

ГЛАВА 4 *Допплерэхокардиография*

Допплерэхокардиография существенно дополняет исследование сердца с помощью одномерной эхокардиографии и двухмерной эхокардиографии.

Допплерэхокардиография позволяет:

- зарегистрировать поток регургитации;
- выявить и количественно оценить шунтирование крови;
- определить градиент давления при обструкции различной степени;
- оценить нарушения систолической и диастолической функции левого желудочка;
- уточнить локализацию порока в случае малоинформативной двухмерной эхокардиографии.

При проведении доплерэхокардиографии необходимо добиться направления ультразвукового луча параллельно кровотоку [186, 262, 304]. Ламинарный кровоток при доплерэхокардиографии имеет на спектрограмме просветление в центре, турбулентный кровоток такого участка не имеет.

В клинической практике при исследовании кровотока широко используют следующие виды доплерэхокардиографии: импульсно-волновую (Pulsed Wave Doppler), непрерывно-волновую (Continuous Wave Doppler),

цветовое доплеровское картирование кровотока (*см. главу 1*).

При импульсно-волновой доплерэхокардиографии датчик посылает и воспринимает отраженные от эритроцитов ультразвуковые сигналы в виде серии импульсов. Основное достоинство данного метода — возможность изучения скоростей кровотока в ограниченной области. При импульсно-волновой доплерэхокардиографии для исследования трансмитрального потока используют апикальный доступ, который позволяет сохранить направление ультразвукового луча параллельным кровотоку через митральный клапан. Диастолический кровоток, проходящий через митральный клапан, направлен к датчику, поэтому регистрируется выше изолинии. В норме на спектрограмме потока есть две вершины: пик Е и пик А (*рис. 4.1*). Соотношение максимальных скоростей Е и А больше или равно 1 ($E/A \geq 1$). В норме максимальная скорость трансмитрального потока у взрослых составляет 0,4–1,3 м/сек.

При импульсно-волновой доплерэхокардиографии кровотока через аортальный клапан из апикального доступа в пятикамерной позиции формируется спектрограмма

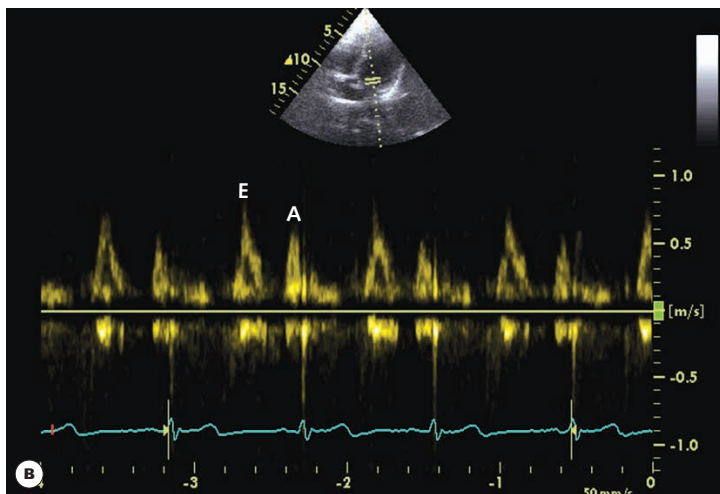
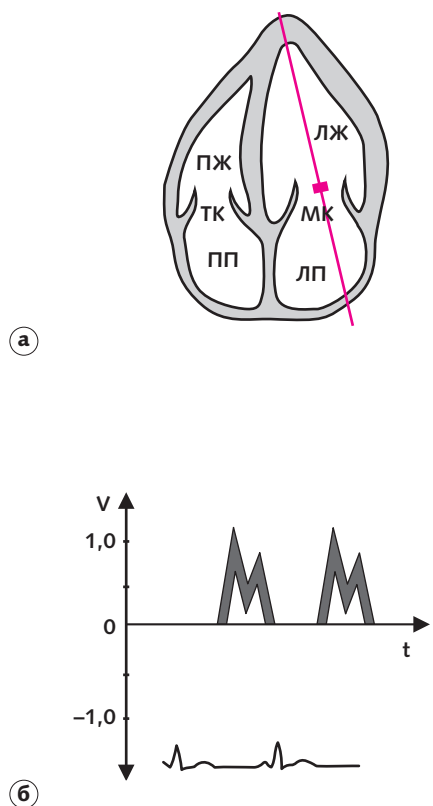


