

Курс эхокардиографии

Франк А. Флаксампф

Перевод с немецкого

*Под общей редакцией
академика РАН, профессора **В.А.Сандрикова***



Общий курс

1	Значение ЭхоКГ в кардиологии и показания к эхокардиографическому исследованию	20		
1.1	Роль ЭхоКГ в клинике внутренних болезней и в кардиологии	20		
1.2	Показания к ЭхоКГ	21		
	Наиболее частые показания	21		
	Необычные клинические ситуации, при которых показана ЭхоКГ	21		
	Специальные показания к проведению чреспищеводной ЭхоКГ	22		
	Систематическая или прицельная ЭхоКГ?	22		
	Портативные эхокардиографы	23		
1.3	Значение эхокардиографических данных в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний	23		
2	Физические и технические основы	25		
2.1	Ультразвук	25		
2.2	Эхокардиографы	26		
	Принципы ЭхоКГ	26		
	Генерирование ультразвука эхокардиографом	29		
			Импульсный ультразвук	29
			Прием и отображение ультразвукового сигнала	30
			Разрешение ультразвукового аппарата	31
			Глубина проникновения	31
			Фокус	32
2.3	ЭхоКГ	33		
	Исследование в М-режиме	33		
	Двухмерная ЭхоКГ	33		
	Трехмерная ЭхоКГ	35		
	Допплеровское исследование	37		
	Непрерывно-волновая доплерография (continuous wave, CW)	39		
	Импульсно-волновая доплерография (pulsed wave, PW)	39		
	Цветовое доплеровское картирование	40		
	Тканевая доплерография	42		
	Энергетическая доплерография	43		
2.4	Хранение эхокардиографических данных	44		
2.5	Артефакты	45		

Артефакты, связанные с неадекватным фокусированием («артефакт ширины луча» или боковых лепестков)	45	3.2	Выполнение эхокардиографического исследования	74
Акустическая тень	45		Акустическое окно	74
Ревверберационные артефакты	45		Компоненты эхокардиографического исследования	75
Артефакты ближнего поля	47		Исследование в М-режиме	75
Щелчки	47		Допплерография	75
2.6 Влияние диагностического ультразвука на ткани	47		Классификация плоскостей сканирования	75
2.7 Основные гидродинамические понятия	48		Ориентация датчика и сектора сканирования	77
Принцип непрерывности струи	49		Сканирование из парастернальной позиции вдоль длинной оси (DVD: видео 3-1)	77
Расчет ударного объема крови, протекающей через клапан	49		Положение датчика	78
Расчет объема регургитации и площади отверстия несостоятельного клапана методом проксимальной конвергенции потока	49		Визуализируемые структуры	78
Расчет градиентов давления по скоростям потока крови: уравнение Бернулли	50		Исследование в М-режиме	79
Ламинарный и турбулентный кровотоки	52		Двухмерное исследование	88
			Допплеровское исследование	89
3 Техника исследования	53		Сканирование из парастернальной позиции вдоль короткой оси	90
3.1 Предпосылки	53		Сканирование из парастернальной позиции вдоль короткой оси на уровне основания сердца (DVD: видео 3-2)	90
Помещение	53		Сканирование из парастернальной позиции вдоль короткой оси сердца: получение среза на уровне митрального клапана (DVD: видео 3-3 и 3-9)	94
Положение больного	53		Сканирование из парастернальной позиции вдоль короткой оси сердца на уровне сосочковых мышц (DVD: видео 3-4)	95
Настройка ультразвукового аппарата	56		Сканирование из парастернальной позиции вдоль короткой оси на уровне верхушки сердца	95
Параметры настройки для получения изображения	56		Сканирование из парастернальной позиции вдоль длинной оси приносящего тракта ПЖ	96
Регулируемые параметры двухмерного изображения	59		Апикальные срезы	96
Настройка при исследовании в М-режиме	63		Сканирование из апикальной четырехкамерной позиции (DVD: видео 3-5)	97
Настройка при доплеровском исследовании	63		Сканирование из апикальной позиции в плоскости «пяти камер»	100
Как практически настроить ультразвуковой аппарат	67		Сканирование из апикальной двухкамерной позиции (DVD: видео 3-6)	101
Документирование результатов исследования	67			
Распечатка результата	67			
Видеозапись	68			
Цифровые носители информации	68			
Цифровая эхолаборатория	69			
Исследование	69			
Примеры подробного эхокардиографического заключения	71			

Сканирование из апикальной позиции вдоль длинной оси (DVD: видео 3-7)	102	Сканирование из субкостальной позиции вдоль короткой оси	106
Сканирование из субкостальной позиции	103	Супрастернальное акустическое окно (DVD: видео 3-8)	106
Сканирование из субкостальной четырёхкамерной позиции	103	Правое парастернальное окно	107



Специальный курс

4	Левый желудочек и кардиомиопатии	110	
4.1	ЛЖ: глобальные и региональные изменения	110	
	Функциональная анатомия	110	
	Эхокардиографическая морфология и оценка функции	110	
	Плоскости сканирования	112	
	Сосочковые мышцы	115	
	Сегменты желудочковой стенки	115	
	Толщина стенки желудочков и масса миокарда	116	
	Глобальная систолическая функция	119	
	Снижение сократительной функции ЛЖ	125	
	Дифференциальный диагноз	125	
	Оценка диастолической функции	125	
	Снижение регионарной систолической функции: нарушение подвижности стенки ЛЖ	128	
	Прочие ограниченные патологические изменения и добавочные структуры	134	
	Тромбы (DVD: видео 4-4)	134	
	Другие добавочные структуры	137	
	Патологические изменения выносящего тракта ЛЖ	138	
	Частые ошибки при ЭхоКГ	138	
	Ошибки измерения и неправильная оценка результатов измерения	140	
	ЭхоКГ трансплантированного сердца	140	
	Приложение	140	
4.2	Кардиомиопатии	142	
	Классификации	142	
	Дилатационная кардиомиопатия (DVD: видео 4-1–4-4)	143	
	Эхокардиографическая дифференциальная диагностика дилатационной кардиомиопатии	145	
	Гипертрофическая кардиомиопатия (DVD: видео 4-5 и 4-6)	145	
	Гипертрофическая обструктивная кардиомиопатия	145	
	Эхокардиографическая дифференциальная диагностика гипертрофической кардиомиопатии	149	
	Рестриктивная кардиомиопатия (DVD: видео 2-1, 4-10, 4-11)	150	
	Эхокардиографическая дифференциальная диагностика рестриктивной кардиомиопатии	150	

