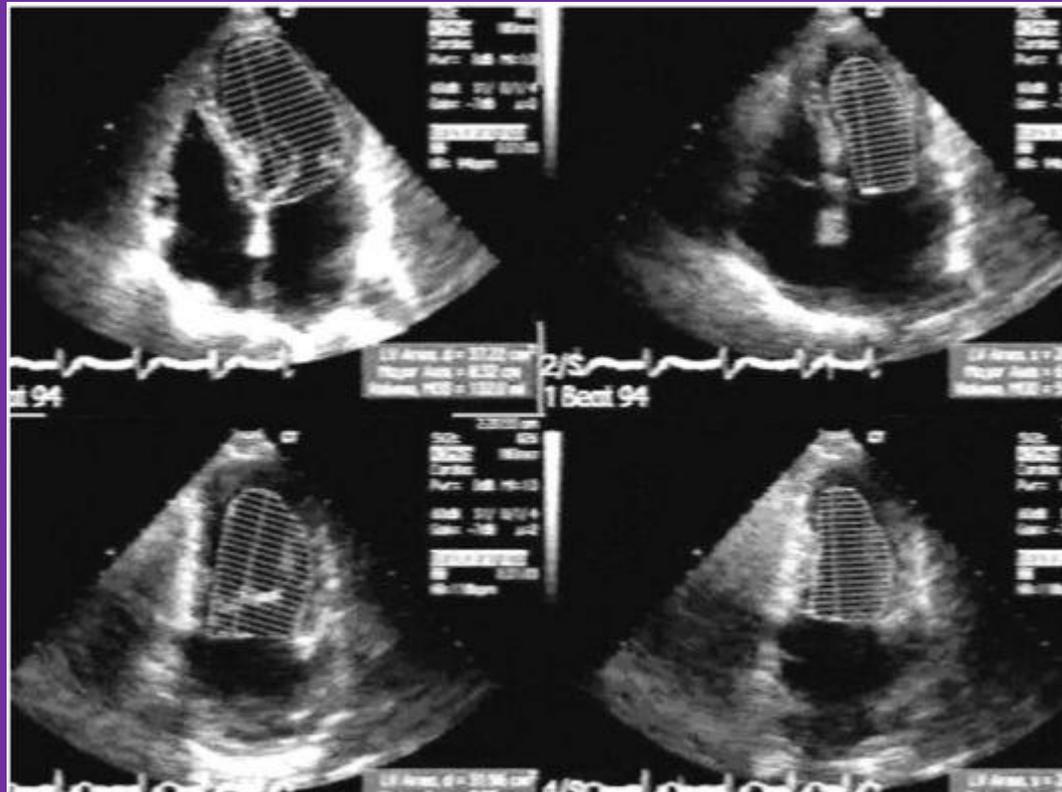
Рис. 3. Расчет напряжения стенки ЛЖ (Otto С.М., Pearlman A.S., 1995).

Расчет массы миокарда в В-режиме очень сложен. Объем при этом рассчитывают по формуле Симпсона.

Объем миокарда. Формулу "площадь–длина" (формулу Bullet) используют для расчета объема ЛЖ и ПЖ в систолу и в диастолу. Оптимальной при этом является апикальная четырехкамерная позиция или двухкамерная позиция (рис. 4):

$$V = 5/6 A \times L,$$

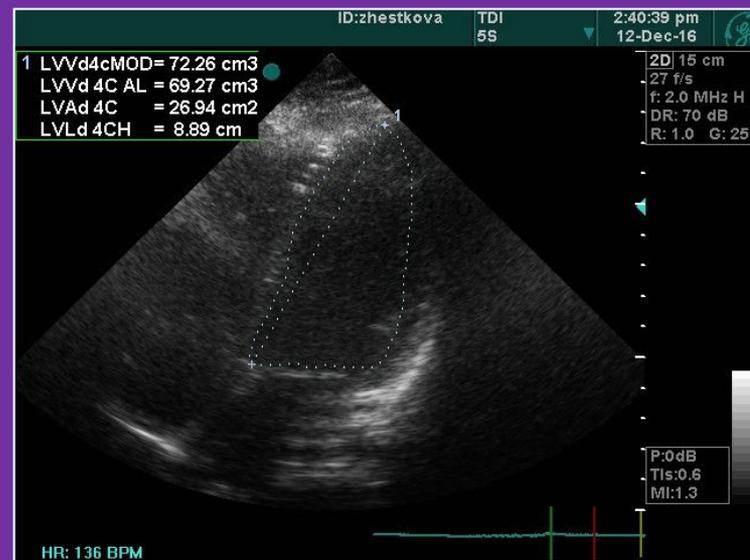
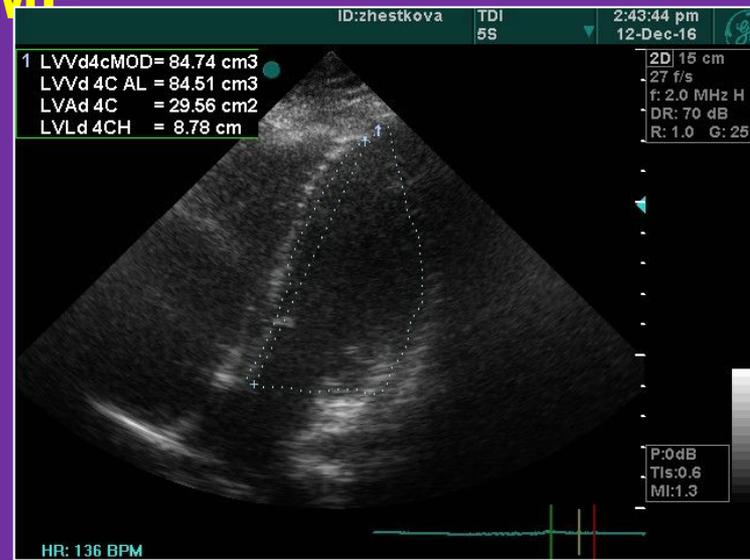
где A – планиметрически измеренная площадь, L – длина желудочка.



Измерение объемов левого желудочка сердца в В-режиме.

Два верхних изображения - четырехкамерная проекция, диастола и систола, два нижних изображения - двухкамерная проекция, диастола и систола

ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМА ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА В В-РЕЖИМЕ



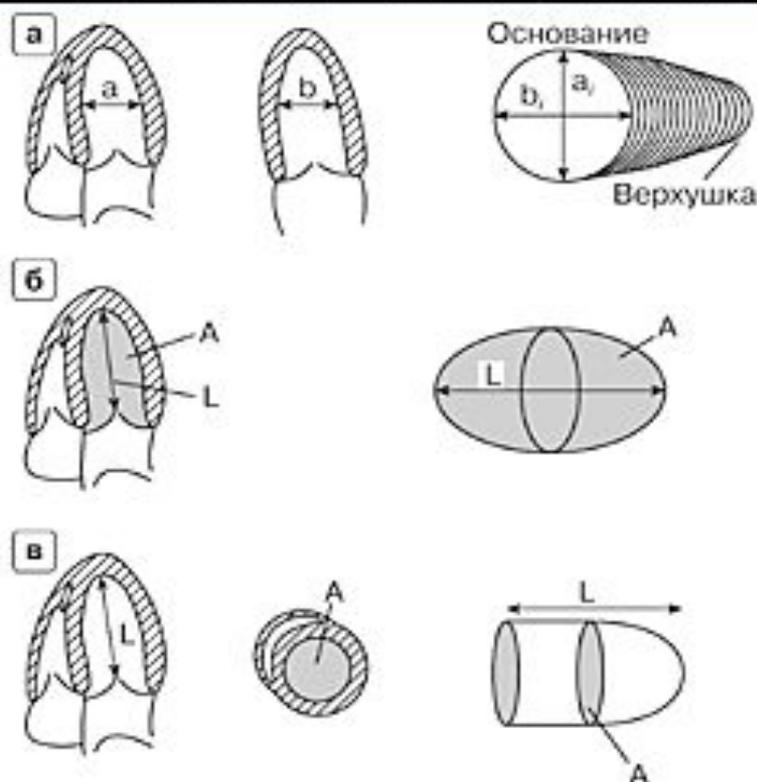


Рис. 4. Расчет объема ЛЖ (В-режим) (Otto С.М., Pearlman А.С., 1995). а – по формуле дисков, б – по формуле эллипса, в – по формуле площадь–длина.

Формула эллипсов:

$$V = 0,85 \times A^2/L.$$

Формула "площадь–длина" Симпсона (рис. 4):

$$V = (5/6 \times A^2)/L.$$

Модифицированное уравнение Симпсона суммирует и усредняет измерения в различных позициях по короткой и длинной оси:

$$V = (A_1 + A_2) \times b + A_3 \times b/2 + \pi b^3/6,$$

где $b = L/3$, L – длина ЛЖ, A_1 – площадь ЛЖ, измеренная по короткой оси на уровне концов створок митрального клапана, A_2 – площадь ЛЖ, измеренная на уровне папиллярных мышц, A_3 – площадь ЛЖ, измеренная в апикальной четырехкамерной позиции.

Измерения проводят в систолу и в

диастолу. Формула Симпсона (как простая, так и модифицированная) позволяет учесть геометрию желудочков и получить более точные результаты, чем другие формулы.

Формула Tortoledo:

$$V = (3,42 \times D_{\max} \times L_{\max}) - 6,44,$$

где D_{\max} – максимальный диаметр ЛЖ, L_{\max} – максимальная длина ЛЖ, 3,42 и 6,44 – эмпирические константы.

Измерения проводят в апикальной позиции. Расчеты по данной формуле хорошо коррелируют с формулой Симпсона.

В настоящее время в связи с использованием программ трехмерного моделирования для расчета показателей систолической функции желудочков применяется **формула дисков**. Желудочек разбивается на большое количество дисков, рассчитывается объем каждого диска, показатели суммируются и делятся на число измерений.

Скорость циркулярного укорочения волокон миокарда (*VCF* – velocity of circumferential fiber shortening): $VCF = FS/LVET$, где *FS* – фракция укорочения волокон миокарда, *LVET* – время выброса. Данный показатель может быть рассчитан как в М-режиме, так и в В-режиме. При расчете в В-режиме для расчета времени выброса используют дополнительно импульсноволновой доплер. В норме показатель $VCF \geq 1,1$.

Оценка степени экскурсии митрального фиброзного атриовентрикулярного кольца в систолу. Измерения проводят в апикальной четырехкамерной позиции. В норме митральное кольцо смещается в направлении верхушки ЛЖ на 8 мм и более (12 ± 2 мм). При экскурсии менее 8 мм показатель фракции выброса составляет менее 50%.

ЭХОКАРДИОДОППЛЕРОМЕТРИЯ

Трансмитральный диастолический поток. Для исследования трансмитрального диастолического потока контрольный объем следует расположить в левом желудочке на уровне концов створок митрального клапана или в области фиброзного атриовентрикулярного кольца. Оптимальной позицией для исследования кровотока на митральном клапане является апикальная четырехкамерная (рис. 31). Диастолический поток через митральный клапан направлен к датчику и

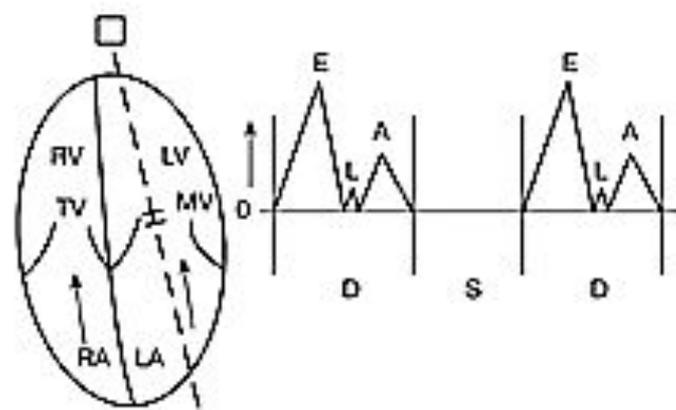


Рис. 31. Схема установки контрольного объема при регистрации трансмитрального диастолического потока в апикальной четырехкамерной позиции и формы потока.

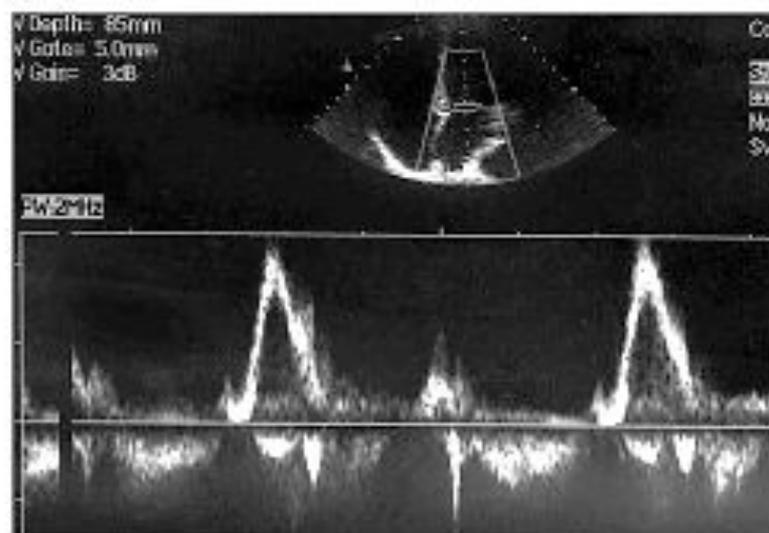


Рис. 32. Нормальный трансмитральный диастолический поток, зарегистрированный в режиме импульсно-волнового доплера. На спектре четко видны пики E, A и L, щелчок закрытия МК. Ниже изолинии видны помехи, возникающие от движения створок и хорд.