РИС. 4.1 Импульсно-волновая доплерэхокардиография. **(а)** Схематически показана четырехкамерная позиция из апикального доступа. Контрольный объем установлен между створками митрального клапана. **(б)** Схема спектрограммы трансмитрального потока. **(в)** Спектрограмма ламинарного трансмитрального потока в норме. А — скорость кровотока во время позднего диастолического наполнения; Е — скорость кровотока во время раннего диастолического наполнения; t — время; V — скорость кровотока; ЛЖ — левый желудочек; ЛП — левое предсердие; МК — митральный клапан; ПЖ — правый желудочек; ПП — правое предсердие; ТК — трикуспидальный клапан.

треугольной формы, а максимальная скорость потока над створками аортального клапана у взрослых составляет от 1,0 до 1,7 м/сек (**рис. 4.2**). Это единственный клапан сердца, не имеющий в норме физиологической регургитации.

Регистрацию потока в нисходящем отделе аорты проводят из супрастернального доступа, при этом контрольный объем размещают в месте перехода дуги аорты в нисходящий отдел аорты. Основной систолический поток в нисходящем отделе аорты имеет направление от датчика (**рис. 4.3**).

Импульсно-волновую доплерэхокардиографию потока в выносящем тракте левого желудочка проводят из апикального доступа в пятикамерной позиции. Пик скорости потока в выносящем тракте смещен в первую половину фазы систолы. В момент закрытия аортального клапана на спектрограмме регистрируется щелчок закрытия. В норме макси-

мальная скорость потока в выносящем тракте левого желудочка у взрослых составляет 0,7–1,1 м/сек (**рис. 4.4**).

Оптимальной позицией для исследования транстрикуспидального потока является четырехкамерная позиция из апикального доступа. Максимальная скорость транстрикуспидального потока у взрослых составляет от 0,3 до 0,7 м/сек (**рис. 4.5**). Форма спектрограммы транстрикуспидального потока подобна форме спектрограммы трансмитрального потока. Пик Е соответствует раннему диастолическому наполнению правого желудочка, пик А — позднему диастолическому наполнению правого желудочка. Однако максимальные скорости транстрикуспидального потока ниже таковых потока в левых отделах сердца.

При импульсно-волновой доплерэхокардиографии легочного кровотока из парастернального доступа в позиции по короткой

