

Pädiatrische Echokardiografie

Ultraschall des Herzens im Kindesalter und bei angeborenen Herzfehlern

Ulrich Kleideiter
Robert Dalla Pozza
Nikolaus A. Haas

754 Abbildungen

Детская эхокардиография

Ультразвуковое исследование сердца у детей.
Ультразвуковая диагностика врожденных пороков сердца

Ульрих Клайдайтер
Роберт Далла Поцца
Николаус А. Хаас

Перевод с немецкого

УДК 616.12-008.3-073.96:616-053.2

ББК 54.101:57.3

К47

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

Книга предназначена для медицинских работников.

Перевод с немецкого: В.Ю.Халатов.

Клайдайтер, Ульрих

К47 Детская эхокардиография. Ультразвуковое исследование сердца у детей. Ультразвуковая диагностика врожденных пороков сердца / Ульрих Клайдайтер, Роберт Далла Поцца, Николаус А. Хаас ; пер. с нем. под ред. проф. М.И.Пыкова. – М. : МЕДпресс-информ, 2022. – 420 с. : ил.

ISBN 978-5-907504-25-7

Книга содержит исчерпывающее руководство по выполнению ультразвукового исследования сердца и крупных сосудов в педиатрической практике (трехступенчатый протокол эхокардиографии), описание врожденных пороков сердца с упором на эхокардиографическую картину, контрольные списки диагностического, пред- и послеоперационного исследований для каждой группы врожденных пороков сердца.

Книга прекрасно иллюстрирована, в том числе видеоматериалами (ссылки на онлайн-медиафайлы в тексте). Предназначена для врачей ультразвуковой диагностики, детских кардиологов и кардиохирургов, студентов медицинских вузов и факультетов.

УДК 616.12-008.3-073.96:616-053.2
ББК 54.101:57.3

ISBN 978-3-13-241604-8

© 2019 of the original German language edition by Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, Germany. Original title: Pädiatrische Echokardiografie, Ultraschall des Herzens im Kindesalter und bei angeborenen Herzfehlern, 1/e, by Ulrich Kleideiter, Robert Dalla Pozza and Nikolaus A. Haas

ISBN 978-5-907504-25-7

© Издание на русском языке, перевод на русский язык, оформление, оригинал-макет. Издательство «МЕДпресс-информ», 2022

Предисловие

Зорко одно лишь сердце. Самого главного глазами не увидишь.

Антуан де Сент-Экзюпери*

...А чтобы заглянуть в окошко и рассмотреть человеческое сердце, понять, как оно работает, вникнуть в его особенности, нет ничего более подходящего, чем эхокардиография (ЭхоКГ).

Врожденные пороки сердца (ВПС) составляют значительную часть врожденных пороков, встречаясь, по данным мировой статистики, с частотой примерно 11 случаев на 1000 новорожденных. Спектр пороков сердца варьирует от анатомических вариантов и простых отклонений от нормального строения, не имеющих существенного клинического значения, до сложных пороков, несовместимых с жизнью, – все они достоверно диагностируются с помощью современной ЭхоКГ. Возрастной диапазон ЭхоКГ-диагностики охватывает внутриутробный период, период новорожденности, детский, подростковый периоды и включает также распознавание ВПС у взрослых пациентов.

ЭхоКГ представляет собой неинвазивное недорогое исследование с неограниченной возможностью повторного выполнения. С его помощью можно поставить точный диагноз, подтвердить или исключить заболевание сердца – этого жизненно важного органа человека – и дать прецизионную оценку его функции. При этом ЭхоКГ занимает прочные позиции не только в детской кардиологии, но и в диагностике нарушений гемодинамики у новорожденных, пациентов отделений реанимации и интенсивной терапии, а также пациентов, поступающих в отделения неотложной медицинской помощи.

Современная ЭхоКГ заменяет сегодня (при тщательном ее выполнении) многие инвазивные и к тому же трудоемкие и дорогостоящие исследования, не подвергая пациента вредному ионизирующему излучению. Она дает возможность точно документировать результаты исследования, что связано с выполнением его в стандартизированных плоскостях и в реальном времени: хорошая картинка красноречивее всяких слов.

При написании книги мы хотели привить знания в этой области медицины с помощью понятных схем,

рисунков и видеоизображений и сделать так, чтобы освоение этой компетенции доставляло читателю удовольствие. Наш подход основывается на многолетнем собственном опыте подготовки и усовершенствования наших жаждущих новых знаний коллег. В отдельных главах приводятся последовательные инструкции по диагностике некоторых пороков сердца и обследованию пациентов и излагаются типичные трудности, с которыми может столкнуться врач в процессе диагностики.

Мы бесконечно благодарны нашим семьям за понимание, в котором так нуждались в процессе работы над книгой. Мы благодарны сотрудникам издательства «Georg Thieme» за безмерную поддержку нашего проекта с самого начала до его завершения. Хотелось бы особо выделить г-жу Heike Tegude, участие которой сделало возможным выход в свет книги в ее нынешнем виде. Приносим слова благодарности г-же Christine Krause, которая включилась в проект на этапе издания книги.

Нам хочется также выразить признательность нашим учителям на академическом и клиническом поприще, а также всем коллегам, которые пробудили и поддерживали в нас интерес к детской ЭхоКГ и вдохновляли нас.

Наконец, такая книга может получить жизнь благодаря обмену информацией между авторами и читателями. Мы заранее благодарны всем, кто проявит интерес к книге, выразит свои отзывы и конструктивную критику о ней, и готовы к диалогу с ними.

Мы надеемся, что чтение нашей книги упростит врачам постижение практических аспектов ЭхоКГ, поможет им оптимизировать свою кривую обучения и углубить знания по этой дисциплине.

ЭхоКГ требует, помимо структурированного обучения, прежде всего также навыков и умения, поэтому мы призываем всех, кто заинтересовался этой книгой, взяться за ультразвуковой датчик и тренироваться.

Цесфельд и Мюнхен, июнь 2019 г.

Ульрих Клайдайтер
Роберт Далла Поцца
Николаус А. Хаас

* Перевод приводится по изданию: Экзюпери А. Маленький принц. Парал. тексты на рус. и фр. яз. / пер. Н.Галь. – М.: Междунар. отношения, 1996. – 72 с.

Предисловие проф. Кесесиоглу

Когда меня попросили написать предисловие к этой книге, первое, о чем я тогда подумал, было: «К чему еще одна книга по ультразвуковому исследованию?» Ведь уже есть немало книг по ЭхоКГ на немецком и английском языках. Но, просмотрев ее, я уже не задавал себе этого вопроса. Мне было ясно: это книга, написанная практиками для практиков; ее можно использовать в повседневной практической работе и в то же время получить представление о теоретических основах ультразвуковой диагностики. Эта книга, несомненно, является новым образцовым трудом по ЭхоКГ.

Детская ЭхоКГ в течение нескольких десятилетий развивалась семимильными шагами, и сегодня она занимает ведущие позиции в детской кардиологической диагностике. Методы ЭхоКГ постоянно совершенствуются, и с помощью двухмерной ЭхоКГ, например, уже можно получить подробную анатомическую картину здорового и больного сердца. И не только анатомическое строение сердца можно исследовать с помощью ЭхоКГ: доплеровская ЭхоКГ позволяет неинвазивно и относительно быстро получить представление о функции сердца. Значительным преимуществом ЭхоКГ является возможность ее выполнения у постели больного, в неотложных ситуациях, в палате интенсивной терапии, периинтервенционно в лаборатории зондирования сердца, а также в пред- и послеоперационном периоде при выполнении кардиохирургических вмешательств.

Новые методы, такие как трехмерная ЭхоКГ, тканевая доплеровская ЭхоКГ и эластография миокарда, могут сегодня применяться для решения особых диагностических проблем, возникающих в клинике.

Содержание книги охватывает весь спектр врожденных и приобретенных в детском возрасте пороков

и заболеваний сердца, она наглядна и хорошо оформлена. Как простые, так и сложные пороки сердца описаны в легкодоступной форме. Анатомия и гемодинамика пороков сердца, особенности их хирургического и интервенционного лечения проиллюстрированы наглядными и понятными схемами. Весьма уместны вставленные в текст блоки с четко сформулированными пунктами, а также рубрики «Примечание» и «Внимание!».