5	Митральный клапан	152	Информативность ЭхоКГ при аортальном стенозе	192	
5.1	Функциональная анатомия	152	Аортальная недостаточность (DVD: видео 6-3 и 6-4)	192	
5.2	Эхокардиографическая оценка митрального клапана	154	Оценка степени тяжести	196	
	Морфологическая оценка	154	Проблемы, которые предстоит решить	197	
	Плоскости сканирования	155	Информативность ЭхоКГ при аортальной недостаточности	197	
	Оценка функции	155	Инфекционный эндокардит с поражением аортального клапана (DVD: видео 6-5)	198	
	Допплеровское исследование ...	157			
5.3	Болезни митрального клапана	158	7	Левое предсердие	200
	Дегенеративные изменения митрального клапана	158	7.1	Функциональная анатомия	200
	Пролапс митрального клапана (DVD: видео 5-1)	158	7.2	Эхокардиографическая морфология	202
	Инфекционный эндокардит (DVD: видео 5-2)	161	7.3	Межпредсердная перегородка	203
	Абактериальные эндокардиты	165		Легочные вены и профиль скоростей кровотока по легочным венам	203
	Митральный стеноз (DVD: видео 5-3–5-5)	166		Ушко ЛП	205
	Морфологические изменения ...	166	7.4	Патологические изменения	205
	Допплеровское исследование ...	169		Увеличение ЛП	205
	Митральная недостаточность (DVD: видео 5-4, 5-6–5-8)	171		Тромбоз и спонтанное эхоконтрастирование	206
	Патофизиология	171		Кардиоверсия	207
	Морфологические изменения ...	172		Персистирующая левая верхняя полая вена	209
	Оценка тяжести митральной недостаточности	173		Опухоли	209
	Хирургические аспекты	174		Трехпредсердное сердце	209
	Врожденные пороки	178			
5.4	Профиль скорости кровотока и диастолическая функция ЛЖ	178	8	Правый желудочек, клапан легочной артерии и легочная артерия	211
5.5	Наиболее часто допускаемые ошибки	178	8.1	Функциональная анатомия	211
				ПЖ	211
6	Аортальный клапан	180		Клапан легочной артерии	211
6.1	Функциональная анатомия	180		Легочная артерия	211
6.2	Эхокардиографическая оценка аортального клапана	180	8.2	Эхокардиографическая морфология	211
	Морфологические изменения	180		ПЖ	211
	Функция аортального клапана: доплеровское исследование	184		Плоскости сканирования	211
	Определение ударного объема ЛЖ	185		Клапан легочной артерии и легочная артерия	215
6.3	Болезни аортального клапана	186	8.3	Заболевания ПЖ	218
	Дегенеративные изменения аортального клапана	186		Дилатация ПЖ	218
	Аортальный стеноз (DVD: видео 6-1 и 6-2)	186		Гипертрофия ПЖ	218
	Расчет максимального и среднего градиента	187		Снижение систолической функции ПЖ	218
	Определение площади отверстия аортального клапана	189		Ишемическая болезнь сердца	218
				Легочная гипертензия (DVD: видео 8-1 и 8-2)	219

	Эмболия легочной артерии (острая легочная гипертензия) ..	219		Открытое овальное окно (DVD: видео 9-3, 14-14)	236
	Хроническая легочная гипертензия	220		Дефекты межпредсердной перегородки	237
	Кардиомиопатии	221		Дефект межпредсердной перегородки типа ostium secundum (DVD: видео 9-2)	238
	Добавочные структуры в ПЖ	222		Дефект межпредсердной перегородки типа ostium primum	238
	Дефекты межжелудочковой перегородки	222		Дефект венозного синуса	240
	Врожденные дефекты межжелудочковой перегородки	222		Аневризма межпредсердной перегородки (DVD: видео 9-1)	240
	Приобретенные дефекты межжелудочковой перегородки (DVD: видео 4-12–4-14)	223	9.5	Патологические изменения в ПП и нижней полой вене	241
8.4	Поражение клапана легочной артерии	224		Добавочные структуры в ПП: тромбы, опухоли и инородные тела	241
	Стеноз клапана легочной артерии	224		Отсутствие инспираторного коллапса нижней полой вены	243
	Недостаточность клапана легочной артерии	225			
8.5	Другие врожденные пороки с патологическим сбросом крови ..	225			
	Открытый артериальный проток ..	225			
	Тетрада Фалло	227			
	Полная транспозиция магистральных сосудов	228			
9	Правое предсердие, межпредсердная перегородка и трехстворчатый клапан	229	10	Аорта	244
9.1	Функциональная анатомия	229	10.1	Функциональная анатомия	244
	ПП	229	10.2	Эхокардиографическая морфология	244
	Межпредсердная перегородка	230		Корень аорты и восходящая аорта	244
	Трехстворчатый клапан	231		Дуга и нисходящий отдел аорты	245
9.2	Эхокардиографическая морфология	232		Наиболее важные данные	248
9.3	Поражение трехстворчатого клапана	233	10.3	Заболевания аорты	248
	Стеноз трехстворчатого клапана ..	233		Расширение аорты и аневризма	248
	Трикуспидальная недостаточность	233		Атеросклероз	251
	Определение систолического давления в легочной артерии по скорости обратного кровотока через несостоятельный трехстворчатый клапан	235		Расслоение стенки аорты (DVD: видео 10-1, 14-4)	251
	Эндокардит трехстворчатого клапана (DVD: видео 5-2)	235		Синдром Марфана	254
	Болезнь Эбштейна	236		Травмы	254
9.4	Комбинированные пороки со сбросом крови: открытое овальное окно и дефект межпредсердной перегородки	236		Стеноз перешейка аорты	254
				Аортит	254
			11	Перикард	256
			11.1	Функциональная анатомия	256
			11.2	Эхокардиографическая морфология	256
			11.3	Заболевания перикарда	257
				Скопление жидкости в полости перикарда (DVD: видео 11-1–11-6)	257
				Тампонада сердца (DVD: видео 11-4 и 11-5)	259
				Роль ЭхоКГ при выполнении пункции перикарда	262
				Констриктивный перикардит	263
				Другие заболевания	264



Заключительный курс

12 ЭхоКГ в неотложной кардиологии	268		
12.1 Показания к неотложному исследованию	268		
Основные симптомы	268		
Методические особенности	268		
12.2 Эхокардиографический дифференциальный диагноз по основным симптомам	269		
12.3 Показания к неотложному исследованию	270		
Поиск источника тромбоэмболического синдрома ...	270		
Другие неотложные состояния	270		
13 ЭхоКГ у больных с клапанными протезами сердца	271		
13.1 Трудности при выполнении ЭхоКГ у больных с поражением клапанных протезов сердца	271		
13.2 Типы клапанных протезов	272		
Имеется ли недостаточность клапанного протеза?	274		
Имеется ли обструкция клапанного протеза?	276		
Имеются ли признаки инфекционного эндокардита?	277		
			Имеются ли тромбоз или паннус клапанного протеза?
		13.3 Особенности клапанных протезов различного типа	278
		Протезы митрального клапана (DVD: видео 13-1 и 13-2)	278
		Протезы аортального клапана (DVD: видео 13-3)	280
		Протезы трехстворчатого клапана	280
		14 Чреспищеводная ЭхоКГ	281
		14.1 Технические основы	281
		Принцип чреспищеводной ЭхоКГ; датчик и плоскости сканирования	281
		Показания, противопоказания и меры предосторожности	284
		14.2 Выполнение чреспищеводной ЭхоКГ	289
		Подготовка и введение эхоскопа ..	289
		Типичное исследование	291
		Трансгастральное исследование	292
		Плоскости сканирования при чреспищеводной ЭхоКГ	293
		Визуализация грудной аорты	297
		15 Стресс-ЭхоКГ	299
		15.1 Основы стресс-ЭхоКГ	299
		Принцип стресс-ЭхоКГ	299