регистрируется выше базовой линии. После щелчка закрытия аортального клапана регистрируется время, которое необходимо для снижения давления в полости левого желудочка – время изоволюметрического расслабления левого желудочка – IVRT. Затем следует щелчок открытия митрального клапана, кровь устремляется из левого предсердия в полость левого желудочка, в точке E давление между камерами выравнивается. После того как давление в левом желудочке превысило давление в левом предсердии, створки митрального клапана начинают закрываться и полностью захлопываются. Пик E соответствует раннему диастолическому наполнению. После этого наступает период диастазиса, в течение которого можно наблюдать небольшой пассивный ток крови из предсердия в желудочек (пик L). Пик L часто можно видеть у детей и подростков. Давление в левом предсердии повышается, поскольку в него продолжается ток крови из легочных вен. Происходит систола левого предсердия, и остаточный объем крови поступает в левый желудочек (пик A). Створки митрального клапана закрываются, на графике можно видеть щелчок закрытия митрального клапана. Пик A соответствует позднему диастолическому наполнению или систоле предсердия (рис. 32). Соотношение скоростей пиков E и A в норме больше или равно 1. В норме скорость пика E у здорового молодого человека составляет около 1,0 м/с, пика A – 0,2–0,4 м/с.

AT – время ускорения потока – время от щелчка открытия митрального клапана до пика скорости потока;

DT – время замедления потока – время от пика скорости до базовой линии;

ET – время выброса – время от щелчка открытия до щелчка закрытия клапана;

v_{cb} (или v_{mean}) – средняя скорость потока – измеряется как сумма скоростей потока, измеренных каждые 2 мс и деленных на число измерений (м/с или см/с);

VTI – интеграл линейной скорости потока (см или м): $VTI = v_{cp} \times ET$;

v_{max} – максимальная скорость потока (м/с или см/с);

IVRT – время изоволюметрического расслабления;

IVCT – время изоволюметрического сокращения.

Если перемещать контрольный объем вверх по курсору к верхушке левого желудочка и затем вверх от верхушки к створкам аортального клапана в выносящем тракте, можно проследить характер изменения формы потока в приносящем и выносящем тракте левого желудочка.

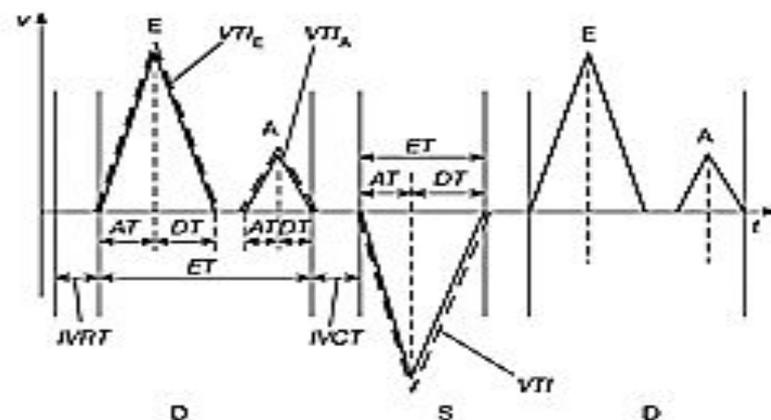


Рис. 33. Схема стандартных измерений в режиме импульсно-волнового доплера на примере трансмитрального диастолического потока и потока в выносящем тракте ЛЖ.

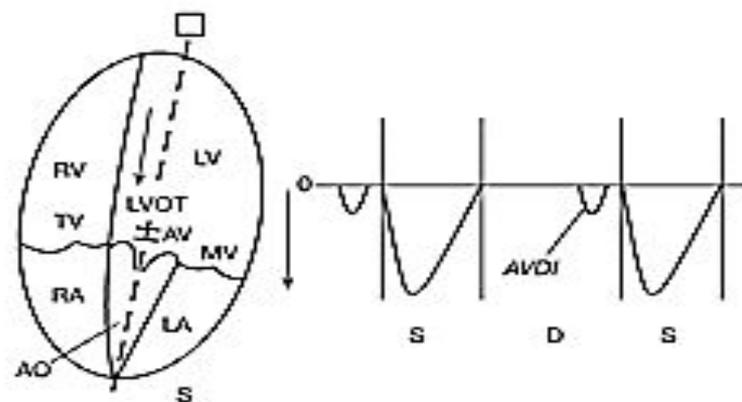


Рис. 34. Схема установки контрольного объема при регистрации систолического потока в выносящем тракте ЛЖ в апикальной пятикамерной позиции и формы потока.

КРОВОТОК В ВЫНОСЯЩЕМ ТРАКТЕ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА

Кровоток в выносящем тракте ЛЖ. Оптимальной позицией для исследования кровотока в выносящем тракте левого желудочка является апикальная пятикамерная. Кровь течет в направлении от датчика. Поток будет располагаться ниже базовой линии. Контрольный объем следует установить в выносящем тракте левого желудочка под створками аортального клапана (рис. 34). После щелчка закрытия митрального клапана давление в полости левого желудочка начинает расти. Время от щелчка закрытия митрального клапана до щелчка открытия аортального клапана называют временем изоволюметрического сокращения левого желудочка (IVCT). Створки аортального клапана открываются, и кровь устремляется из камеры с большим давлением – из левого желудочка в камеру с меньшим давлением – аорту. В начале систолы давление в камерах выравнивается, и поток достигает пика скорости. Давление в аорте начинает превалировать над давлением в левом желудочке, створки аортального клапана прикрываются, скорость потока уменьшается. В момент закрытия створок аортального клапана на графике регистрируется щелчок закрытия. В норме в выносящем тракте левого желудочка (LVOT) пик скорости потока смещен в первую половину систолы. До щелчка открытия аортального клапана, при сохраненном синусовом ритме, можно зафиксировать предсердно-желудочковый диастолический интервал (AVDI), соответствующий систоле предсердия (рис. 35). В том

КРОВОТОК В ВЫНОСЯЩЕМ ТРАКТЕ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА

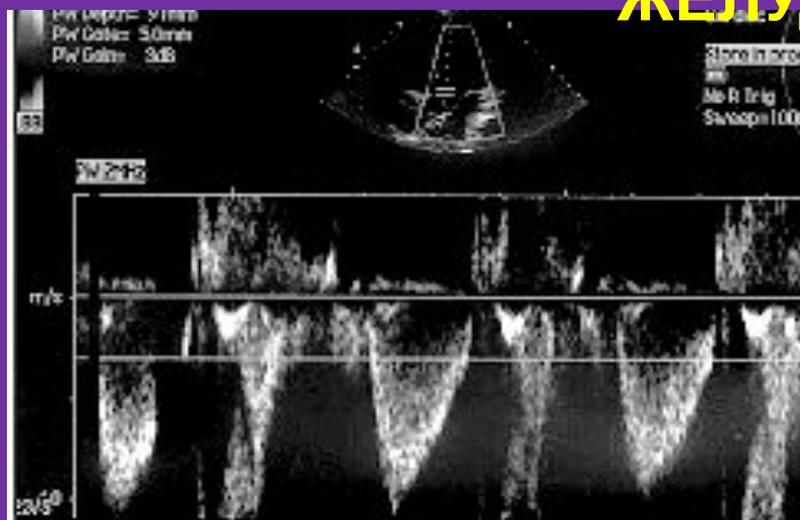


Рис. 35. Нормальный систолический поток в выносящем тракте ЛЖ, зарегистрированный в режиме импульсно-волнового доплера. На спектре четко видны щелчки открытия и закрытия аортального клапана.

случае, если отсутствует стеноз аортального клапана, форма потока в LVOT и его основные характеристики соответствуют потоку в аорте. Скорость потока в аорте немного выше, чем в выносящем тракте левого желудочка. Достаточно ограничиться регистрацией и анализом потока в LVOT в отсутствие аортального стеноза. С помощью импульсно-волнового доплера можно измерить ряд характеристик потока (рис. 33). В норме скорость потока в LVOT составляет около 0,8–1,0 м/с, скорость потока в интервале AVDI – 0,2–0,4 м/с. Нормальная скорость потока в аорте над створками клапана равна 1,0–1,2 м/с. При увеличении частоты сердечных сокращений скорость кровотока возрастает.

КРОВОТОК В ВЫНОСЯЩЕМ ТРАКТЕ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА

случае, если отсутствует стеноз аортального клапана, форма потока в LVOT и его основные характеристики соответствуют потоку в аорте. Скорость потока в аорте немного выше, чем в выносящем тракте левого желудочка. Достаточно ограничиться регистрацией и анализом потока в LVOT в отсутствие аортального стеноза. С помощью импульсно-волнового доплера можно измерить ряд характеристик потока (рис. 33). В норме скорость потока в LVOT составляет около 0,8–1,0 м/с, скорость потока в интервале AVDI – 0,2–0,4 м/с. Нормальная скорость потока в аорте над створками клапана равна 1,0–1,2 м/с. При увеличении частоты сердечных сокращений скорость кровотока возрастает.

ТРАНСКУСПИДАЛЬНЫЙ ДИАСТОЛИЧЕСКИЙ ПОТОК

Транстрикуспидальный диастолический поток. Диастолический поток через трикуспидальный клапан можно зарегистрировать, установив контрольный объем в правом желудочке над створками трикуспидального клапана или в области правого фиброзного атриовентрикулярного кольца (рис. 36). Форма потока напоминает трансмитральный поток, скорости пиков Е и А будут ниже,

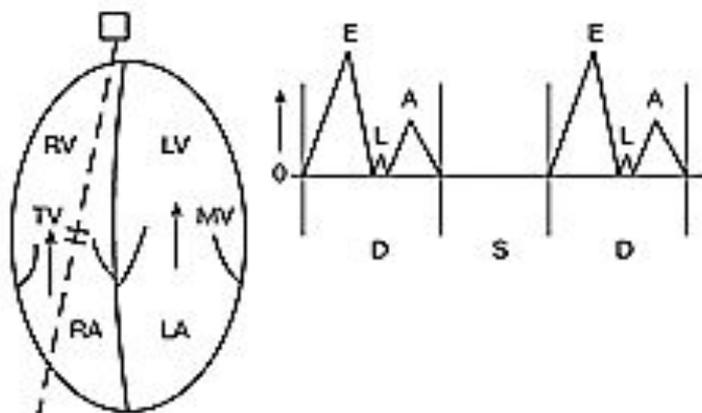


Рис. 36. Схема установки контрольного объема при регистрации транстрикуспидального диастолического потока в апикальной четырехкамерной позиции и формы потока.

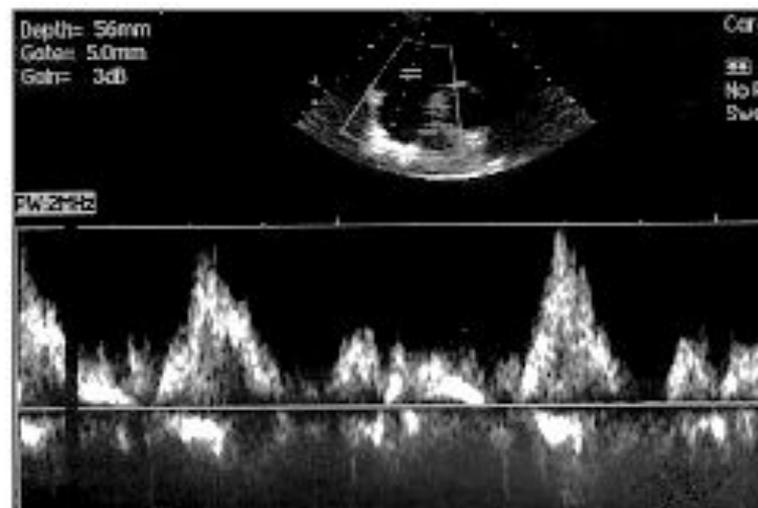


Рис. 37. Нормальный транстрикуспидальный диастолический поток, зарегистрированный в режиме импульсно-волнового доплера. Скорость пиков Е и А меньше, чем на МК, четко виден шелчок закрытия ТК.

ТРАНСКУСПИДАЛЬНЫЙ ДИАСТОЛИЧЕСКИЙ ПОТОК

чем в левом сердце. Пик E соответствует быстрому диастолическому наполнению правого желудочка, пик A – позднему диастолическому наполнению или систоле правого предсердия. Поток направлен к датчику, поэтому регистрируется выше базовой линии. В период диастазиса может быть пассивный ток крови из правого предсердия в правый желудочек (пик L) (рис. 37). Время изоволюметрического расслабления и сокращения правого желудочка может быть измерено на графике аналогично измерениям в левом сердце (рис. 33). У нормального здорового пациента пиковые скорости транстрикуспидального потока ниже, чем на митральном клапане. Скорость пика E составляет 0,3–0,7 м/с.