Особенно удались схематические рисунки отдельных пороков сердца и их ЭхоКГ-изображения, благодаря которым даже неопытный врач может правильно интерпретировать полученные результаты.

Одной из особенностей и несомненным достоинством этой книги являются главы «Эхокардиография в неонатологии», «Эхокардиография в детской неотложной медицине», «Пороки сердца с унiventрикулярной гемодинамикой», а также отдельные пункты в других главах, посвященные ЭхоКГ-диагностике ВПС у взрослых, которая в таком ключе еще не освещалась в других книгах по ЭхоКГ. Данную книгу можно без каких-либо оговорок рекомендовать всем детским врачам, интересующимся детской кардиологией, а также врачам, совершенствующимся в области детской кардиологии, неонатологам, детским кардиологам и всем врачам, которые занимаются лечением больных с ВПС.

Бад Ойенхаузен, 24.12.2018 г.

Профессор, доктор медицины Deniz Kesecioglu

Центр по лечению врожденных пороков сердца и детской кардиологии

Кардиологический центр и Центр диабетологии, Северный Рейн–Вестфалия

Георгштрассе 11

32545 Бад Ойенхаузен

Предисловие проф. Netz

Когда мы начинали свою деятельность в 2003 г. в небольшой рабочей группе по созданию Академии немецкого общества детских кардиологов, нашим первым желанием было написать руководство по ЭхоКГ. Уже тогда ультразвуковое исследование (УЗИ) занимало значительное место в диагностике ВПС. Столь высоким своим положением ЭхоКГ обязана не только ультразвуковому исследованию как таковому, но и значительному прогрессу, который произошел в области ультразвуковой техники, и в гораздо большей мере – новым методам исследования, вплоть до четырехмерной ЭхоКГ с пространственно-временной корреляцией изображения.

Сегодня ЭхоКГ – это метод диагностики, без которого невозможно обойтись при обследовании пациентов с ВПС, включая определение функциональных показателей сердца в широком возрастном диапазоне: от исследования плода до взрослых. Постановка диагноза, определение показаний к операции, исследование пациентов в динамике в до-, пери- и послеоперационном периоде – все это осуществляют почти исключительно с помощью ЭхоКГ.

В связи со сказанным выше владение знаниями в области ЭхоКГ и навыками проведения исследования приобретает неопределимое значение для детского кардиолога и является необходимым условием его работы. Начинающим специалистам необходимо, помимо интенсивного обучения практической ЭхоКГ, иметь возможность также осваивать теоретические основы этого метода исследования, но и опытные профессионалы нередко получают необычные данные, которые необходимо быстро и правильно интерпретировать.

Данная книга, основанная на новой концепции и превосходно составленная в дидактическом плане, отвечает запросам и тех и других. Она поможет новичкам быстро вникнуть в трудности этого метода. Однако и кардиолог со стажем сможет оценить, что опытные и высококвалифицированные специалисты, написавшие эту книгу, распределили в ней тематический материал не так, как это делается в других теоретических источниках, а весьма практично и для практических целей, что дает возможность быстрого поиска и основательного понимания диагностической находки с ее сложными связями.

Однако эта книга задумана не только для детских кардиологов в качестве неотъемлемой части их повседневной работы. Она, несомненно, будет полезна и коллегам родственных и смежных специальностей, в частности детским кардиохирургам, врачам детских отделений интенсивной терапии, неонатологам, педиатрам, кардиологам и др., поэтому рекомендуем им, и особенно настоятельно – детским кардиологам, приобрести эту образцовую книгу.

Мюнхен, декабрь 2018 г.

Почетный профессор и почетный доктор медицины Heinrich Netz, в прошлом руководитель отделения детской кардиологии и детской интенсивной терапии клиники Университета им. Людвига и Максимилиана в Мюнхене

Мархиоништрассе 15
81377 Мюнхен

Предисловие проф. Schranz

«Детская эхокардиография», первая совместная работа фон Клайдайтера, Хааса и Далла Поццы, действительно удалась и вызывает у интересующихся этим методом исследования восхищение, а у всякого любознательного пробуждает интерес к нему. Энтузиазм авторов, их любовь к эстетике и тщание при написании этого труда читатель чувствует уже при перелистывании его, а высокую профессиональную компетентность авторов – при внимательном чтении. Издательство «Georg Thieme», выпустившее эту книгу, дополняет и усиливает это впечатление от книги за счет столь превосходного издания и замечательных схем и рисунков.

Книга хорошо структурирована и состоит из двух тесно связанных частей: описания основ ЭхоКГ и выполнения клинических исследований. ВПС и приобретенные заболевания сердца подробно и содержательно описаны в соответствующих разделах и читаются с неослабевающим интересом. Главы, посвященные физическим и техническим предпосылкам проведения ЭхоКГ, анатомическому и сегментарному анализу и стандартному исследованию вовсе не скучны, возможно потому, что методы определения гемодинамических показателей, имеющие практическое значение для клинициста, описаны весьма удачно.

Общая структура со сфокусированным текстом, иллюстрированными инструкциями в двух- и отчасти трехмерном (2D и 3D) формате, прямой доступ к видео дают возможность использовать книгу в качестве учебника, рабочей тетради или даже справочника. Для кого предназначена эта книга? Я думаю, она, прежде всего, принесет пользу пациентам, если обучающийся врач или даже преподаватель смогут применить на практике предоставляемые книгой знания. Книга будет полезна педиатрам, и особенно детским кардиологам, причем не только в образовательном плане. Было бы замечательно, если бы кардиологи, детские хирурги и детские анестезиологи, желая закрепить или расширить свои знания, прочитали

отдельные главы этой книги, особенно главу, посвященную ЭхоКГ в неонатологии, или всю книгу целиком. Преподаватели медицинских дисциплин могут, не нарушая авторских прав, использовать в своей работе содержание этой книги и представленный в ней дидактический материал при изложении детской сердечно-сосудистой системы с клиническими примерами или без них.

Итак, «Детская эхокардиография» найдет многочисленные полезные области применения. И ей не страшна конкуренция с другими книгами, для этого достаточно уже одних только фрагментов, относящихся к диагностике приобретенных заболеваний сердечно-сосудистой системы у взрослых, и материала, посвященного применению ЭхоКГ в неонатологии. Особенно удалось представление патологоанатомических и патофизиологических изменений с их клиническими проявлениями в сочетании с поясняющими эхокардиограммами, детализирующими схемами, графиками, строгими описаниями, не содержащими ничего лишнего. Эта книга позволяет мне вновь надеяться, что, несмотря на внушительный технический прогресс или благодаря ему, врач будет рассматривать аппарат УЗИ не как «всевидящее» диагностическое устройство, которое поставляется производителем медицинского оборудования, а всего лишь как инструмент, и этот врач будет добросовестно и со знанием дела действовать только в интересах своих пациентов с сердечной патологией, будь то дети, подростки или взрослые.

Франкфурт, январь 2019 г.

Профессор, доктор медицины Dietmar Schranz, в прошлом руководитель Центра детской кардиологии и Центра коррекции врожденных пороков сердца
Отделение детской кардиологии Университета им. Юстуса Либиха
Фейльгенштрассе 12
35319 Гисен