Изменение систолической функции ЛЖ при нагрузке в норме	300	16.2 Исследование с помощью эхоконтрастных веществ, не проходящих через легочные капилляры	309
Показания, противопоказания и меры предосторожности	300	Диагностика патологического сброса крови	309
15.2 Проведение нагрузочной пробы ..	302	Формы сообщения между правыми и левыми отделами сердца	309
Визуализация и интерпретация результатов исследования	302	Сброс крови на уровне предсердий с перетоком эхоконтрастного вещества справа налево (дефект межпредсердной перегородки, открытое овальное окно)	310
Меры, принимаемые для улучшения изображения	305	Другие варианты сброса крови ..	311
Способы нагрузки миокарда	305	Персистирующая левая верхняя полая вена	311
Эргометрическая (физическая) нагрузка	305	Пункция перикарда под контролем контрастной ЭхоКГ	311
Фармакологическая нагрузка ..	305	Нежелательные эффекты при введении эхоконтрастного вещества	311
Оценка жизнеспособности миокарда	306	16.3 Исследование с помощью эхоконтрастных веществ, проходящих через легочные капилляры	312
15.3 Достоинства и недостатки стресс-ЭхоКГ	307		
16 Контрастная ЭхоКГ	308		
16.1 Технические основы	308		
Контрастные вещества для исследования правых отделов сердца	308		

Цели обучения

Настоящая книга в соответствии с принятой структурой курсов по ультразвуковой диагностике поделена на три раздела: общий, специальный и заключительный. Курсы обучения УЗИ в соответствии с Соглашением по ультразвуковому исследованию (1) учреждаются на основании ряда формальных критериев, в частности: количества часов, предусмотренных для обучения, количества обучающихся в группе, их квалификации и др. (см. гл. 1). Поэтому содержание излагается в общем виде и охватывает такие вопросы, как «показания к УЗИ, технические аспекты УЗИ, базовые знания, включая практические занятия». Специальный курс служит для «коррекции и улучшения техники исследования путем выполнения практических упражнений», в то время как заключительный курс призван «дополнить знания и умения» обучающихся и включает также разбор особых клинических ситуаций. В соответствии с этим в данной книге весь материал распределен между тремя большими разделами.

1. Общий курс

Общий курс включает основные вопросы:

- физические и технические основы ЭхоКГ, включая доплеровское исследование, различные его режимы, получение диагностической информации и ее хранение, а также понятия из области гидродинамики, необходимые для понимания метода доплерографии;
- показания к ЭхоКГ в целом и к чреспищеводной ЭхоКГ в частности;
- методика основных режимов исследования: М- и В-режимов и доплерографии, включая настройку ультразвукового ап-

парата, документирование результатов исследования и наиболее частые и серьезные ошибки.

2. Специальный курс

Специальный курс включает следующую информацию:

- диагностика поражений различных структур сердца, в частности желудочков, клапанов и др., методика исследования этих структур и ее особенности при выявлении патологии;
- наиболее важные в клиническом отношении патологические изменения и их дифференцирование от нормальной картины.

3. Заключительный курс

Заключительный курс затрагивает специальные темы и методы, которые в рамках данной книги подробно обсудить невозможно, но основы и проблематику которых должен знать каждый, кто выполняет ЭхоКГ. Это:

- исследование клапанных протезов;
- чреспищеводная ЭхоКГ;
- стресс-ЭхоКГ;
- контрастная ЭхоКГ;
- эхокардиографическая диагностика типичных неотложных состояний, наблюдающихся в практике кардиолога и интерниста.

(1. Qualifikationsvoraussetzungen gemäß §135 Abs. 2 SGBV zur Durchführung von Untersuchungen in der Ultraschalldiagnostik (Ultraschall-Vereinbarung) vom 10.2.1993 in der Fassung vom 20.11.1995.)



Общий курс

- 1 Значение ЭхоКГ в кардиологии и показания к эхокардиографическому исследованию
- 2 Физические и технические основы
- 3 Техника исследования

1 Значение ЭхоКГ в кардиологии и показания к эхокардиографическому исследованию

Общие сведения

Обсуждается место ЭхоКГ в клинике внутренних болезней, и в частности в кардиологии. Рассматриваются показания к систематической и прицельной ЭхоКГ, к чреспищеводной ЭхоКГ, а также применение портативных ультразвуковых аппаратов.

1.1 Роль ЭхоКГ в клинике внутренних болезней и в кардиологии

ЭхоКГ – важнейший неинвазивный метод медицинской визуализации, применяемый кардиологами в повседневной практической деятельности. Относительная дешевизна и мобильность ультразвуковых аппаратов, а также отсутствие ионизирующей лучевой нагрузки на больного, присущей рентгенологическому и другим высокоэнергетическим методам лучевой диагностики, делают ЭхоКГ исследованием, применимым повсеместно, в том числе у постели больного, и не требующим специально оборудованного помещения, как, например, магнитно-резонансная томография (МРТ), которая наиболее близка к ЭхоКГ по своей информативности.

Базовые знания по ЭхоКГ нужны не только кардиологам, но и терапевтам. Некоторые несердечные заболевания, например острая почечная недостаточность, карциноидный синдром, амилоидоз, имеют классические кардиологические проявления (например,

скопление жидкости в полости перикарда, фиброз клапанного аппарата правых отделов сердца, а также рестриктивная кардиомиопатия), которые можно выявить с помощью ЭхоКГ. Немало больных, у которых при поступлении по скорой помощи в терапевтические отделения подозревают сердечную патологию – от острой сердечной недостаточности и эмболии легочной артерии до инфаркта миокарда. Во всех этих случаях ЭхоКГ может подсказать правильный диагноз.

В отделениях интенсивной терапии некардиологического профиля, которые ориентированы на внутренние заболевания, а также в междисциплинарных отделениях интенсивной терапии врачи ежедневно сталкиваются с проблемами, решение которых требует срочного выполнения ЭхоКГ. Такая нагрузка часто физически утомительна для врача-исследователя.