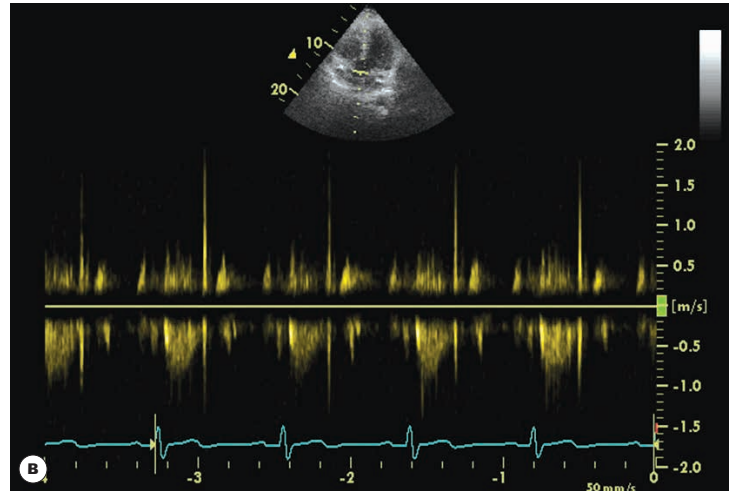
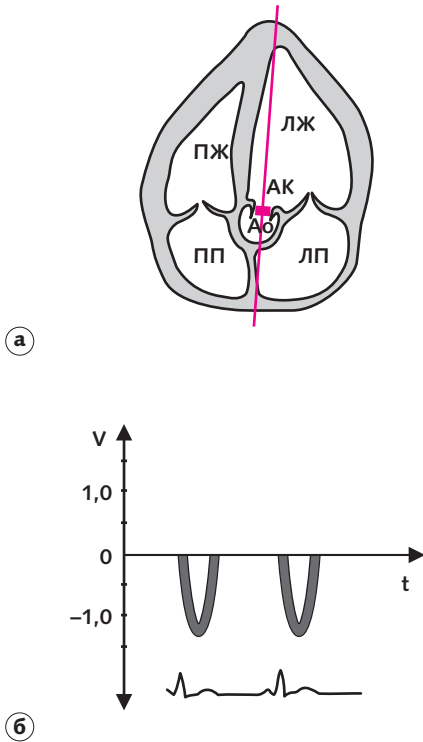
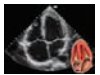


РИС. 4.2 Импульсно-волновая доплерэхокардиография. **(а)** Схематически показана пятикамерная позиция из апикального доступа. Контрольный объем установлен вблизи створок аортального клапана. **(б)** Схема спектрограммы трансаортального потока. **(в)** Спектрограмма ламинарного трансаортального потока в норме. t — время; V — скорость кровотока; АК — аортальный клапан; Ао — аорта; ЛЖ — левый желудочек; ЛП — левое предсердие; ПЖ — правый желудочек; ПП — правое предсердие.

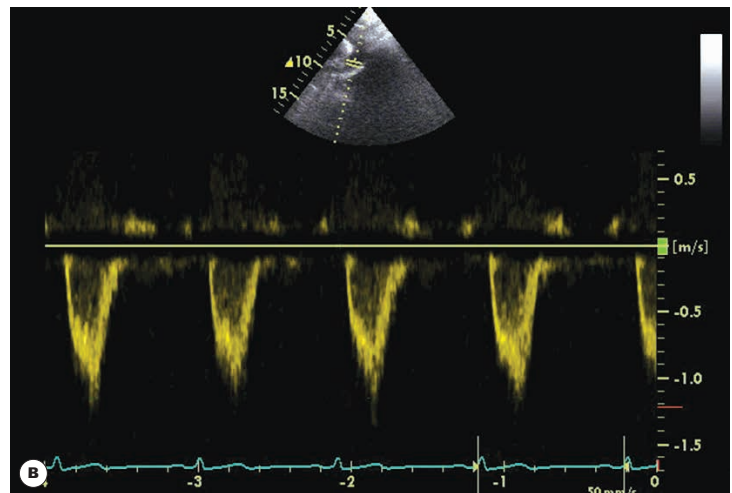
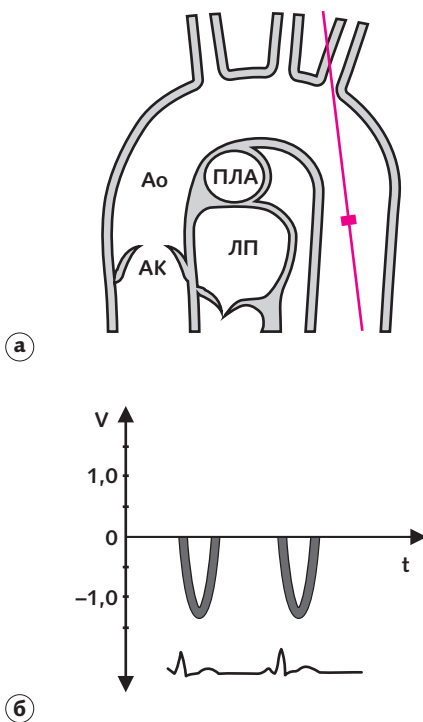