Содержание

Предисловие	5
Предисловие проф. Kesecioglu	6
Предисловие проф. Netz	7
Предисловие проф. Schranz	8
Сокращения	9
Anschriften	15
Основы эхокардиографии	
1 Физические основы эхокардиографии и технические предпосылки	18
1.1 Физические и технические основы	18
1.1.1 Получение ультразвукового изображения	18
1.1.2 Ультразвуковые датчики	18
1.1.3 Допплеровское ультразвуковое исследование	19
1.1.5 Ламинарный или турбулентный кровоток?	25
1.1.6 Расчет градиента давления с помощью доплеровского исследования	25
1.2 Общие и технические предпосылки эхокардиографии	27
1.2.1 Показания	27
1.2.2 Помещение для исследования	27
1.2.3 Положение пациента	27
1.2.4 Отвлечение внимания пациента и седация	29
1.2.5 Предпосылки, связанные с оборудованием	29
1.2.6 Ультразвуковые датчики	30
1.2.7 Настройка ультразвукового аппарата	30
1.2.8 Хранение данных	32
1.2.9 Обследование	32
2 Сегментарный анализ сократительной функции сердца: анатомические основы	35
2.1 Анатомические основы	35
2.1.1 Ось и границы сердца	35
2.1.2 Желудочки сердца	35
2.1.3 Межжелудочковая перегородка	36
2.1.4 Предсердия	36
2.1.5 Межпредсердная перегородка	37
2.1.6 Клапаны сердца	37
2.1.7 Крупные сосуды	38
2.1.8 Дуга аорты	38
2.1.9 Коронарные артерии	38
2.2 Анатомическое деление сердца на сегменты	39
2.2.1 Концепция деления сердца на сегменты	39
2.2.2 Анатомические аспекты	40
3 Стандартное эхокардиографическое исследование	47
3.1 Стандартные плоскости	47
3.1.1 Принципы проведения эхокардиографии	47
3.1.2 Первое эхокардиографическое исследование	48
3.2 Ультразвуковое исследование в М-режиме	72
3.2.1 Исследование в плоскости, проходящей под створками митрального клапана	73
3.2.2 Исследование на уровне митрального клапана	74
3.2.3 Исследование на уровне аортального клапана и левого предсердия	75
3.2.4 Перемещение плоскости исследования от уровня середины желудочка к корню аорты	76
3.2.5 Причины ошибок при выполнении измерений в М-режиме	76
3.3 Допплеровский профиль спектральной кривой скорости кровотока	79
3.3.1 Допплеровский профиль спектральной кривой скорости кровотока через полулунные клапаны	79
3.3.2 Атриовентрикулярные клапаны	80
3.3.3 Перешеек аорты	80
3.3.4 Нисходящая и брюшная аорта	81
3.3.5 Нижняя полая вена и печеночные вены	82
3.3.6 Легочные вены	84
4 Исследование гемодинамики	86
4.1 Оценка систолической функции	86
4.1.1 Основы диагностики	86
4.1.2 Эхокардиография	87
4.2 Оценка диастолической функции	93
4.2.1 Основы диагностики	93
4.2.2 Эхокардиография	94
4.3 Расчет минутного объема сердца и величины сброса крови	98
4.4 Морфометрический анализ	100
4.4.1 Нормирование по росту, массе и площади поверхности тела	106
4.4.2 Z-шкала	106
4.4.3 Измерение морфометрических параметров сердца: клапаны и магистральные сосуды	106

Частная эхокардиография

5	Пороки сердца со сбросом крови слева направо	110
5.1	Дефекты межпредсердной перегородки	110
5.1.1	Общие сведения	110
5.1.2	Эхокардиография	112
5.2	Дефект межжелудочковой перегородки	119
5.2.1	Общие сведения	119
5.2.2	Эхокардиография	122
5.3	Дефект атриоventрикулярной перегородки	130
5.3.1	Общие сведения	130
5.3.2	Эхокардиография	133
5.4	Открытый артериальный проток	138
5.4.1	Общие сведения	138
5.4.2	Эхокардиография	139
5.5	Частичный anomальный дренаж легочных вен	145
5.5.1	Общие сведения	145
5.5.2	Эхокардиография	147
5.6	Тотальный anomальный дренаж легочных вен	151
5.6.1	Общие сведения	151
5.6.2	Эхокардиография	153
5.7	Дефект аортолегочной перегородки	157
5.7.1	Общие сведения	157
5.7.2	Эхокардиография	158
6	Цианотические врожденные пороки сердца	161
6.1	Транспозиция магистральных артерий	161
6.1.1	Общие сведения	161
6.1.2	Эхокардиография	163
6.2	Врожденная корригированная транспозиция магистральных артерий	171
6.2.1	Общие сведения	171
6.2.2	Эхокардиография	172
6.3	Двойное отхождение сосудов от правого желудочка	176
6.3.1	Общие сведения	176
6.3.2	Эхокардиография	178
6.4	Общий артериальный ствол	182
6.4.1	Общие сведения	182
6.4.2	Эхокардиография	183
6.5	Тетрада Фалло	186
6.5.1	Общие сведения	186
6.5.2	Эхокардиография	189
6.6	Атрезия легочного ствола при нормальной межжелудочковой перегородке	200
6.6.1	Общие сведения	200
6.6.2	Эхокардиография	201
6.7	Аномалия Эбштейна	206
6.7.1	Общие сведения	206
6.7.2	Эхокардиография	207
6.8	Атрезия трехстворчатого клапана	211
6.8.1	Общие сведения	211
6.8.2	Эхокардиография	213
6.9	Врожденные пороки сердца с униventрикулярной гемодинамикой	216
6.9.1	Общие сведения	216
6.9.2	Эхокардиография	218
6.10	Синдром гипоплазии левых отделов сердца	221
6.10.1	Общие сведения	221
6.10.2	Эхокардиография	222
7	Пороки развития крупных сосудов и клапанов сердца	231
7.1	Стеноз легочного ствола	231
7.1.1	Общие сведения	231
7.1.2	Эхокардиография	234
7.2	Недостаточность клапана легочного ствола	242
7.2.1	Общие сведения	242
7.2.2	Эхокардиография	243
7.3	Аортальный стеноз	247
7.3.1	Общие сведения	247
7.3.2	Эхокардиография	250
7.4	Аортальная недостаточность	257
7.4.1	Общие сведения	257
7.4.2	Эхокардиография	258
7.5	Коарктация аорты	262
7.5.1	Общие сведения	262
7.5.2	Эхокардиография	264
7.6	Перерыв дуги аорты	270
7.6.1	Общие сведения	270
7.6.2	Эхокардиография	271
7.7	Врожденные сосудистые кольца и аномалии ветвей дуги аорты	274
7.7.1	Общие сведения	274
7.7.2	Эхокардиография	274
7.8	Митральный стеноз	279
7.8.1	Общие сведения	279
7.8.2	Эхокардиография	281
7.9	Митральная недостаточность	286
7.9.1	Общие сведения	286
7.9.2	Эхокардиография	287
7.10	Пролапс митрального клапана	293
7.10.1	Общие сведения	293
7.10.2	Эхокардиография	294

8	Врожденные аномалии развития коронарных артерий	298		
8.1	Аномалии развития коронарных артерий	298	8.2	Синдром Бланда–Уайта–Гарленда
8.1.1	Общие сведения	298	8.2.1	Общие сведения
8.1.2	Эхокардиография	301	8.2.2	Эхокардиография
9	Аномалии развития системных вен	310		
9.1	Общие сведения	310	9.3	Перерыв нижней полой вены с оттоком крови по непарной и полунепарной венам («азигос-непрерывность»)
9.2	Персистирующая левая верхняя полая вена	310		
9.2.1	Эхокардиография	310	9.3.1	Эхокардиография
10	Аномалии положения сердца и внутренних органов	314		
10.1	Декстрокардия	314	10.2	Синдромы гетеротаксии
10.1.1	Общие сведения	314	10.2.1	Общие сведения
10.1.2	Эхокардиография	314	10.2.2	Эхокардиография
11	Приобретенные заболевания сердца	320		
11.1	Миокардиты	320	11.3	Скопление жидкости в полости перикарда. Перикардит
11.1.1	Общие сведения	320		
11.1.2	Эхокардиография	320	11.3.1	Общие сведения
11.2	Инфекционный эндокардит	321	11.3.2	Эхокардиография
11.2.1	Общие сведения	321	11.4	Синдром Kawasaki
11.2.2	Эхокардиография	322	11.4.1	Общие сведения
			11.4.2	Эхокардиография
12	Опухоли сердца	336		
12.1	Общие сведения	336	12.2.2	Эхогенность и эхоструктура опухоли
12.1.1	Патологическая анатомия и патологическая физиология	336	12.2.3	Обструкция клапанного отверстия и недостаточность клапана
12.1.2	Классификация опухолей	336	12.2.4	Скопление жидкости в полости перикарда
12.2	Эхокардиография	337	12.2.5	Дифференциальная диагностика опухолей сердца
12.2.1	Количество опухолевых узлов, их размеры и локализация	337		
13	Кардиомиопатии	340		
13.1	Дилатационная кардиомиопатия	340	13.3.2	Эхокардиография
13.1.1	Общие сведения	340	13.4	Аритмогенная кардиомиопатия правого желудочка
13.1.2	Эхокардиография	341		
13.2	Гипертрофия сердца и гипертрофическая обструктивная кардиомиопатия	344	13.4.1	Общие сведения
13.2.1	Общие сведения	344	13.4.2	Эхокардиография
13.2.2	Эхокардиография	346	13.5	Некомпактная кардиомиопатия
13.3	Рестриктивная кардиомиопатия	349		
13.3.1	Общие сведения	349	13.5.1	Общие сведения
			13.5.2	Эхокардиография
14	Легочная гипертензия	356		
14.1	Общие сведения	356	14.2.3	Визуализация легочного ствола и правой и левой легочных артерий
14.1.1	Патологическая анатомия и патологическая физиология	356	14.2.4	Особенности движения межжелудочковой перегородки
14.1.2	Клиническая картина, течение, терапия	357	14.2.5	Расчет давления в легочном круге кровообращения
14.2	Эхокардиография	357	14.2.6	Анализ профиля спектральной кривой скорости кровотока через клапан легочного ствола
14.2.1	Измерение диаметра правых предсердия и желудочка	357		
14.2.2	Оценка функции правого желудочка	358		