Эхокардиографическая диагностика между тем вышла за пределы собственно лаборатории ультразвуковой диагностики; наряду с применением в отделениях интенсивной терапии и отделениях неотлож-

ной помощи к ней все чаще прибегают при кардиохирургических, а подчас и общехирургических вмешательствах. Поэтому все более актуальным становится вопрос обучения и квалификации врача, выполняющего исследование, так как ЭхоКГ, в отличие от электрокардиографии (ЭКГ) и, пожалуй, большинства инвазивных диагностических исследований, существенно зависит от профессиональной подготовки врача, которая, как и в случае специалистов по инвазивной кардиологии, требует длительного времени.

В немецкоговорящих странах не только формулирование заключения, но и сам процесс получения эхокардиограмм входят, как правило, в компетенцию врача. Это относится также к чреспищеводной ЭхоКГ. Стресс-ЭхоКГ также требует присутствия врача. С другой стороны, получение эхокардиографического изображения при трансторакальном УЗИ (но не клиническую оценку получаемых данных) можно доверить хорошо обученному техническому или среднему медперсоналу, хотя и в этом случае необходимо постоянное присутствие врача. Однако в немецкоговорящих странах не проводят семинаров и других форм подготовки неврачебного персонала по методике проведения УЗИ.

Минимальные требования к подготовке врача-специалиста в данной области сформулированы в методических рекомендациях по ЭхоКГ («Qualitätsleitlinien in der Echokardiografie», Erbel et al., 1997) Немецкого кардиологического общества и в Соглашении по ультразвуковому исследованию Ассоциации врачей больничных касс (Qualitätsvoraussetzungen, 1995).

1.2 Показания к ЭхоКГ

Поскольку ЭхоКГ представляет собой необременительный высокоинформативный метод диагностики, показанием к ее проведению является широкий спектр сердечно-сосудистых заболеваний. Противопоказаний к данному методу исследования нет. С помощью ЭхоКГ практически при всех сердечно-сосудистых заболеваниях можно получить важную, а часто даже неожиданную диагностическую информацию. Однако в связи с тем, что исследование длится

долго и требует от врача навыков и опыта, а также для экономии средств больного показания сужают в разумных пределах. Подробнее показания и цели исследования обсуждаются в методических рекомендациях Американского кардиологического общества (ACC/AHA/ASE 2003 Guideline u. Douglas et al., 2008).

Наиболее частые показания

Не претендуя на исчерпывающий перечень показаний, назовем лишь наиболее частые:

- подозрение на сердечную недостаточность (одышка, которую трудно объяснить);
- необходимость оценить функцию желудочков сердца;
- выслушивание шума на сердце неясного генеза;
- подозрение на перенесенный инфаркт миокарда;
- подозрение на эндокардит;
- подозрение на кардиогенную эмболию;
- наблюдение в динамике больного с пороком сердца или с клапанным протезом сердца;
- подозрение на скопление жидкости в полости перикарда;
- подозрение на скопление жидкости в плевре.

Необычные клинические ситуации, при которых показана ЭхоКГ

ЭхоКГ из-за высокого отношения стоимость исследования–полезная информация не является составной частью обычного общего обследования больного или больного, по профилю патологии признанного при первичном осмотре некардиологическим.

ЭхоКГ в покое непригодна для выявления ишемической болезни сердца (ИБС), так как с ее помощью невозможно непосредственно оценить состояние коронарных артерий, а лишь удастся судить о нарушении амплитуды сокращений сегментов стенок желудочков, которое может появиться в результате образования рубца после инфаркта миокарда. Даже при выраженном трехсосудистом поражении при ЭхоКГ картина может оказаться нормальной, если

нет рубцовых изменений стенки желудочка. **Стресс-ЭхоКГ**, наоборот, в следующих случаях характеризуется высокой информативностью (см. гл. 15):

- диагностика ИБС;
- оценка прогноза жизни у больного, перенесшего инфаркт миокарда;
- необходимость выяснить функциональные проявления уже диагностированного стеноза коронарной артерии;
- оценка результатов реваскуляризации миокарда (с помощью операции коронарного шунтирования или рентгенохирургического вмешательства).

При повторном выполнении ЭхоКГ больным с сердечно-сосудистой патологией, которые получают длительную терапию, например больным с артериальной гипертензией (АГ), это исследование позволяет также оценить эффективность лечения. Хотя значение гипертрофии левого желудочка (ЛЖ) как признака, по которому можно судить о проводимой терапии, общепризнанно, возможность использования ее для расчета массы ЛЖ сомнительна из-за недостаточной воспроизводимости результатов измерений.

Подход, при котором любое нарушение мозгового кровообращения (инсульт) автоматически является показанием к ЭхоКГ, неэффективен. Лишь при действительно эмболическом инсульте такое исследование оправданно, особенно если в магистральных артериях шеи, которые снабжают кровью головной мозг, отсутствуют изменения, которыми можно было бы объяснить эмболию.

Специальные показания к проведению чреспищеводной ЭхоКГ

Если качество ультразвукового изображения при трансторакальной ЭхоКГ недостаточно, то в принципе показано выполнение чреспищеводной ЭхоКГ (см. гл. 14). Основанием для этого является более высокая чувствительность данного исследования, особенно при поражении клапанов сердца, имплантированных клапанных протезах, а также при патологических измене-

ниях в предсердиях восходящей и грудной аорте. Если выполнить трансторакальную ЭхоКГ бывает трудно, например при эмфиземе легких или при проведении искусственной вентиляции легких (ИВЛ), то и обычные задачи трансторакальной ЭхоКГ, например выяснение особенностей движения стенок желудочков, могут стать показанием к выполнению чреспищеводного исследования.

В некоторых случаях к чреспищеводной ЭхоКГ можно прибегнуть без предварительной трансторакальной ЭхоКГ, так как ожидаемый объем диагностической информации при этом исследовании больше, а если даже трансторакальную ЭхоКГ удастся выполнить, то чреспищеводное исследование всегда позволяет получить дополнительные важные детали, в частности, при:

- расслоении стенки аорты и травме аорты;
- подозрении на эндокардит, дисфункцию или тромбоз клапанного протеза;
- необходимости исключить тромб в левом предсердии (ЛП), ушке ЛП перед тем как выполнить кардиоверсию.

Систематическая или прицельная ЭхоКГ?

