

Практическая эхокардиография

Руководство
по эхокардиографической
диагностике

Под редакцией
Франка А. Флаксампфа

Перевод с немецкого

*Под общей редакцией
акад. РАН, проф. В.А.Сандрикова*

Второе издание



Москва
«МЕДпресс-информ»
2019

УДК 612.171.1
ББК 54.101
П69

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в любой форме и любыми средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Авторы и издательство приложили все усилия, чтобы обеспечить точность приведенных в данной книге показаний, побочных реакций, рекомендуемых доз лекарств. Однако эти сведения могут изменяться.

Информация для врачей. Внимательно изучайте сопроводительные инструкции изготовителя по применению лекарственных средств.

Перевод с немецкого: Е.Н.Банзельюк, В.Ю.Халатов

Практическая эхокардиография: Руководство по эхокардиографической диагностике / под ред. Франка А. Флакшампфа ; пер. с нем. ; под общ. ред. акад. РАН, проф. В.А.Сандрикова. – 2-е изд. – Москва : МЕДпресс-информ, 2019. – 872 с. : ил. + 1 CD.
ISBN 978-5-00030-662-8

Данное руководство представляет собой русскую версию одного из популярных за рубежом изданий, посвященных изложению основных принципов клинической ЭхоКГ. Главной отличительной особенностью этой книги является высокий научно-теоретический уровень описания современных эхокардиографических технологий, а также ее практическая направленность и доступность изложения материала. Особый интерес представляют главы, посвященные обзору реальных возможностей и перспектив развития новых методик ЭхоКГ, таких как чреспищеводная ЭхоКГ, тканевая доплеровская ЭхоКГ, контрастная и трехмерная ЭхоКГ и др.

Специалистов ультразвуковой диагностики заинтересуют главы, в которых подробно обсуждаются возможности метода в диагностике ИБС, острого инфаркта миокарда и его осложнений, гипертрофической и дилатационной кардиомиопатии, тромбоэмболии легочной артерии, инфекционного эндокардита, приобретенных и врожденных пороков сердца, реакции отторжения миокарда у пациентов с трансплантированным сердцем, а также жизнеспособного миокарда у больных ИБС. Большой интерес представляют также конкретные рекомендации по использованию ЭхоКГ в отделениях интенсивной терапии кардиологических, неврологических и хирургических стационаров. Издание включает компакт-диск с уникальными цифровыми видеозаписями типичных эхокардиограмм, зарегистрированных у больных с различной кардиальной патологией.

Руководство предназначено как для опытных специалистов в области эхокардиографической диагностики, так и для молодых врачей-кардиологов, впервые приступающих к освоению этого метода.

УДК 612.171.1
ББК 54.101

ISBN 978-3-13-129622-1

© 2007 of the original German language edition Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, Germany. Original title: «Praxis der Echokardiographie», by F.A.Flachskampf

ISBN 978-5-00030-662-8

© Издание на русском языке, перевод на русский язык, оформление, оригинал-макет. Издательство «МЕДпресс-информ», 2013

Предисловие ко второму изданию

Отрадно, что через короткое время появилась необходимость нового издания книги. Тщательный пересмотр текста не только позволил сделать книгу актуальной, но и дал возможность исправить некоторые слабые стороны первого издания монографии, которые неизбежны при написании книги, посвященной столь обширной области знаний. Все главы были переработаны, некоторые из них полностью переписаны, некоторые дополнены. Определенные избыточность и дублирование в главах, посвященных, например, новым разработкам методов тканевой доплерографии и контрастной эхокардиографии, являются, на наш взгляд, вполне допустимыми в образовательных целях.

Поэтому я уверен, что новая редакция, несомненно, стала значительно лучше. Кроме того, к новому изданию прилагаются DVD с цифровыми изображениями эхокардиограмм, авторы которых любезно предоставили нам свой материал. Известно, насколько утомительной и кропотливой является эта поистине колоссальная работа по нахождению, отбору и переводу в соответствующую форму измерений такого большого количества изображений, которое представлено здесь.

Эхокардиография продолжает играть в кардиологической практике доминирующую роль в процессе визуализации патологических изменений. Иногда в связи с бурным развитием других визуализирующих

методик эхокардиография как бы отодвигается на задний план. Сильные стороны этих методик, таких как определение размеров инфаркта миокарда, диагностика миокардита с помощью магнитно-резонансной томографии, стратификация риска на основе методики определения кальция в коронарных сосудах и неинвазивное изображение коронарных артерий при компьютерной томографии, неоспоримы. Тем не менее в Германии распространено мнение, что для решения большинства важнейших клинических вопросов основным методом визуализации остается эхокардиография, которая достигла в последние годы большого прогресса. Существенно возрастающие возможности метода, к сожалению, часто до конца не раскрыты. Эта книга делает этот потенциал оптимально доступным и полезным.

Редактор хотел бы поблагодарить читателей за большой и прочный интерес к «Практической эхокардиографии» и надеется, что сможет сохранить и приумножить его в новой редакции книги. Хотелось бы поблагодарить также авторов, которые наполнили содержанием эту книгу. Наконец, хотелось бы поблагодарить издательство Thieme, и прежде всего госпожу А. Häberlein и господина J. Kohnert, которые образцово справились с задачей издателей.

Март 2007 г.

Франк А. Флакскампф

Предисловие к русскому изданию

Среди многочисленных инструментальных методов исследования, используемых в настоящее время в кардиологии, ведущее место справедливо принадлежит эхокардиографии. Этот метод является незаменимым в повседневной клинической практике, помогая врачу своевременно диагностировать поражения клапанного аппарата и других структур сердца, оценивать функциональное состояние сердечной мышцы, признаки ремоделирования сердца и сосудов, выявлять нарушения коронарного кровотока и т.п. В последние годы возможности клинической эхокардиографии существенно возросли, что связано с быстрым совершенствованием эхокардиографической аппаратуры и разработкой новых визуализирующих технологий, в том числе контрастной, чреспищеводной и трехмерной эхокардиографии, тканевой доплер-эхокардиографии и других методик. Между тем приходится констатировать, что многие кардиологи и даже врачи функциональной диагностики все еще недостаточно осведомлены об этих столь быстро возрастающих диагностических возможностях современной эхокардиографии.

Предлагаемая читателю книга представляет собой русскую версию одного из популярных за рубежом изданий, посвященных изложению основных принципов клинической эхокардиографии «Praxis der Echokardiographie. Das Referenzwerk zur echokardiographischen Diagnostik» под редакцией профессора Frank A. Flachskampf из Университета г. Эрланген (Германия). В создании этого руководства принимали участие ведущие специалисты в области эхокардиографической диагностики Германии, Англии, Бельгии, Австрии и Израиля.

Главной отличительной особенностью этой книги является высокий научно-теоретический уровень описания современных эхокардиографических технологий, а также ее практическая направленность и доступность изложения материала, что делает ее особенно привлекательной для специалистов ультразвуковой диагностики кардиологических и кардиохирургических медицинских центров. Особый интерес представляют главы, посвященные обзору реальных возможностей и перспектив развития новых методик эхокардиографии, таких как чреспищеводная эхокардиография, тканевая доплер-эхокардиография, контрастная и трехмерная эхокардиография, стресс-эхокардиография и др. Несомненно, специалистов ультразвуковой диагностики заинтересуют главы, в которых подробно обсуждаются возможности метода в диагностике ИБС, острого инфаркта миокарда и его осложнений, гипертрофической и дилатационной кардиомиопатии, тромбоэмболии легочной артерии, инфекционного эндокардита, приобретенных и врожденных пороков сердца, реакции отторжения миокарда у пациентов с трансплантированным сердцем, а также жизнеспособного миокарда у больных ИБС. Большой интерес представляют также конкретные рекомендации по использованию эхокардиографии в отделениях интенсивной терапии кардиологических, неврологических и хирургических стационаров.

Следует отметить высокий методический и профессиональный уровень данного руководства, в котором полнота и четкость изложения материала сочетаются с богатейшим иллюстративным материалом. Особенно

Содержание

Основы метода

1 Физические и технические основы метода

F.A. Flachskampf

Звук	29	Непрерывноволновая доплер-эхокардиография	44
Эхокардиография	31	Импульсно-волновая доплер-эхокардиография	46
Принцип метода	31	Цветовая доплерография	47
Получение морфологических данных	32	Основные понятия динамики потоков	48
Виды изображений	33	Применение теоремы сохранения массы к случаям сужения поперечного сечения потока	48
Ультразвуковое поле	35	Применение теоремы сохранения энергии: расчет градиентов по скоростям движения крови	50
Пространственное и временное разрешение	37	Ламинарный и турбулентный поток	51
Режим второй гармоники (см. также главу 6)	38	Другие подходы для количественной оценки потока и его сужений	52
Компрессия («dynamic range»)	38	Биоэффекты ультразвука	53
Документирование	40		
Аналоговое сохранение	40		
Цифровой формат сохранения и передачи	40		
Допплер-эхокардиография	42		
Принцип (см. также главы 4–6)	42		

2 Цифровая обработка и сохранение эхокардиографических данных

W. Fehske, H.-J. Goldschmidt

Основные положения	57	Стандарт DICOM	62
Цифровая запись эхокардиографических исследований	59	Форматы изображений DICOM	63
Постпроцессинг эхокардиографических сигналов	59	DICOM-совместимые носители данных	63
Цифровая запись экранного изображения	60	DICOM-совместимые сети	63
Требования к объему памяти	61	Работа по стандарту DICOM	64
Сжатие данных при помощи выбора отдельных последовательностей кадров («петель»)	61	Соответствие стандарту DICOM 3.0	64
Цифровое сжатие данных	61	Общие стандарты	65
Носители данных длительного хранения	62	Современное значение стандарта DICOM для медицинского пользователя, возможности и ограничения	65
		Основные элементы цифровой эхокардиографической лаборатории	66

Базовое оснащение и алгоритм работы лаборатории	66	Переход от традиционной эхолоборатории к цифровой	68
Расширение основных функций	67		

Новые методики

3 Чреспищеводная эхокардиография

H. Lethen

Технические предпосылки	73	Систематика сечений	83
Развитие чреспищеводной эхокардиографии	73	Трансгастральный доступ	83
Характерное построение зонда и технология ультразвукового датчика	74	Левый и правый желудочек	83
Трехмерная реконструкция (см. также главу 8)	76	Выносящий тракт левого желудочка и аортальный клапан	85
Контроль безопасности	76	Доступ из нижней части пищевода	85
Обработка и проверка прибора	77	Коронарный синус и трехстворчатый клапан	85
Показания, противопоказания и осложнения	78	Визуализация митрального клапана и выносящего отдела левого желудочка по короткой оси	86
Показания к чреспищеводной эхокардиографии	78	Сечения из средней части пищевода	87
Противопоказания к чреспищеводной эхокардиографии	78	Четырех- и двухкамерная позиция, выносящий тракт левого желудочка и митральный клапан	87
Побочные эффекты и осложнения	79	Левое и правое предсердия, межпредсердная перегородка	89
Подготовка к исследованию, последующее наблюдение и документация	80	Сечения из верхней части пищевода	91
Требования к исследователю	80	Выносящий тракт правого желудочка и аортальный клапан (короткая ось)	91
Информация для пациента, медикаментозное сопровождение и последующее наблюдение	80	Аортальный клапан (длинная ось) и восходящая часть аорты	93
Документация и архивирование	81	Ушко левого предсердия	93
Систематическое исследование	82	Верхняя полая вена и ушко правого предсердия	94
Интубация пищевода	82	Легочная артерия и пульмональный клапан	94
Плоскости сечения при стандартной чреспищеводной эхокардиографии	82	Легочные вены	95
		Коронарные артерии	96
		Грудная аорта	96

4 Тканевая доплер-эхокардиография и оценка региональной функции миокарда

J.-U. Voigt

Развитие метода	100	Деформация, напряжение, модуль эластичности	101
Технические основы	101	Техники анализа функции миокарда	102
Физические величины оценки функции миокарда	101	Двумерное изображение и М-режим	102
Скорость и движение	101	Принцип функционирования	102
		Проблемы и источники ошибок	103
		Допплеровские методики	103

Импульсно-волновая спектральная доплер-эхокардиография	103	Другие параметры	134
Цветовая доплерография	107	Временные параметры	134
Выбор доплеровской методики	108	Желудочковое «скручивание»	136
Определяемые компоненты движения	109	Напряжение стенки	136
Корректные установки прибора и источники возможных ошибок	109	Правый желудочек	137
Производные параметры	112	Анатомия ПЖ	137
Особенности анализа деформации при помощи доплеровской техники	113	Нормальная функция ПЖ	137
Анализ данных	115	Нарушение функции миокарда	137
Методики распознавания паттернов	119	Ишемическая болезнь сердца	137
Принцип работы	119	Острая ишемия	137
Настройки прибора и источники возможных ошибок	122	Хроническая ишемия, рубцовая ткань	139
Анализ функции левого желудочка при помощи трехмерной эхокардиографии	122	Нагрузочные тесты и параметры тканевой доплер-эхокардиографии	140
Трехмерные методы распознавания контуров	122	Физиологическая стрессовая реакция	140
Оценка региональной функции при помощи распознавания контуров	123	Ишемическая реакция	141
Характеристика методов распознавания контуров	123	Диагностика жизнеспособного миокарда	142
Многоплановая трансоракальная визуализация при помощи трехмерных датчиков	125	Стратификация риска	142
Сильные и слабые стороны различных методик оценки региональной функции миокарда	125	Инотропная и иная стимуляция	143
Нормальная функция миокарда	126	Нарушения диастолической функции	143
Архитектура волокон и движение сердца в пространстве	126	Гипертрофия	144
Скорость и движение миокарда	128	Гипертрофия у спортсменов, при артериальной гипертензии и гипертрофической кардиомиопатии	144
Анализ формы кривых и типичные значения	128	Другие заболевания миокарда с гипертрофией	145
Нормальные значения и физиологические колебания	131	Рестриктивные и констриктивные кардиомиопатии	146
Деформация и скорость деформации миокарда	132	Рестриктивные нарушения	146
Различия между измерениями скорости миокарда и скорости деформации миокарда	132	Амилоидоз	146
Интерпретация данных деформации и скорости деформации	132	Констриктивные заболевания	146
Анализ форм кривых и типичные значения	132	Пороки клапанов	147
Нормальные значения и физиологические колебания	134	Пороки с нагрузкой давлением	147
		Пороки с нагрузкой объемом	147
		Трансплантация сердца	147
		Химиотерапия	148
		Нарушения проведения возбуждения	148
		Синдромы преждевременного возбуждения	148
		Блокады ножек пучка Гиса	148
		Ресинхронизирующая терапия	150
		Поражение миокарда при других заболеваниях	152
		Сахарный диабет	152
		Нарушение функции правого желудочка	152