14.2.7	Колебание диаметра нижней полой вены в зависимости от фаз дыхания	361	обструкции легочных вен и патологии левых отделов сердца	363	
14.2.8	Оценка функции правого желудочка	362	14.2.11	Исключение скопления жидкости в полости перикарда	363
14.2.9	Оценка функции левого желудочка	363	14.2.12	Динамическое наблюдение за пациентами после предсердной септостомии	364
14.2.10	Исключение патологического сброса крови в сердце или вне его; исключение				
15	Коррекция гемодинамики по Фонтэну	365			
15.1	Общие сведения	365	15.2	Эхокардиография	367
15.1.1	Патологическая анатомия и патологическая физиология	365	15.2.1	Верхний кавопульмональный анастомоз	367
			15.2.2	«Фонтэновское кровообращение»	368
16	Эхокардиографическая картина детских и генетически обусловленных болезней	371			
17	Эхокардиография в неонатологии	376			
17.1	Врожденные пороки сердца, при которых системное кровообращение зависит от проходимости артериального протока	377	17.4.2	Тотальный аномальный дренаж легочных вен	381
17.1.1	Критический аортальный стеноз	377	17.4.3	Унивентрикулярное сердце	381
17.1.2	Коарктация аорты	377	17.5	Пороки сердца с гемодинамически значимым сбросом крови слева направо	382
17.1.3	Перерыв дуги аорты	377	17.5.1	Большие дефекты межжелудочковой перегородки	382
17.1.4	Синдром гипоплазии левых отделов сердца	378	17.5.2	Полная форма атриовентрикулярного канала	383
17.2	Врожденные пороки сердца, при которых легочное кровообращение зависит от проходимости артериального протока	378	17.5.3	Дефект аортолегочной перегородки	383
17.2.1	Критический легочный стеноз	378	17.6	Открытый артериальный проток у новорожденных	383
17.2.2	Атрезия легочного ствола	378	17.6.1	Общие сведения	383
17.2.3	Тетрада Фалло	379	17.6.2	Эхокардиография	384
17.2.4	Атрезия трехстворчатого клапана	379	17.7	Персистирующая легочная гипертензия новорожденных	389
17.2.5	Аномалия Эбштейна	379	17.7.1	Общие сведения	389
17.3	Врожденные пороки сердца с параллельным функционированием легочного и системного кругов кровообращения	380	17.7.2	Эхокардиография	390
17.3.1	D-транспозиция магистральных артерий	380	17.8	Врожденные диафрагмальные грыжи и дефекты диафрагмы	393
17.4	Врожденные пороки сердца, характеризующиеся полным интракардиальным смешением крови	381	17.8.1	Общие сведения	393
17.4.1	Общий артериальный ствол	381	17.8.2	Эхокардиография	393
			17.9	Первичное закрытие артериального протока	394
			17.9.1	Общие сведения	394
			17.9.2	Эхокардиография	394
18	Эхокардиография при неотложных состояниях в педиатрии	396			
18.1	Исключение быстро устранимой причины, особенно тампонады сердца, вызвавшей кардиогенный шок	397	18.4	Оценка волемического статуса	399
18.2	Оценка систолической функции левого желудочка	398	18.4.1	Пациенты, которым проводится искусственная вентиляция легких	400
18.3	Определение размеров правого желудочка и оценка его функции для исключения легочной гипертензии	398	18.4.2	Пациенты с сохранным самостоятельным дыханием	400
			18.5	Определение минутного объема сердца	401
19	Дифференциальная диагностика наиболее важных врожденных пороков сердца и их эхокардиографическая симптоматика	403			
20	Чреспищеводная эхокардиография	411			
20.1	Оборудование	411	20.2	Методика исследования	411

20.3	Исследование в стандартных плоскостях	412	20.6	Положение датчика в нижней/средней части пищевода	414
20.4	Положение датчика в средней части пищевода	412	20.7	Трансгастральное сканирование	414
20.5	Положение датчика на уровне верхней части пищевода	412	20.8	Аортальный срез	415
21	Приложение. Морфометрические показатели сердца	416			
21.1	Нормальные значения морфометрических показателей сердца, измеренных при исследовании в М-режиме	416	21.5	Систолическая экскурсия кольца трехстворчатого клапана (TAPSE)	418
21.2	Нормальные значения скорости кровотока в различных отделах сердца, определенной с помощью спектральной доплерографии	418	21.6	Количественная оценка стенозов	418
21.3	Фракция укорочения	418	21.6.1	Расчет с помощью упрощенного уравнения Бернулли	418
21.4	Фракция выброса	418	21.6.2	Расширенное уравнение Бернулли	418
			21.7	Интернет	419

Основы эхокардиографии

1	Физические основы эхокардиографии и технические предпосылки	18
2	Сегментарный анализ сократительной функции сердца: анатомические основы	35
3	Стандартное эхокардиографическое исследование	47
4	Исследование гемодинамики	86

1 Физические основы эхокардиографии и технические предпосылки

1.1 Физические и технические основы

В этой главе приводится обзор наиболее важных данных, составляющих физическую основу практического применения ЭхоКГ.

1.1.1 Получение ультразвукового изображения

При выполнении УЗИ, в частности ЭхоКГ, используют феномен отражения ультразвуковых волн на границе поверхностей двух слоев тканей, имеющих разную акустическую плотность. Чем больше разница в акустической плотности двух слоев тканей, тем больше отражение на границе их раздела, и чем больше отражение, тем плотнее эхосигнал, т.е. светлее соответствующая область на ультразвуковом изображении.

В предельном случае, когда эхосигнал отражается полностью, за отражающей поверхностью появляется ультразвуковая тень (полное отражение). Этот феномен наблюдается, например, на ребрах: изображение ребра на эхограмме получается акустически очень плотным, и визуализировать ткани, которые расположены за ними, невозможно. Этот же феномен наблюдается и при облучении ультразвуком легких, так как они содержат воздух.

А в тех случаях, когда разница в акустической плотности между двумя слоями тканей отсутствует, отражения ультразвука на границе между ними не происходит. Такая картина наблюдается, например, при облучении гомогенной жидкости, в частности крови. На ультразвуковых изображениях кровь получается черной, так как не отражает ультразвуковых волн.

При УЗИ применяется ультразвук с частотой колебаний выше 20 000 Гц, который превышает возможности восприятия человеческого уха.

Ультразвуковые волны генерируются кристаллами, находящимися в ультразвуковом датчике и превращающими электрические импульсы в механические колебания. Эти колебания распространяются от датчика и затем отражаются в виде эхосигналов, возвращающихся к датчику, в котором они вызывают деформацию кристаллов. Эта деформация преобразуется в электрические импульсы (пьезоэлектрический эффект), из которых ультразвуковой аппарат строит изображение.

Для построения изображения важно, на какой глубине происходит отражение ультразвукового сигнала. Эту глубину рассчитывают по латентному периоду между отправленным и принятым сигналами. Чем

она больше, тем длительнее латентный период между посланным и принятым сигналами. Этот феномен можно пояснить на следующем примере. Чем больше времени проходит, пока мы услышим собственное эхо в горах, тем дальше от нас расположена гора.