Для эхокардиографического исследования разработана стандартная полная программа (см. гл. 3). Следование этой программе позволяет методично и в полном объеме исследовать все структуры. Это отнимает у врача значительное время и силы: на полное эхокардиографическое исследование, включая и доплеровское, при благоприятных условиях уходит не менее 15 мин. При затруднительных условиях исследование длится намного дольше. Поэтому, особенно при непродолжительном повторном исследовании (например, когда надо проследить за динамикой перикардиального выпота), ограничиваются визуализацией лишь одной какой-то структуры, выполняя меньше ультразвуковых срезов. Из-за нехватки времени и в других случаях нередко приходится выполнять прицельную ЭхоКГ. Но при этом следует учесть, что существенно возрастает вероятность просмотреть другие изменения, которых врач не подозревает и которые сразу не бросаются в глаза. Ише-

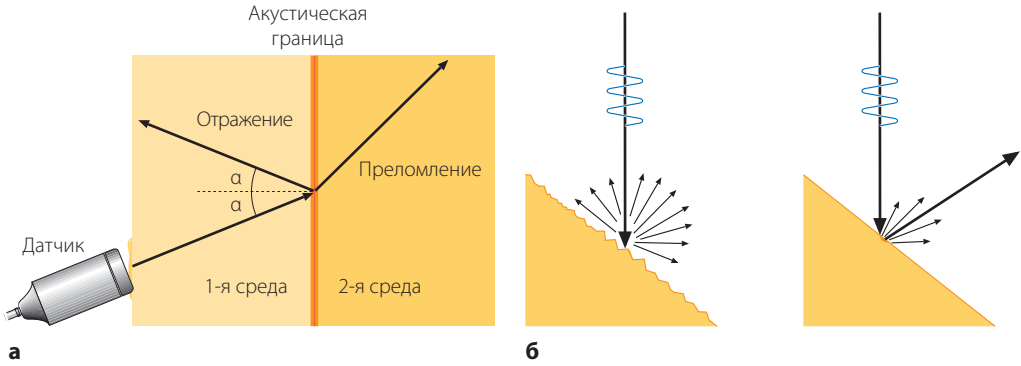


Рис. 2.2 Отражение, преломление, рассеяние.

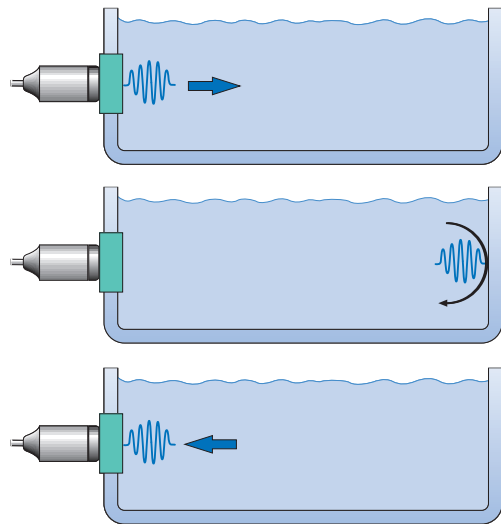
- а** Если звуковая волна попадает на границу раздела двух сред с различным акустическим импедансом, возникает ее отражение. Энергия отраженной волны тем выше, чем больше разность акустических импедансов двух сред. Угол падения равен углу отражения. Если волна падает перпендикулярно на граничную поверхность, часть энергии звука отражается, возвращаясь к источнику звука, а другая часть преломляется, т.е. распространяется дальше, изменив направление, которое зависит от соотношения акустических импедансов двух сред.
- б** Если отражающие поверхности по размеру меньше длины волны или если звуковая волна падает на неровную поверхность (*слева*), происходит рассеивание энергии волны по всем направлениям, в том числе и в направлении источника ультразвука (но в существенно меньшей степени, чем при отражении от поверхности, перпендикулярной направлению распространения волны). Сравните с ситуацией, изображенной на рисунке справа, где звуковая волна падает косо на гладкую поверхность и обратно датчика не достигает.

рабочей частоте датчика 2,5 МГц, которая особенно часто используется при ЭхоКГ, длина волны ультразвука равна 0,6 мм, а при рабочей частоте датчика 5 МГц она составляет 0,3 мм.

Гармонические колебания. При прохождении через ткани ультразвуковая волна

вызывает попеременное сжатие и разрежение среды и претерпевает соответствующие минимальные изменения скорости распространения и деформацию, которую можно расценивать как появление обертонов, или гармонических колебаний (**рис. 2.4**). Эти гармонические колебания,

Рис. 2.3 Распространение импульса ультразвуковой волны. Только «импульсный» режим работы датчика позволяет находить соответствие между воспринятыми волнами и глубиной залегания отражателя, что определяется временем распространения волны. Импульс, т.е. пакет волн, образующийся при кратковременной активации датчика, через некоторое время T возвращается к датчику в виде эхо-волны. На основании этих данных при известной скорости распространения волны с рассчитывается расстояние до отражающей поверхности (в данном случае – правая стенка емкости с жидкостью): $s \cdot T/2$ (цит. по: Weyman AE. Principles and Practice of Echocardiography. Lea & Febiger, Philadelphia, 2. Aufl. 1994).



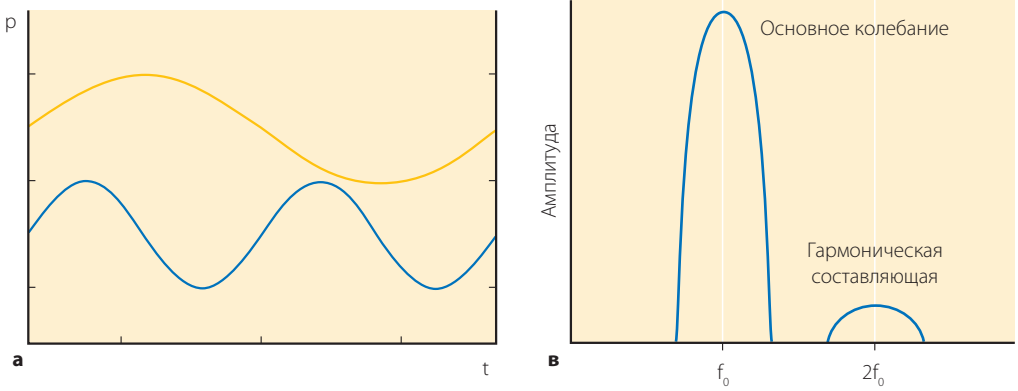
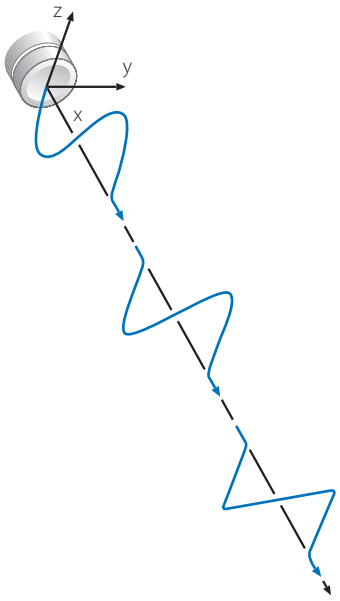
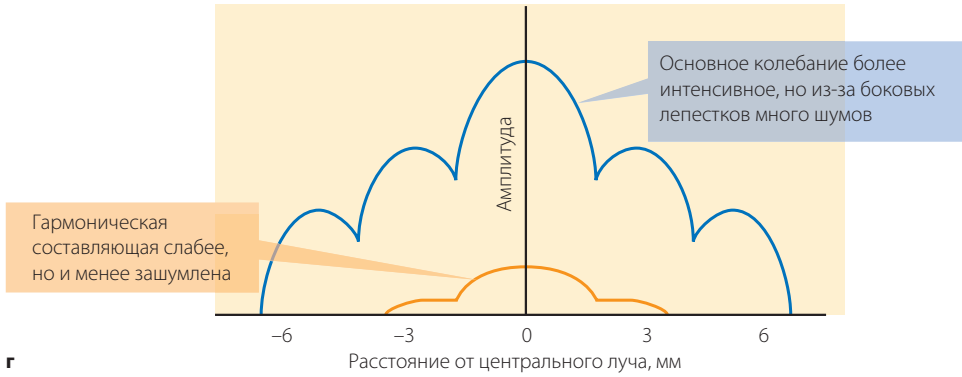


Рис. 2.4 Гармонические колебания.