Нагрузка давлением	152	Дисплазия правого желудочка	152
Нагрузка объемом	152	Заключение	153
Ишемия	152		

5 Контрастная эхокардиография

H. von Bibra

Обзор областей применения	160	Определение региональной функции левого желудочка	172
Ультразвуковые контрастные средства	161	Контрастная эхокардиография миокарда	172
Внутриартериальные контрастные средства	161	Физические эффекты микропузырьков в акустическом поле	173
Внутривенные контрастные средства для левых отделов сердца	161	Линейные и нелинейные реакции	173
Диагностика шунтов	163	Техника получения изображения в прерывистом режиме	174
Дефект межпредсердной перегородки	163	Техники исследования	175
Открытое овальное окно	165	Высокоэнергетические методики	175
Пулмональная артериовенозная фистула	165	Низкоэнергетические методики (изображение перфузии в реальном времени)	177
Функционирующая левая верхняя полая вена	166	Ограничения изображения микропузырьков	178
Контрастное усиление цветовой и спектральной доплер-эхокардиографии	166	Сравнение визуальной и количественной оценки	179
Недостаточное выявление потоков из-за проблем с чувствительностью	166	Апробированные клинические области применения	182
Клинические области применения	168	Острый коронарный синдром	182
Улучшенное распознавание эндокарда	170	Хронический коронарный синдром	183
Определение глобальной функции левого желудочка	170	Жизнеспособность и «гибернирующий миокард»	183
		Метаболический синдром без КБС и в сочетании с КБС	183
		Итоги и перспективы	183

6 Специальные методики контрастной эхокардиографии миокарда

H. Becher, S. Kuntz-Hehner, K. Tiemann

Режим второй гармоники: принцип метода	190	Техника исследования и показания для режима тканевой гармоники и пульс-инвертированной методики	194
Режим второй гармоники без контрастного средства: режим тканевой гармоники/пульс-инвертированная методика	190	Ограничения в ближнем и дальнем поле	195
Возникновение гармонических колебаний при нелинейном распространении волны в ткани	190	Режим второй гармоники с контрастным средством I: гармонический В-режим/пульс-инвертированная методика	195
Улучшение качества изображения при помощи колебаний второй гармоники	191	Возникновение гармонических частот при асимметричных колебаниях микропузырьков	195

Техника исследования и показание для контрастного усиления гармонического В-режима/пульс-инвертированной методики	197	Диагностика жизнеспособности миокарда	204
Ограничения из-за ослабления сигнала и разрушения микропузырьков	198	Диагностика ишемии	205
Режим второй гармоники с контрастным средством II: энергетическая доплер-эхокардиография/энергетическая пульс-инвертированная методика/режим модуляции энергии	199	Контрастная эхокардиография миокарда – дополнение и альтернатива общепринятой стресс-эхокардиографии	206
Что такое «энергетический»?	199	Облегчение подтверждения значимого коронарного стеноза	206
Возникновение доплеровских сигналов при изменении/разрушении микропузырьков	199	Нарушение перфузии без ишемии	206
Селективная визуализация и определение количества контрастного средства в ткани	200	Диагностика жизнеспособного (ишемизированного) миокарда без нагрузочного теста	207
Показания и техника исследования	202	Практическое использование контрастной эхокардиографии миокарда	207
Ограничения	203	Информативные ультразвуковые методики	207
Контрастная эхокардиография миокарда	204	Нормальная перфузия миокарда (см. рис. 6.15, 6.21 и 6.22)	209
Оценка перфузии миокарда – принцип	204	Патологические находки при контрастной эхокардиографии миокарда	211
		Обратимый дефект перфузии (рис. 6.23 и 6.24)	211
		Фиксированный дефект перфузии (см. рис. 6.24)	211

7 Перспективы контрастной эхокардиографии

K. Tiemann, C. Troatz, A. Ghanem

Физические основы	215	Использование тканевых эффектов микропузырьков	218
Потенциальные области применения	215	Сонотромболизис	219
Молекулярное построение изображения	215	Сонопорация	219
		Генная терапия	220

8 Трехмерная эхокардиография

A. Franke

Технические аспекты	224	Клинические области применения	231
Техника регистрации	224	Клапанные пороки	231
Трехмерная реконструкция	224	Недостаточность митрального клапана	231
Трехмерная эхокардиография в реальном времени	226	Митральный и аортальный стенозы	233
Анализ трехмерных эхокардиографических данных	227	Врожденные пороки сердца	234
Качественный, морфологический анализ	227	Объем и масса левого желудочка	235
Количественный анализ	228	Нарушения движений стенки левого желудочка и динамика сокращения миокарда	237

Анализ регионального движения стенки/трехмерная стресс- эхокардиография	237	Ограничения	238
Оценка асинхронии левого желудочка	237	Заключение	239

9 Эхокардиографическая характеристика тканей

C.E. Angermann, T. Hayes

Принцип и развитие метода	242	Эхокардиографическая характеристика тканей при различных сердечно-сосудистых заболеваниях	250
Методики и технические аспекты	245	Коронарная болезнь сердца	250
Методики, используемые для эхокардиографической характеристики тканей	245	Методики эхокардиографической диагностики	251
Анализ миокардиальных эхо-сигналов	246	Кардиомиопатии	255
Режим второй гармоники (ТН1)	247	Дилатационная кардиомиопатия	256
Отслеживание пятна (см. также главу 4)	247	Сахарный диабет, артериальная гипертензия	258
Допплеровские методики (см. также главу 4)	247	Гипертрофическая кардиомиопатия	259
Трехмерная характеристика тканей	248	Амилоидоз сердца, гемохроматоз, болезнь Фабри	259
Дальнейшие технические разработки	248	Миокардит, острая реакция отторжения	260
Детерминанты акустических свойств миокарда	249	Внутрисердечные объемные образования	263
		Ультразвуковая характеристика тканей артериальной стенки	263
		Заключение	265

Кардиоваскулярные структуры

10 Левый желудочек: морфология, функция и патологические изменения

F.A. Flachskampf, T. Buck

Нормальная морфология левого желудочка	273	Ложные хорды	278
Форма и характеристики	273	Патологические структуры в выносящем тракте	278
Приносящий и выносящий тракты	274	Систолическое движение митрального клапана	278
Деление на сегменты	274	Субаортальная мембрана	278
Эхоструктура миокарда	277	Толщина стенки, масса, гипертрофия	279
Патологические структуры в левом желудочке и выносящем тракте	277	Типы гипертрофии	279
Патологические структуры в желудочке	277	Расчет массы миокарда	280
Тромбы	277	Функция левого желудочка	283
Опухоли, вегетации и инородные тела	278	Глобальная систолическая функция	283
		Объемы и фракция выброса	283

Циркулярная фракция укорочения ..	284	Итог	298
Вычисление скоростей нарастания и снижения давления в левом желудочке (dp/dt)	285	Практические рекомендации	298
Индекс Tei (myocardial performance index, индекс глобальной функции желудочка)	285	Вариабельность количественных параметров морфологии и функции левого желудочка	299
Параметры тканевой доплерографии	286	Патологические изменения левого желудочка при КБС и других заболеваниях	301
Минутный объем	286	Левый желудочек при КБС	301
Региональная систолическая функция (см. также главу 4)	287	Острый коронарный синдром	301
Региональная сократимость	287	Разрыв миокарда как осложнение инфаркта	302
Причины нарушения сократимости	289	Хроническая КБС и процессы ремоделирования после инфаркта миокарда	303
Диастолическая функция (см. также главу 4)	290	Морфология и функция левого желудочка при артериальной гипертензии	303
«Диастолическая сердечная недостаточность»	290	Гипертрофия левого желудочка у атлетов	306
Параметры оценки глобальной диастолической функции	292	Кардиомиопатия при сахарном диабете	307
Трансмитральный поток	292	Левый желудочек при ожирении	309
Время изоволюмического расслабления (IVRT)	296	Морфология и функция левого желудочка при сердечной недостаточности	309
Входящий поток из легочных вен ..	297	Миокардит и другие воспалительные заболевания миокарда	310
Тканевой доплер	297		
Измерение скорости распространения входящего потока по левому желудочку: «velocity of flow propagation»	298		

11 Стресс-эхокардиография в диагностике ишемии миокарда

R. Hoffmann

Значение стресс-эхокардиографии в диагностике ишемии миокарда ..	316	Интерпретация стресс- эхокардиограмм	327
Показания	317	Оценка нарушений локальной сократимости (см. также видео 11-1–11-21)	329
Различные варианты нагрузки ..	318	Причины неверной оценки стресс- эхокардиографии	330
Стресс-эхокардиография с физической нагрузкой	318	Диагностическая точность	331
Фармакологическая нагрузка	320	Стресс-эхокардиография при коронарных вмешательствах ..	333
Стресс-эхокардиография с добутамином	320	Прогностическая ценность	335
Стресс-эхокардиография с аденозином	323	Прогностическая ценность перед ангиохирургическими операциями ..	335
Стресс-эхокардиография с дилпиридамолом	323	Прогностическая ценность после инфаркта миокарда	335
Чреспищеводная электростимуляция предсердий	324	Прогностическая ценность при стабильной хронической ишемической болезни сердца	336
Чреспищеводная стресс- эхокардиография	325		
Выбор оптимального варианта нагрузки	325		

Перспективы развития	338	второй гармоники и трехмерной эхокардиографии	338
Применение контрастной эхокардиографии, режима		Количественная оценка результатов стресс-эхокардиографии	339

12 Диагностика жизнеспособного миокарда

U. Nixdorff

Развитие и значение метода	345	Ограничения	355
Патофизиологические основы	346	Дипиридамоловая стресс-эхокардиография	355
Клиническое использование и показания	348	Эргометрическая стресс-эхокардиография	356
Эхокардиографические диагностические методики	349	Нитратная эхокардиография	356
Эхокардиография в покое	349	Тканевая доплер-эхокардиография	357
Добутаминовая стресс-эхокардиография	350	Контрастная эхокардиография миокарда	358
Развитие метода	350	Сравнение с неэхокардиографическими методиками	358
Прогноз улучшения функции ЛЖ после реваскуляризации	350	Сцинтиграфические методики	358
Дифференциальная диагностика стенозированного и гибернирующего миокарда	352	Магнитно-резонансная томография	359
		Заключение	360

13 Дилатационная кардиомиопатия

R. Engberding, B. Gerecke

Определение понятия	365	Чреспищеводная эхокардиография	379
Клиническая картина, диагностика, дифференциальный диагноз	365	Осложнения	380
Клиническая картина	365	Митральная и трикуспидальная недостаточность	380
Диагностика	366	Тромбы	381
Дифференциальный диагноз	367	Прогностические параметры	382
Эхокардиографическая картина	368	Редкие формы кардиомиопатии	384
Эхокардиография в М-режиме	368	Аритмогенная правожелудочковая кардиомиопатия	384
Двумерная эхокардиография	371	Неклассифицируемые кардиомиопатии, изолированный некомпактный миокард желудочков, персистирующие изолированные синусоиды миокарда	385
Трехмерная эхокардиография и тканевое доплеровское исследование	374	Кардиомиопатия такоцубо	386
Доплер-эхокардиография	375		
Профиль скоростей систолического кровотока	375		
Профиль диастолического кровотока	377		

14 Гипертрофическая кардиомиопатия

S. Reith, H.G. Klues

Патофизиология	392	Чреспищеводная эхокардиография у больных гипертрофической кардиомиопатией	414
Эхокардиографическая картина	398	Тканевая доплерография при гипертрофической кардиомиопатии	415
Двумерная эхокардиография в диагностике гипертрофической кардиомиопатии	398	Эхокардиография после миктомии/миотомии у больных гипертрофической кардиомиопатией	416
Эхокардиография в М-режиме при гипертрофической кардиомиопатии	403	Контрастная эхокардиография при гипертрофической кардиомиопатии	418
SAM-феномен	404		
Допплер-эхокардиография при гипертрофической кардиомиопатии	411		

15 Рестриктивные кардиомиопатии

F.A. Flachskampf

Патофизиология и этиология	423	(эндокардиальный фиброэластоз), эндокардит Леффлера (эозинофильный эндокардит) (см. также главы 19, 22)	428
Эхокардиографическая картина	424	Дифференциальная диагностика рестриктивной кардиомиопатии и констриктивного перикардита	429
Амилоидоз	424		
Гемохроматоз и саркоидоз	427		
Идиопатическая рестриктивная кардиомиопатия, эндомиокардиальный фиброз			

16 Болезни митрального клапана

E. Schwammenthal

Функциональная анатомия митрального клапанного аппарата	433	Оценка результатов	447
Митральное кольцо	433	Гемодинамика при митральном стенозе	448
Створки митрального клапана	434	Эхокардиография и вальвулопластика	448
Сосочковые мышцы и сухожильные хорды	436	Митральная недостаточность	449
Исследование митрального клапана	437	Количественная оценка митральной недостаточности	449
Митральный стеноз	439	Струя регургитации и ее площадь	449
Ревматический митральный стеноз	439	Диаметр проксимальной части струи регургитации	450
Количественная оценка степени митрального стеноза	439	Метод, основанный на конвергенции проксимальной части потока	451
Определение градиента давления	439	Традиционное доплеровское исследование	452
Планиметрия	441	Непрерывноволновая доплерография	453
Расчет времени полуспада градиента давления	441	Кровоток по легочным венам	454
Уравнение непрерывности потока	443	Автоматическая количественная оценка цветового доплеровского сигнала	454
Площадь потока	445	Оценка	454
Метод, основанный на конвергенции проксимальной части потока	446		