ТРАНСКУСПИДАЛЬНЫЙ ДИАСТОЛИЧЕСКИЙ ПОТОК

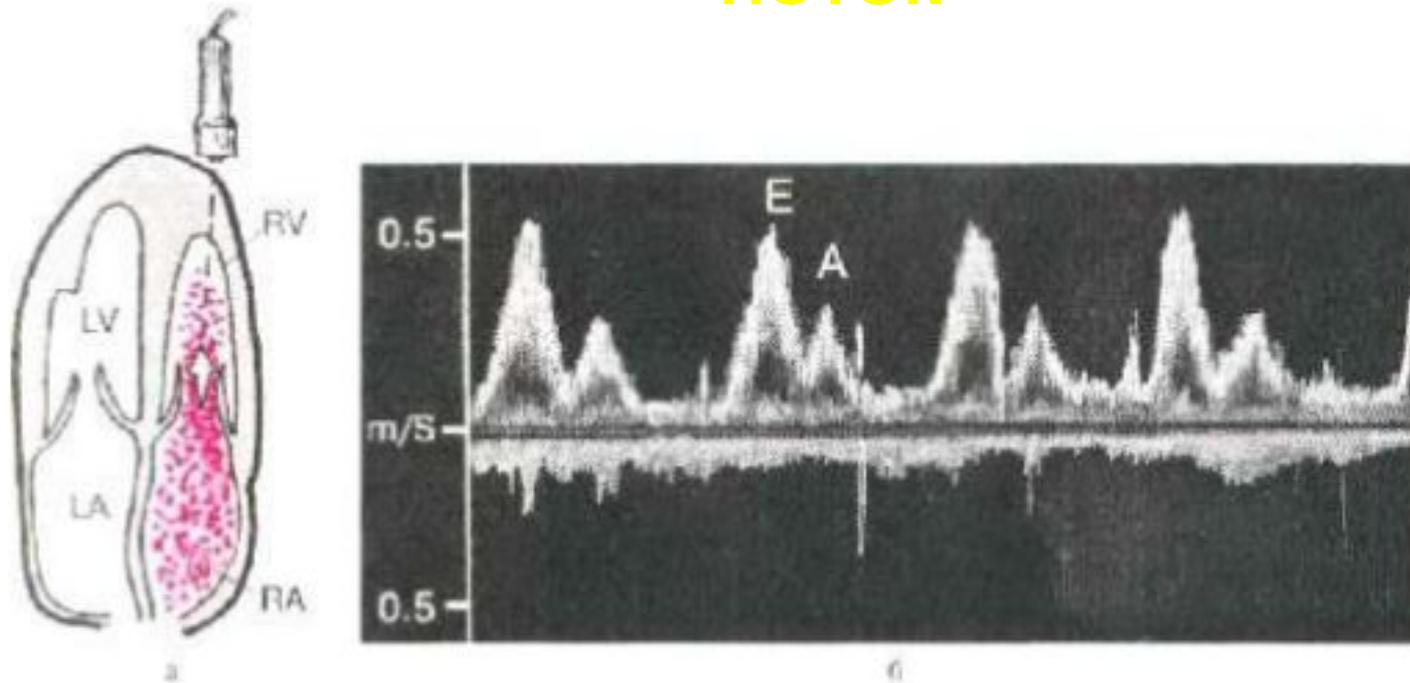


Рис. 1.30. Допплер-ЭхоКГ транстрикуспидального потока крови,

а - схема расположения УЗ - датчика и направления сканирования;

б - доплерограмма транстрикуспидального потока крови. Во время диастолы также определяется 2 пика скорости диастолического наполнения: пик Е (быстрое наполнение ЛЖ) и пик А (систола ПП).

ПОТОК В ВЫНОСЯЩЕМ ТРАКТЕ ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА

Поток в выносящем тракте правого желудочка. Для анализа кровотока в выносящем тракте правого желудочка (RVOT) и в легочной артерии можно использовать парастермальную или субкостальную позиции, короткую ось на уровне концов створок аортального клапана. Контрольный объем устанавливают в правом желудочке под створками клапана легочной артерии (рис. 38). Поток в систолу направлен из правого желудочка в легочную артерию, от датчика, на графике расположен ниже базовой линии. Форма потока в отличие от потока в выносящем тракте левого желудочка равнобедренная, пик скорости потока смещен в середину систолы. В выносящем тракте правого желудочка, при сохраненном синусовом ритме, также регистрируется интервал AVDI (рис. 39). Скорость потока ниже, чем в левом сердце, измерения проводятся аналогично измерениям в выносящем тракте левого желудочка (рис. 33). В норме скорость потока в RVOT составляет 0,8–1,0 м/с, время выброса больше, чем в LVOT.

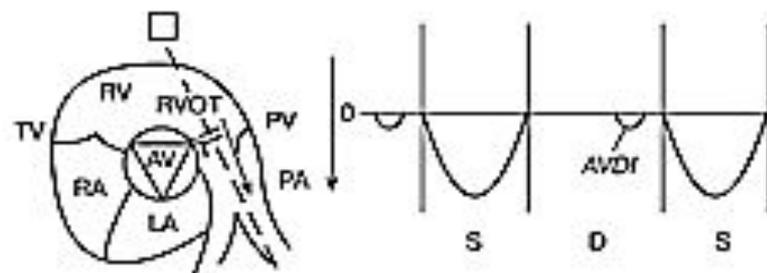


Рис. 38. Схема установки контрольного объема при регистрации систолического потока в выносящем тракте ПЖ в парастеральной позиции по короткой оси и формы потока.

ПОТОК В ВЫНОСЯЩЕМ ТРАКТЕ ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА

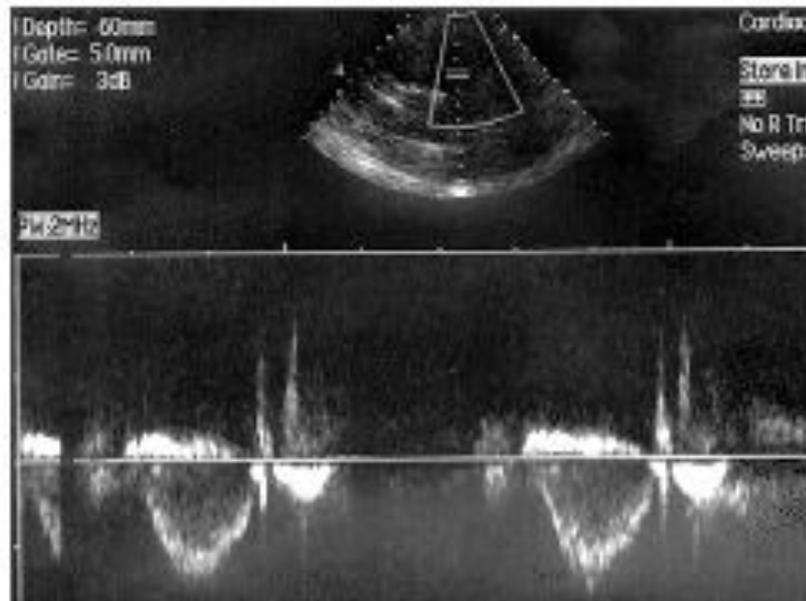


Рис. 39. Нормальный поток в выносящем тракте правого желудочка, зарегистрированный в режиме импульсно-волнового доплера. Пик скорости потока находится в середине систолы. Скорость потока меньше, чем в LVOT. Четко регистрируется интервал AVDI, соответствующий систоле предсердия.

АОРТАЛЬНЫЙ ПОТОК

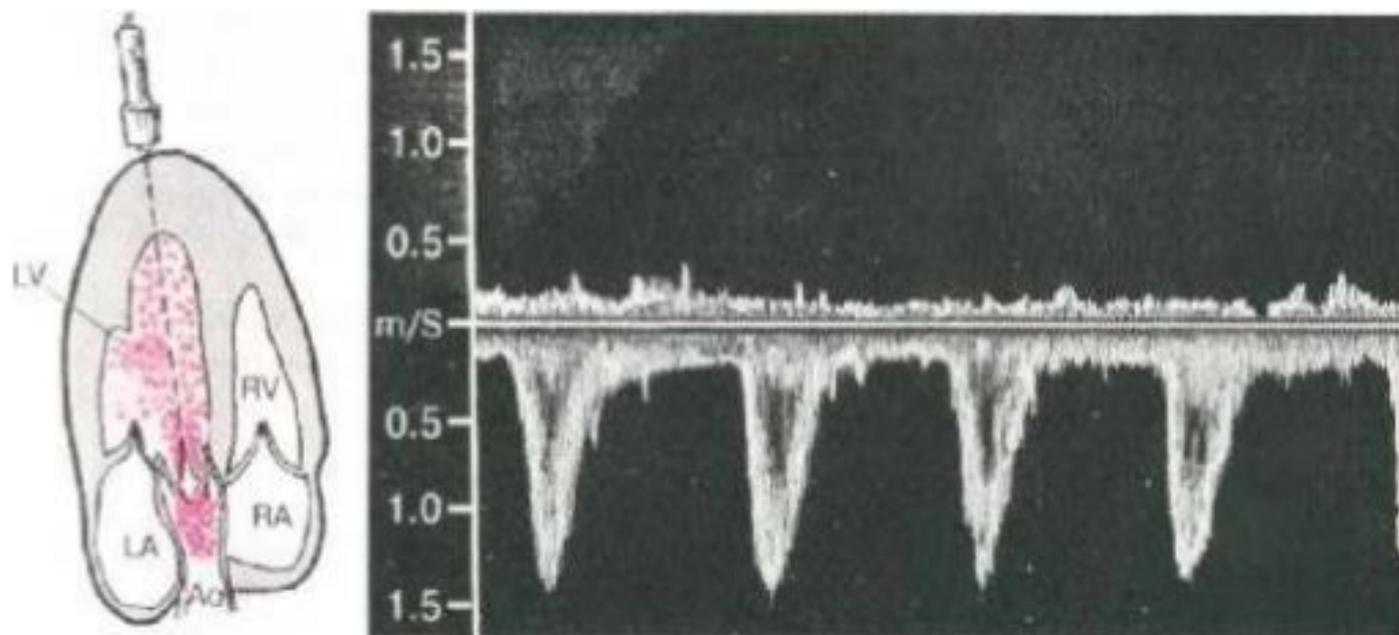
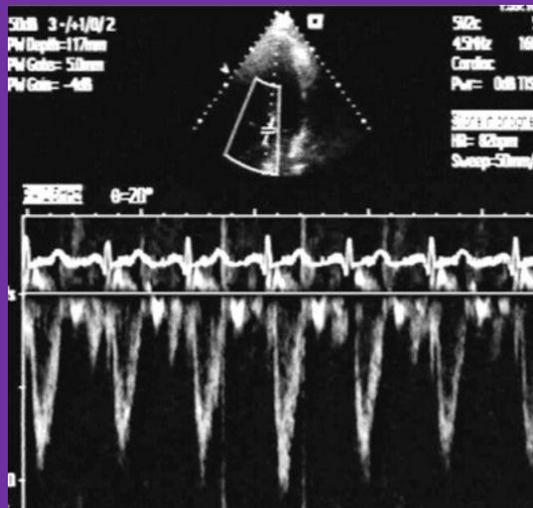


Рис. 1.29. Допплер-ЭхоКГ потока крови через аортальный клапан, зарегистрированная из апикального доступа.

а - схема расположения УЗ-датчика и направления сканирования;

б - доплерограмма потока крови через клапан аорты. Во время систолы ЛЖ определяется систолический пик скорости, направленный вниз.

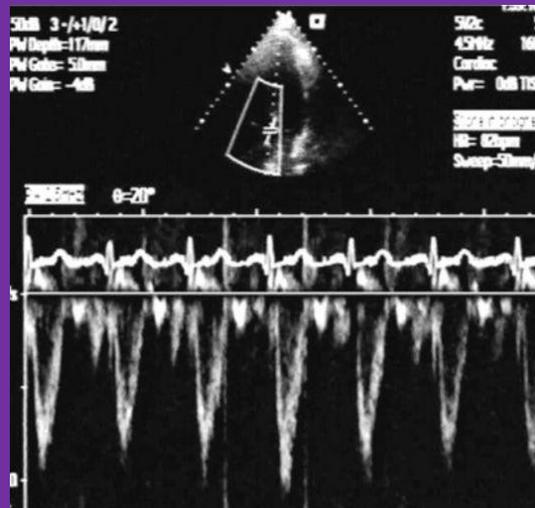


Допплер-эхокардиография корня аорты здорового человека в импульсно-волновом режиме

В импульсно-волновом режиме

потока крови в корне аорты - контрольный объем курсора доплера находится на уровне створок аортального клапана, курсор установлен параллельно длинной оси аорты.

Допплерографическое изображение представлено в виде спектра скоростей, направленных вниз от нулевой линии, что соответствует направлению потока крови в сторону от датчика, расположенного у верхушки сердца. Выброс крови в аорту происходит в систолу ЛЖ сердца, начало его совпадает с зубцом S, а конец - с



Допплер-
эхокардиография корня
аорты здорового
человека в импульсно-
волновом режиме

Спектр скоростей потока крови в аорте по своим очертаниям напоминает треугольник с пиком (максимальной скоростью), несколько смещенной к началу систолы.