- а** Схема основного колебания (*вверху*) и гармонической составляющей первого порядка (*внизу*) как синусоидальной функции давления от времени (например, регистрация давления в фиксированной точке, подвергающейся действию обеих волн). Гармоническая составляющая имеет частоту, в точности равную удвоенной частоте основных колебаний, и длину волны, равную половине длины волны этих колебаний.
- б** Схема, отражающая изменение основной волны при прохождении ее через ткани, которая из-за примешивания более высокочастотных колебаний деформируется и утрачивает строго синусоидальную форму: на ней появляются остроконечные пики и ложбины. Причиной такого искажения волны является небольшое увеличение скорости распространения при уплотнении ткани и уменьшение при разрежении (цит. по: Muir TG, Carstensen EL. Prediction of nonlinear acoustic effects at biomedical frequencies and intensities. *Ultrasound Med Biol* 1980; 6: 345–357; с разрешения).
- в** Упрощенный схематический частотный анализ ультразвуковой волны после прохождения ее через ткани. Наряду с частотным спектром основного колебания с частотой f_0 показана гармоническая составляющая первого порядка с частотой $2f_0$, амплитуда которой существенно меньше.
- г** Зависимость амплитуд основного и гармонического колебаний от расстояния до центрального луча. Видно, что амплитуда гармонической составляющей существенно меньше и значительно менее зашумлена из-за уменьшения боковых лепестков.

6



г

зультаты определения площади отверстия митрального клапана с помощью указанного способа вполне приемлемы.

Измерение максимальной скорости струи регургитации через трехстворчатый клапан с помощью непрерывно-волновой доплерографии (см. гл. 9) позволяет судить о степени тяжести легочной гипертензии, развившейся вследствие митрального стеноза.

Митральная недостаточность (DVD: видео 5-4, 5-6–5-8)

Митральная недостаточность может быть вызвана целым рядом заболеваний (табл. 5.5). Даже у людей со здоровым сердцем в 30% случаев отмечается минималь-

ная или незначительная митральная недостаточность, которая не имеет клинического значения.

Патофизиология

Недостаточность митрального клапана приводит к следующим последствиям:

- Общий объем крови, выбрасываемой сердцем с каждым его сокращением, дополнительно к эффективному объему должен включать еще и объем крови, регургитирующей в ЛП, что постепенно приводит к развитию хронической недостаточности насосной функции ЛЖ и ЛПП. Развивается порочный круг, который приводит к прогрессирующей недостаточности митраль-

Таблица 5.5 Формы, причины и эхокардиографическая картина митральной недостаточности

Форма	Причина	ЭхоКГ-картина
Острая		
Дегенеративная	Разрыв сухожильных хорд или сосочковой мышцы	«Молотящая» створка, визуализация разорванных сухожильных хорд или головок сосочковой мышцы
Обусловленная эндокардитом	Деструкция, характерная для эндокардита	«Молотящая» створка, перфорация, вегетации
Обусловленная нарушением функции клапанного протеза	Паравальвулярная протечка	Патологическая подвижность клапанного протеза
Ишемическая	Острая ишемия при ИБС	Острое расширение ЛЖ или нарушение подвижности желудочковой стенки
Хроническая		
Пролапс митрального клапана	Идиопатический, при синдроме Марфана и других заболеваниях соединительной ткани	Выпячивание паруса створок в ЛП, утолщение створок >5 мм при «классическом» пролапсе
Дегенеративная	Обызвествление створок и митрального кольца Разрыв сухожильных хорд	Признаки обызвествления, ограниченная подвижность створок «Молотящая» створка (одна), визуализация разорванных сухожильных хорд
Относительная, функциональная или ишемическая (при расширении ЛЖ)	Перенесенный инфаркт миокарда, дилатационная кардиомиопатия, аортальная недостаточность	Увеличение полости ЛЖ, расширение митрального кольца, смещение линии смыкания створок в апикальном направлении, неполное смыкание створок, ограничение подвижности одной или обеих створок при закрытии клапана, обусловленное эксцентрической тягой сосочковых мышц
Ревматическая	Ограничение подвижности створок	Митральный стеноз (куполообразное выбухание створки), утолщение створок, уплотнение створок, ограничение подвижности створок, укорочение и утолщение хордального аппарата

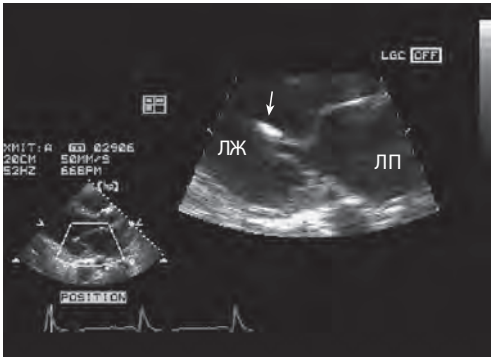
ного клапана вследствие расширения митрального кольца, особенно после появления мерцания предсердий.

- Уровень диастолического давления в ЛЖ и уровень давления (как диастолического, так и систолического) в ЛП повышается. При острой митральной недостаточности, возникающей, например, при разрыве сосочковой мышцы, происходит резкое повышение давления в ЛЖ, которое передается на легочные вены и малый круг кровообращения и вызывает развитие отека легких, несмотря на нормальную фракцию выброса ЛЖ (!). При выраженной хронической митральной недостаточности давление в малом круге также повышено (за исключением случаев терапии массивными дозами диуретиков).
- Постнагрузка и преднагрузка ЛЖ могут изменяться по-разному. В то время как при острой или умеренно выраженной хронической митральной недостаточности величина постнагрузки снижается в связи с тем, что кровь регургитирует в ЛП с низким давлением, при тяжелой митральной недостаточности картина иная. Из-за увеличения размера ЛЖ напряжение стенки в соответствии с законом Лапласа значительно возрастает (см. гл. 4), и нагрузка на каждое мышечное волокно миокарда увеличивается. Преднагрузка повышается как при острой, так и при хронической митральной недостаточности из-за регургитируемого объема крови. Поэтому острая митральная недостаточность приводит к повышению напряжения стенки во время диастолического наполнения и снижению постнагрузки. Оба этих фактора увеличивают фракцию выброса ЛЖ. При тяжелой хронической митральной недостаточности, наоборот, из-за повышенной постнагрузки сократительная способность миокарда продолжает снижаться, но это снижение «компенсируется» высокой преднагрузкой, что и поддерживает фракцию выброса на достаточно высоком уровне. Поэтому при выраженной митральной недостаточности даже фракция выброса на уровне нижней границы нормы (<60%) уже расценивается как признак систолической дисфункции.