Нарушение гемодинамики при митральной недостаточности . . .	455	Митральный клапанный аппарат при дилатационной кардиомиопатии: функциональная митральная недостаточность	473
Комплексный подход к оценке степени митральной недостаточности	459	Расширение левого желудочка и его дисфункция	474
Механизмы митральной недостаточности	459	Расширение левого желудочка и митрального кольца	477
Ревматическая митральная недостаточность	461	Постоянное и динамическое отверстие митрального клапана при его недостаточности	480
Пролапс митрального клапана: миксоматозное поражение	462	Митральная недостаточность при коронарной болезни сердца	481
Диагностические критерии	462	Функциональная митральная недостаточность при нарушении регионарной сократимости левого желудочка: синдром сосочковой мышцы	484
Натяжение сосочковых мышц	465	Разрыв сосочковых мышц	486
Механизм пролапса митрального клапана и митральной недостаточности	466	Недостаточность митрального клапана при инфекционном эндокардите	487
Пролапс митрального клапана и «молоящая» створка	467	Кальциноз митрального кольца	487
Анатомически точный диагноз при пролабировании створок митрального клапана	468	Врожденные заболевания митрального клапана	488
Роль эхокардиографии в хирургии митрального клапана	469		
Митральная недостаточность при гипертрофической кардиомиопатии	470		

17 Заболевания аортального клапана

W. Voelker

Аортальный стеноз	492	Площадь отверстия аортального клапана	503
Распространенность и этиология	492	Дополнительные доплеровские параметры	508
Клинические аспекты	492	Значение доплер-эхокардиографии	510
Морфологические особенности аортального клапана	494	Прогноз при аортальном стенозе: роль эхокардиографии	510
Двустворчатый и трехстворчатый аортальный клапан	494	Значение исходной степени аортального стеноза	511
Склероз и стеноз аортального клапана	495	Значение темпов прогрессирования аортального стеноза	511
Степень кальциноза	495	Ремоделирование левого желудочка при аортальном стенозе	513
Степень стеноза аортального клапана	496	Патогенез	513
Сепарация створок аортального клапана	496	Значение эхокардиографии	513
Максимальная скорость кровотока	497	Нагрузочная, или стресс-эхокардиография при аортальном стенозе	513
Максимальный и средний градиент давления	499	Физическая нагрузка	513
Причины расхождения «доплеровских» градиентов давления и градиентов давления, измеренных при зондировании сердца	499	Стресс-эхокардиография с добутамином	514

Влияние кровотока через аортальный клапан на площадь его отверстия	514	Количественная оценка аортальной недостаточности	522
Рациональная стресс-эхокардиография в обследовании больных с аортальным стенозом	516	Методы исследования и настройка аппарата	522
Тактика лечения аортального стеноза – значение эхокардиографии	518	Площадь цветового потока	523
Нормальная функция левого желудочка	518	Время полуспада градиента давления (РНТ или $T_{1/2}$)	523
Сниженная функция левого желудочка	519	Кровоток в грудной аорте «Vena contracta»	524
Аортальная недостаточность	520	Прямое определение площади поперечного сечения струи регургитации	527
Клинические аспекты	520	Количественное доплеровское исследование	528
«Первичная диагностика»	520	Конвергенция проксимальной части потока	530
Этиология аортальной недостаточности	520	Заключение	531
Острая и хроническая аортальная недостаточность	521	Тактика лечения аортальной недостаточности: значение эхокардиографии	532
Эхокардиографические параметры	521		

18 Протезирование клапанов сердца

H. Baumgartner

Значение эхокардиографии	541	Время полуспада градиента давления	565
Типы клапанных протезов и техника их имплантации	542	Недостаточность клапанных протезов	566
Механические протезы	542	Значение чреспищеводной эхокардиографии при имплантированных клапанных протезах	570
Шаровые протезы	542	Нагрузочная, или стресс-эхокардиография	572
Двустворчатые клапанные протезы	543	Эхокардиографическая оценка различных типов клапанных протезов	573
Поворотно-дисковые протезы	544	Клапанные гомотрансплантаты и аутологичный клапан (операция Росса)	573
Биологические клапанные протезы	545	Каркасные биологические клапанные протезы	574
Свиные клапанные протезы	545	Бескаркасные биологические клапанные протезы	575
Клапанные протезы из перикарда	545	Двустворчатые клапанные протезы	575
Гомотрансплантаты	546	Поворотно-дисковые механические клапаны	576
Аутоотрансплантаты	547	Шаровые клапанные протезы	579
Методологические основы исследования клапанных протезов	547	Особенности исследования при различных позициях клапанных протезов	581
Методы визуализации	547		
Двумерная эхокардиография	547		
Эхокардиография в М-режиме	548		
Допплерографическое исследование клапанных протезов	549		
Скорость кровотока через клапанный протез и градиент давления	549		
Расчет площади отверстия клапанного протеза	564		

Аортальная позиция	581	Выход из строя клапанного протеза	588
Митральная позиция	581	Дегенеративные изменения	
Трикуспидальная позиция	582	биологического клапанного протеза	588
Позиция клапана легочной артерии	583	Выход из строя механического	
Имплантация клапанных кондуитов	583	клапанного протеза	590
Эхокардиография при		Осложнения, связанные	
осложнениях, связанных		с погрешностями в хирургической	
с имплантированным клапанным		технике	590
протезом	583	Эхокардиография после	
Нарушение функции клапанного		протезирования клапанов сердца:	
протеза, обусловленное тромбозом		клинические аспекты	591
или разрастанием паннуса	583	Возможные осложнения	591
Тромбоз клапанного протеза без		Эхокардиография у больных	
нарушения его функции	585	с осложнениями	591
Эндокардит клапанного		Когда и как выполнять контрольную	
протеза	586	эхокардиографию после	
Парапротезная недостаточность	587	протезирования клапанов сердца	592

19 Заболевания правых отделов сердца

H. Lambertz, O. Ekinici

Трехстворчатый клапан	598	Острое и хроническое легочное	
Информативность эхокардиографии	598	сердце	608
Стеноз трехстворчатого клапана	599	Острая тромбоэмболия	
Недостаточность трехстворчатого		легочной артерии	608
клапана	600	Хроническое легочное сердце	611
Пролапс трехстворчатого		Первичная легочная гипертензия	611
клапана	601	Врожденный или приобретенный	
Эндокардит трехстворчатого клапана	602	порок со сбросом крови	
Клапан легочной артерии	603	и объемной перегрузкой правого	
Информативность эхокардиографии	603	желудочка (см. также главу 28)	612
Стеноз легочной артерии		Дефект межпредсердной	
(см. также главу 28 на с. 841)	604	перегородки	612
Недостаточность клапана легочной		Врожденные пороки правых	
артерии	604	отделов сердца	614
Эндокардит клапана легочной		Дисплазия правого желудочка (ARVC,	
артерии	605	ARVD)	614
Диагностика легочной		Аномалия Эбштейна	616
гипертензии	606	Инфаркт правого желудочка	617
Метод оценки скорости струи		Гиперэозинофильный синдром	
трикуспидальной регургитации	606	(см. также главу 22)	618
Клапан легочной артерии и профиль			
кровотока в легочной артерии	607		

20 Заболевания аорты

S. Mohr-Kahaly

Эхокардиографическое		Нормальные показатели	624
исследование аорты	622	Врожденные пороки развития	
Методы ультразвукового		аорты	625
исследования	622		

Пороки развития дуги аорты	625	Приобретенные заболевания аорты	627
Стеноз перешейка аорты (см. также главу 28)	625	Расслоение стенки аорты	627
Аорта при синдроме Марфана	625	Травматический разрыв аорты	635
Аневризма синуса Вальсальвы	627	Аневризмы грудной аорты	635
		Атеросклероз аорты	636
		Воспалительные заболевания аорты	636

21 Заболевания перикарда

H. Völler, R.K. Reibis

Агенезия перикарда	641	Пункция перикарда	650
Кисты перикарда	641	Констриктивный перикардит	651
Выпот в полости перикарда и тампонада сердца	643	Результаты эхокардиографического исследования	654
Дифференциальная диагностика скопления жидкости в полости перикарда и в плевральной полости	650	Констриктивные или рестриктивные нарушения	658

22 Опухоли и дополнительные структуры сердца

R. Engberding

Опухоли сердца	664	Карциноиды	678
Частота и классификация	664	Значение чреспищеводной эхокардиографии	679
Клиническая картина	665	Дополнительные структуры сердца	681
Доброкачественные опухоли	665	Инфильтрация	681
Миксомы	665	Гиперэозинофильный синдром	681
Сосочковая фиброэластома	671	Внутренние структуры правых отделов сердца	681
Другие доброкачественные опухоли сердца	673	Дополнительные структуры левых отделов сердца	683
Злокачественные опухоли сердца	676	Аневризмы межпредсердной перегородки	686
Первичные саркомы сердца	676		
Первичные лимфомы сердца	677		
Метастатическое поражение сердца	677		

Важнейшие клинические применения

23 Эхокардиографический поиск источника эмболии

F.A. Flachskampf, W.G. Daniel

Проблемы выявления кардиальных источников эмболии	693	Коронарная болезнь сердца	697
Потенциальные кардиальные источники эмболии	694	Кардиомиопатии	698
Фибрилляция предсердий и тромбоз левого предсердия	694	Эндокардит	699
Чреспищеводная эхокардиография перед кардиоверсией	697	Клапанные протезы	699
		Митральный порок при синусовом ритме	699
		Аорта как источник эмболии	700
		Проплап митрального клапана и дегенеративные изменения митрального и аортального клапанов	700

Опухоли	702	Эхокардиографические признаки открытого овального окна	703
Парадоксальная эмболия	702	Аневризма межпредсердной перегородки	705
Дефект межпредсердной перегородки	703	Практические аспекты	706

24 Инфекционный эндокардит

A. Mügge

Патогенез	710	Эндокардит протезированных клапанов	718
Диагностика	712	Эндокардит пейсмекера	719
Стратегия диагностического поиска ..	712	Чувствительность и специфичность эхокардиографии	721
Эхокардиографическая диагностика ..	713	Абсцедирование	722
Выявление вегетаций	713	Оценка прогноза и показания к хирургическому вмешательству ...	725
Эндокардит аортального клапана ..	715	Показания к чреспищеводной эхокардиографии	726
Эндокардит митрального клапана ..	716		
Эндокардит трехстворчатого клапана	717		
Эндокардит клапана легочной артерии	718		

25 Эхокардиография в отделении интенсивной терапии

W. Bocksch, S. Fateh-Moghadam

Предпосылки	731	Дисфункция клапанов	743
Технические предпосылки	731	Острое легочное сердце – молниеносная эмболия легочной артерии (см. также главу 19)	746
Подготовка персонала	732	Сердечно-легочная реанимация	747
Логистика эхокардиографии	732	Дифференциальный диагноз при острой боли в груди, требующей экстренной госпитализации	747
Безопасность	732	Отделение интенсивной терапии некардиологического профиля ...	748
Палата интенсивной терапии кардиологического отделения ...	733	Лихорадка неясного генеза	748
Коронарная болезнь сердца и инфаркт миокарда		Инсультное отделение	750
(см. также главу 10)	733	Кардиальные и аортальные источники эмболии	750
Инфарктные больные со стабильной гемодинамикой	733	Левое предсердие как источник эмболии	750
Инфарктные больные с нестабильной гемодинамикой	733	Левый желудочек как источник тромбоэмболии	751
Инфаркт правого желудочка	734	Поражение клапанов как причина тромбоэмболии	751
Осложнения инфаркта миокарда ...	734	Поражение аорты как причина эмболии	752
Тромб в левом желудочке при инфаркте миокарда	738	Детское отделение интенсивной кардиологии	753
Диагностика поражений коронарных артерий (стеноз ствола левой коронарной артерии)	738		
Рефрактерная сердечная недостаточность	739		
Систолическая и диастолическая дисфункция левого желудочка	740		

Отделение интенсивной терапии и анестезиологии при общехирургическом стационаре	754	Повреждения сердца	756
Отделение интенсивной терапии при кардиохирургическом стационаре	755	Перикард	756
Неотложная хирургия: отделение интенсивной терапии в травматологической клинике ..	756	Миокард	756
		Клапанный аппарат сердца	756
		Коронарные артерии	757
		Травматическое повреждение аорты	757
		Разрывы стенки аорты	757
		Тромбоз аорты	759
		Образование свищей аорты	759
		Заключение	761

26 Портативные эхокардиографы

F.A. Flachskampf

Технические аспекты	763	Профессиональная подготовка	764
---------------------------	-----	-----------------------------------	-----

27 Эхокардиография после трансплантации сердца

C.E. Angermann, C. Spes

Анатомия сердца и его функция после ортотопической трансплантации	765	Артериальная гипертензия	776
Размер и насосная функция левого желудочка	765	Острая реакция отторжения	777
Диастолическая функция левого желудочка	767	Эхокардиография в M- и В-режимах при острой реакции отторжения	777
Размер и сократительная функция правого желудочка	768	Допплеровское исследование кровотока у больных с реакцией отторжения	779
Предсердия, митральный и трехстворчатый клапаны и кровоток по легочным венам	768	Эхокардиографическая характеристика ткани сердца при острой реакции отторжения	780
Механизмы адаптации к физической нагрузке	773	Допплеровское исследование миокарда при острой реакции отторжения	781
Осложнения после ортотопической трансплантации сердца	776	Васкулопатия трансплантата	784
Скопление жидкости в полости перикарда	776	Эхокардиография в состоянии покоя в диагностике васкулопатии трансплантированного сердца	784
		Эхокардиография с добутаминовой пробой в диагностике васкулопатии	787
		Заключение	791

28 Эхокардиография в диагностике врожденных пороков сердца у взрослых

D.A. Redel

Врожденные пороки клапанов сердца и стеноз сосудов	796	Врожденная недостаточность аортального клапана	799
Врожденные пороки полулунных клапанов	796	Стеноз клапана легочной артерии ..	801
Врожденный стеноз аортального клапана – двустворчатый аортальный клапан	797	Недостаточность клапана легочной артерии	803
		Врожденная патология атриоventрикулярных клапанов	804
		Врожденный митральный стеноз ..	804

Врожденная митральная недостаточность	806	Персистирующий открытый артериальный проток	825
Недостаточность трехстворчатого клапана	807	Сложные врожденные пороки сердца	827
Аномалия Эбштейна	809	Открытый атриовентрикулярный канал	827
Обструкция выносящего тракта желудочков (подклапанный стеноз) .	810	Неполная форма открытого атриовентрикулярного канала	828
Субаортальный стеноз	810	Полная форма открытого атриовентрикулярного канала	830
Инфундибулярный стеноз легочного ствола	813	Транспозиция магистральных сосудов	831
Периферический стеноз сосудов	813	Тетрада Фалло	832
Стеноз перешейка аорты	813	Двойное отхождение магистральных сосудов от правого желудочка	834
Врожденные пороки сердца со сбросом крови	816	Полная транспозиция магистральных артерий	836
Систематика пороков сердца	816	Врожденная корригированная транспозиция магистральных артерий	838
Дефекты межпредсердной перегородки (см. также главу 19) ..	817	Трехкамерное сердце с единственным желудочком	840
Дефект межпредсердной перегородки типа ostium secundum (ASDII)	817	Эхокардиография после реконструктивных операций на сердце	842
Вариант дефекта межпредсердной перегородки типа ostium secundum (ASDII): открытое овальное окно (см. также главу 19 и 23)	820	Результаты после паллиативной операции по Фонтену	842
Дефект межпредсердной перегородки типа ostium primum (ASDI)	821	Хирургическая коррекция по Раствелли	843
Высокий дефект межпредсердной перегородки типа Sinus-venosus	821		
Дефект межжелудочковой перегородки	823		



Основы метода

- 1** Физические и технические основы метода
- 2** Цифровая обработка и сохранение эхокардиографических данных

В соответствии с ориентированным на практику характером этой книги в данном разделе будет представлен краткий обзор важнейших физических и технических принципов, необходимых для основательного понимания метода. Современная эхокардиография (ЭхоКГ) – методика, крайне требовательная к техническому оснащению, и аппараты являются инженерными произведениями, монументами техническому прогрессу. Исчерпывающее их описание стало бы слишком сложной задачей для

автора и не вместились бы в рамки данной книги; поэтому здесь приводятся лишь указания на существующую литературу (11, 20, 36). Кроме того, прикладная акустика и динамика потоков вовсе не являются областями физики, полностью теоретически освещенными и прозрачными для понимания.