РИС. 4.3 Импульсно-волновая доплерэхокардиография. **(а)** Схематически показана позиция по длинной оси аорты из супрастерального доступа. Контрольный объем установлен в нисходящем отделе аорты. **(б)** Схема спектрограммы потока в нисходящем отделе аорты. **(в)** Спектрограмма ламинарного потока в нисходящем отделе аорты в норме. t — время; V — скорость кровотока; АК — аортальный клапан; Ао — аорта; ЛП — левое предсердие; ПЛА — правая легочная артерия.

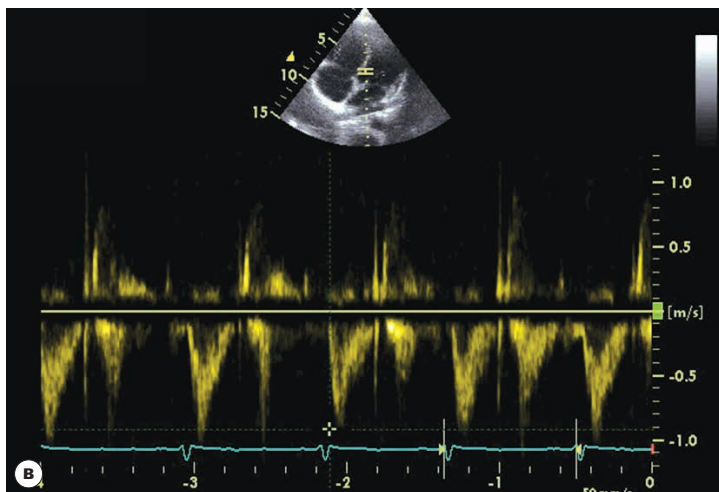
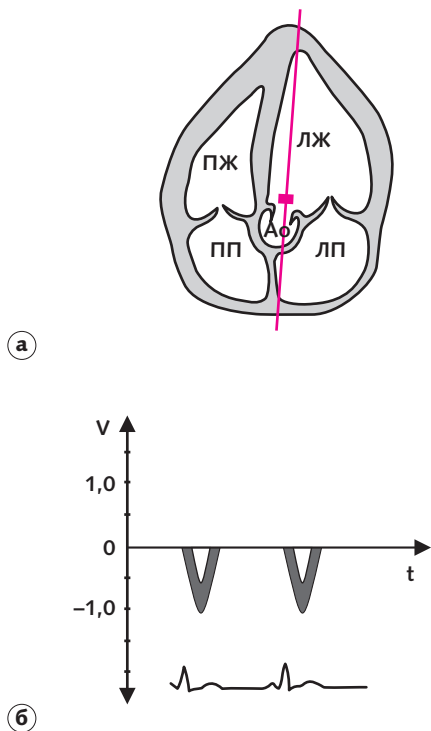


РИС. 4.4 Импульсно-волновая доплерэхокардиография. **(а)** Схематически показана пятикамерная позиция из апикального доступа. Контрольный объем установлен в выносящем тракте левого желудочка. **(б)** Схема спектрограммы потока в выносящем тракте левого желудочка. **(в)** Спектрограмма ламинарного потока в выносящем тракте левого желудочка в норме. t — время; V — скорость кровотока; Ао — аорта; ЛЖ — левый желудочек; ЛП — левое предсердие; ПЖ — правый желудочек; ПП — правое предсердие.