В легочной артерии (ЛА) пик кровотока находится практически в середине систолы ПЖ. Большую часть спектра занимает хорошо видимое на рисунке так называемое темное пятно, отражающее наличие ламинарного характера центральной части кровотока в

Кровоток в восходящем отделе аорты. Исследование кровотока в восходящем отделе грудной аорты проводят в супрастернальной позиции. У детей и худых пациентов исследовать кровоток возможно с помощью импульсно-волнового доплера. Контрольный объем следует установить в восходящем отделе аорты над створками аортального клапана (рис. 40). Если перемещать контрольный объем выше вдоль курсора по направлению к дуге аорты, то можно проследить за изменением формы потока (рис. 41). Поток направлен к датчику, располагается выше базовой линии, по мере приближения к дуге аорты скорость немного убывает.

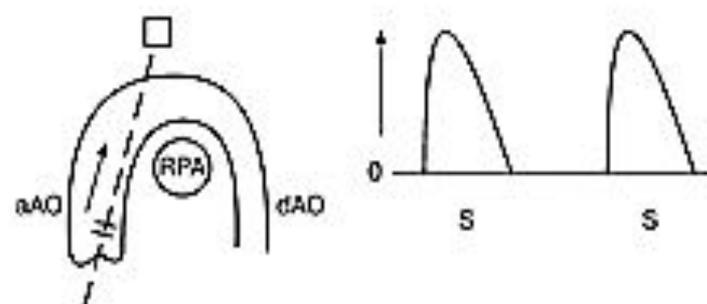


Рис. 40. Схема установки контрольного объема при регистрации потока в восходящем отделе аорты в супрастернальной позиции и формы потока.

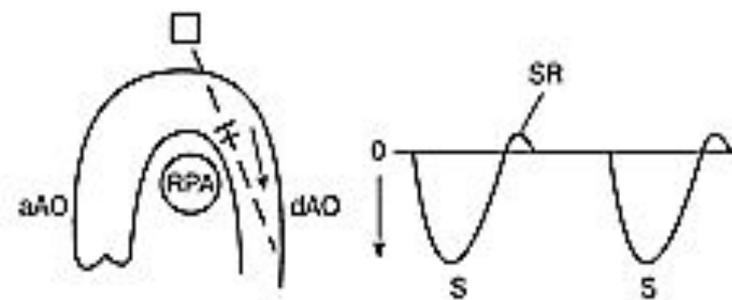


Рис. 42. Схема установки контрольного объема при регистрации потока в грудном нисходящем отделе аорты в супрастернальной позиции и формы потока. SR – систолическая реверсия.

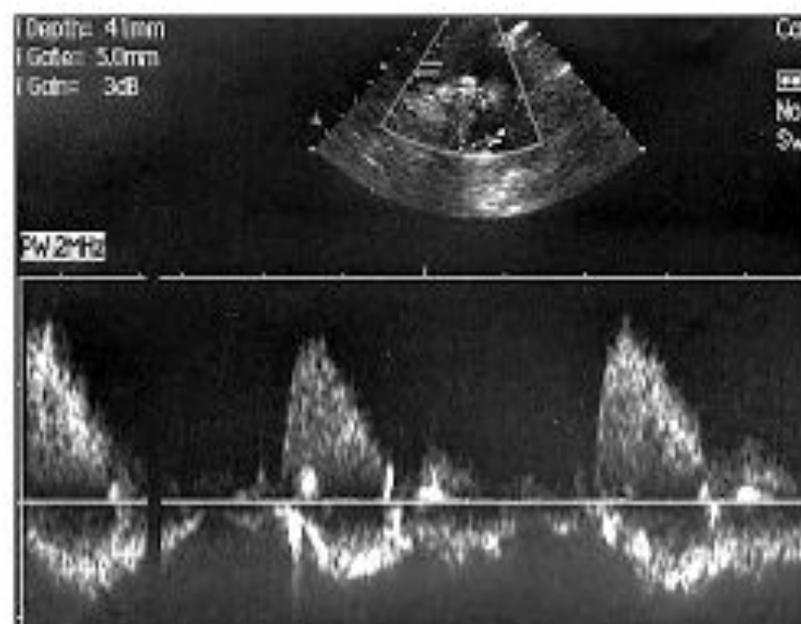


Рис. 41. Поток в восходящем отделе аорты в режиме импульсного доплера.

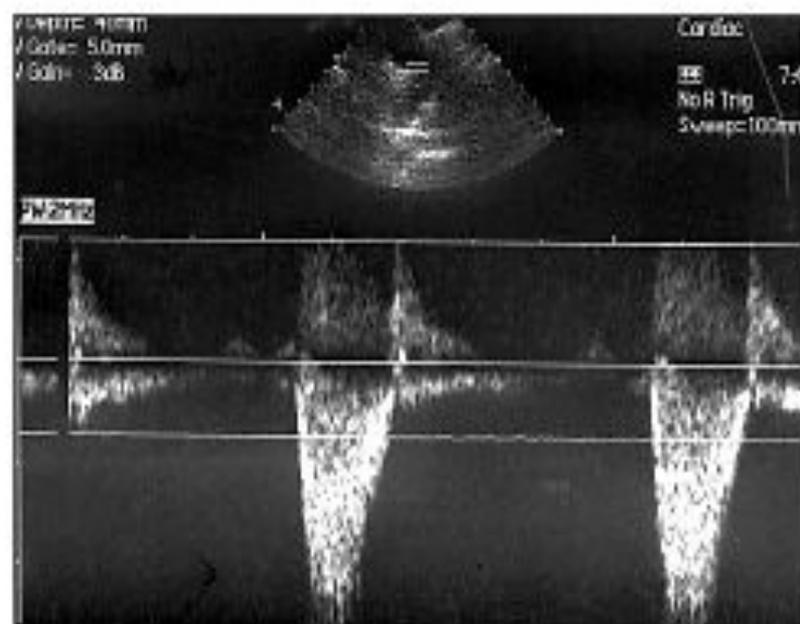


Рис. 43. Поток в нисходящем отделе аорты в режиме импульсного доплера. В норме регистрируется незначительная систолическая реверсия потока.

Кровоток в грудном нисходящем отделе аорты. Для анализа кровотока в грудном нисходящем отделе аорты используют супрастернальную позицию. Контрольный объем устанавливают в точку перехода дуги аорты в нисходящий отдел и затем перемещают вниз вдоль курсора (рис. 42). Форма потока изменяется, поток расположен ниже нулевой линии, так как направлен от датчика, скорость потока незначительно возрастает по мере удаления от дуги аорты. В конце систолы в грудной нисходящей аорте имеется в норме реверсия потока (рис. 43).

Кровоток в легочных венах. При трансторакальном исследовании в ряде случаев удается получить кровоток в легочных венах. Для этого используют апикальную четырехкамерную позицию и контрольный объем устанавливают в месте впадения правой легочной вены в левое предсердие на расстоянии 5–10 мм от устья (рис. 44). Поток состоит из систолического (S), диастолического (D) и предсердного (A) компонентов. Скорость систолического потока больше, чем диастолического, они регистрируются выше базовой линии. В момент систолы левого предсердия происходит в норме незначительная реверсия крови в легочные вены, пик A, соответствующий систоле предсердия, располагается ниже базовой линии (рис. 45). Анализ кровотока в легочных венах проводится

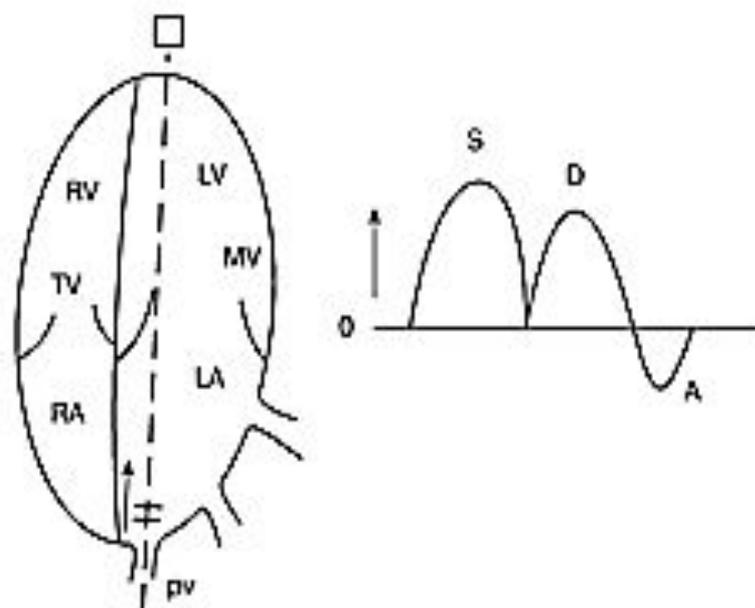


Рис. 44. Схема установки контрольного объема при трансторакальной регистрации потока в ЛВ в апикальной позиции и форма потока.

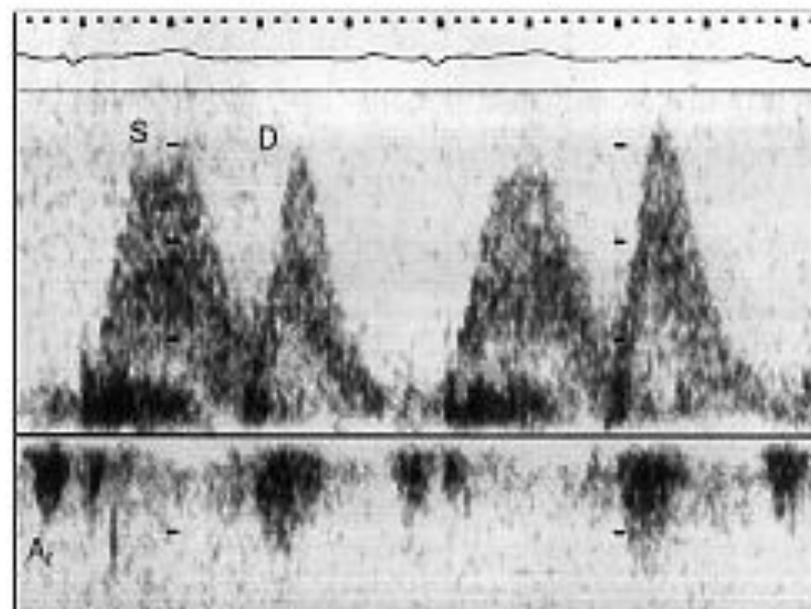


Рис. 45. Нормальный поток из ЛВ, зарегистрированный в режиме импульсно-волнового доплера. Регистрируются систолическая, диастолическая и предсердная фазы потока.

при ряде заболеваний (констриктивный перикардит, тампонада сердца, рестриктивная кардиомиопатия и др.), а также для анализа давления в левом предсердии и расчета конечного диастолического давления в левом желудочке.

Оценка кровотока в легочных венах

В настоящее время в литературе можно встретить большое количество работ, посвященных исследованию кровотока в ЛВ при различной патологии сердца. Трансторакальное исследование кровотока в ЛВ следует проводить в апикальной позиции. Контрольный объем устанавливают в полости ЛП в месте впадения правой верхней ЛВ. Форма потока в ЛВ, полученная при трансторакальном исследовании, немного отличается от формы потока, полученной с использованием транспищеводной эхокардиографии.

При использовании трансторакального доступа поток состоит из трех компонентов: систолического (S), диастолического (D) и предсердного (A) (ряд авторов называют пики x, y и z) (рис. 15). При транспищеводном доступе хорошо видно, что систолическая фаза S состоит из двух пиков: раннего систолического (s_e) и позднего систолического (s_l).

Измерения и нормативы (данные транспищеводного исследования) (рис. 16):

$$v_s = 40-60 \text{ см/с}$$

$$VTI_s = 15 \pm 5 \text{ см}$$

$$s_e < s_l$$

$$v_{se} = 30-40 \text{ см/с}$$

$$v_d = 35-45 \text{ см/с}$$

$$VTI_d = 7,5-9,5 \text{ см}$$

$$v_s/v_d = 1,3-1,5$$

$$v_A = 22-32 \text{ см/с}$$

$$VTI_A = 2 \pm 1 \text{ см}$$

$$A_{dur} = 137 \pm 31 \text{ мс (длительность A)}.$$

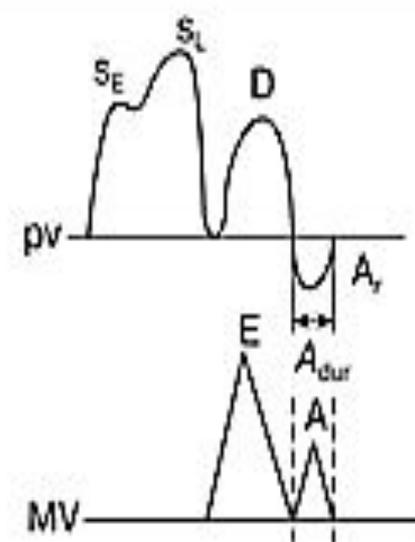
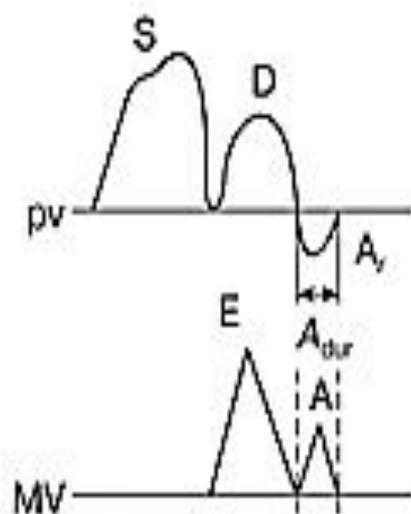


Рис. 15. Форма потока в ЛВ и трансмитрального диастолического потока при нарушении диастолической функции ЛЖ по I типу. Трансторакальное исследование.