Часть энергии отраженных ультразвуковых волн на пути к датчику теряется. Чем дальше от датчика возникают отраженные волны, тем больше потеря энергии. По сравнению с ультразвуковыми волнами, отражающимися вблизи от датчика, волны, которые отражаются от глубоко залегающих тканей, имеют меньшую акустическую плотность и обуславливают темный цвет изображения. Для того чтобы образования, характеризующиеся одинаковой эхогенностью, но разной глубиной залегания в тканях, имели одинаковую яркость на ультразвуковом изображении, в ультразвуковом аппарате предусмотрена функция автоматической коррекции, с помощью которой в аппарате при построении изображения учитывается глубина залегания ткани и, соответственно, выравнивается яркость эхосигналов, происходит так называемая компенсация усиления по времени (time gain compensation).

1.1.2 Ультразвуковые датчики

В ультразвуковой диагностике, в частности в ЭхоКГ, применяются ультразвуковые датчики с рабочей частотой от 2 до 12 МГц. В детской ЭхоКГ обычно используются ультразвуковые датчики с рабочей частотой 3,5–12 МГц. Выбор частоты зависит от глубины залегания тканей и органов, которые предстоит исследовать, и от степени разрешения, которая необходима для исследования.

Датчики с высокой рабочей частотой (например, 12 МГц) обладают большей разрешающей способностью, но глубина исследования у них меньше. С другой стороны, датчики с малой рабочей частотой (3,5 МГц) характеризуются большей глубиной исследования в ущерб разрешающей способности. В практической плоскости это означает, что врач при выборе датчика должен искать компромисс между глубиной исследования и разрешающей способностью. Для исследования юных пациентов желательно выбрать датчик с рабочей частотой 4 МГц, чтобы обеспечить достаточную глубину проникновения ультразвукового луча, но разрешение при этом будет меньше. Для исследования новорожденных можно воспользоваться датчиком с рабочей частотой 12 МГц, в меньшей мере жертвуя разрешающей способностью.

Примечание

- Датчик с высокой рабочей частотой (12 МГц): небольшая глубина проникновения, высокая разрешающая способность.
- Датчик с малой рабочей частотой (3,5 МГц): большая глубина проникновения, низкая разрешающая способность.

Для выполнения ЭхоКГ используют почти исключительно секторальные датчики, которые являются наиболее подходящими для этой цели. Они позволяют получить изображения с помощью веерообразно расходящихся ультразвуковых лучей. Эти датчики имеют небольшие размеры, а генерируемый ими ультразвуковой луч по мере проникновения вглубь расширяется (рис. 1.1).

Для целей ЭхоКГ секторальные датчики идеальны, так как имеют небольшую поверхность контакта с кожей, легко и удобно располагаются в межреберье, что позволяет избежать появления акустических теней, отбрасываемых ребрами. Существенный недостаток секторальных датчиков – низкое разрешение при исследовании в ближнем поле.

1.1.3 Допплеровское ультразвуковое исследование

Исследование и визуализация кровотока и движения тканей с помощью доплеровской эхографии дополняют ЭхоКГ.

В основе доплеровского УЗИ лежит одноименный физический эффект, описанный впервые в 1842 г. австрийским ученым Христианом Иоганном Допплером. Наблюдая за звездами, он обнаружил так называемый эффект частотного сдвига. Этот эффект проявляется при облучении физического объекта волнами (например, светом или звуком) и регистрации волн, отразившихся от него. Если объект движется в направлении к источнику волн, то частота их возрастает, а если он удаляется от источника, то частота уменьшается – происходит частотный сдвиг.

Зная величину частотного сдвига, можно рассчитать скорость, с которой объект приближается к датчику или, наоборот, удаляется от него.

Приведем пример из повседневной жизни. По высоте звучания сирены движущейся машины скорой помощи человек может сказать, приближается ли она к нему или удаляется от него. Если она приближается, частота звука увеличивается и его тон становится выше. Если же машина скорой помощи удаляется от него, частота звука убывает и, соответственно, тон снижается. И чем быстрее повышается или снижается тон сирены, тем больше скорость движения машины (рис. 1.2). На этом феномене основывается работа полицейских радаров.

При доплеровской ЭхоКГ кристаллы, расположенные в датчике ультразвукового аппарата, гене-

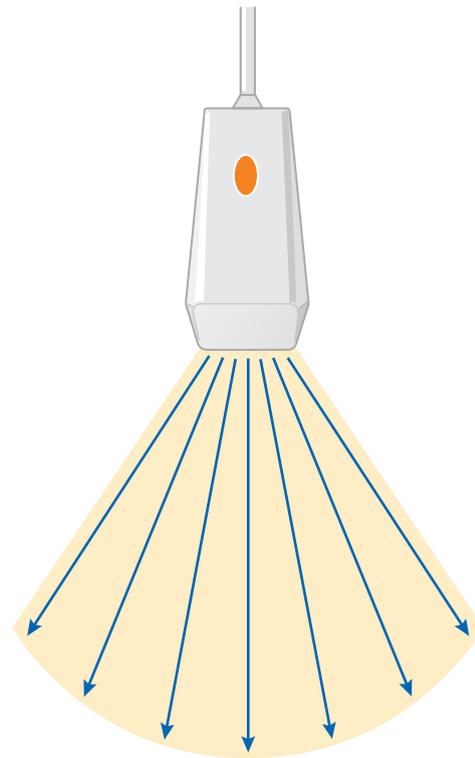


Рис. 1.1 Принцип построения изображения при использовании секторального датчика. Маленькая площадь контакта с кожей и веерообразно расходящиеся ультразвуковые лучи.

рируют ультразвуковые волны. И если проводится доплеровское исследование кровотока, объектом, отражающим ультразвуковые волны, служат форменные элементы крови, преимущественно эритроциты. Зная частотный сдвиг между посланным и отраженным ультразвуковым сигналом, можно определить скорость и направление движения эритроцитов, а следовательно, и кровотока. Разница между частотой посланного и отраженного ультразвуковых сигналов называется доплеровской частотой.

Однако с помощью доплеровского режима можно рассчитать не только скорость и направление крово-

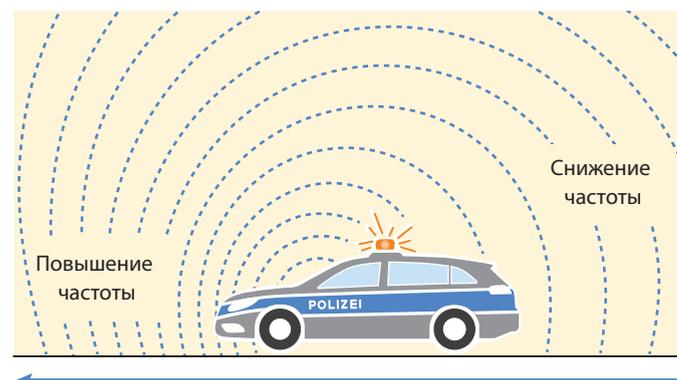


Рис. 1.2 Допплеровский эффект. При приближении источника звука к человеку частота его возрастает, а при удалении от человека она уменьшается (стрелкой обозначено направление движения).

тока, но и аналогичным образом определить скорость и направление движения плотных тканей и органов, в частности миокарда и фиброзных колец клапанов сердца. Этот метод называется тканевой доплерографией.

Соотношение между доплеровской частотой (т.е. разницей между частотой посланного и зарегистрированного сигнала) и скоростью описывается доплеровским уравнением:

$$V = \frac{1}{2} c \times \frac{f_D}{f_0}, \quad (1.1)$$

где V – искомая скорость, c – скорость распространения ультразвука в ткани, f_D – доплеровская частота, f_0 – исходная частота.

Скорость при определении доплеровским методом зависит от угла, под которым направлен к исследуемому объекту ультразвуковой луч. Это значит, что только при движении объекта параллельно ультразвуковому лучу можно корректно определить его скорость. В тех случаях, когда движение происходит под некоторым углом к лучу, значение скорости получается заниженным, а если направление движения перпендикулярно лучу, то определить скорость движения вовсе невозможно.