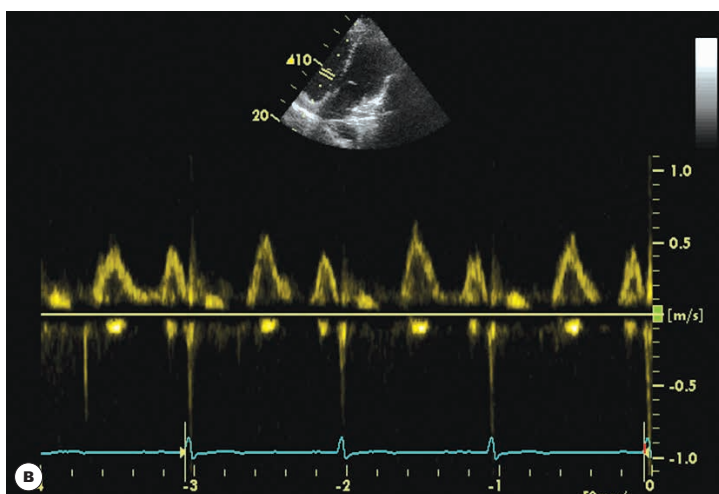
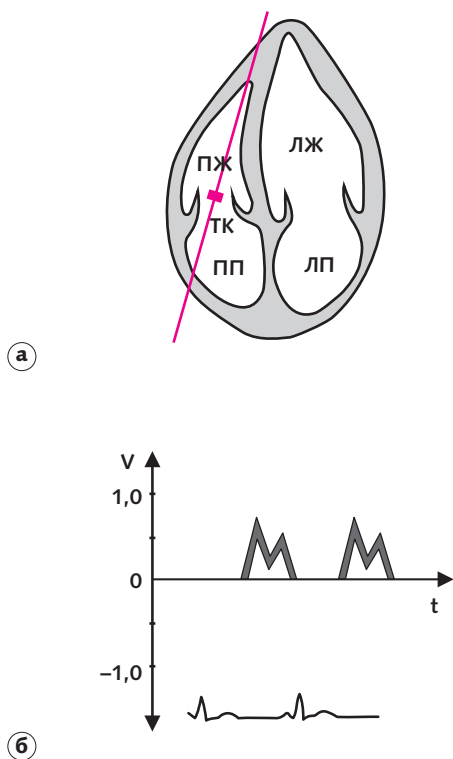
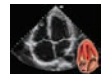


РИС. 4.5 Импульсно-волновая доплерэхокардиография. **(а)** Схематически показана четырехкамерная позиция из апикального доступа. Контрольный объем установлен между створками трикуспидального клапана. **(б)** Схема спектрограммы транстрикуспидального потока. **(в)** Спектрограмма ламинарного транстрикуспидального потока в норме. t — время; V — скорость кровотока; ЛЖ — левый желудочек; ЛП — левое предсердие; ПЖ — правый желудочек; ПП — правое предсердие; ТК — трикуспидальный клапан.