Принципы некоторых специальных техник (режим второй гармоники, тканевая доплер-ЭхоКГ, контрастная ЭхоКГ, трехмерная ЭхоКГ) будут описаны в соответствующих главах.

Звук

Звук можно представить как связанные с материальными частицами колебания, протекающие в форме периодического увеличения и уменьшения плотности материи, т.е. в виде периодического уплотнения и разрежения среды, и волнообразно распространяющиеся в пространстве (рис. 1.1). Соответственно этому звук может возникать как в газах, так и в жидкой или в твердой среде, но не в вакууме. Возникает продольная волна («волна давления»), имеющая определенную скорость распространения (c), частоту (f) и длину волны (λ), причем справедливо равенство:

$$c = f \cdot \lambda$$

Скорость распространения волны и ее мощность. Скорость распространения волны зависит от материала и температуры; в воздухе она почти в 5 раз медленнее (330 м/с), чем в воде (1480 м/с). Эхокардиографические аппараты откалиброваны на скорость распространения волны в тканях, равную 1540 м/с. Влияние среды на скорость распространения

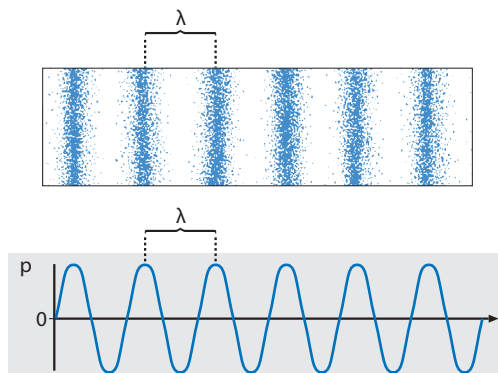


Рис. 1.1 Схема ультразвуковой волны. *Вверху* представлено уплотнение и разрежение участвующих в колебаниях частиц (например, молекул газа). Зоны уплотнения (высокое давление) и разрежения (низкое давление) чередуются на расстоянии длины волны (λ). *Внизу* представлено изменение давления (p) вдоль линии распространения волны. Между максимумами (и, соответственно, между минимумами) давления расстояние также равно длине волны. Подобную синусоиду можно было бы также записать на временной оси, если регистрировать давление в заданной точке, подверженной звуковой волне (по 36).

* Автор благодарит д-ра Heinrich Beckermann, Бёблинген, за рецензирование текста.

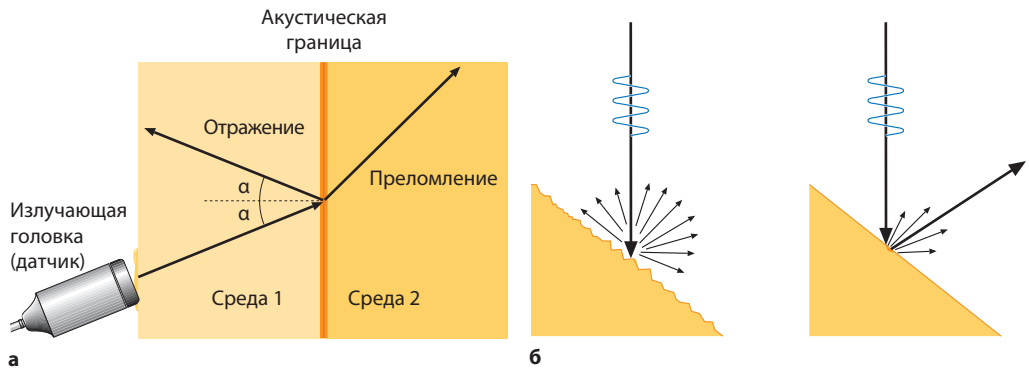


Рис. 1.2 Отражение, преломление, рассеивание.

- а** Если звуковая волна попадает на границу раздела двух сред с различным акустическим импедансом, возникает отражение. Энергия отраженной волны тем выше, чем больше разница акустических импедансов двух сред. Угол падения равен углу отражения. При прямом угле падения часть энергии волнового луча будет отражена назад к источнику волны. Часть волновой энергии не отражается, а преломляется, т.е. продолжает распространяться во вторую среду с изменением направления распространения (что зависит от соотношения импедансов).
- б** Если отражающие поверхности по размеру меньше длины волны ультразвука или волна попадает на «неровную» поверхность (слева), возникает рассеивание энергии во все направления, в том числе и в направлении к источнику ультразвука (конечно, в существенно меньшей степени, чем в случае отражения от большой поверхности, перпендикулярной направлению волны). Сравните с ситуацией, изображенной справа, где от гладкой, расположенной под углом к волне поверхности никакое количество энергии не возвращается к источнику ультразвука.

звука обозначается как акустический импеданс (акустическое сопротивление среды) и определяется как произведение скорости звука в материи и ее плотности.

Звуковая волна не переносит материальные частицы; вместо этого колеблющиеся частички материи производят лишь мельчайшие смещения на доли нанометра от своего положения покоя, причем скорости этих смещений гораздо ниже, чем скорость распространения волны. Зато звуковая волна переносит энергию. Параметром этой энергии является мощность, или интенсивность, звука, которую определяют как мощность на единицу площади волнового поля, перпендикулярной к направлению распространения волны (единица измерения: Вт/см²).

Формы взаимодействия с материальными частицами. При распространении звуковой волны возможны 4 принципиальные формы взаимодействия с пронизываемой средой (рис. 1.2).

□ **Ослабление (затухание).** Это свойство материи, и степень ослабления звука прямо пропорциональна дистанции, которую

проходит волна. При этом энергия преобразуется в тепло. Ослабление сильнее при высокой частоте, что объясняет недостаточную глубину проникновения в ткани высокочастотных ультразвуковых волн.

□ **Отражение (рефлексия).** Волна отражается от границы сред, имеющих различные акустические импедансы (т.е. различные скорости распространения волны), причем угол отражения равен углу падения волны.

□ **Преломление (рефракция).** В случае преломления на границе раздела двух сред с различным акустическим импедансом (соответственно, с различной скоростью распространения волны) волна изменяет направление своего дальнейшего распространения. Соотношение угла падения и угла преломления зависит от соотношения акустических импедансов соответствующих сред.

□ **Рассеивание.** Этот феномен обозначает отклонение звуковой волны во всех направлениях (в том числе и по направлению к источнику ультразвука) при попадании волны на отражающие поверхности (т.е. на границы раздела сред

с различным акустическим импедансом), имеющие размеры, одинаковые или меньшие по сравнению с длиной волны.

В ЭхоКГ анализируется малая часть излученной волновой энергии, которая благодаря отражению или рассеиванию возвращается назад к источнику ультразвука. Очень сильное отражение происходит, среди прочего, на границе между тканью и воздухом; здесь отражается практически вся энергия звуковой волны, так что такие границы являются акустически «непрозрачными». Похожее тотальное отражение наблюдается

в случае обызвествленных структур, которые на эхокардиографическом изображении проявляются в виде дорсальных эхотеней, поскольку дистальнее этих структур нет доступной акустической энергии.

Ультразвуком называются волны с частотой выше слышимого диапазона, т.е. выше 20 000 Гц (20 кГц). Типичные частоты для диагностически используемого ультразвука расположены между 2 и 7 МГц (1 МГц = 1000 кГц = 1 000 000 Гц), для внутрисосудистого ультразвука – 40 МГц. Соответственно, длина волны в ткани для 2 МГц соответствует 0,8 мм, для 7 МГц – 0,2 мм.

Эхокардиография

Принцип метода

Принцип ЭхоКГ заключается в анализе отраженных ультразвуковых волн. Принципиально можно представить себе и другие способы диагностического использования ультразвука, например, в начале 1950-х годов был испробован, но впоследствии заброшен трансмиссивный ультразвуковой метод, при котором исследуемая структура, например, сердце, помещалась между излучающей и принимающей частями аппарата, аналогично рентгенографии.

Измерение времени распространения.

Способность ЭхоКГ (точнее: М-режима и 2D-режима) к морфологической диагностике основывается на определении мест акустических границ при помощи измерения времени распространения ультразвуковых волн. Для этого необходимо, чтобы фазы излучения и приема сигналов были разнесены во времени и имели подходящую длительность. Если бы излучение и прием ультразвуковых волн происходили постоянно, невозможно было бы определить время движения волны от места отражения (так на самом деле и происходит в случае непрерывноволнового доплера). Поэтому формирование эхокардиографического изображения основано на принципе импульсного ультразвука: менее чем за 1% времени датчик посылает «импульс» или «пакет волн» конечной длины, тогда как остальные 99% времени он находится в режиме приема (см.

рис. 1.3 и 1.4). Чтобы иметь возможность однозначно определить, из какой глубины возвратился воспринятый датчиком пакет волн, датчик должен находиться в режиме восприятия как минимум в два раза дольше, чем время распространения волны от датчика до рефлектора. Например, если в М-режиме максимальная глубина проникновения волны составляет 20 см, время ожидания должно принципиально составлять не менее $2 \times 20 \text{ см} / 1540 \text{ м/с} = 0,26 \text{ мс}$, чтобы можно было однозначно определить положение отражателя на этой глубине.

Частота повторения импульсов. Число пакетов волн, испускаемых прибором в единицу времени, называется частотой повторения импульсов. Не следует путать ее с основной частотой ультразвуковой волны (например, 2,5 МГц). Таким образом, в вышеуказанном примере уже чисто «физические причины» определяют максимальную частоту повторения импульсов: $1/0,26 \text{ мс} = 3846/\text{с}$ (почти 4 кГц). Поскольку сам пакет волн имеет определенную длительность и имеются еще некоторые технические задержки, то рассчитанная величина является теоретическим лимитом. Хотя понятие о частоте повторения импульсов обычно встречается в связи с импульсным или цветным доплером (см. соответствующие разделы), важно понимать, что и «морфологические» методики также работают в импульсном режиме.

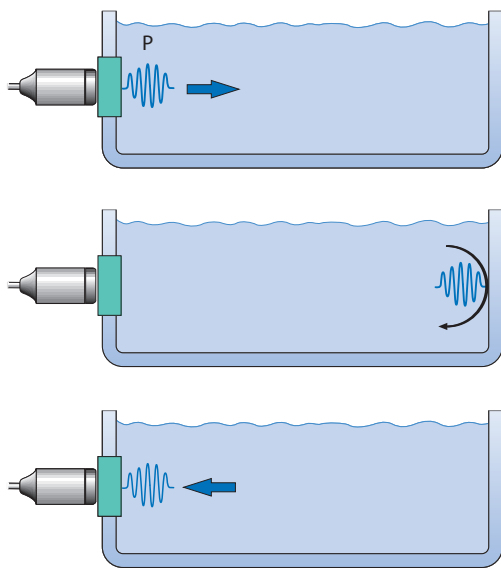


Рис. 1.3 Распространение импульса ультразвуковой волны. Только «импульсный» режим работы датчика позволяет находить соответствие между воспринятыми волнами и глубиной залегания отражателя, что определяется временем распространения волны. Импульс P , т.е. пакет волн, образующийся при кратковременной активации датчика, через некоторое время T возвращается к датчику в виде эховолны E . На основании этих данных при известной скорости распространения волны с рассчитывается расстояние до отражающей поверхности (в данном случае – правая стенка емкости с жидкостью): $s \cdot T/2$ (по 36).

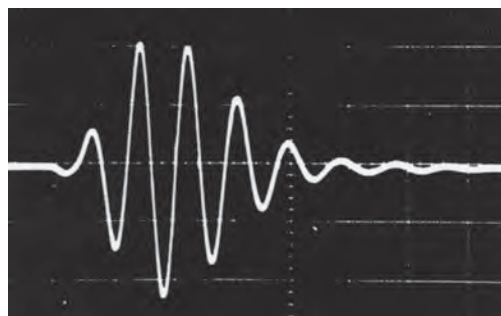


Рис. 1.4 Ультразвуковой импульс (2,24 МГц). По оси ординат (y) давление, по оси абсцисс (x) – время (две клеточки соответствуют 1 мкс) (по 20).

к пациенту поверхностью датчика находится акустическая линза для фокусирования создаваемых волн. На противоположной стороне электрические сигналы каждого отдельного кристалла, выработанные при получении ультразвуковых волн, передаются в собственно ультразвуковой аппарат в виде «сырого» или «радиочастотного» сигнала (немного неточное техническое понятие, обозначающее электромагнитные волны в диапазоне частот от килогерц до гигагерц). В аппарате определяется положительная огибающая кривая («envelope») сигнала, фильтруется, преобразуется («scanconversion», см. ниже) и подвергается последующей обработке (рис. 1.5).