Рис. 16. Форма потока из ЛВ при транспищеводном исследовании в режиме импульсно-волнового доплера в норме.

Расчет давления в левом предсердии

С помощью систолической фракции SF можно рассчитать давление в ЛП (LAP). Систолическая фракция равна отношению интегралов линейной скорости потока в ЛВ в систолу и в диастолу:

$$SF = VTI_s / VTI_d,$$

$$\%SF = SF \times 100\%$$

В норме $SF = 60-68\%$.

$$LAP = 35 - 0,39 \times SF.$$

Так, при $SF < 55\%$ давление в ЛП ≤ 15 мм рт. ст.

Существует корреляция между систолической фракцией SF и конечным диастолическим давлением ЛЖ ($LVEDP$). Так, если $SF < 40\%$, то $LVEDP > 18$ мм рт. ст. Скорость пика A трансмитрального потока уменьшалась у пациентов с увеличенным $LVEDP$, возрастала продолжительность реверсии потока в ЛВ в систолу предсердий (A_{dur}).

A_{dur} коррелирует с $LVEDP$, значительное увеличение зубца A в ЛВ по сравнению с трансмитральным зубцом A соответствует $LVEDP > 15$ мм рт. ст. (рис. 16).

Расчет давления в ЛП по скорости струи митральной регургитации описан в главе 4 в разделе, посвященном митральной регургитации.

Расчет конечного диастолического давления в левом желудочке

КДД в ЛЖ ($EDPLV$) рассчитывают по следующим эмпирическим формулам.

$EDPLV = 0,48 \times v_{PVA} - 1,6$, где v_{PVA} – скорость потока в ЛВ в фазу систолы предсердия.

$EDPLV = 46 - (0,22 \times IVRT) - (0,10 \times AFF) - (0,03 \times DT) - 2v_A/v_E + (0,05 \times MAR)$, где $IVRT$ – время изоволюметрического расслабления, AFF – фракция сокращения предсердия, DT – время замедления потока пика E, v_A/v_E – отношение скоростей потоков А к Е, MAR – время от щелчка закрытия МК до зубца R на ЭКГ.

Расчет КДД в ЛЖ по скорости потока аортальной регургитации описан в главе 5 в разделе, посвященном аортальной регургитации.

Факторы, влияющие на кровоток в легочных венах

К таким факторам относятся: 1) возраст – увеличение скорости потока в систолическую и предсердную фазу, уменьшение скорости диастолического компонента; 2) наличие митральной регургитации – кровоток зависит от ее тяжести; у пациентов с тяжелой митральной регургитацией происходит систолическая реверсия потока в ЛВ; 3) нагрузочные пробы.

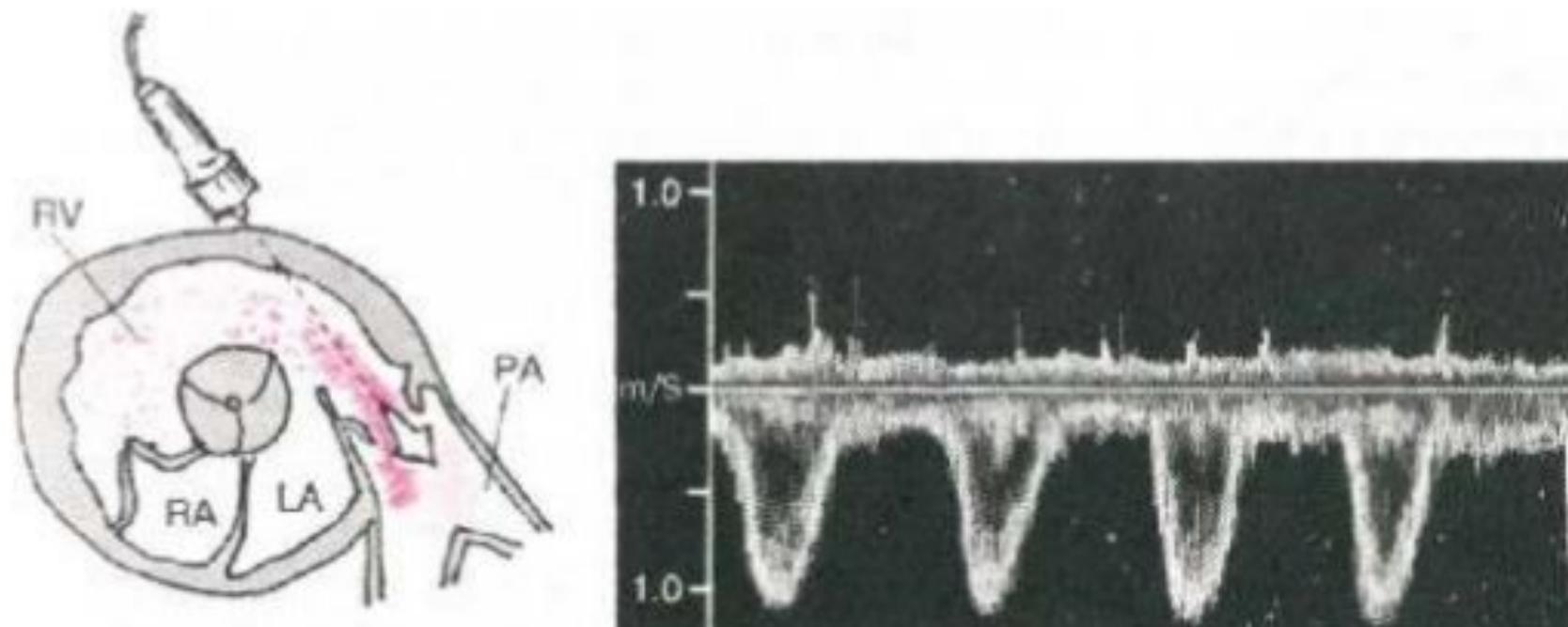


Рис. 1.31. Допплер-ЭхоКГ потока крови через клапан легочной артерии (ЛА), зарегистрированная по короткой оси из левого парастерального доступа.

а - схема расположения УЗ-датчика и направления сканирования;

б - доплерограмма потока крови. Во время систолы ПЖ определяется систолический пик скорости, направленный вниз.

Кровоток в печеночных венах. Анализ кровотока в печеночных венах проводят в субкостальной позиции. Контрольный объем устанавливают в печеночную вену в месте ее впадения в нижнюю полую вену (рис. 46). Поток из печеночной вены в нижнюю полую вену имеет систолическую (S), диастолическую (D) и предсердную (A) фазы. В момент систолы правого предсердия часть крови забрасывается назад в печеночную вену и нижнюю полую вену. Систолическая и диастолическая фазы потока направлены от датчика, регистрируются ниже базовой линии. Пик A соответствует реверсии потока в систолу правого предсердия, направлен к датчику, располагается выше базовой линии (рис. 47). Анализ кривой потока в печеночной вене составляет важную часть исследования у больных с легочной гипертензией.

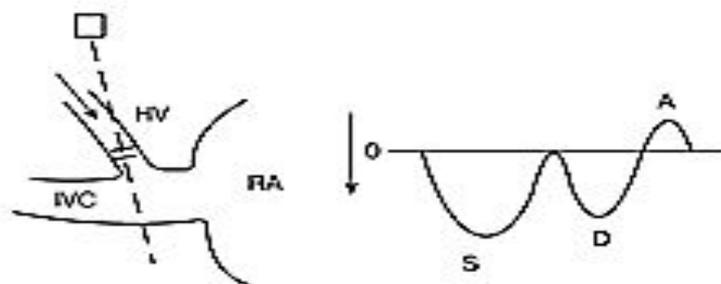


Рис. 46. Схема установки контрольного объема при регистрации потока в ПВ в субкостальной позиции и формы потока.

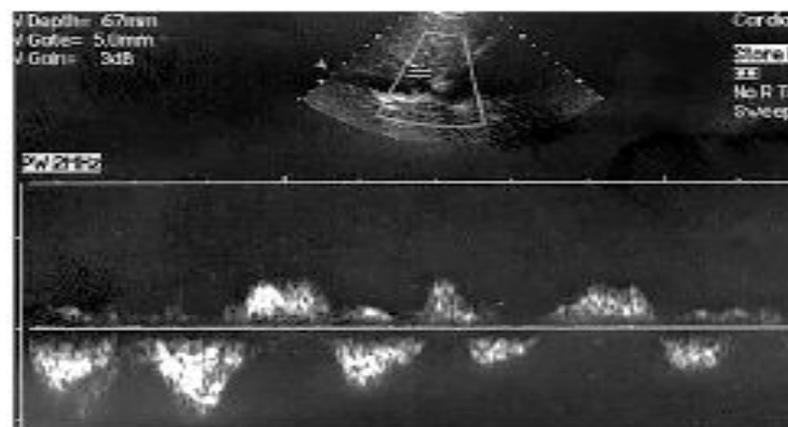


Рис. 47. Нормальный поток в ПВ, зарегистрированный в режиме импульсно-волнового доплера. Регистрируются систолическая, диастолическая и предсердная фазы потока. В норме имеется незначительная зависимость скорости потока от акта дыхания.

Таблица 2. Допплеровские измерения в норме

Показатели	Локализация, возраст			
	Аорта		Легочная артерия	
V_{ED} , см/с	92 (72–120)		63 (44–78)	
ET, мс	294 (265–325)		331 (280–380)	
AT, мс	98 (83–118)		159 (130–185)	
	ЛЖ, <50 лет	ЛЖ, >50 лет	ПЖ, <50 лет	ПЖ, >50 лет
V_{E1} , см/с	72 ± 14	62 ± 14	51 ± 7	41 ± 8
V_{A1} , см/с	40 ± 10	59 ± 14	27 ± 8	33 ± 8
E/A	1,9 ± 0,6	1,1 ± 0,3	2,0 ± 0,5	1,34 ± 0,4
DT _E , см	179 ± 20	210 ± 36	188 ± 22	198 ± 23
IVRT, см	76 ± 11	90 ± 17	76 ± 11	90 ± 17
	ЛВ, <50 лет	ЛВ, >50 лет	ПВ, <50 лет	ПВ, >50 лет
пик S, см/с	48 ± 9	71 ± 9	46 ± 8	-
пик D, см/с	50 ± 10	38 ± 9	27 ± 8	-
пик A, см/с	19 ± 4	23 ± 14	-	-

Для изучения систолической функции левого желудочка с помощью доплерографии целесообразно провести расчет величины объемного кровотока через аортальный клапан.

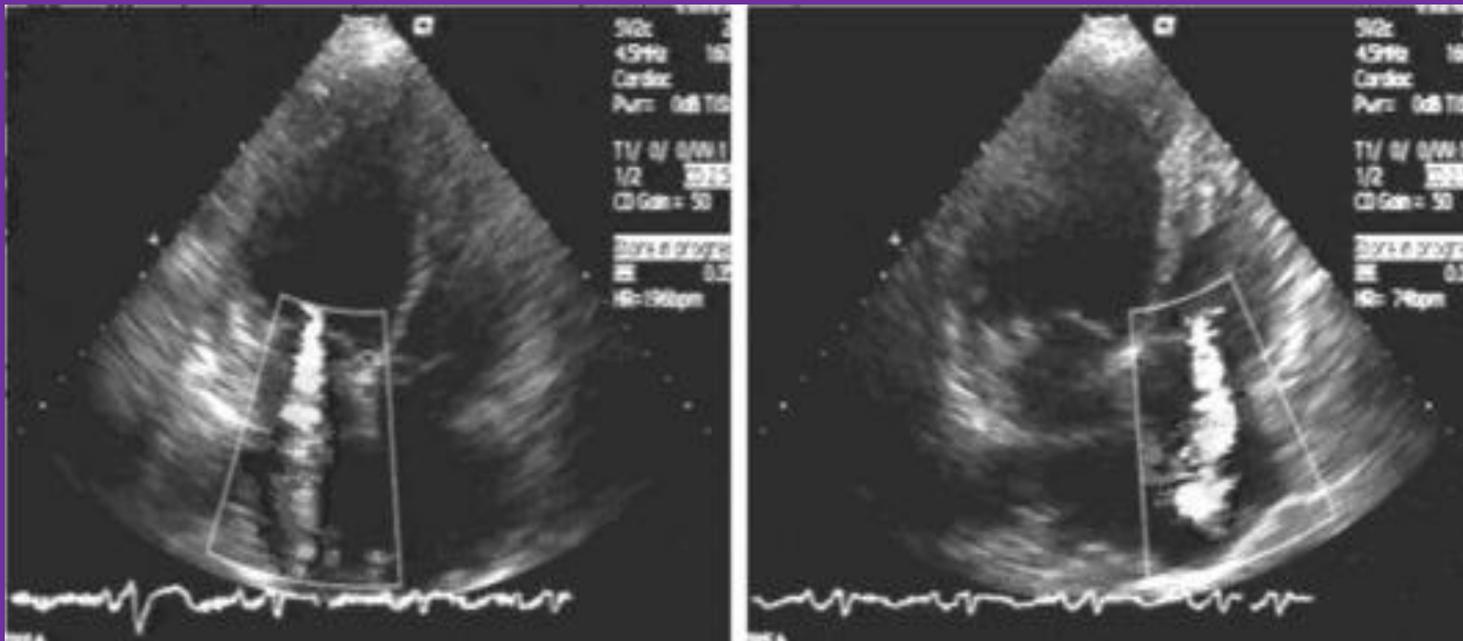
Еще один показатель сократимости левого желудочка – скорость увеличения давления в левом желудочке в начале периода изгнания (dP/dt), вычислить который можно при наличии митральной регургитации.