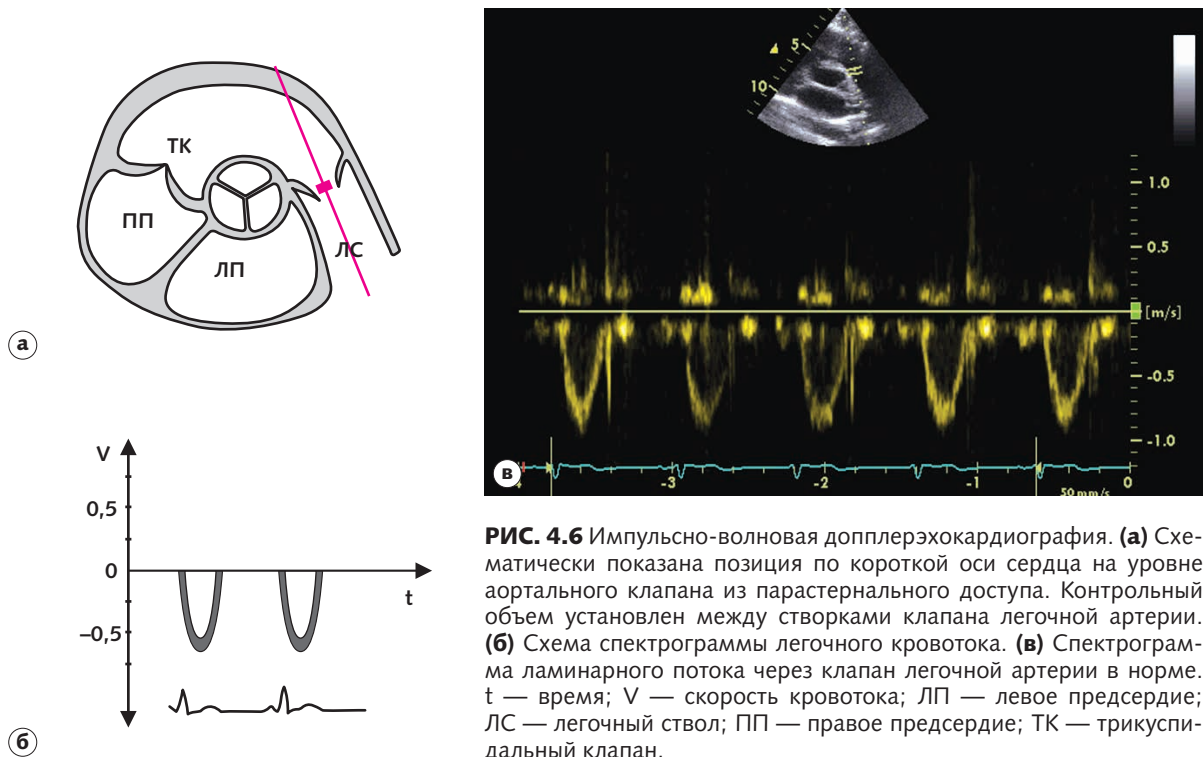
оси сердца на уровне аортального клапана формируется спектрограмма в виде равнобедренного треугольника. Пик скорости кровотока смещен в середину фазы систолы. Максимальная скорость легочного кровотока у взрослых составляет 0,6–0,9 м/сек (рис. 4.6).

Получить спектрограмму потока в легочных венах возможно из апикального доступа в четырехкамерной позиции. Контрольный объем устанавливают в левом предсердии вблизи впадения легочных вен. Кровоток в легочных венах состоит из систолической волны (S), диастолической волны (D) и предсердной волны (A), которая соответствует систоле предсердия. Предсердная волна имеет ретроградное направление (рис. 4.7).

Средняя скорость и диапазон скоростей нормального внутрисердечного кровотока у взрослых и детей представлены в табл. 4.1. Однако измерение высоких скоростей внутрисердечного кровотока с помощью импульсно-волновой доплерэхокардиографии не-

возможно, что связано с пределом Найквиста. При скорости кровотока, превосходящей предел Найквиста, спектрограмма искажается, в результате не удастся объективно измерить абсолютную скорость кровотока. В таких ситуациях следует использовать непрерывно-волновую доплерэхокардиографию.

Непрерывно-волновая доплерэхокардиография основана на феномене множественности уровней отражения сигнала. При непрерывно-волновой доплерэхокардиографии один пьезокристалл посылает ультразвук, другой – принимает отраженный сигнал, который несет информацию о кровотоке, находящемся вдоль всего ультразвукового луча. Непрерывно-волновая доплерэхокардиография позволяет определять значительный сдвиг частот, что дает возможность измерять очень высокие скорости кровотока. Основным недостатком является невозможность точной локализации исследуемого кровотока. Спектрограмма высокоскоростного турбу-