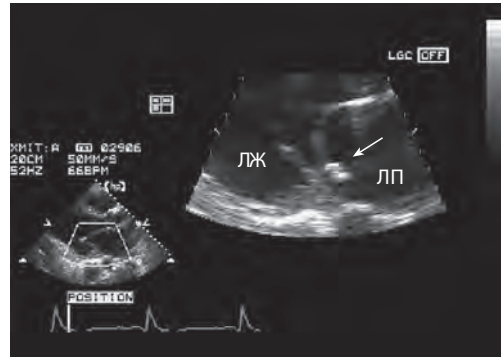
Морфологические изменения

В зависимости от морфологических особенностей выделяют несколько форм митральной недостаточности, которые имеют характерную эхокардиографическую картину (см. **рис. 5.4, 5.6–5.8**):

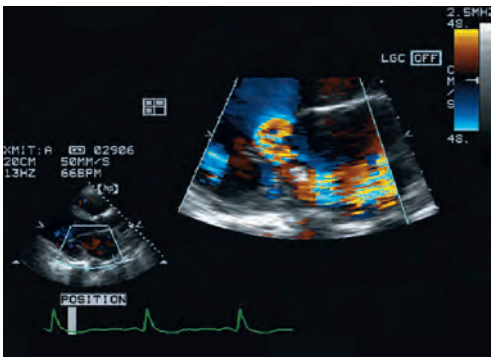
- Пропалс митрального клапана, особенно если створки его утолщены (≥ 5 мм).
- Выбухание створки или ее части («молотящая» створка), как правило, при разрыве хорд. Свободный край пораженной створки смещается во время систолы в ЛП, смыкание створок нарушается, и вдоль свободных краев отмечается зияние. В отличие от «молотящей» створки при пролапсе митрального клапана в узком смысле смыкание свободных краев створок сохранено, а в полость ЛП вдается лишь парус створки (см. выше в разделе о пролапсе митрального клапана). Поскольку часто бывает поражена лишь часть створки, особенно задней, может оказаться так, что этот феномен виден лишь в какой-либо одной плоскости. Такая картина наблюдается при дегенеративном поражении клапана, особенно при пролапсе его, эндокардите или ИБС. Разрыв сосочковой мышцы можно рассматривать как крайний вариант такого поражения, ведущий обычно к катастрофе (**рис. 5.14**).
- Ревматическое поражение митрального клапанного аппарата (см. выше).
- Ограничение подвижности створок, связанное с дегенеративными изменениями в клапане, например при выраженном обызвествлении митрального кольца.
- Деструктивные изменения, связанные с эндокардитом (перфорации, отрыв фрагментов).
- Расширение митрального кольца, обусловленное расширением полости ЛЖ и эксцентрической тягой сосочковых мышц. Область смыкания створок митрального клапана смещается в апикальном направлении, или во время систолы остается зияние в центральной части смыкающихся краев створок.



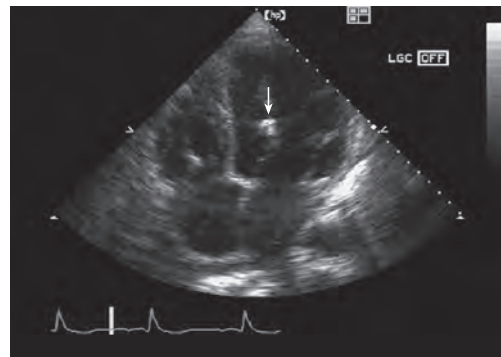
а



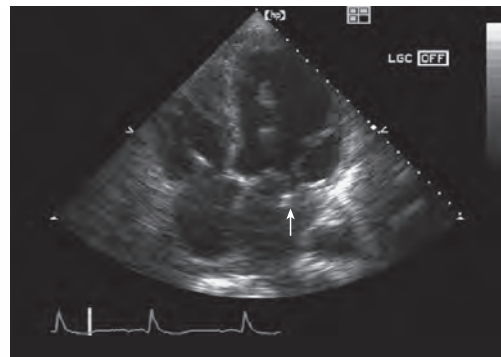
б



в



г



д

Рис. 5.14 Разрыв сосочковой мышцы.

- а** Увеличенное изображение, полученное из парастеральной позиции вдоль длинной оси. Головка разорвавшейся (заднемедиальной) сосочковой мышцы имеет повышенную эхогенность (*стрелка*). На эхограмме, полученной в конце диастолы, она расположена в ЛЖ.
- б** В начале систолы передняя створка митрального клапана вместе со связанной с ней головкой сосочковой мышцы выпадает в полость ЛП (*стрелка*).
- в** Цветовое доплеровское картирование выявило струю регургитации, направленную к задней створке и связанную с тяжелой митральной недостаточностью. Отчетливо видна проксимальная зона конвергенции.
- г** Сканирование, выполненное из апикальной четырехкамерной позиции. Диастола. Головка сосочковой мышцы (*стрелка*) находится в ЛЖ. Размеры ЛЖ и ЛП нормальные, так как митральная недостаточность развилась **остро**.
- д** Сканирование из апикальной четырехкамерной позиции. Систола. Головка сосочковой мышцы (*стрелка*) находится в ЛЖ.

Оценка тяжести митральной недостаточности

Оценка степени тяжести митральной недостаточности основывается главным образом на результатах доплеровского исследова-

ния (рис. 5.15 и 5.16), реже – на выявлении непрямых признаков, например расширения ЛЖ и ЛП (которое, кстати, при острой митральной недостаточности отсутствует!) или на визуализации самого дефекта клапана. Допплеровские критерии степеней тяже-

сти обобщены в **таблице 5.6**. С помощью одного лишь цветового доплеровского картирования можно выявить только минимальную, легкую и умеренную митральную недостаточность (см. гл. 2). Четко разграничить умеренную и тяжелую митральную недостаточность на основании одного лишь цветового доплеровского картирования невозможно. Для этого необходимо получить дополнительные данные и рассмотреть их в свете клинической картины. Если качество изображения при трансторакальной ЭхоКГ окажется недостаточно высоким, следует выполнить чреспищеводное исследование.