С помощью импульсно-волновой доплер-ЭхоКГ диагностируются клапанные стенозы и недостаточность клапанов, можно определить степень клапанной недостаточности. Для вычисления перепада (градиента) давления на стенозированном клапане чаще всего приходится использовать постоянно-волновой доплер. Это объясняется тем, что на стенозированных отверстиях возникают очень высокие скорости кровотока, которые слишком велики для импульсно-волнового датчика.

Градиент давления вычисляется с помощью упрощенного уравнения Бернулли:

$dP = 4V^2$, где dP - градиент давления на стенозированном клапане в мм рт.ст., V - линейная скорость потока в см/с дистальнее стеноза.

Если в формулу вводится величина пиковой линейной скорости, рассчитывается пиковый (наибольший) градиент давления, если интеграл линейной скорости - средний. Допплер-ЭхоКГ также дает возможность определить площадь стенозированного отверстия.



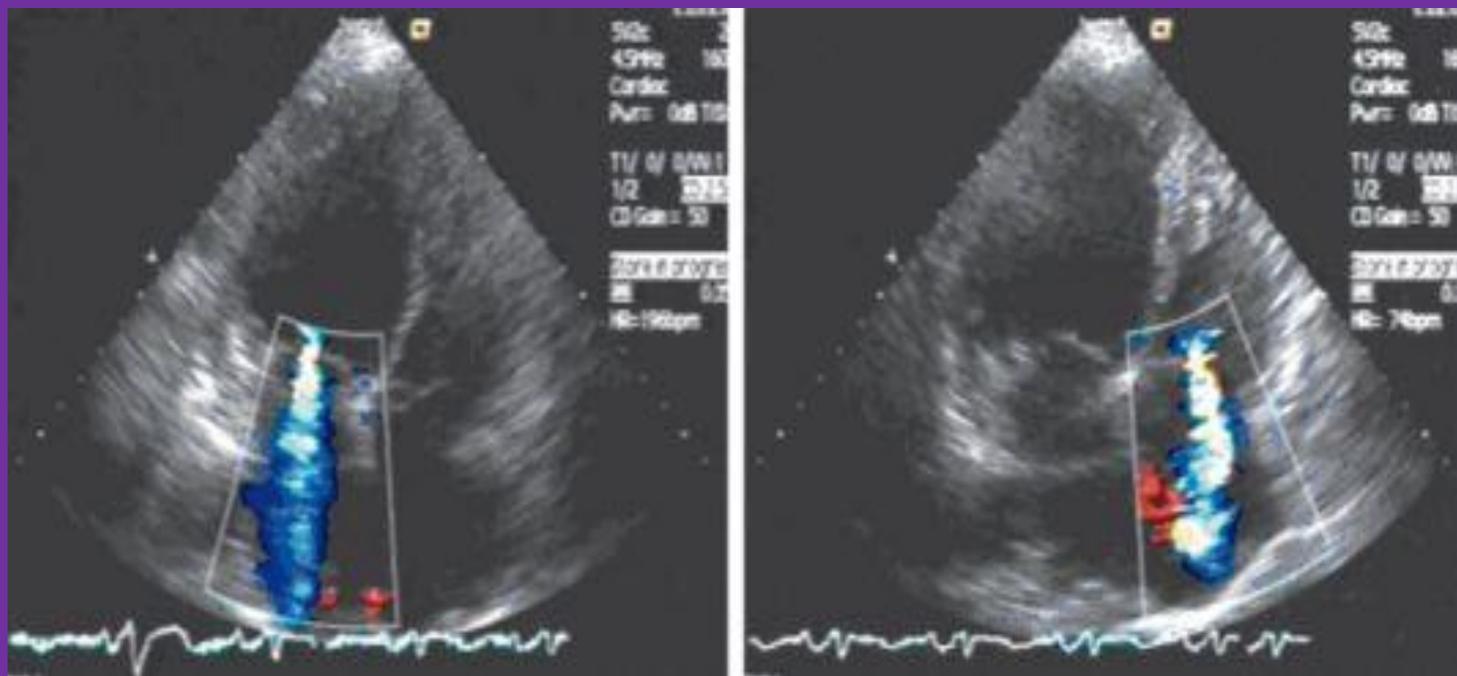
Определение степени клапанной недостаточности с помощью ЦДК

В левой части рисунка растр цветного доплера установлен на митральном клапане и над левым предсердием. Хорошо видна струя крови, кодируемая при ЦДК в виде мозаичного рисунка. Это говорит о наличии высоких скоростей и турбулентности в регургитационном потоке. Справа на рисунке представлена картина недостаточности трехстворчатого клапана, выявленная с помощью ЦДК,

В настоящее время существует несколько вариантов **определения степени клапанной недостаточности.**

Самый простой из них - это измерение длины струи регургитации относительно анатомических ориентиров. Так, степень недостаточности атриовентрикулярных клапанов может определяться следующим образом: струя заканчивается сразу за створками клапана (митрального или трикуспидального) - I степень, распространяется на 2 см ниже створок - II степень, до середины предсердия - III степень, на все предсердие - IV степень.

Степень недостаточности аортального клапана может рассчитываться аналогично: струя регургитации достигает середины створок митрального клапана - I степень, струя аортальной регургитации достигает конца створок митрального клапана - II степень, струя регургитации достигает папиллярных мышц - III степень, струя распространяется на все желудочек - IV степень.



Определение степени регургитации на
атриовентрикулярных клапанах

Метод доплерэхокардиографии

Расчет ударного объема. Ударный объем SV равен произведению площади поперечного сечения CSA на интеграл линейной скорости потока VTI (рис. 5):

$$SV = CSA \times VTI, \quad CSA = \pi d^2/4, \quad VTI = v_{cp} \times ET,$$

где d – диаметр выносящего тракта ЛЖ, v_{cp} – средняя скорость потока в выносящем тракте ЛЖ, ET – время выброса.

В том случае когда присутствует гемодинамически значимая митральная регургитация (более II степени), следует скорректировать величину SV . При этом общий ударный объем ЛЖ TSV рассчитывают как сумму ударного объема потока в выносящем тракте SV и ударного объема струи регургитации SV_{per} (рис. 6): $TSV = SV_{LVOT} + SV_{per}$.

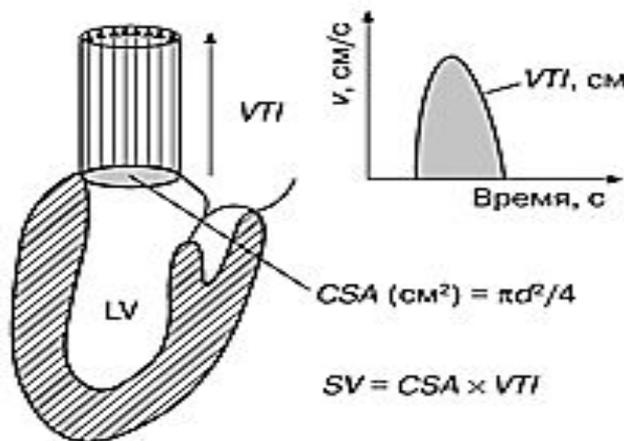


Рис. 5. Расчет ударного объема с использованием уравнения непрерывности потока (Otto C.M., Pearlman A.S., 1995).

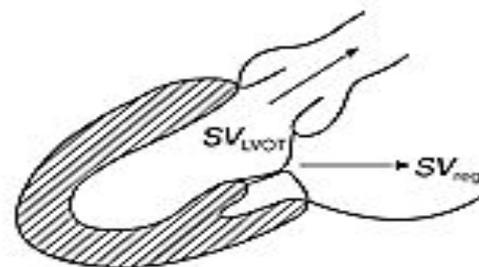


Рис. 6. Расчет ударного объема с использованием уравнения непрерывности потока при наличии значительной митральной регургитации (Otto C.M., Pearlman A.S., 1995).

Оценка диастолической функции левого желудочка

Время изоволюметрического сокращения левого желудочка (*IVCT*) — это время, за которое давление в полости левого желудочка возрастает; оно измеряется от щелчка закрытия митрального клапана до щелчка открытия аортального клапана.

Время изоволюметрического расслабления левого желудочка (*IVRT*) — это время от момента закрытия аортального клапана до момента открытия митрального клапана, за которое давление в левом желудочке продолжает падать.

В норме форма трансмитрального диастолического потока представляет собой два пика Е и А; первый из них соответствует быстрому диастолическому наполнению левого желудочка, второй — медленному диастолическому наполнению или систоле левого предсердия.

Диастолическая функция ЛЖ зависит от расслабления миокарда и механических свойств миокарда.

Время изоволюметрического расслабления ЛЖ $IVRT$ можно рассчитать, установив контрольный объем в LVOT и получив на графике одновременно поток в приносящем и выносящем трактах. Время изоволюметрического расслабления – это время от момента закрытия АК до момента открытия МК, за которое давление в ЛЖ продолжает падать. В норме $IVRT = 65 \pm 20$ мс; $IVRT$ существенно снижается при рестриктивной кардиомиопатии вследствие высокого давления в ЛП.

Время изоволюметрического сокращения ЛЖ $IVCT$ – это время от щелчка закрытия МК до щелчка открытия АК. В норме составляет около 65–90 мс.

Трансмитральный диастолический поток. В норме представлен пиками E и A, в период диастазиса между пиками E и A может регистрироваться пик L (рис. 11). По данным различных авторов: $v_E = 70\text{--}100$ см/с; $v_A = 45\text{--}70$ см/с; $E/A = 1,0\text{--}1,5$; $DT_E = 160\text{--}220$ мс.

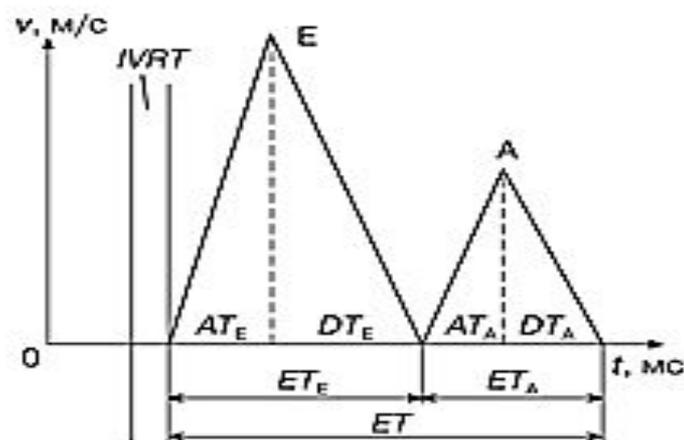


Рис. 11. Схема расчета параметров диастолической функции ЛЖ по трансмитральному диастолическому потоку (Otto С.М., Pearlman А.С., 1995).

Половина времени ускорения пика E $AT_{1/2}$ измеряется от пика E до 50% нарастания скорости потока. В норме $AT_{1/2} = 62 \pm 18$ м/с.

Половина времени замедления пика E $DT_{1/2}$ измеряется от пика E до 50% убывания скорости потока. В норме $DT_{1/2} = 73 \pm 24$ м/с.

Фракция одной второй наполнения (one-half filling fraction) $FF_{1/2}$ рассчитывается как отношение интеграла линейной скорости пика E к интегралу линейной скорости всего потока: $FF_{1/2} = VTI_E / VTI_{E+A}$. В норме $FF_{1/2} > 0,55$.

Фракция одной третьей наполнения (one-third filling fraction) $FF_{1/3}$ рассчитывается как отношение $1/3$

интеграла линейной скорости пика E к интегралу линейной скорости всего потока. В норме $FF_{1/3} = 0,58 \pm 0,08$.

Временная константа расслабления миокарда τ . Для неинвазивного расчета τ используется спектр потока митральной регургитации в режиме непрерывноволнового доплера. Трассируют по контуру время замедления потока митральной регургитации и проводят расчеты градиентов давлений по уравнению Бернулли (рис. 12). τ измеряется от пика dP/dt до точки $P = 5$ мм рт. ст. В норме $\tau = 25-40$ мс.

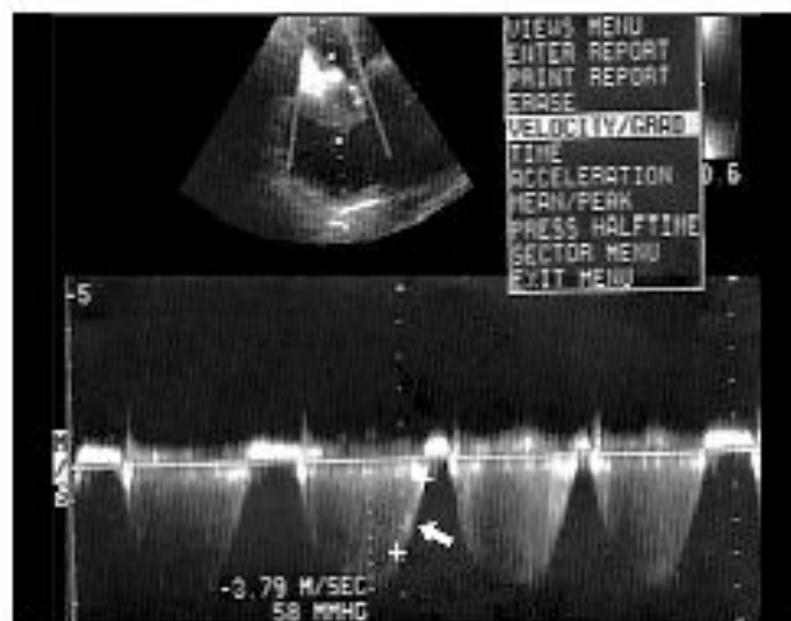


Рис. 12. Расчет временной константы расслабления (стрелка) с помощью потока митральной регургитации в режиме непрерывноволнового доплера (Otto С.М., 1997).