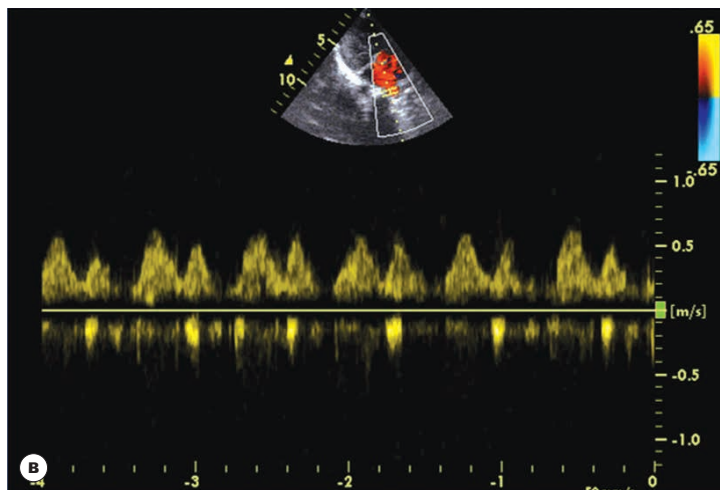
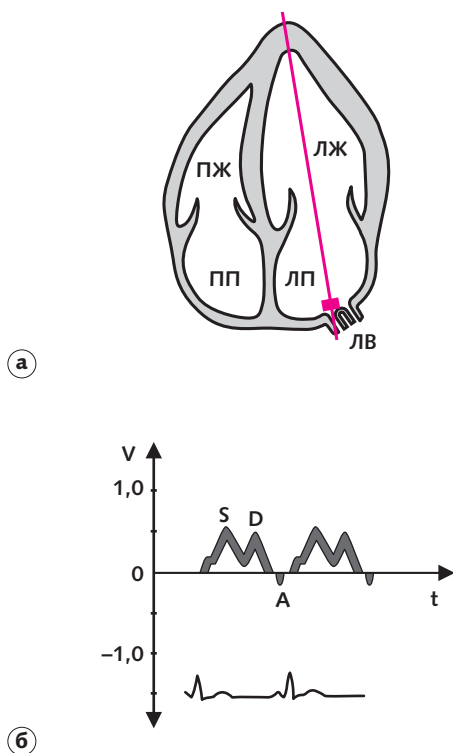


РИС. 4.7 Импульсно-волновая доплерэхокардиография. (а) Схематически показана четырехкамерная позиция из апикального доступа. Контрольный объем установлен в левом предсердии вблизи впадения легочных вен. (б) Схема спектрограммы потока в легочных венах. А — предсердная волна; D — диастолическая волна; S — систолическая волна; t — время; V — скорость кровотока; ЛВ — легочные вены; ЛЖ — левый желудочек; ЛП — левое предсердие; ПЖ — правый желудочек; ПП — правое предсердие.

ТАБЛИЦА 4.1

Средняя скорость и диапазон скоростей нормального внутрисердечного кровотока по данным импульсно-волновой доплерэхокардиографии у взрослых и детей [186]

Локализация	Взрослые		Дети	
	средняя скорость (м/сек)	диапазон скоростей (м/сек)	средняя скорость (м/сек)	диапазон скоростей (м/сек)
Митральный клапан	0,9	0,4–1,3	1,0	0,8–1,2
Трикуспидальный клапан	0,5	0,3–0,7	0,6	0,5–0,8
Клапан легочной артерии	0,75	0,6–0,9	0,9	0,7–1,1
Аорта	1,35	1,0–1,7	1,5	1,2–1,8
Выносящий тракт левого желудочка	0,9	0,7–1,1	1,0	0,7–1,2

лентного потока через перимембранозный дефект межжелудочковой перегородки при непрерывно-волновой доплерэхокардиографии представлена на **рис. 4.8**.