Хирургические аспекты

ЭхоКГ, выполненная чреспищеводным доступом, дает возможность как полуколичественной оценки степени тяжести, так и уточнения локализации патологических изменений митрального клапана и непосредственных механизмов митральной недостаточности. Это особенно важно, учитывая растущее количество реконструктивных

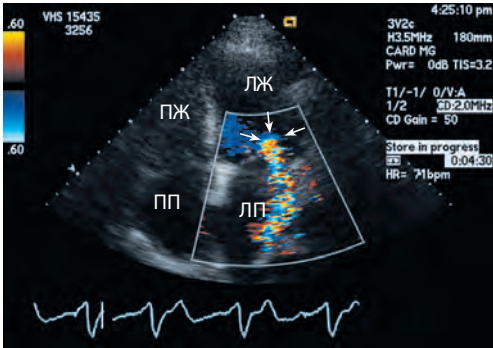
операций на митральном клапане, при которых чреспищеводную ЭхоКГ выполняют также интраоперационно.

Патогенез. Французский хирург Carpentier (1983) предложил следующую классификацию митральной недостаточности:

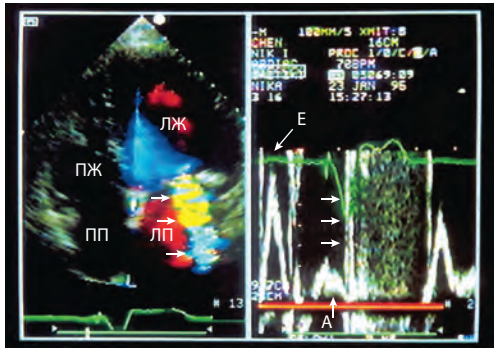
1. Недостаточная подвижность одной или обеих створок; при поражении лишь одной створки струя регургитации бывает направлена к ней.
2. Чрезмерная подвижность одной или обеих створок митрального клапана; при поражении лишь одной створки струя регургитации направлена от нее. Такая картина наблюдается как при «парусащей» (митральный пролапс), так и при «молоотящей» (разрыв сухожильных хорд) створке митрального клапана.
3. Расширение митрального кольца, вызванное расширением полости ЛЖ или ЛП (или обеих этих камер сердца), и связанное с этим расхождение створок. Струя регургитации чаще ориентирована центрально. Расширение ЛЖ приводит к апикальному смещению смыкаю-

Рис. 5.15 Оценка степени тяжести митральной недостаточности.

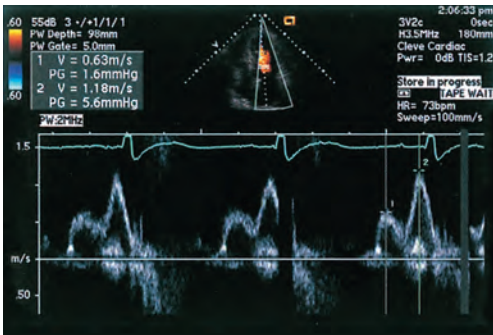
- а** Тяжелая ревматическая митральная недостаточность. Цветовое доплеровское картирование, выполненное из апикальной четырехкамерной позиции (та же пациентка, **рис. 5.11**). На желудочковой стороне закрытого митрального клапана отчетливо видна проксимальная зона конвергенции (*стрелки*).
- б** Тяжелая недостаточность митрального клапана (*стрелки*), обусловленная его дегенеративными изменениями. Слева приведена цветовая доплеровская карта скоростей, полученная из апикальной четырехкамерной позиции. Видны отчетливые признаки обызвествления задней створки. Справа показан результат импульсно-волновой доплерографии, выполненной на уровне свободного края створок митрального клапана той же пациентки. Полосовидный доплеровский сигнал митральной недостаточности (*стрелки*) регистрируется как над нулевой линией, так и под ней (элайзинг-эффект, обусловленный высокой скоростью струи регургитации). Е-волна имеет большую амплитуду по сравнению с А-волной. Это объясняется высоким давлением в ЛП в ранней фазе диастолы вследствие объемной перегрузки, связанной с митральной недостаточностью.
- в** Тяжелая митральная недостаточность у больного с расширенным ЛЖ, функция которого снижена. Сканирование из апикальной четырехкамерной позиции. Предсердия увеличены. Слева в цветовом секторе видна начальная часть струи регургитации, вызванной выраженной трикуспидальной недостаточностью.
- г** Эхограмма (тот же пациент, **в**). Митральная недостаточность, выявленная при сканировании из парастернальной позиции вдоль длинной оси. Струя регургитации отклоняется несколько кзади, возможно, из-за тяги сосочковой мышцы и связанного с этим ограничения подвижности задней створки митрального клапана.
- д** Тяжелая митральная недостаточность с центральным направлением струи регургитации у больного с расширенным ЛЖ. Выполнено цветовое доплеровское картирование из апикальной четырехкамерной позиции. Струя регургитации достигает устья правых легочных вен (*стрелки*).
- е** Примеры измерения диаметра струи регургитации на уровне ее перешейка, или *vena contracta* («сжатая вена») при чреспищеводной ЭхоКГ. Слева показана небольшая струя митральной недоста-



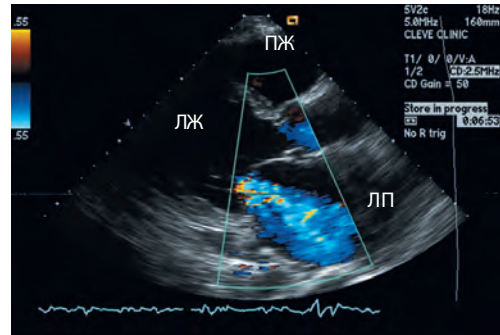
а



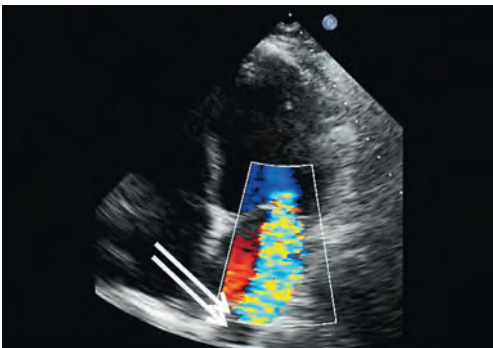
б



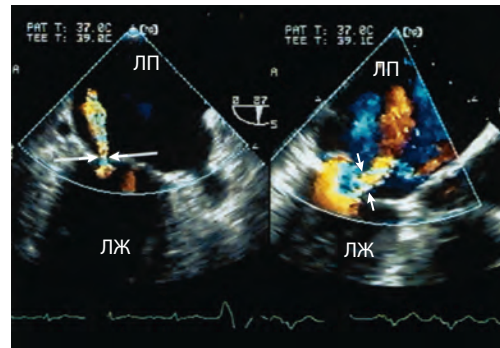
в



г



д



е

точности диаметром несколько миллиметров, слегка выступающая в полость предсердия над плоскостью митрального клапана. *Справа* приведена цветовая доплеровская карта скоростей при тяжелой митральной недостаточности; отчетливо видна проксимальная зона конвергенции и струя диаметром 8 мм (цит. по: Flachskampf et al. J Am Soc Echocardiogr 1998; 11: 882–892; с разрешения).

ж Минимальная (физиологическая) митральная недостаточность у пациента со здоровым сердцем.



ж