Получение морфологических данных

Обычные эхокардиографические сканеры испускают и принимают сигнал при помощи специальной ультразвуковой головки*, которая при помощи кабеля соединена с остальным прибором. В принципе датчик состоит из пьезоэлектрических кристаллов, акустическая эмиссия которых стимулируется электрическими импульсами и, наоборот, которые при получении ультразвуковой волны сами генерируют электрические импульсы. Между кристаллом и обращенной

Принцип фазированной решетки. Участвующие в построении изображения (трансторакальные и трансэзофагеальные) датчики сегодня работают преимущественно по «электронному» принципу (принцип фазированной решетки). При этом обычно параллельно располагаются 64–256 прямоугольных отдельных кристаллов (рис. 1.6). Благодаря строгой очередности активизации отдельных кристаллов из отдельных волн получается единый направленный волновой фронт, т.е. благодаря соответствующей активизации итоговый луч может отклоняться в пределах определенного сектора (обычно $\leq 90^\circ$) и колебаться в этом секторе (см. рис. 1.8). При этом в каждой позиции ультразвукового луча («линии сканирования») испускается один импульс и записывается приходящее эхо, до того как луч переместится в следующую позицию.

* В отечественной практике и русскоязычной литературе приняты два обозначения «манипулятора» ультразвукового сканера: «датчик» и «трансдюсер». В дальнейшем преимущественно будет использоваться первый вариант, хотя УЗ-датчик как воспринимает сигнал, так и излучает его. – Прим. пер.

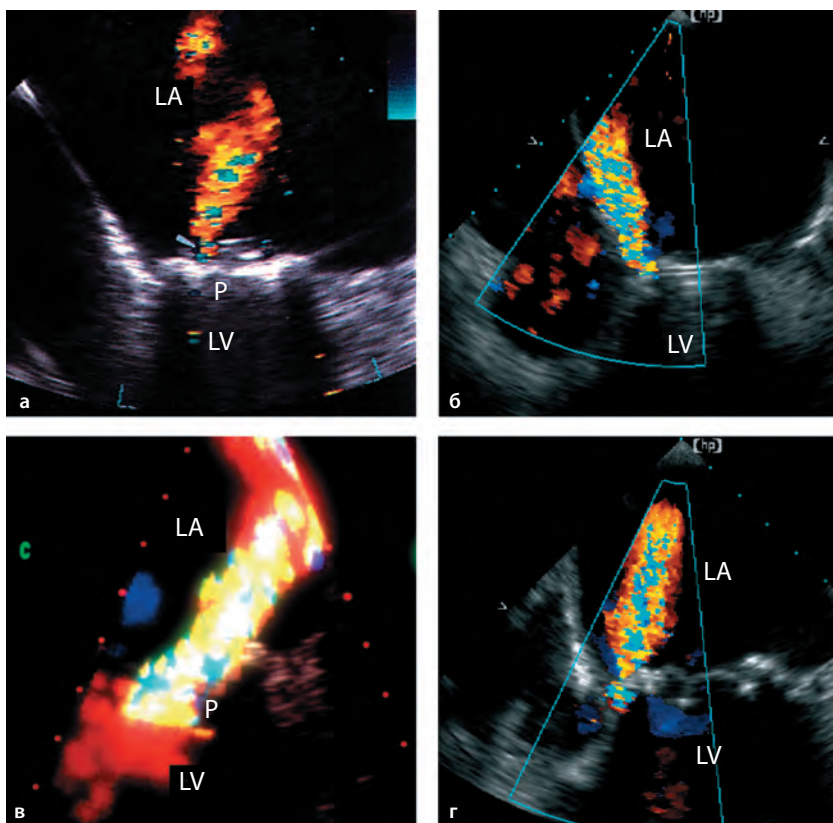


Рис. 18.20 Недостаточность протеза митрального клапана при ЧПЭ (P – протез).

- а** Несостоятельность шарового клапанного протеза, обусловленная тромботическими отложениями, мешающими плотному закрытию.
- б** Парапротезная недостаточность механического клапана.
- в** Выраженная недостаточность биологического клапанного протеза, связанная с острой поломкой.
- г** Парапротезная недостаточность при морфологически неизменном биологическом клапанном протезе.

сердца. Однако следует учесть ряд особенностей:

- Акустическая тень. Существенные трудности возникают из-за отбрасывания клапанным протезом акустической тени, о которой уже не раз упоминалось ранее, особенно если имплантирован механический клапан и в меньшей степени каркасный биологический клапанный протез. При трансторакальной ЭхоКГ это значительно затрудняет визуализацию струи регургитации через клапанный протез, имплантированный в митральную позицию (76), а при расположении клапанного протеза в аортальной позиции затрудняется визуализация конвергенции струи.

- Резко выраженная эксцентричность струи регургитации. При недостаточности клапанного протеза в большинстве случаев струя регургитации бывает эксцентричной. Если струя регургитации сильно отклоняется, то оценка степени недостаточности клапанного протеза может оказаться существенно заниженной. Это связано с переносом момента струи на стенку сердца, в которую бьет струя или вдоль которой она течет или «разбрызгивается» (22).
- Кровоток по легочным венам. При учете особенностей кровотока по легочным венам для количественной оценки недостаточности митрального клапанного протеза следует учесть, что кровоток

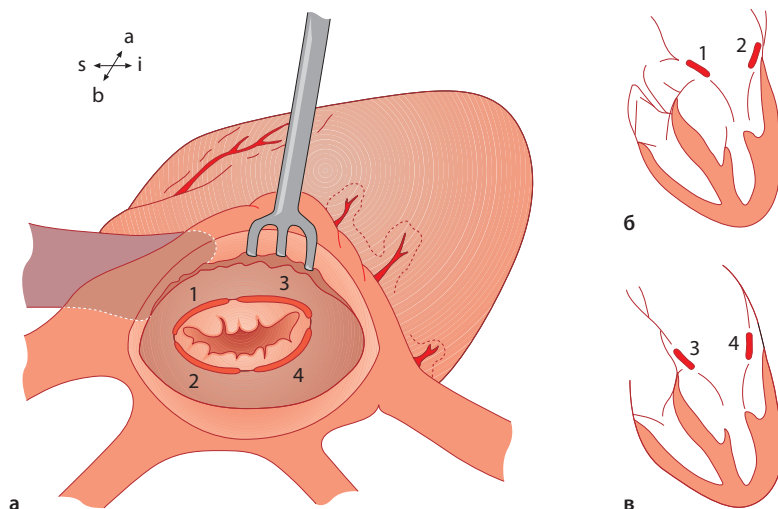


Рис. 18.21 Парапротезную недостаточность при имплантированном митральном клапане классифицируют по квадрантам. Корреляция между анатомической локализацией и эхокардиографической картиной.

- а** Схематическое обозначение сегментов митрального кольца, представленное в том виде, в каком они видны хирургу при вскрытии левого предсердия (а – передний, б – латеральный, s – верхний, i – нижний).
- б** Сканограмма сердца в плоскости пяти камер.
- в** Сканограмма сердца в плоскости четырех камер (1 – передний квадрант, 2 – латеральный, 3 – медиальный, 4 – задний) (по 53).

по ним подвержен влиянию самого клапанного протеза. Даже при отсутствии недостаточности клапанного протеза антероградный кровоток по легочным венам в левое предсердие существенно меньше, чем у пациентов с естественным митральным клапаном (48). Как и в случае естественного клапана, на кровоток по легочным венам влияют не только степень митральной недостаточности (уменьшение систолического антероградного и тем самым ретроградного систолического кровотока), но и функция левого желудочка, величина постнагрузки, ритм сердца, податливость предсердия и другие факторы (41, 46, 48).

- Увеличение скорости антероградного кровотока. О влиянии недостаточности клапанного протеза на гемодинамику можно судить по увеличению антероградного кровотока через протез, обусловленному увеличением объема регургитации. Этот признак имеет диагностическую ценность тогда, когда используется в сравнении с исходными данными. При

клапанном протезе, имплантированном в митральную позицию, увеличение кровотока через него происходит при неизменном $T_{1/2P}$ и площади отверстия клапанного протеза (43).

В таблице 18.4 перечислены наиболее важные параметры, по которым клапанные протезы отличаются от естественных клапанов.

Значение чреспищеводной эхокардиографии при имплантированных клапанных протезах

Чреспищеводная ЭхоКГ значительно расширила диагностические возможности ультразвукового исследования больных с имплантированными клапанными протезами сердца.

Протезы митрального клапана. Расширенные диагностические возможности ЧПЭ особенно проявляются при оценке функции

Таблица 18.4 Основные факторы, влияющие на доплерографическую оценку функции клапанного протеза

- **Даже нормально функционирующий клапанный протез вызывает в большей или меньшей степени обструкцию кровотока:**
Правильная интерпретация линейной скорости кровотока и рассчитанного по ней градиента давления, а также $T_{1/2P}$ позволяет отличить нормально функционирующий и стенозированный клапанный протез. Для этого необходимо учитывать:
 - тип клапанного протеза
 - размер клапанного протеза
 - поток крови через клапанный протез (функцию левого желудочка)
- **Локальная высокая скорость кровотока и особенности восстановления давления** при двустворчатом клапанном протезе и при шаровом протезе обуславливают существенно завышенные значения «доплеровского» градиента давления по сравнению с градиентом давления, измеренным при катетеризации полостей сердца. При возникновении сомнений выполняют рентгеноскопию грудной клетки
- **Использование уравнения непрерывности потока** при двустворчатых клапанных протезах дает заниженные результаты (нерепрезентативность высокой линейной скорости кровотока через клапан)
- **Знание цветовой доплеровской картины «нормальной регургитации»** позволяет избежать ошибочной диагностики дисфункции клапанного протеза
- **Эксцентричность струи регургитации** (существует риск заниженной оценки степени тяжести)
- **Необходимость иметь исходные данные** (для сравнения с результатами более поздних исследований)

имплантированного протеза митрального клапана. При исследовании через пищевод удается «обойти» препятствие для визуализации левого предсердия, создаваемое акустической тенью, которую отбрасывает клапанный протез (76). С одной стороны, это создает оптимальные условия для диагностики недостаточности протеза митрального клапана (43, 61), а с другой – позволяет в связи с достижением более высокого разрешения выявить тромботические наложения и вегетации (25, 35, 43, 83, 88), а также распознать абсцессы и другие осложнения инфекционного эндокардита (26, 37, 64, 88). Чувствительность данного метода исследования в отношении указанной патологии существенно возрастает. Хотя для диагностики описанных морфологических изменений ЧПЭ более предпочтительна, ее следует выполнять лишь при определенных клинических показаниях, поскольку при недостаточности протеза митрального клапана трансоракальная ЭхоКГ также дает ценную диагностическую информацию. Для этого необходимо оптимальное, хотя и атипичное, расположение датчика в парастернальной позиции, из которой удастся избежать «маскирующего» эффекта акустической тени

(или, по крайней мере, уменьшить его) и лоцировать проксимальную часть струи, где она конвергирует, а также определить скорость антероградного кровотока через протез митрального клапана. Еще одно преимущество ЧПЭ при имплантированном протезе митрального клапана состоит в том, что с ее помощью можно лучше оценить функцию запирающего элемента клапана. Так, если при трансоракальной ЭхоКГ можно проследить за движениями запирающего элемента лишь у части больных, то при многопроекционной ЧПЭ сделать это удастся почти всегда.

Протезы аортального клапана. При оценке функции протеза аортального клапана преимущества ЧПЭ перед трансоракальной ЭхоКГ не столь значительны (2, 37, 61). Что касается диагностики тромбов, вегетаций и абсцессов, ЧПЭ с присущим ей большим разрешением и более четким изображением существенно превосходит трансоракальную (2, 37, 64). Но по сравнению с клапанным протезом, имплантированным в митральную позицию, условия для исследования протеза аортального клапана значительно хуже, поскольку здесь сказыва-

Таблица 18.5 Эффективность ЧПЭ в решении той или иной диагностической задачи

Случаи, когда выполнение ЧПЭ имеет принципиальное значение для решения диагностической задачи, в частности для выявления:

- тромбов*
- вегетаций на клапанах*
- парапротезных абсцессов*
- парапротезной фистулы как осложнения инфекционного эндокардита

Случаи, когда ЧПЭ явно превосходит трансторакальную ЭхоКГ, хотя последняя у части больных также оказывается достаточно информативной:

- недостаточность протеза митрального клапана (качественная и количественная диагностика)
- недостаточность протеза митрального клапана (уточнение локализации струи регургитации)
- оценка подвижности и исправности запирающего элемента механического протеза митрального клапана
- оценка морфологии биологического клапанного протеза (имплантированного в аортальную или митральную позицию)

Случаи, когда выполнение ЧПЭ не дает существенных преимуществ по сравнению с трансторакальной ЭхоКГ и показано лишь при недостаточном качестве изображения при трансторакальной ЭхоКГ:

- недостаточность протеза аортального клапана**

Случаи, когда выполнение ЧПЭ не решает диагностической задачи:

- оценка особенностей движения запирающего элемента клапанного протеза, имплантированного в аортальную позицию

* При имплантации клапанного протеза в митральную позицию метод более чувствителен, чем при имплантации его в аортальную позицию.

** В том, что касается уточнения механизма недостаточности и локализации струи регургитации, ЧПЭ имеет некоторые преимущества.

ваются отсутствие оптимальной плоскости лоцирования, приводящее к возникновению артефактов, и отбрасывание акустической тени. Четко проследить за движениями запирающего элемента аортального клапанного протеза даже при ЧПЭ удается не всегда.

другая группа параметров не имеет. Показания к ЧПЭ и эффективность ее в решении той или иной диагностической задачи приведены в таблице 18.5.

Нагрузочная, или стресс-эхокардиография

Оценка морфологии и функции имплантированного клапанного протеза. Преимущество чреспищеводного ультразвукового исследования имплантированного клапанного протеза перед трансторакальной ЭхоКГ заключаются в возможности более информативного описания морфологии клапанного протеза, а при использовании цветового доплеровского картирования — в более точном расчете градиента давления и измерении времени $T_{1/2P}$, необходимых для оценки гемодинамики. При этом каких-либо существенных преимуществ одна или

Ряд авторов сообщают о применении нагрузочной пробы при ЭхоКГ для оценки функции имплантированного клапанного протеза (40, 89). В проведенных ими исследованиях влияния нагрузочной пробы с добутамином на гемодинамические параметры выявлено увеличение градиента давления на клапанном протезе на 100% (при введении полной дозы препарата) (40, 89). Клиническое значение ЭхоКГ с добутаминовой пробой пока окончательно не ясно, и это исследование пока нельзя рекомендовать для широкого применения.