Показатели, характеризующие диастолическую функцию ЛЖ, рассчитанные с помощью доплерэхокардиографии

Для того чтобы оценить диастолическую функцию ЛЖ, необходимо учесть целый ряд параметров, характеризующих пики E и A: v_E , v_A , E/A, AT_E , DT_E , VTI_E , VTI_A . Кроме того, необходимо учесть кровотоки в легочных венах (v_s , v_d , v_a) и параметры dP/dt , $IVRT$, τ , KV .

Расчет скорости нарастания давления в ЛЖ в начале систолы (dP/dt) описан в главе 4 в разделе, посвященном митральной регургитации.

Временная константа расслабления миокарда во время изоволюметрической диастолы τ измеряется от пика dP/dt до точки 5 мм рт. ст. В норме показатели для τ равны 25–40 мс (рис. 9).

Ригидность камеры ЛЖ KV – это производная давления по объему (рис. 10): $KV = dP/dV$. В норме KV составляет 0,010–0,025.

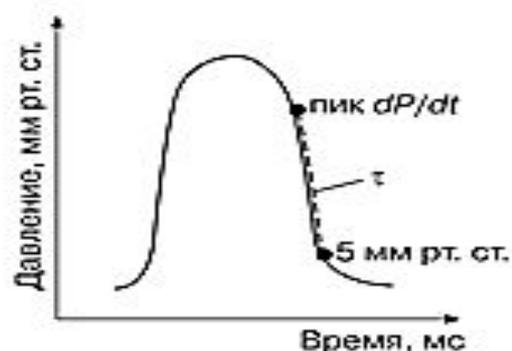


Рис. 9. Схема расчета временной константы расслабления (Otto С.М., 1997).

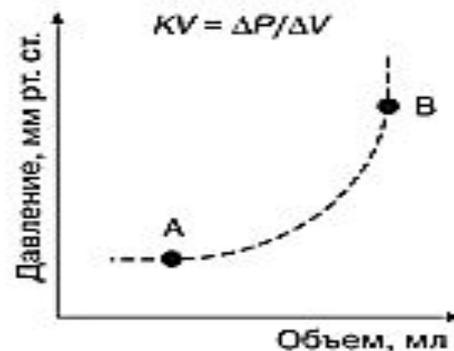


Рис. 10. Схема расчета ригидности камеры ЛЖ (Otto С.М., 1997).

Варианты нарушения диастолической функции ЛЖ

Первый тип нарушения диастолической функции характеризуется тем, что большая часть крови поступает в ЛЖ в фазу медленного диастолического наполнения или во время систолы предсердий. Нарушение диастолической функции ЛЖ по первому типу может быть вариантом нормы у людей пожилого возраста, может встретиться у лиц с артериальной гипертензией, стенокардией, инфарктом миокарда, миокардитом и т.д. Если показатель времени замедления потока раннего диастолического наполнения DT_E превышает 220 мс, нарушение диастолической функции высокой степени, давление в полости ЛЖ повышено (рис. 13).

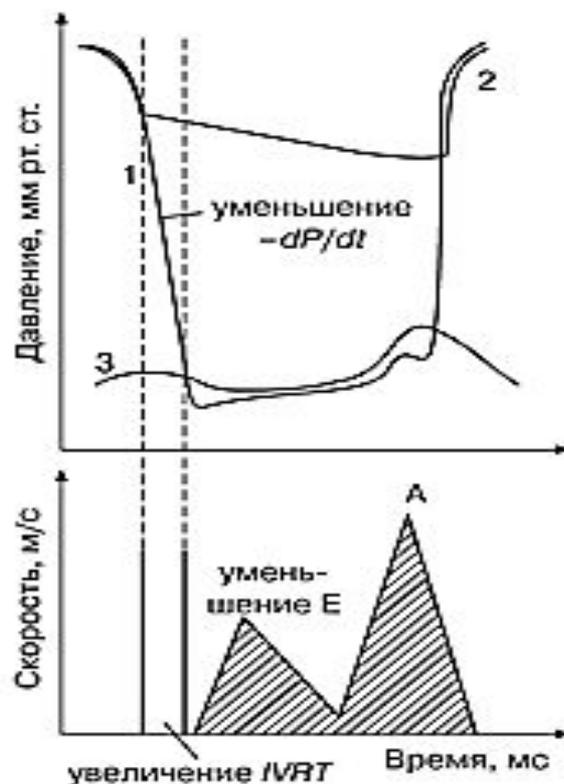


Рис. 13. Схема нарушения диастолической функции ЛЖ по I типу (Otto C.M., Pearlman A.S., 1995). 1 – давление в ЛЖ, 2 – давление в АО, 3 – давление в ЛП.

Рис. 14. Схема нарушения диастолической функции ЛЖ по II типу.

При дальнейшем прогрессировании процесса трансмитральный поток приобретает псевдонормальный вид, и развивается **второй тип** нарушения диастолической функции ЛЖ, или рестриктивный тип. Это связано с возрастанием давления в ЛП, что приводит к увеличению скорости потока пика E в раннюю диастолу, увеличению конечного диастолического давления в ЛЖ, значительному снижению скорости потока в фазу предсердной систолы (пика A), уменьшению времени изоволюметрического расслабления ЛЖ (*IVRT*) и времени замедления потока в фазу раннего диастолического наполнения (*DT_E*). При увеличении частоты сердечных сокращений свыше 90 ударов в минуту исследование диастолической функции может быть затруднено, так как оба пика трансмитрального потока сливаются между собой (рис. 14).

Физиологические агенты, влияющие на диастолическую функцию:

1) возраст, 2) ЧСС, 3) систолическая функция ЛЖ, 4) функция предсердий, 5) дыхание, 6) нагрузочные пробы.

Оценивать форму потока можно с помощью импульсно-волнового или непрерывно-волнового доплера. Контрольный объем можно размещать в области фиброзного кольца или конца створок митрального клапана.

Нарушение диастолической функции левого желудочка при ряде патологий

Наиболее часто нарушение диастолической функции ЛЖ по I типу встречается у людей пожилого возраста с **артериальной гипертензией** – гипертоническая гипертрофическая кардиомиопатия (КМП) (рис. 17). На фоне применения препаратов, таких как В-блокаторы, антагонисты кальция, ингибиторы АПФ, нитраты, на протяжении периода до 6 мес происходит псевдонормализация или полная нормализация кровотока.

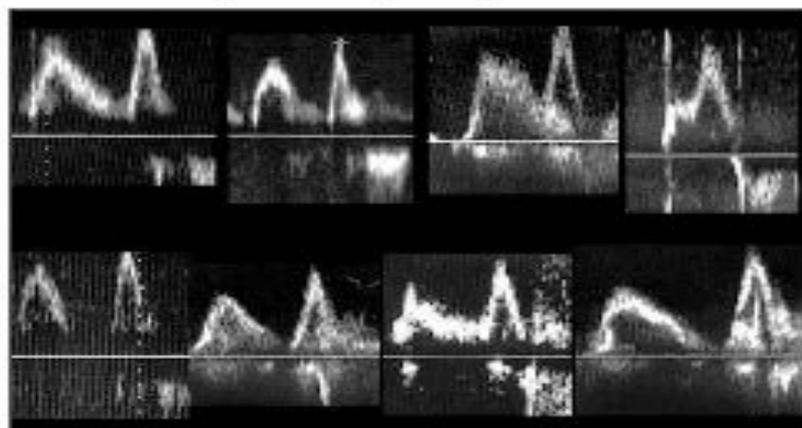


Рис. 17. Варианты формы потока при различной степени нарушения диастолической функции ЛЖ по I типу. Высокая степень нарушения характеризуется значительным увеличением DTE.

При **гипертрофической КМП** в 80% случаев у больных имеет место нарушение диастолической функции по I типу. У больных с **дилатационной КМП** изначально формируется нарушение диастолической функции по I типу, затем, при значительном и длительно существующем нарушении систолической функции ЛЖ происходит изменение характера нарушения диастолической функции по II типу (рис. 18). Для данного типа нарушения диастолической функции характерны увеличение *IVRT* и скорости пика E и уменьшение скорости пика A трансмитрального потока. Отношение E/A составляет в этом случае $2,1 \pm 0,4$.

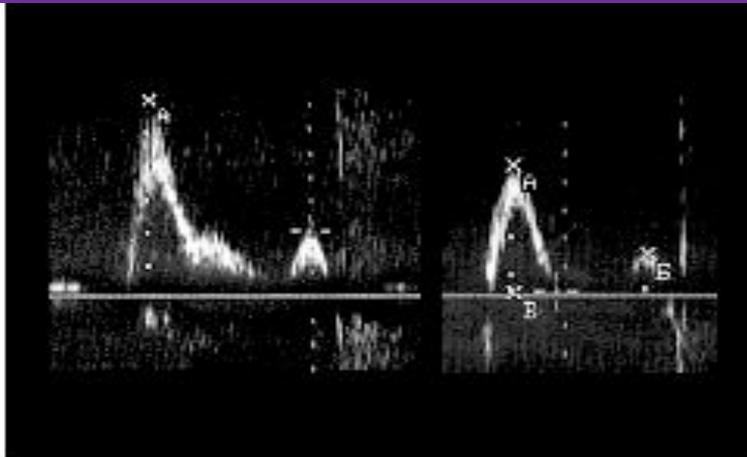


Рис. 18. Варианты формы потока при нарушении диастолической функции ЛЖ по II типу.

Констриктивный перикардит и рестриктивная КМП характеризуются значительным увеличением скорости пика E, значительным снижением скорости пика A, уменьшением $IVRT$. DT_E уменьшается и составляет менее 120 мс, v_A – менее 35 см/с, отношение E/A – более 2,5, отношение VTI_E/VTI_A возрастает более 2,4.

Жидкость в полости перикарда и тампонада сердца приводят к значительной зависимости скорости кровотока через МК от акта дыхания:

- $v_E = 43$ см/с (разброс $\pm 9\%$),
- $v_A = 25$ см/с (разброс $\pm 12\%$),
- $IVRT = 85 \pm 14$ мс,
- $VTI_E = 52$ см (разброс $\pm 10\%$),
- $VTI_A = 28$ см (разброс $\pm 22\%$).

Острая ишемия миокарда часто проявляет себя нарушением диастолической функции по I типу. DTE при этом не превышает 220 мс.

Легочная гипертензия приводит к нарушению диастолической функции ЛЖ по I типу. При этом увеличивается $IVRT$, отношение E/A составляет менее 0,5.

Допплеровские методы в оценке диастолической функции левого желудочка

В работе С.М. Otto (1997) описан новый метод оценки состояния диастолической функции ЛЖ, в котором используется апикальное окно и цветовой М-модальный доплер. Оценивают продолжительность раннего диастолического наполнения ЛЖ от основания до верхушки в режиме цветового М-модального доплера. У больных с КМП, гипертонзией и т.п. этот показатель значительно увеличивается (рис. 19).

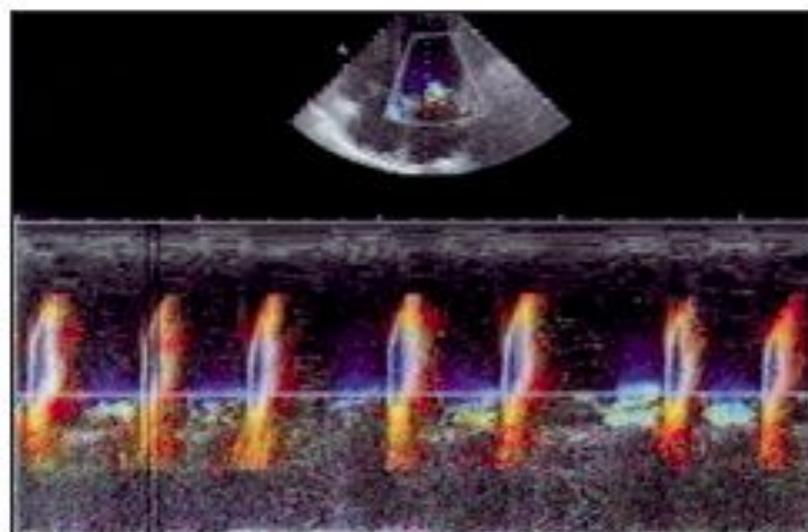


Рис. 19. Способ оценки нарушения диастолической функции ЛЖ с использованием цветового М-модального доплера в апикальной четырехкамерной позиции. Диастолическое наполнение ЛЖ при низком сердечном выбросе.

Метод оценки объема ЛЖ с помощью двухмерного сканирования и сканирования в М-режиме основан на компьютерном анализе в реальном времени движения стенок ЛЖ в фазы сердечного цикла (включая конкретную зону интереса), характера изменения площади и объема (рис. 20).