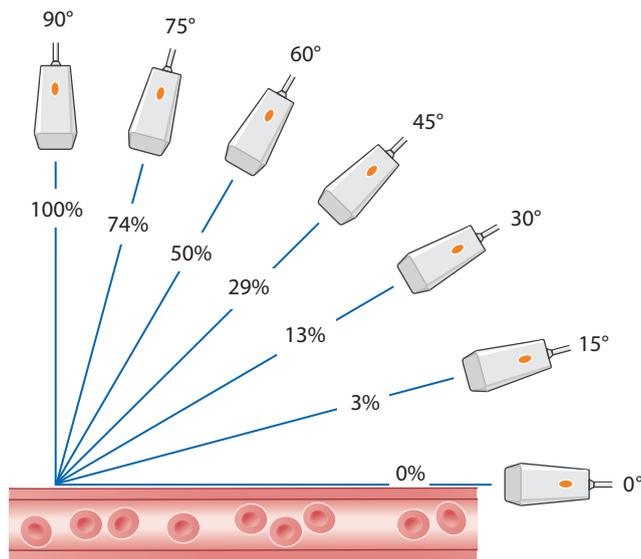


Рис. 1.3 Зависимость определения кровотока от угла, образуемого ультразвуковым лучом с направлением кровотока. Правильное значение кровотока по формуле Доплера можно определить, когда ультразвуковой луч ориентирован параллельно направлению кровотока (т.е. когда угол между ними равен 0°). Если угол, образуемый ультразвуковым лучом с направлением кровотока, находится в диапазоне от 0° до 90° , не принимая этих крайних значений, то истинное значение скорости соответствует составляющей результирующего вектора измеренного значения и оказывается заниженным. При угле, равном 90° , измерить скорость кровотока становится невозможно и относительная ошибка возрастает до 100%.

Из сказанного выше вытекает важное для практической работы следствие: при измерении кровотока доплеровским методом ультразвуковой луч нужно ориентировать по возможности параллельно направлению кровотока. На языке математики это означает, что если направление кровотока и ультразвукового луча образует угол, то значение скорости кровотока получается заниженным и для определения истинного значения необходимо внести в уравнение поправку на множитель, равный косинусу этого угла (рис. 1.3).

$$V_{\text{изм}} = V_{\text{ист}} \times \cos \alpha, \quad (1.2)$$

где $V_{\text{изм}}$ – измеренное значение скорости; $V_{\text{ист}}$ – истинное значение скорости, $\cos \alpha$ – косинус угла, образуемого ультразвуковым лучом с направлением кровотока.

Если угол равен 0° , измерение дает истинное значение кровотока; если угол равен 90° (т.е. $\cos \alpha = 0$), то определение скорости кровотока становится невозможным (т.е. ошибка измерения составляет 100%).

Допплерография

При выполнении ЭхоКГ доплеровское исследование (доплерографию) можно выполнить в четырех режимах:

- непрерывно-волновом (НВ-доплерография);
- импульсно-волновом (ИВ-доплерография);
- цветового доплеровского картирования (ЦДК);
- тканевом (тканевая доплерография).

Непрерывно-волновая доплерография

При НВ-доплерографии датчик постоянно посылает и принимает ультразвуковые сигналы. Один пьезоэлектрический кристалл посылает ультразвуковой сигнал, другой – принимает (табл. 1.1).

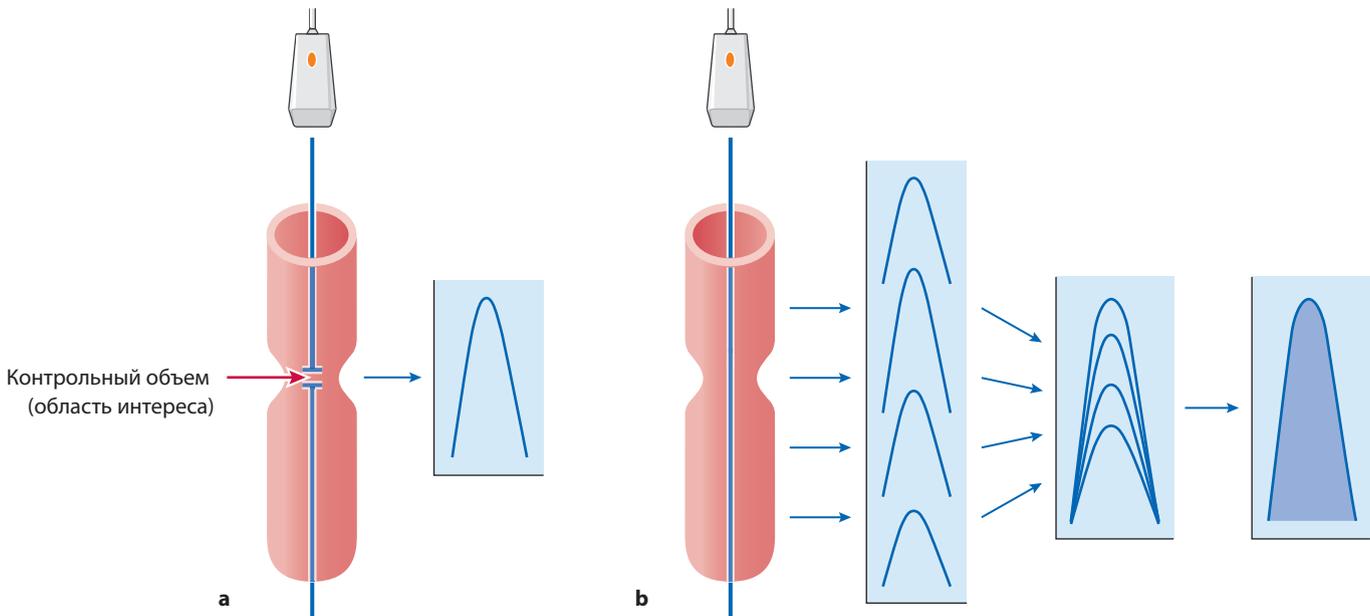
Ультразвуковой луч можно посылать в плоскости двумерного изображения. В этом случае вся совокупность векторов скоростей лежит в плоскости луча. При графическом отображении ее относительно времени получается кривая скоростей, называемая спектральной. И поскольку эта кривая включает в себя все векторы скоростей, которые ориентированы вдоль ультразвукового луча, область под кривой скорости кровотока заполнена, так как отдельные векторы проецируются практически друг на друга. Максимальное значение скорости, измеренное по ходу ультразвукового луча, соответствует максимуму кривой скорости кровотока (рис. 1.4b).

Достоинство этого метода состоит в том, что он позволяет измерить очень высокие значения скоростей, а это означает возможность получения четкого изображения резко выраженного клапанного стеноза.

Поскольку измеряются все значения скоростей вдоль ультразвукового луча, имеется возможность

Таблица 1.1 Различия между НВ- и ИВ-доплерографией

Особенности	НВ-доплерография	ИВ-доплерография
Посылка и прием ультразвукового сигнала	С помощью двух разных пьезоэлектрических кристаллов	С помощью одного и того же пьезоэлектрического кристалла
Преимущество	Регистрирует также высокие скорости кровотока (например, при стенозе клапана)	Позволяет «точно» регистрировать кровотоков
Недостаток	Невозможность «точечного» измерения кровотока	Регистрируемый диапазон не охватывает высокие скорости кровотока

**Рис. 1.4** Принципы ИВ- и НВ-доплерографии.

- а** Принцип ИВ-доплерографии состоит в точечном измерении скорости в какой-то выбранной области, называемой контрольным объемом. При ламинарном кровотоке регистрируется незаполненная огибающая.
- б** При НВ-доплерографии регистрируются различные значения скоростей по ходу всего ультразвукового луча, проецирующиеся друг на друга; в результате получается спектральная кривая кровотока.

выявить также протяженный стеноз сосуда. Например, расположив датчик вдоль нисходящей аорты, можно диагностировать протяженную коарктацию. При другом режиме доплерографии надо было бы расположить датчик точно в области стеноза, что, конечно, невозможно.

Приведем другой пример. НВ-доплерографию используют для исследования выходного тракта левого желудочка (ЛЖ), аортального клапана и восходящей аорты. Если при расположении датчика точно в проекции названных образований регистрировался бы очень высокий кровоток, то невозможно было бы сказать, является ли стеноз в области выходного тракта ЛЖ, аортального клапана или восходящей аорты локальным или он протяженный. Чтобы точно локализовать стеноз, нужно использовать метод исследования, основывающийся на ИВ-доплерографии (см. ниже).