Эхокардиографическая оценка различных типов клапанных протезов

Клапанные гомотрансплантаты и аутологичный клапан (операция Росса)

Нормальная функция клапанного протеза.

Клапанные гомотрансплантаты и аутологичный клапан, имплантируемые в аортальную позицию, внешне выглядят как естественный аортальный клапан. Отличить их от естественного аортального клапана при двумерной ЭхоКГ и ЭхоКГ в М-режиме практически невозможно (рис. 18.22), не отличаются они и по своим гемодинамическим характеристикам (32, 73). Это означает, что скорость кровотока через них такая же, как через нормальный естественный аортальный клапан, а градиент на них отсутствует. В идеале признаки недостаточности на имплантированных клапанном гомотрансплантате и аутологичном клапане в аортальной позиции отсутствуют.

После имплантации клапанного гомотрансплантата и аутологичного клапана с включением части корня аорты (субкоронарная методика) стенка аорты в определенных участках при ЭхоКГ бывает уплотнена и имеет повышенную эхогенность. После имплантации аортального клапана вместе с корнем аорты следует регулярно контроли-

ровать размеры аорты, учитывая возможность расширения ее со временем.

Нарушение функции клапанного протеза.

При появлении патологических изменений в трансплантированном клапане (стеноз, недостаточность) эхокардиографическая картина не отличается от таковой при патологии естественных клапанов сердца.

Клапанные гомотрансплантаты, имплантированные на место клапана легочной артерии.

При трансплантации клапана легочной артерии (аутологичный клапан) в аортальную позицию на его место имплантируют клапанный гомотрансплантат, приготовленный из трупной аорты или легочного ствола. В идеале клапанный гомотрансплантат не отличается от естественного легочного клапана, тем не менее тщательное исследование его в послеоперационном периоде имеет важное значение, так как и при имплантации в позицию легочного ствола он предрасположен к дегенеративным изменениям, которые постепенно приводят к развитию стеноза или недостаточности. Однако дальнейшее наблюдение и оценка состояния его осуществляются так же, как при патологии естественного клапа-

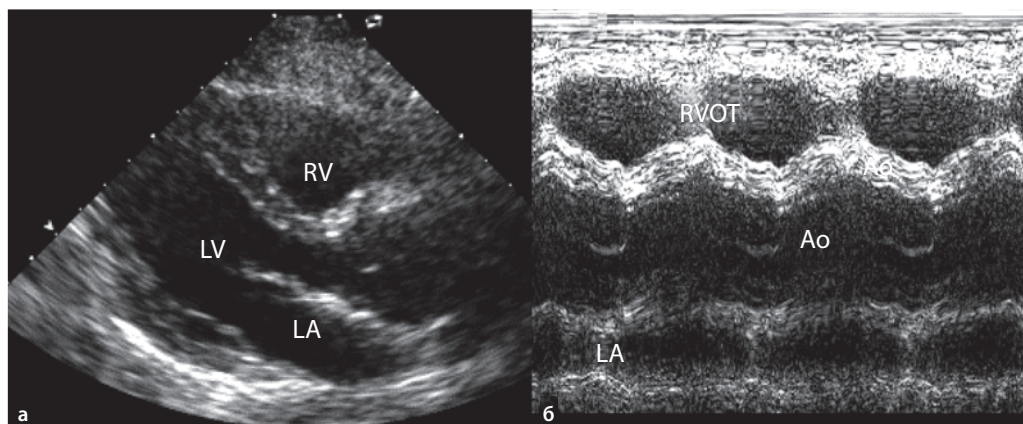


Рис. 18.22 ЭхоКГ у больного после протезирования аорты гомотрансплантатом. Изменения в гомотрансплантате отсутствуют.

а Сканограмма вдоль длинной оси сердца, полученная из парастерального доступа.

б Исследование в М-режиме.

на легочной артерии. Отличие состоит лишь в том, что могут наблюдаться осложнения со стороны анастомоза, в частности развитие стеноза (при ЭхоКГ в таких случаях выявляют картину надклапанного стеноза легочного ствола).

Каркасные биологические клапанные протезы

Каркасные биологические клапанные протезы имплантируют в аортальную, митральную позицию и иногда в позицию трехстворчатого клапана. Наиболее часто как в прошлом, так и в настоящее время применяют биологические клапанные протезы Hancock и Carpentier-Edwards.

Техника исследования и нормальная эхокардиографическая картина. Створки биологического клапанного протеза, поддерживаемые клапанным каркасом, соответствуют створкам аортального клапана и при ЭхоКГ имеют такой же вид. Однако в клапанах такого типа каркас имеет относительно большой объем, что затрудняет проведение эхокардиографического исследования, особенно трансторакальной ЭхоКГ (рис. 18.23). Из-за ревербераций и акустической тени визуализация створок клапана затруднительна, поэтому важно подобрать оптимальное акустическое усиление. Ценную диагности-

ческую информацию можно получить при ЭхоКГ в М-режиме (см. рис. 18.5). В отличие от трансторакальной ЭхоКГ, ЧПЭ при исследовании каркасных биологических клапанных протезов, имплантированных как в аортальную, так и в митральную позицию, позволяет получить довольно ценную информацию о морфологии этих клапанов (см. рис. 18.24). Поскольку в клапанных протезах данного типа невозможно достичь оптимального соотношения между пришитым кольцом и площадью отверстия клапанного протеза, то при малых размерах последнего на нем появляется значительный градиент давления (табл. 18.2). При отсутствии изменений в каркасных биологических клапанных протезах признаки недостаточности их отсутствуют (по данным литературы, примерно у 10% больных, которым имплантируют такие клапанные протезы, отмечается незначительное нарушение герметичности смыкания створок) (66).

Биологические клапанные протезы, изготавливаемые из бычьего перикарда, которые отличаются низкой износостойкостью и в связи с этим применяются редко, при ЭхоКГ напоминают аортальный клапан. Поскольку в клапанных протезах данного типа, например имплантируемых в митральную позицию, объем каркаса относительно мал и артефактов наблюдается меньше, исследовать их с помощью ЭхоКГ легче.

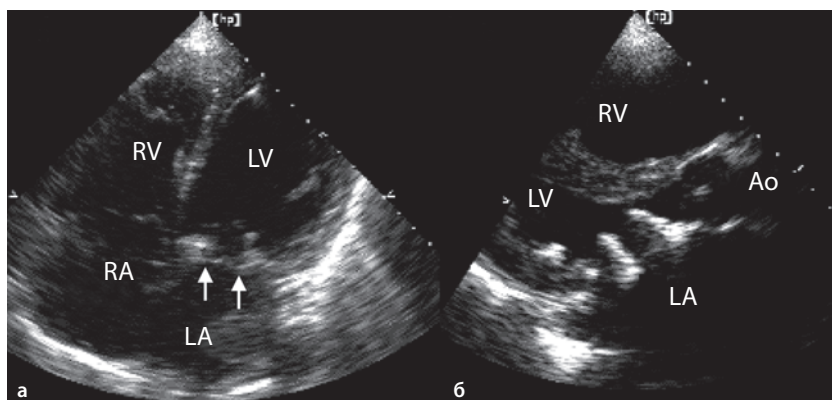


Рис. 18.23 Трансторакальная двумерная эхокардиограмма больного с имплантированным в митральную позицию биологическим клапанным протезом Carpentier-Edwards.

а Изображение, полученное в плоскости четырех камер сердца; *стрелки* указывают на две неизменные створки.

б Изображение, полученное при сканировании вдоль длинной оси из парастерального доступа.

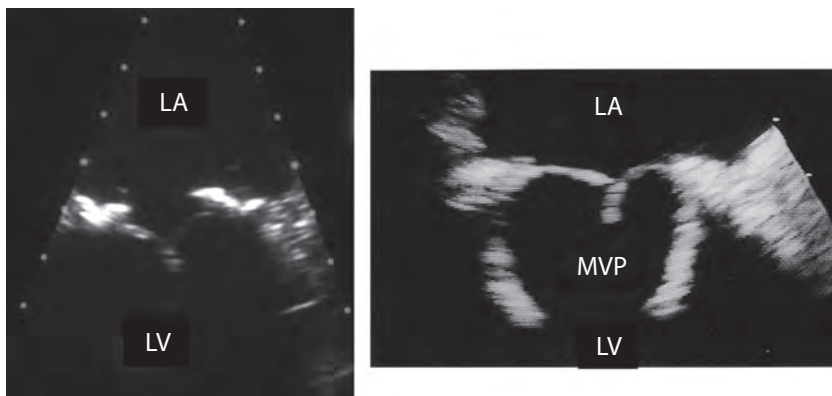


Рис. 18.24 Чреспищеводная эхокардиограмма больного с нормальным биологическим клапанным протезом, имплантированным в митральную позицию (MVP).

Патологические изменения. С помощью трансторакальной ЭхоКГ обычно удастся выявить недостаточность каркасного биологического протеза митрального клапана, однако при расположении датчика в апикальной позиции появятся акустические тени, отбрасываемые каркасом, которые затрудняют исследование.

В целом, для всех биологических клапанных протезов характерна тенденция к развитию дистрофических изменений в них. Более подробно патология клапанных протезов данного типа описана на с. 588 в разделе «Дегенеративные изменения биологического клапанного протеза».

Бескаркасные биологические клапанные протезы

Данный тип биологических клапанных протезов до настоящего времени применялся значительно реже. Эхокардиографическая картина при исследовании больных с таким клапаном напоминает таковую после имплантации клапанного гомотрансплантата. Их имплантируют только в аортальную позицию, и они не отличаются по эхокардиографической картине от естественного аортального клапана.

Двустворчатые клапанные протезы

Двустворчатые клапанные протезы в настоящее время, по-видимому, являются

наиболее часто имплантируемыми механическими клапанными протезами. Модели клапанных протезов данного типа, поставляемые на рынок, отличаются значительным многообразием (см. табл. 18.1). Однако по эхокардиографической картине и технике исследования двустворчатые клапанные протезы практически не отличаются. При оценке морфологии этих клапанов с помощью двумерной ЭхоКГ сталкиваются с упомянутыми ранее трудностями, связанными с появлением ревербераций, акустических теней и др. (рис. 18.25).

Техника исследования. У части больных, которым двустворчатый клапанный протез имплантирован в митральную позицию, состояние обеих створок и особенности их движения при благоприятных условиях удастся оценить при исследовании из апикальной позиции (см. рис. 18.26). При многопроекционной ЧПЭ такая оценка возможна практически всегда. Следует учесть при этом важную роль правильного поворота датчика, так как для получения четкого изображения необходимо совпадение плоскости сканирования с плоскостью створок и осью шарнира.

У всех больных с имплантированным двустворчатым механическим клапаном врач-сонолог сталкивается с особенностью, связанной с локальным увеличением скорости движения центральной части струи крови, протекающей между двумя створками клапана, и феноменом восстановления

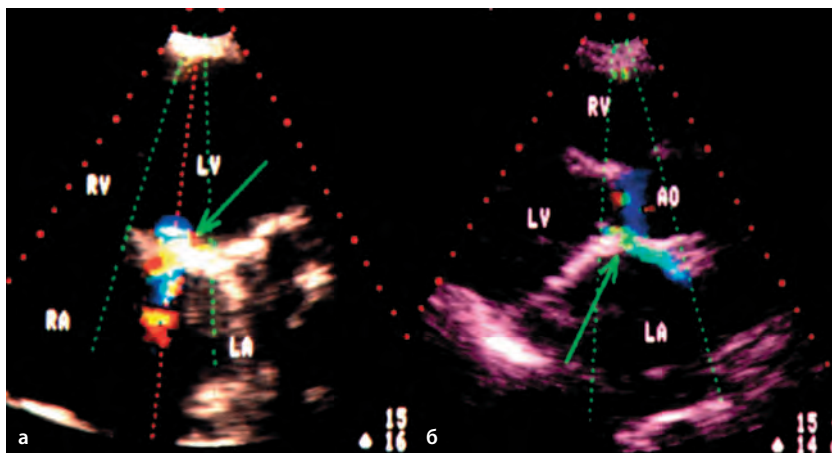


Рис. 18.25 Трансторакальная ЭхоКГ у больного с имплантированным механическим протезом и парапротезной недостаточностью.

- а Слегка модифицированная апикальная четырехкамерная позиция. Хотя из-за акустической тени, отбрасываемой клапаном протезом, исследовать левое предсердие почти невозможно, тем не менее, парапротезную недостаточность легко выявить, исследуя зону конвергенции проксимальной части струи.
- б Эхокардиограмма другого больного с имплантированным механическим протезом митрального клапана, полученная при лоцировании сердца вдоль длинной оси из парастеральной позиции датчика. В этой позиции акустическая тень не мешает. Видна незначительная парапротезная недостаточность.

давления (12, 15). Эта особенность была описана на с. 559 в разделе «Сопоставимость значений расчетного («доплеровского») и измеренного градиента давления на клапанном протезе». Ее особенно следует учитывать при измерении скорости кровотока через протез аортального клапана и расчете по этой скорости градиента давления на клапане. В сомнительных случаях в качестве дополнительного исследования следует выполнить рентгеноскопию грудной клетки. В этом случае также важно ориентировать плоскость исследования так, чтобы по возможности отчетливо были видны движения створок клапанного протеза (рис. 18.27). При неправильно подобранной плоскости сканирования или рентгеновского просвечивания можно ошибочно диагностировать дисфункцию клапанного протеза! Расчет эффективной площади отверстия клапанного протеза с помощью уравнения непрерывности потока из-за более высокой скорости центральной части струи крови невозможен (см. выше) (10), так как полученное значение скорости кровотока через клапанный протез оказывается сильно завышенным.

Нормальная картина. Для двустворчатых механических клапанов характерна «нормальная» недостаточность, а эхокардиографическая картина при исследовании всех моделей клапанных протезов данного типа практически одинакова (см. рис. 18.28). Вблизи от клапана удастся выявить несколько коротких струек регургитации, цветовой сигнал от которых соответствует высокой скорости (11, 29). Они выбрасываются из небольшой щели между обеими захлопнувшимися створками, между створками и каркасом клапана или из места, в котором подвешен шарнир. В зависимости от плоскости сканирования выявляют либо две струйки (из места, где подвешен шарнир), либо одну, ориентированную в центральном направлении, а иногда струйки, расходящиеся к периферии (см. рис. 18.28).