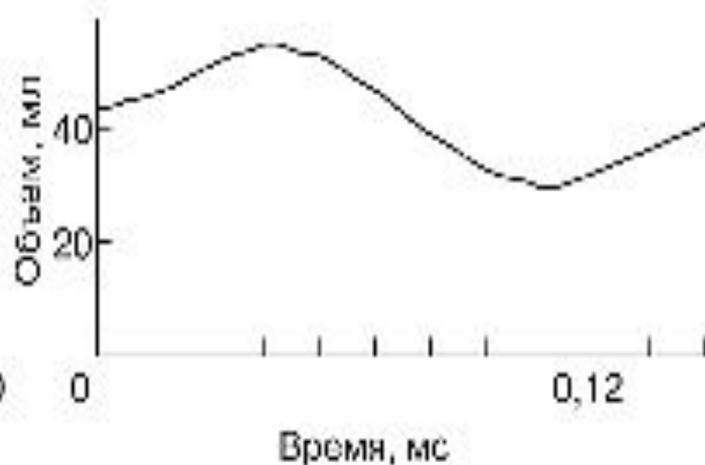
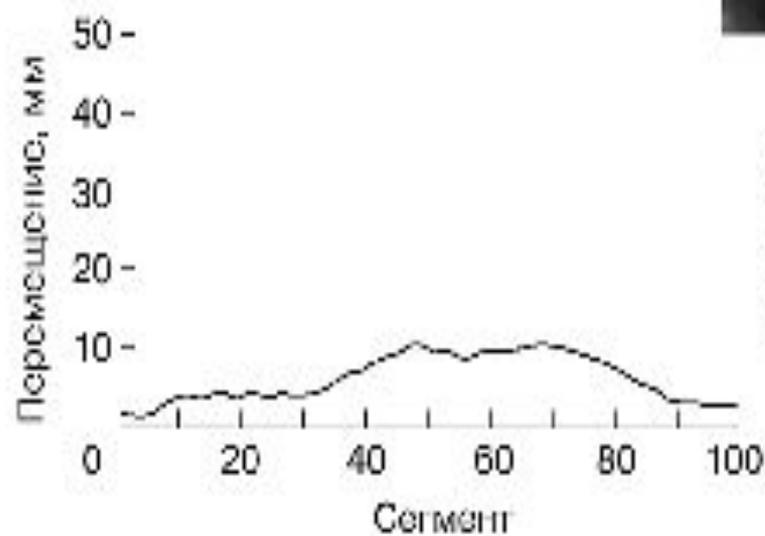
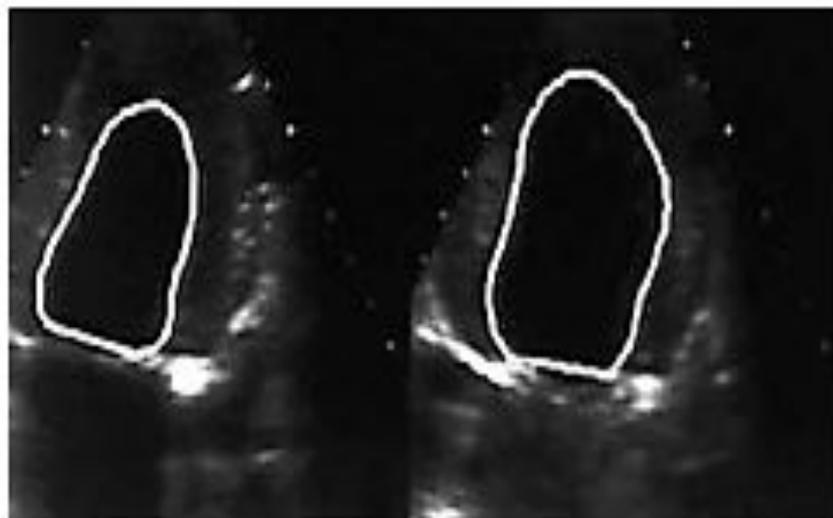


Рис. 20. Компьютерный анализ изменения объема ЛЖ.

Расчет доплеровского эхокардиографического индекса (*Index*) для оценки глобальной функции ЛЖ и ПЖ (систолической и диастолической). Индекс равен сумме времени изоволюметрического сокращения ЛЖ *IVCT* и времени изоволюметрического расслабления ЛЖ *IVRT*, деленной на время выброса *ET* (рис. 21):

$$Index = (IVCT + IVRT)/ET.$$

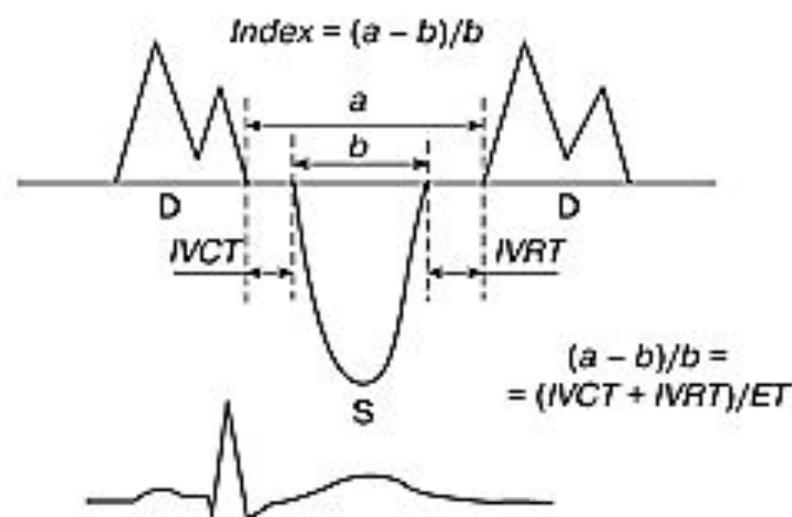


Рис. 21. Схема расчета доплеровского индекса для оценки систолической и диастолической функции ЛЖ и ПЖ.

Аналогичным образом оценивают индекс ПЖ. Данный показатель объединяет оценку как систолической, так и диастолической функции, не зависит от частоты сердечных сокращений и в норме для ЛЖ составляет около 0,36, для ПЖ $0,28 \pm 0,04$.

Оценка систолической функции правого желудочка

Сократимость правого желудочка чаще всего оценивается визуально, качественно – по характеру и амплитуде движения передней стенки правого желудочка и межжелудочковой перегородки.

Гемодинамическая значимость поражений правого желудочка может быть оценена по степени коллабирования нижней полой вены во время вдоха.

ОЦЕНКА СИСТОЛИЧЕСКОЙ И ДИАСТОЛИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА

Расчеты параметров **систолической функции ПЖ** в М-режиме часто затруднены из-за положения сердца в грудной клетке. В парастернальной позиции часто не удается провести курсор через максимальный размер ПЖ. Для адекватных измерений в М-режиме у ряда больных можно использовать субкостальную четырехкамерную позицию. Нормативы показателей систолической функции ПЖ коррелируют с показателями ЛЖ. Более точные расчеты можно провести в В-режиме по формуле Симпсона (простой и модифицированной). Для характеристики степени нарушения систолической функции ПЖ используют расчет систолической экскурсии правого фиброзного кольца – чем меньше степень экскурсии, тем больше степень нарушения систолической функции.

В настоящее время характер нарушения **диастолической функции ПЖ** при ряде патологий правого и левого сердца продолжает изучаться. Варианты нарушения диастолической функции ПЖ аналогичны нарушению функции ЛЖ. Четкой связи с нарушением систолической функции ПЖ и степенью легочной гипертензии не выявлено (рис. 22).

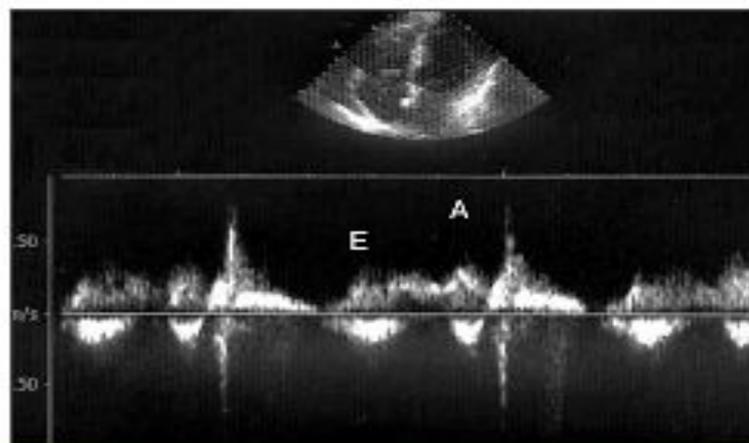


Рис. 22. Нарушение диастолической функции ПЖ у больного с легочным сердцем (транстрикуспидальный диастолический поток).

Протокол эхокардиографического исследования N

от «»-----200 года

ФИО пациента

Возраст рост (в см.) вес (в кг) пол

Данные ЭКГ:

Основные параметры эхокардиографического исследования

Парастернальная позиция

Диастолический размер полости левого желудочка (N= до 5,6см)

Систолический размер полости левого желудочка

Движение перегородки *нормальное* *парадоксальное* *неопределенное*

Толщина межжелудочковой перегородки (N= 0,7-1,1см)

Толщина задней стенки левого желудочка (N= 0,7-1,1см)

Левое предсердие (N= до 3,7см)

Просвет корня аорты (N= 2,0-3,7см)

Раскрытие створок аортального клапана в систолу (N=1,5-2,6см)

Правый желудочек (положение на спине, на левом боку) (N= до 2,6см, до 3,0см на левом боку)

Четырехкамерная позиция

Правый желудочек (N=6,7x3,6 см) Левый желудочек (N=7,5x4,6 см)

Правое предсердие (N=4,2x3,7 см) Левое предсердие (N=4,3x3,6 см)

ФИ (N= >55%) указать метод измерения

Митральный клапан: отметить направление движения створок, дальнейшее описание в свободной форме

Аортальный клапан: описание в свободной форме

Трикуспидальный клапан: описание в свободной форме

Клапан легочной артерии: описание в свободной форме

Допплер КС

Митральный клапан : скорость диастолического потока (N= 60-130см/с)

Трикуспидальной клапан : скорость диастолического потока (N= 30-70см/с)

Аорта: скорость систолического потока (N= 100-170см/с)

Выходной тракт левого желудочка: скорость систолического потока (N= 70-110 см/с)

Клапан легочной артерии: скорость систолического потока (N= 60-90 см/с)

При наличии патологии (регургитация, трансептальные потоки, тромбы, инфарктные зоны и т.д) описание в свободной форме

Заключение:

Подпись врача с расшифровкой фамилии.

МНОГОПРОФИЛЬНЫЙ МЕДИКО - ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

КАРТА ЭХОГРАФИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ Режим исследования в В-М, PW, SW, Color doppler

Дата 24.01.2012 г.

Ф.И.О _____

Возраст: 1942 г. р.

Аортальный клапан уплотнен, фиброзирован, К (+)
 Расхождение – 1,6 см - достаточное
 Смыкание – полное
 Поток крови: макс. скорость 2,0 м/сек.,
 градиент 19,0 мм рт. ст.
 Регургитация: нет
 Особенности: _____

Митральный клапан уплотнен, фиброзирован, К (+)
 Форма «М» - образная, движение створок разнонаправленное
 Раскрытие створок - полное
 Поток крови: макс. скорость 1,1 м/сек.,
 градиент 5,0 мм рт. ст.
 Регургитация: за фиброзное кольцо
 Особенности: _____

Трехстворчатый клапан не изменен
 Форма М—образная, движение створок разнонаправленное
 Поток крови: макс. скорость 0,7 м/сек.,
 градиент 2,0 мм рт. ст.
 Регургитация: до ½ правого предсердия
 Особенности: _____

Клапан легочной артерии не изменен
 Поток крови: макс. скорость 0,9 м/сек.,
 градиент 3,0 мм рт. ст.
 Регургитация: в створках
 Особенности: _____

Аорта – не расширена, Диаметр – 3,73 см - на уровне синусов, восходящий отдел – 3,78 см
 Экскурсия - не снижена, стенки - плотные, слоистые, кальциноз подклапанных структур

Левый желудочек: КСР 3,38 см КДР 4,8 см КСО 47 мл КДО 107 мл УО 60 мл
 Полость - не увеличена

Межжелудочковая перегородка 1,42 см - утолщена

Подвижность – снижена

Кинез - зоны гипокинезии

Задняя стенка 1,26 см - утолщена

Подвижность - не снижена

Кинез – норма

Диастолическая функция E/A 0,66

Фракция выброса: 56%

FS 29,5%

Левое предсердие: 3,8 см - не увеличено

Правый желудочек: 2,87 см - не увеличен

Стенка: норма

Правое предсердие: 15,0 см² - не увеличено

Легочная артерия: не расширена

Перикард: сепарация листков в диастолу – нет

ЧСС 60 уд/мин.

Другие изменения: во время осмотра экстрасистолия. Диагональная хорда в области верхушки ЛЖ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Выраженный аортосклероз. Кальциноз подклапанных структур. Фиброз АК, К (+). Фиброз МК, К (+). Регургитация на МК 1-2 ст. Выраженная ГЛЖ, с признаками нарушения диастолической функции левого желудочка.

Насосная функция левого желудочка сохранена. Зоны гипокинезии МЖП.

Регургитация на ТК 2 ст. Диагональная хорда ЛЖ.

Рекомендовано: консультация кардиолога. УЗИ – контроль через год.

Врач



О. Д. Бесараб