С помощью непрерывно-волновой доплерэхокардиографии определяют градиент давления по разные стороны обструкции. Гра-

диент давления вычисляют по упрощенному уравнению Бернулли:

$$\Delta P = 4V_{\max}^2,$$

где ΔP — градиент давления, $V_{\max}$ — максимальная скорость кровотока (дистальнее обструкции), 4 — коэффициент, корректирую-

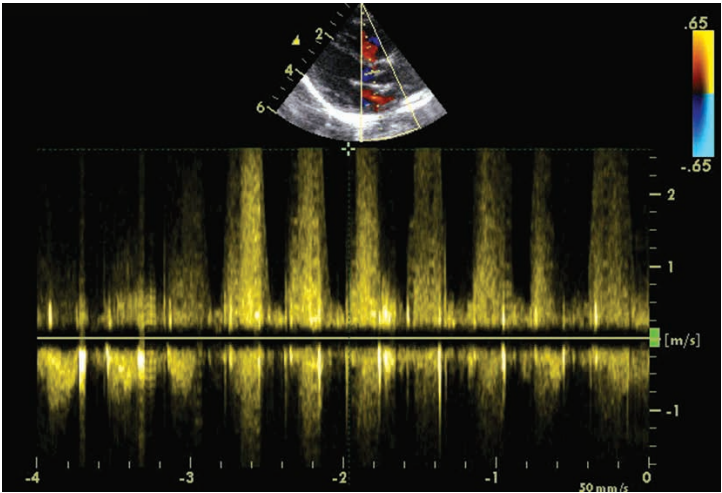


РИС. 4.8 Непрерывно-волновая доплерэхокардиография, парастеральный доступ, позиция по длинной оси левого желудочка. Высокоскоростной турбулентный поток через перимембранный дефект межжелудочковой перегородки.

щий несовпадение единиц измерения в левой и правой частях уравнения.

При высоких скоростях (более 1,2 м/сек проксимальнее места обструкции) используют более сложное уравнение:

$$\Delta P = 4(V_1^2 - V_2^2),$$

где ΔP — градиент давления, V_1 — скорость кровотока дистальнее обструкции, V_2 — скорость кровотока проксимальнее обструкции, 4 — коэффициент, корректирующий несовпа-

дение единиц измерения в левой и правой частях уравнения.

В **табл. 4.2** представлены нормальные доплеровские показатели скорости потока через аортальный клапан, клапан легочной артерии, в выносящем тракте левого желудочка, в выносящем тракте правого желудочка, а также степени отклонения от нормы, в **табл. 4.3** приведены нормальные доплеровские показатели кровотока через митральный и трикуспидальный клапаны.

ТАБЛИЦА 4.2
Нормальные доплеровские показатели скорости кровотока и степень отклонения от нормы [218]

Параметры	Норма (м/сек)	Степень отклонения от нормы		
		легкая	умеренная	тяжелая
Максимальная скорость трансаортального потока	< 2,0	2,0–2,9	3,0–3,9	≥ 4,0
Максимальная скорость потока через клапан легочной артерии	0,6–0,9	1,0–3,5	3,6–4,4	≥ 4,5
Максимальная скорость потока в ВТЛЖ	0,7–1,1			
Максимальная скорость потока в ВТПЖ	0,6–0,9			

ВТЛЖ — выносящий тракт левого желудочка; ВТПЖ — выносящий тракт правого желудочка.

**ТАБЛИЦА 4.3****Нормальные доплеровские показатели кровотока через атриовентрикулярные клапаны [218]**

Параметры	Норма	
	возраст < 50 лет	возраст > 50 лет
Митральный клапан		
Максимальная E (см/сек)	58–86	48–86
Максимальная A (см/сек)	30–50	45–73
E/A	1,3–2,5	0,9–1,4
DT _E (мсек)	159–199	174–276
Трикуспидальный клапан		
Максимальная E (см/сек)	34–68	33–49
Максимальная A (см/сек)	19–35	25–41
E/A	1,5–2,5	0,9–1,7
DT _E (мсек)	166–210	175–221

A — скорость кровотока во время позднего диастолического наполнения; DT_E — время замедления кровотока во время раннего диастолического наполнения; E — скорость кровотока во время раннего диастолического наполнения.