Поворотные-дисковые механические клапаны

Техника исследования. Трудности при исследовании морфологии поворотных-дисковых механических клапанов с помощью

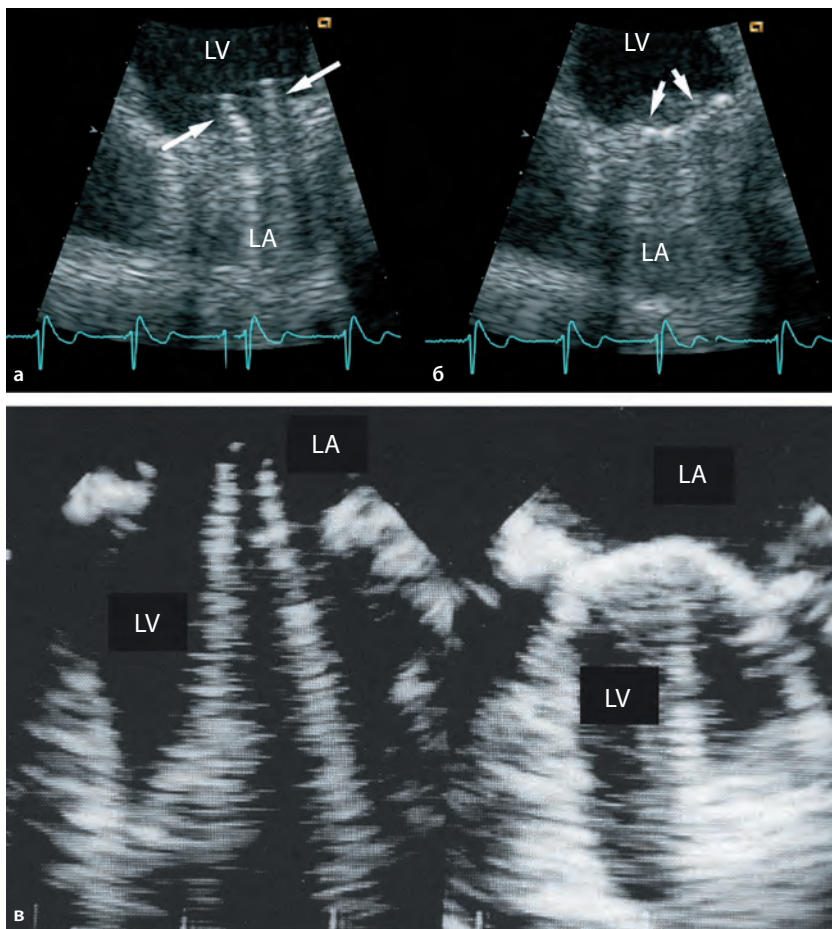


Рис. 18.26 Трансторакальная ЭхоКГ с масштабированием изображения, полученная у больного с двустворчатым клапанным протезом, который был имплантирован в митральную позицию.

- а** Открытое положение.
- б** Закрытое положение. Отчетливо видна экскурсия створок.
- в** Чреспищеводная эхокардиограмма двустворчатого протеза митрального клапана в открытом и закрытом положении.

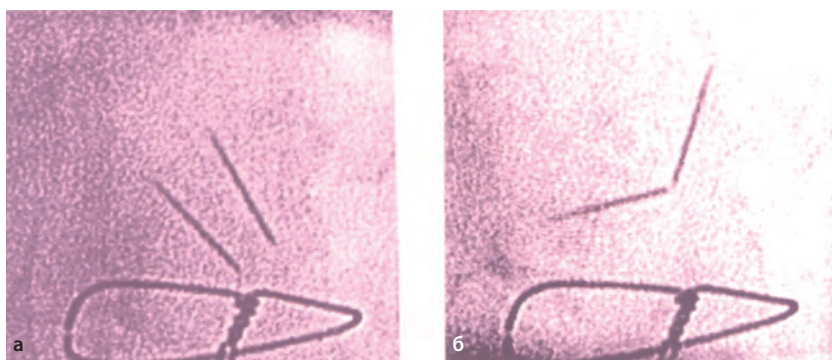


Рис. 18.27 Видеозапись работы двустворчатого клапана St. Jude, имплантированного в аортальную позицию.

- а** Открытое положение.
- б** Закрытое положение.

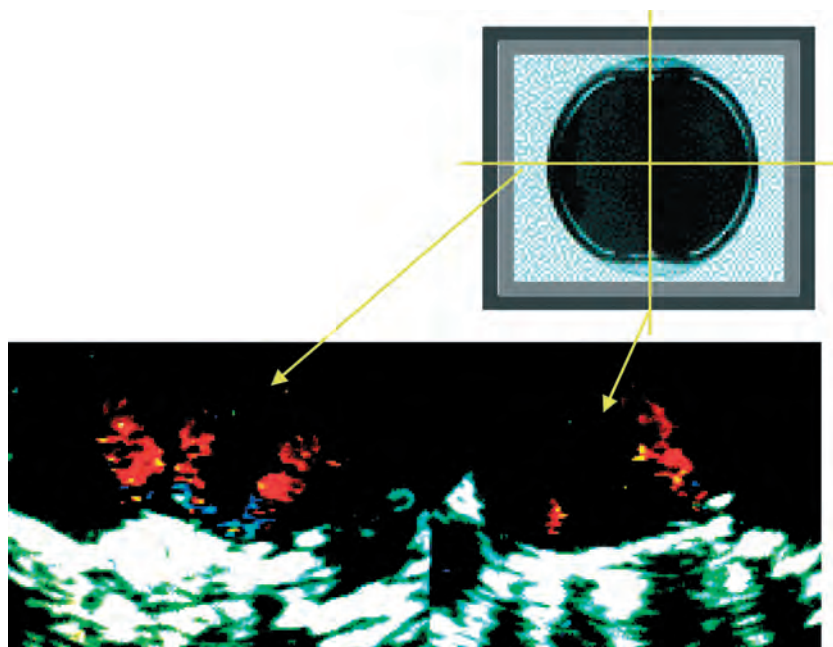


Рис. 18.28 «Нормальная» регургитация через двустворчатый клапанный протез St. Jude Medical. На фотографии клапана показаны места, на уровне которых проходит плоскость сканирования на приведенных ниже эхокардиограммах.

ЭхоКГ те же, что и при исследовании двустворчатых механических клапанов. В этом случае при имплантации клапанного протеза в митральную позицию движения запирающего элемента лучше прослеживаются, однако качество изображения при чреспищеводном исследовании, конечно, лучше (рис. 18.29). При измерении скорости кровотока и расчете по ней градиента давления на клапанном протезе следует учесть, что при открытии диска струя крови в той или иной степени отклоняется и имеет эксцен-

тричное направление. В связи с этим необходимо варьировать положение датчика, с тем чтобы направление ультразвукового луча ориентировать параллельно отклоняющейся струе крови. Клапан имеет большое и малое отверстие, так как запирающий элемент его (диск) подвешен эксцентрично (рис. 18.30).

Нормальная картина. Поворотн-дисковым механическим клапанам также присуща «нормальная» недостаточность. Сонографи-

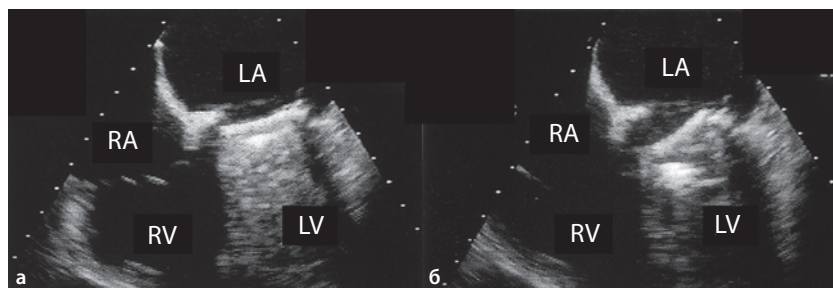


Рис. 18.29 ЧПЭ у больного с клапанным протезом Björk-Shiley, имплантированным в митральную позицию.

- а** Открытое положение. Угол открытия створки ограничен и составляет 45° .
- б** Закрытое положение.

- mechanical mitral valve prosthesis. *Circulation* 1995;91:103–10.
35. Habib G, Cornen A, Mesana T, Monties JR, Djiane P, Luccioni R. Diagnosis of prosthetic heart valve thrombosis. The respective values of transthoracic and transoesophageal Doppler echocardiography. *Eur Heart J* 1993;14:447–55.
 36. Henneke KH, Pongratz G, Pohlmann M, Bachmann K. Doppler echocardiographic determination of geometric orifice areas in mechanical aortic valve prostheses. *Cardiology* 1995;86:508–13.
 37. Herrera CJ, Chaudhry FA, DeFrino PF et al. Value of limitations of transesophageal echocardiography in evaluating prosthetic of bioprosthetic valve dysfunction. *Am J Cardiol* 1992;69:697–9.
 38. Ionescu AA, Moreno de la Santa P, Dunstan FD, Butchart EG, Fraser A. Mobile echoes on prosthetic valves are not reproducible – results of a multicenter study. *Eur Heart J* 1999;20:140–7.
 39. Isada L, Klein AL, Torelli J et al. «Strands» on mitral valve prostheses by transesophageal echocardiography – Another potential embolic source. *J Am Coll Cardiol* 1992;19(Suppl.A):32A.
 40. Izzat MB, Birdi I, Wilde P, Bryan AJ, Angelini GD. Evaluation of the hemodynamic performance of small CarboMedics aortic prostheses using dobutamine-stress Doppler echocardiography. *Ann Thorac Surg* 1995;60:1048–52.
 41. Jain S, Helmcke F, Fan PH et al. Limitations of pulmonary venous flow criteria in the assessment of mitral regurgitation severity by transesophageal echocardiography. *Circulation* 1990;82(Suppl. III):III–551.
 42. Kapur KK, Fan P, Nanda NC, Yoganathan AP, Goyal RG. Doppler color flow mapping in the evaluation of prosthetic mitral and aortic valve function. *J Am Coll Cardiol* 1989;13:1561–71.
 43. Khandheria BK, Seward JB, Oh JK et al. Value and limitations of transesophageal echocardiography in assessment of mitral valve prostheses. *Circulation* 1991;83:1956–68.
 44. Kinney EL, Machado H, Cortado X. Coiling intracardiac sound in a perforated porcine mitral valve detected by pulsed Doppler echocardiography. *Am Heart J* 1986;112:420–3.
 45. Koblic M, Carey C, Webb-People MM, Braimbridge MV. Streptokinase treatment of thrombosed mitral valve prosthesis monitored by Doppler ultrasound. *Thorac Cardiovasc Surg* 1986;34:333–4.
 46. Konstadt SN, Loule EK, Black S et al. Pulmonary venous flow dynamics before and after acute increases in afterload in patients with mitral regurgitation. *J Am Coll Cardiol* 1992;19(Suppl. A):200A.
 47. Kotler MN, Mintz GS, Panidis I, Morgenroth J, Segal BL, Ross J. Noninvasive evaluation of normal and abnormal prosthetic valve function. *J Am Coll Cardiol* 1983;2:151–73.
 48. Kreis A, Lambertz H, Hanrath P. Variation of pulmonary venous flow pattern in patients with different types of normal mitral valve prostheses. *Circulation* 1990;82(Suppl.III):III–18.
 49. Kyo S, Takamoto S, Matsumura M et al. Immediate and early postoperative evaluation of results of cardiac surgery by transesophageal two-dimensional Doppler echocardiography. *Circulation* 1987;76(Suppl.V):V-113.
 50. Labovitz AJ. Assessment of prosthetic heart valve function by Doppler echocardiography. *Circulation* 1989;80:707–9.
 51. Leung DY, Wong J, Rodriguez L, Pu M, Vandervoort PM, Thomas JD. Application of color Doppler flow mapping to calculate orifice area of St Jude mitral valve. *Circulation* 1998;98:1205–11.
 52. Mehta A, Kessler KM, Tamer D, Pefkaros K, Kessler RM, Myerburg RJ. Two-dimensional echocardiographic observations in major detachment of prosthetic aortic valve. *Am Heart J* 1981;101:231–3.
 53. Meloni L, Aru GM, Abbruzzese PA, Cardu G, Martelli V, Cherchi A. Localization of mitral periprosthetic leaks by transesophageal echocardiography. *Am J Cardiol* 1992;69:276–9.
 54. Millar DC, Oyer PE, Stinson EB et al. Ten-to-fifteen year reassessment of the performance characteristics of the Starr-Edwards Model 6120 mitral valve prosthesis. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1983;85:1–20.
 55. Miller FA, Khandheria BK, Freeman WK et al. Mitral prosthesis effective orifice area by a new method using continuity of flow between left atrium and prosthesis. *J Am Coll Cardiol* 1992;19(Suppl.A):214A.
 56. Mohan JC, Agrawal R, Arora R, Khalilullah M. Improved Doppler assessment of the Bjork-Shiley mitral prosthesis using the continuity equation. *Int J Cardiol* 1994;43:321–6.
 57. Mohan JC, Bhargawa M. Doppler echocardiographic assessment of prosthetic aortic valve area: estimation with the continuity equation compared to the Gorlin formula. *Int J Cardiol* 1996;55:177–81.
 58. Mohr-Kahaly S, Kupferwasser I, Erbel R, Oelert H, Meyer J. Regurgitant flow in apparently normal valve prostheses: Improved detection and semiquantitative analysis by transesophageal two-dimensional color-coded Doppler echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 1990;3:187–95.