Импульсно-волновая доплерография

При ИВ-доплерографии ультразвуковой датчик посылает следующие друг за другом короткие ульт-

развуковые сигналы. Кристалл, который генерирует эти сигналы, принимает их после отражения (см. табл. 1.1). Следующий импульс датчик посылает только тогда, когда был принят предыдущий после отражения. Чем дальше от датчика расположены исследуемые ткани или орган, тем дольше время, через которое сигналы отражаются от них и принимаются датчиком. Измерив этот временной промежуток, можно определить отдаленность объекта, от которого отражаются ультразвуковые сигналы в привязке с измеренной скоростью движения, т.е. привести скорость кровотока в точное соответствие с теми образованиями и структурами на двумерном изображении, в которых она была измерена (рис. 1.4а).

На практике врач перед тем, как начать измерять кровотоки, выбирает для ИВ-доплерографии контрольный объем на двумерном изображении, например в области клапана сердца, и только потом измеряет в этом месте параметры кровотока. В приведенном выше примере таким образом можно точно установить, локализуется ли ускоренный кровоток, а следовательно, и стеноз, в области выходного тракта ЛЖ, аортального клапана или восходящей аорты.

Однако ИВ-доплерография имеет и недостаток: с помощью этого метода невозможно точно измерить высокоскоростной кровотока. Если значение скорости превышает определенный предел, установленный для максимального кровотока (предел Найквиста), то возникает искажение спектральной кривой (*aliasing*). В норме кривая кровотока, если он направлен в сторону датчика, отображается выше нулевой линии. Если максимальная скорость превышает предел Найквиста, то часть кривой скорости кровотока, соответствующая высоким скоростям, «отсекается» и отображается ниже нулевой линии (рис. 1.5а). В этом случае уже невозможно надежно соотнести с цветом ни скорость кровотока, ни его направление.

Это связано с тем, что при ИВ-доплерографии датчик посылает новый ультразвуковой сигнал только после того, как будет принят предыдущий. Частота,

с которой можно посылать ультразвуковые сигналы, так называемая частота повторения импульсов, тем меньше, чем глубже залегает объект, отражающий эхосигналы. Кроме того, частота повторения импульсов зависит также от характеристик датчика: чем ниже его рабочая частота, тем на большее значение частоты повторения импульсов следует настроить аппарат. Таким образом, с помощью датчика с низкой рабочей частотой при выполнении ИВ-доплерографии можно «охватить» более широкий диапазон скоростей, т.е. измерить кровотока, имеющий более высокую скорость.

Чтобы можно было сделать верхнюю границу регистрируемого кровотока более высокой, необходимо:

- увеличить частоту повторения импульсов, что даст возможность расширить шкалу диапазона скоростей (рис. 1.5b);

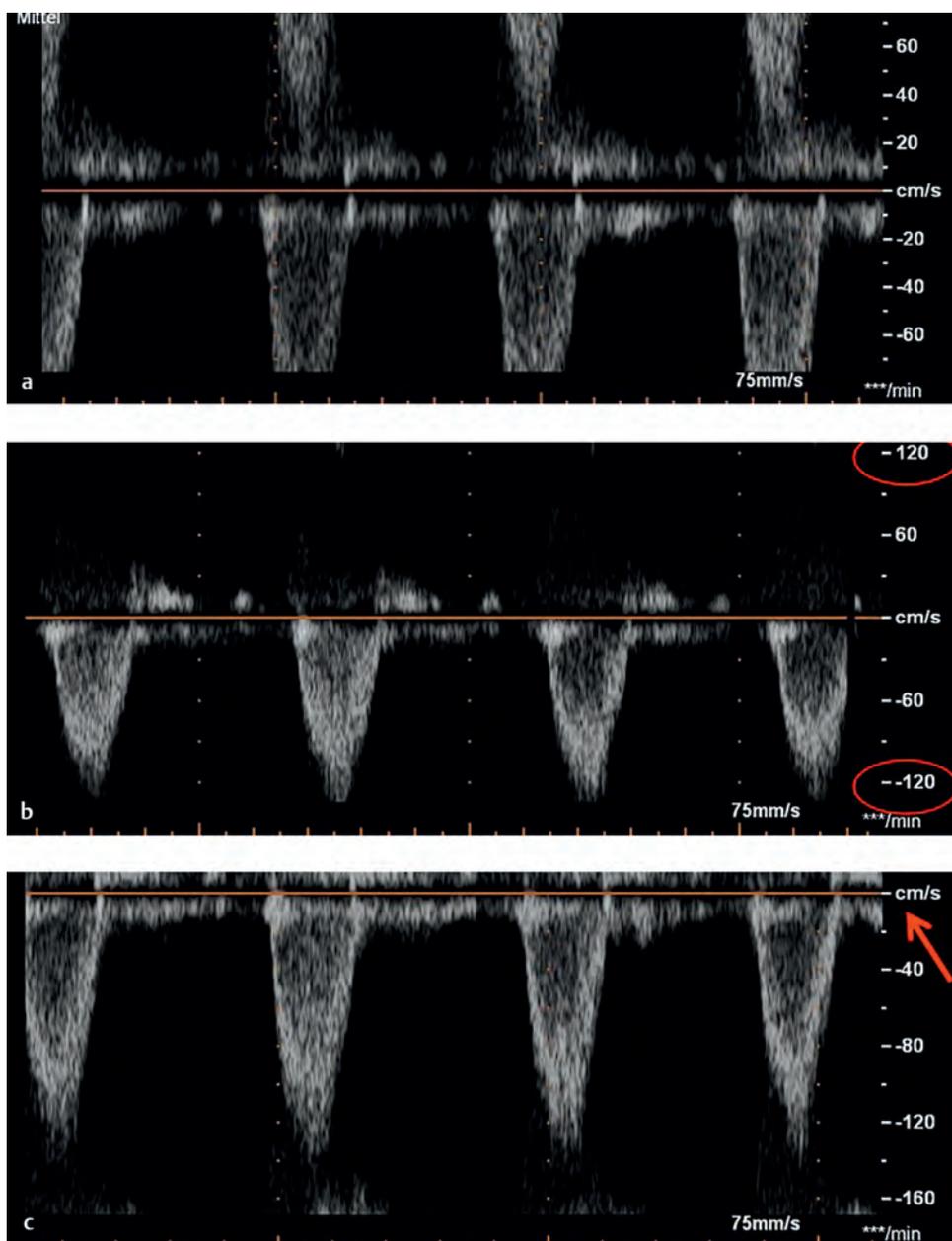


Рис. 1.5 Возможности повышения предела Найквиста с целью предотвращения искажения спектральной кривой из-за феномена *aliasing*.

- а Феномен *aliasing*, возникающий при превышении предела Найквиста: доплеровская кривая кровотока отображается по обе стороны нулевой линии.
 б Повышение частоты повторения импульсов и расширение шкалы.
 в Смещение нулевой линии.

- сместить нулевую линию, что позволит расширить шкалу в направлении потока крови (рис. 1.5с); в норме при ИВ-доплерографии нулевая линия проходит посередине шкалы;
- использовать датчик с более низкой рабочей частотой.

Цветовое доплеровское картирование

При ЦДК направление кровотока и его скорость отображаются с помощью цвета. Закодированный цветом кровоток проецируется на двухмерное ультразвуковое изображение. Кровоток в направлении к датчику кодируется красным цветом, в то время как кровоток в направлении от датчика – синим (правило BART для легкого запоминания [blue away, red toward]).

Внимание!

Следует помнить, однако, что на многих аппаратах кодирование направления кровотока цветом может быть и обратным. О скорости кровотока можно судить по яркости цвета: чем интенсивнее красный или синий цвет, тем выше скорость кровотока.

Поскольку в основе ЦДК лежит ИВ-доплерография, то при превышении предела Найквиста наблюдается феномен искажения частоты (*aliasing*). В этом случае кодирование красным цветом переключается на синий и наоборот.

Турбулентный кровоток, закодированный цветом, отображается на дисплее в зависимости от ультразвукового аппарата либо мозаичным сигналом, либо оттенками желтого и зеленого цветов. Турбулентция появляется в области стенозов и обструкции (например, при стенозе клапана или обструкции выходного тракта ЛЖ) и характеризуется тем, что векторы скоростей имеют разное направление и величину.

Примечание

В основе ЦДК лежит ИВ-доплерография.

Цветовая шкала частотного диапазона ультразвуковых сигналов располагается на мониторе, как правило, слева или справа, у края экрана (рис. 1.6). Цвет, обозначающий направление кровотока к датчику, приводится выше нулевой линии, от датчика – ниже нулевой линии. Предел Найквиста соответствует значениям скоростей над шкалой и под ней.