59. Mügge A, Daniel WG, Frank G, Lichtlen PR. Echocardiography in ineffective endocarditis: Reassessment of prognostic implications of vegetation size determined by the transthoracic and the transesophageal approach. *J Am Coll Cardiol* 1989;14:631–8.
60. Nanda NC, Cooper JW, Mahan III EF et al. Echocardiographic assessment of prosthetic valves. *Circulation* 1991;84(Suppl. I):I-228.
61. Nellessen U, Schnittger I, Appleton CP et al. Transesophageal two-dimensional echocardiography and color Doppler flow velocity mapping in the evaluation of cardiac valve prostheses. *Circulation* 1988;78:848–55.
62. Oyer PE, Stinson EB, Reitz BA, Miller DC, Rositer SJ, Shumway NE. Long-term evaluation of the porcine xenograft bioprosthesis. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1979;78:343–50.
63. Panidis IP, Ross J, Mintz GS. Normal and abnormal prosthetic valve function as assessed by Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1986;8:317–26.
64. Pinto FJ, Wranne B, Schnittger I. Transesophageal echocardiography for study of bioprostheses in the aortic valve position. *Am J Cardiol* 1992;69:274–6.
65. Rashtian MY, Stevenson DM, Allen DT et al. Flow characteristics of four commonly used mechanical heart valves. *Am J Cardiol* 1986;58:743–52.
66. Reisner SA, Meltzer RS. Normal values of prosthetic valve Doppler echocardiographic parameters: A review. *J Am Soc Echocardiogr* 1988;1:201–10.
67. Ren JF, Mintz GS, Chandrasekaran K, Ross JJ Jr, Pennock RS, Frankl WS. Effect of depressed left ventricular function on hemodynamics of normal St. Jude Medical prosthesis in the aortic valve position. *Am J Cardiol* 1990;65:1004–9.
68. Rissoli G, Guglielmi C, Toscano G et al. Reoperations for acute prosthetic thrombosis and pannus: an assessment of rates, relationship and risk. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999;16:74–80.
69. Ross DN. Aortic valve replacement. *Lancet* 1966;2(7462):461–3.
70. Rothbart RM, Smucker ML, Gibson RS. Overestimation by Doppler echocardiography of pressure gradients across Starr-Edwards prosthetic valves in the aortic position. *Am J Cardiol* 1988;61:475–6.
71. Saad RM, Barbetseas J, Olmos L, Rubio N, Zoghbi WA. Application of the continuity equation and valve resistance to the evaluation of St. Jude Medical prosthetic aortic valve dysfunction. *Am J Cardiol* 1997;80:1239–42.
72. Sagar KB, Wann S, Paulsen WHJ, Romhilt DW. Doppler echocardiographic evaluation of Hancock and Bjork-Shiley prosthetic valves. *J Am Coll Cardiol* 1986;7:681–7.
73. Schramm D, Baldauf W, Meisner H. Flow pattern in a velocity field distal to human aortic and artificial heart valves as measured simultaneously by ultramicroscope anemometry in cylindrical glass tubes. *Thorac Cardiovasc Surg* 1980;28:133–40.
74. Shahid M, Sutherland G, Hatle L. Diagnosis of intermittent obstruction of mechanical mitral valve prostheses by Doppler echocardiography. *Am J Cardiol* 1995;76:1305–9.
75. Simpson IA, Fisher J, Raece IJ, Houston AB, Hutton I, Wheatley DJ. Comparison of Doppler ultrasound velocity measurements with pressure differences across bioprosthetic valves in a pulsatile flow model. *Cardiovasc Res* 1986;20:317–21.
76. Sprecher DL, Adamick R, Adams D, Kisslo J. In vitro color flow, pulsed and continuous wave Doppler ultrasound masking of flow by prosthetic valves. *J Am Coll Cardiol* 1987;9:1306–10.
77. Taams MA, Gussenhoven EJ, Cahalan MK et al. Transesophageal Doppler color flow imaging in the detection of native and Bjork-Shiley mitral valve regurgitation. *J Am Coll Cardiol* 1989;13:95–9.
78. Taylor D, Chan KL. Transesophageal echocardiography identification of two types of left atrial spontaneous contrast in patients with mitral mechanical prosthetic valves. *Circulation* 1991;84(Suppl.II):II-161.
79. Teoh KH, Ivanov J, Weisel RD, Daniel LB, Darcel IC, Rokowski H. Clinical and Doppler echocardiographic evaluation of bioprosthetic valve failure after 10 years. *Circulation* 1990;82(Suppl. IV)IV-110–6.
80. Thomas JD, Weyman AE. Doppler mitral pressure half-time: A clinical tool in search of theoretical justification. *J Am Coll Cardiol* 1987;10:923–9.
81. Thomas JD, Wilkins GT, Choong CYP et al. Inaccuracy of mitral pressure half-time immediately after percutaneous mitral valvulotomy. *Circulation* 1988;78:980–93.
82. Van den Brink RB, Visser CA, Basart DC, Duren DR, de Jong AP, Dunning AJ. Comparison of transthoracic and transesophageal Doppler color flow imaging in the patients with mechanical prostheses in the mitral valve position. *Am J Cardiol* 1989;63:1471–4.
83. Vered Z, Mossinson D, Peleg E, Kaplinsky E, Motro M, Bekker B. Echocardiographic assessment of prosthetic valve endocarditis. *Eur Heart J* 1995;16(Suppl. B):63–7.
84. Wilkins GT, Gilliam LD, Kritzer GL, Levine RA, Palacios IF, Weyman AE. Validation of con-

- tinous-wave Doppler echocardiographic measurements of mitral and tricuspid prosthetic valve gradients: A simultaneous Doppler-catheter study. *Circulation* 1986;74:786–95.
85. Wiseth R, Hegrenaes L, Rossvoll O, Skaerpe T, Hatle L Validity of an early postoperative baseline Doppler recording after aortic valve replacement. *Am J Cardiol* 1991;67:869–72.
86. Yoganathan AP, Chau A, Gray RJ et al. Bileaflet, tilting disc and porcine aortic valve substitutes: in vitro hydrodynamic characteristics. *J Am Coll Cardiol* 1984;3:313–20.
87. Yoganathan AP, Jones M, Sahn DJ, Ridgeway A, Jimoh A, Tamura T. Bernoulli gradient calculations for mechanical prosthetic aortic valves: In vitro Doppler Study. *Circulation* 1986;74(Suppl. II):II-391.
88. Zabalgoitia M, Herrera CJ, Chadry FA, Calhoun JH, Mehlmán DJ, O'Rourke RA. Improvement in the diagnosis of bioprosthetic valve dysfunction by transoesophageal echocardiography. *J Heart Valve Dis* 1993;2:595–603.
89. Zabalgoitia M, Kopec K, Abochamh DA, Oneschuk L, Herrera CJ, O'Rourke RA. Usefulness of dobutamine echocardiography in the hemodynamic assessment of mechanical prostheses in the aortic valve position. *J Cardiol* 1997;80:523–6.

19 Заболевания правых отделов сердца

H. Lambertz, O. Ekinçi

Трехстворчатый клапан

Информативность эхокардиографии

Трансторакальная эхокардиография.

Трехстворчатый клапан состоит из передней, септальной и небольшой задней створки (20, 21). Двумерная трансторакальная ЭхоКГ позволяет одновременно визуализировать переднюю и септальную створки в течение всего сердечного цикла. Исследование лучше выполнять из левой парастернальной позиции по короткой оси сердца, а также из апикальной позиции. При доплеровском исследовании трехстворчатого клапана датчик располагают в апикальной, а часто и в левой парастернальной позиции.

С помощью трансторакальной ЭхоКГ при удовлетворительных условиях исследования маленькую заднюю створку трехстворчатого клапана удастся рассмотреть лишь при сканировании из парастернальной позиции датчика, который ориентируют на левое плечо вдоль оси «приносящего тракта правого желудочка».

Чреспищеводная эхокардиография.

В исследовании морфологии трехстворчатого клапана, особенно его комиссур и подклапанного аппарата, решающую роль играет ЧПЭ. Однако и в этом случае заднюю створку клапана визуализировать трудно. Если эхоскоп в нижней части пищевода после исследования венозного синуса максимально наклонить вперед, то у части больных вдоль трансальвулярной короткой оси удастся визуализировать трехстворчатый клапан, включая заднюю его створку. Наиболее отчетливое изображение трехстворчатого клапана удастся получить при ЧПЭ в плоскости четырех камер, а также вдоль базальной короткой оси с наклоном

плоскости сканирования под углом 60° и одновременно в плоскости аортального клапана (30).

Трехмерная эхокардиография правого желудочка.

В связи с неправильной формой правого желудочка, который, как раковина, прикрывает левый желудочек, результаты определения его объема и фракции выброса с помощью двумерной ЭхоКГ неточны. Точно определить эти параметры можно с помощью трехмерной ЭхоКГ. Этот метод более трудоемкий, но не зависит от конфигурации правого желудочка (см. также главу 8); валидность его доказана как в эксперименте на животных, так и в клинических исследованиях (48, 52).

Тканевая доплерография правого желудочка.

Тканевая доплерография, с помощью которой определяют максимальную систолическую скорость кровотока, систолическую деформацию и скорость систолической деформации (24), находится в самом начале своего применения, но, по-видимому, не утратит своего значения и в будущем. Применение этого метода для исследования правого желудочка сердца затрудняется небольшой толщиной его свободной стенки при сканировании в плоскости, примерно соответствующей плоскости четырехкамерной позиции датчика. Межжелудочковая перегородка представляет собой анатомическую структуру, которая выполняет двойственную функцию, участвуя, с одной стороны, в образовании правого желудочка, а с другой – левого, что затрудняет оценку функции правого желудочка. Однако удалось показать, что при заболеваниях миокарда и при легочной гипертензии деформируемость правого желудочка снижена.

Стеноз трехстворчатого клапана

Двумерная эхокардиография. При трансторакальной ЭхоКГ стеноз трехстворчатого клапана rozpoзнается по ограниченной подвижности его створок, уменьшению сепарации их краев, а также куполообразной форме створок в диастолу (рис. 19.1). Возможно сращение комиссур (40). Наиболее информативно сканирование из парастернальной позиции вдоль короткой оси сердца на уровне основания правого желудочка, а также в плоскости четырех камер из апикальной четырехкамерной позиции. Правое предсердие, как правило, увеличено.

Допплерография. При доплеровском исследовании больных со стенозом трехстворчатого клапана выявляют увеличение скорости кровотока через клапан в начале диастолы, расширение частотного спектра и замедленное мезодиастолическое снижение скорости кровотока (рис. 19.2) (15, 22). Таким образом, критерии стеноза трехстворчатого клапана оказались сравнимы с критериями митрального стеноза, однако диастолическое ускорение кровотока из-за обычно более низкого градиента давления на трехстворчатом клапане, как правило, менее выражено. Время $T_{1/2P}$ определяют так же, как при митральном стенозе; в норме оно равно 50–70 мс.

Чреспищеводная эхокардиография.

Стеноз трехстворчатого клапана, который



Рис. 19.1 Трансторакальная эхокардиограмма, зарегистрированная у больного со стенозом трехстворчатого клапана из апикальной четырехкамерной позиции.

практически всегда имеет ревматическую природу, можно диагностировать и с помощью чреспищеводной ЭхоКГ, при которой выявляют характерные для данной патологии утолщение створок клапана, ограничение их подвижности и иногда обызвествление. Допплеровское исследование чреспищеводным доступом удается редко, так как трудно достичь оптимального угла между направлением антероградного потока крови через трехстворчатый клапан и ультразвуковым лучом. В связи с этим более предпочтительно трансторакальное исследование, так как скорость кровотока через трехстворчатый клапан и градиент давления на нем даже при стенозе относительно низкие.

Градиент давления. Средний диастолический градиент давления на трехстворчатом клапане до 4 мм рт.ст. расценивается как признак легкого стеноза, градиент давления, равный 4–7 мм рт.ст., считается признаком умеренного стеноза, а градиент более 7 мм рт.ст. – выраженного стеноза. После реконструкции трехстворчатого клапана (например, путем аннулопластики по Карпантье или Дюрану или с помощью операции Де Вега или Минале) может возникнуть легкий стеноз клапана.

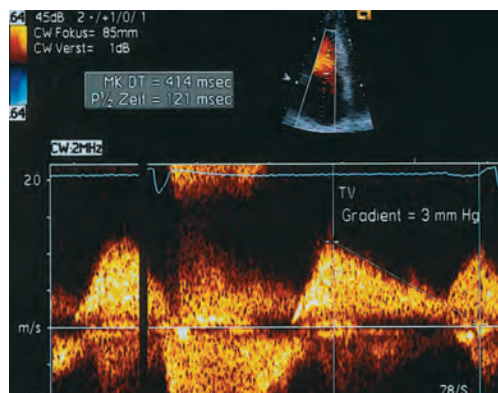


Рис. 19.2 Спектральный доплеровский анализ потока крови, входящего в правый желудочек, у того же больного, что и на рисунке 19.1. Удлинение времени $T_{1/2P}$ пассивного наполнения правого желудочка до 121 мс соответствует среднему диастолическому градиенту на трехстворчатом клапане 3 мм рт.ст.

Недостаточность трехстворчатого клапана

Причины недостаточности трехстворчатого клапана перечислены в таблице 19.1, а критерии оценки степени тяжести ее – в таблице 19.2.

Двумерная эхокардиография. Морфологическая оценка трехстворчатого клапана, а также определение размера кольца трехстворчатого клапана при сканировании в плоскости четырех камер сердца позволяют установить, является ли трикуспидальная недостаточность органической или имеет функциональную природу. При наличии значимой вторичной недостаточности трех-

Таблица 19.1 Причины недостаточности трехстворчатого клапана

Причины	Максимальная скорость регургитации	Правый желудочек	Другие признаки
При легочной гипертензии			
□ Острая недостаточность, например при тромбоэмболии легочной артерии	Повышена, но чаще всего не превышает 3,5 м/с	Расширен; в зависимости от степени недостаточности отмечается глобальная или локальная гипокинезия	Легочная артерия расширена
□ Хроническая недостаточность, например при рецидивирующей тромбоэмболии легочной артерии, пороке митрального клапана, патологическом сбросе крови, идиопатической легочной гипертензии, заболеваниях легких	Значительно повышена	Гипертрофирован, обычно умеренно расширен, тип гемодинамики часто нормокинетичен	Легочная артерия расширена
Без легочной гипертензии			
□ Снижение систолической функции правого желудочка (инфаркт миокарда правого желудочка, ДКМП)	Нормальная или снижена	Расширен и гипокинетичен	При КБС часто нарушено движение стенки правого желудочка в зоне, кровоснабжаемой правой коронарной артерией; при ДКМП отмечается глобальная гипокинезия левого желудочка (изолированное поражение правого сердца встречается очень редко)
Эндокардит			
□ Инфекционный эндокардит	Нормальная	При тяжелой недостаточности расширен и гипокинетичен	Вегетации
□ Эндокардит Леффлера	Нормальная	При тяжелой недостаточности расширен и гипокинетичен	Фиброз
Посттравматические изменения			
□ Например, после биопсии миокарда	Нормальная	При тяжелой недостаточности расширен и гипокинетичен	Иногда разрыв сухожильных хорд