Если скорость кровотока превышает предел Найквиста, необходимо увеличить частоту повторения импульсов или сместить нулевую линию, как при ИВ-доплерографии, чтобы расширить шкалу.

Рисунок 1.7 поясняет, какое значение имеет правильно подобранный предел Найквиста при ЦДК. Если задается слишком низкое значение предела Найквиста, из-за феномена *aliasing* визуализируется



Рис. 1.6 Шкала цветового кодирования при ЦДК. Направление кровотока к датчику отображается красным цветом, от датчика – синим. Чем быстрее кровоток, тем ярче цвет. В приведенном случае предел Найквиста соответствует скорости 61,6 см/с.

турбулентия кровотока или кровотоков бывает невозможно определить.

Тканевая доплерография

С помощью доплеровского исследования можно определить скорость и направление не только потока крови, но и движения тканей (рис. 1.8, 1.9).

Например, с помощью тканевой доплерографии можно определить скорость движения миокарда тех или иных отделов сердца. По сравнению со скоростью кровотока скорость движения сегментов сердца значительно меньше и соответствует диапазону 0–15 см/с, однако амплитуда движения существенно выше. Эти различия дают возможность, используя специальные фильтры, отделить движение крови от движения миокарда (рис. 1.10). Как и в случае ЦДК, движение миокарда в сторону датчика кодируется красным цветом, от датчика – синим.

2 Сегментарный анализ сократительной функции сердца: анатомические основы

2.1 Анатомические основы

В следующих нескольких пунктах мы хотели бы освежить в памяти некоторые анатомические особенности сердца, имеющие значение для ЭхоКГ.

2.1.1 Ось и границы сердца

Примерно 2/3 сердца располагается в левой половине грудной полости. Ось сердца направлена от его основания к верхушке влево вперед и вниз (рис. 2.1). У новорожденных и детей раннего грудного возраста ось сердца расположена горизонтально.

В норме верхушка сердца образована ЛЖ. Правый желудочек (ПЖ) участвует в формировании верхушки сердца только при его гипертрофии или при гипоплазии ЛЖ.

2.1.2 Желудочки сердца

С точки зрения топографии желудочки сердца трудно поддаются описанию. Так, ПЖ располагается несколько правее ЛЖ, но в основном кпереди от него. ПЖ находится практически непосредственно за грудиной и грудной стенкой, правее и кпереди от ЛЖ, а ЛЖ, соответственно, находится левее и кзади от ПЖ (рис. 2.2).

Поскольку существуют ВПС, при которых ПЖ имеет нетипичное расположение правее и кпереди от ЛЖ, а ЛЖ, соответственно, не левее и кзади от ПЖ, то для ЭхоКГ важно знать существенные морфологи-

ческие различия между обоими желудочками, чтобы охарактеризовать их как морфологически правый или морфологически левый желудочки. При ВПС с однокамерной, или унивентрикулярной, гемодинамикой речь идет о морфологически левом или морфологически правом единственном желудочке сердца.

ЛЖ по форме напоминает эллипсоид (рис. 2.3b). Входной и выходной тракты располагаются друг рядом с другом. Передняя створка митрального клапана «бесшовно» переходит в стенку аорты. Этот так называемый аортомитральный переход (рис. 2.4) – существенная морфологическая особенность ЛЖ. Две его сосочковые мышцы имеют переднебоковое и заднемедиальное расположение. К межжелудочковой перегородке сосочковые мышцы не прикрепляются.

ПЖ (рис. 2.3a) имеет более сложное строение. Он располагается несколько правее ЛЖ, но прежде всего

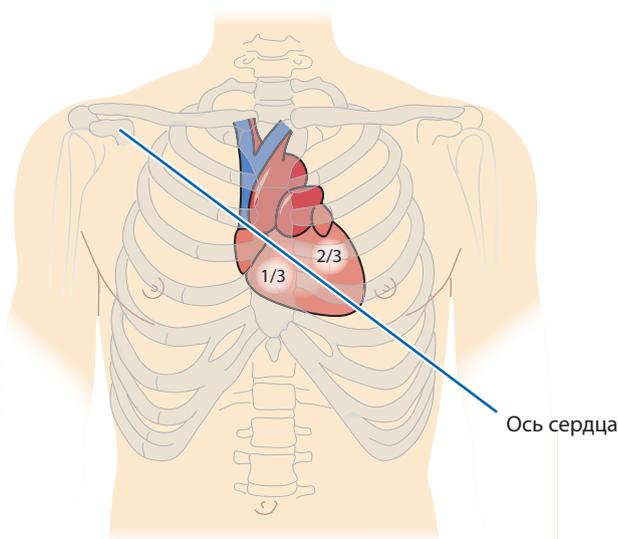


Рис. 2.1 Расположение сердца в грудной полости и ориентация его оси.

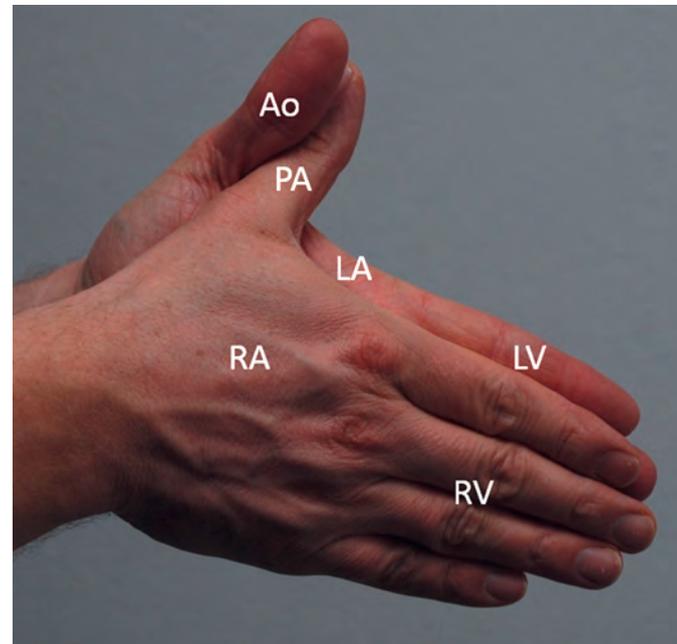


Рис. 2.2 Положение рук, изображенное на рисунке, помогает представить, как расположены оба желудочка сердца друг относительно друга. Этот простой рисунок поясняет взаимное расположение правого и левого желудочков. Если сложить обе кисти и наклонить их влево и вниз соответственно оси сердца, то правая кисть будет соответствовать правому желудочку (RV), а левая – левому (LV). Легочному стволу (PA), отходящему от правого желудочка, будет соответствовать расположенный кпереди большой палец правой кисти, а аорте (Ao) – большой палец левой кисти, который располагается, соответственно, кзади и перекрещивается с ним (RA – правое предсердие; LA – левое предсердие).

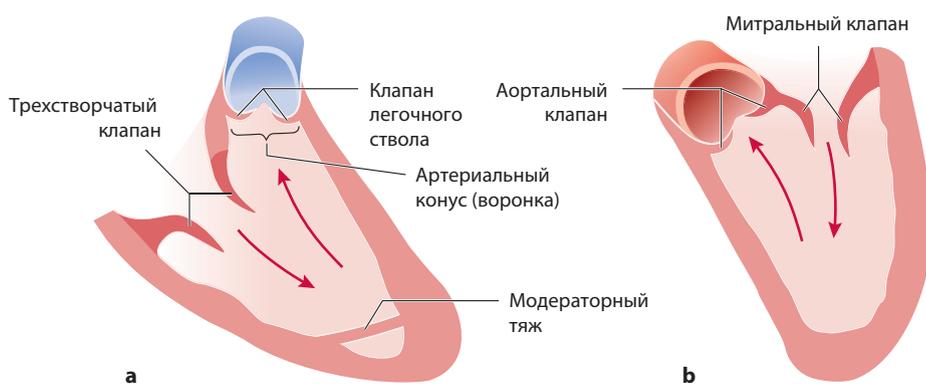


Рис. 2.3 Схематическое изображение правого и левого желудочков.

- а** Оба клапана ПЖ отделены друг от друга мышечным валиком. Выходной тракт ПЖ имеет форму мышечной воронки и носит название артериального конуса.
- б** В ЛЖ митральный и аортальный клапаны тесно примыкают друг к другу, образуя аортомитральный переход.

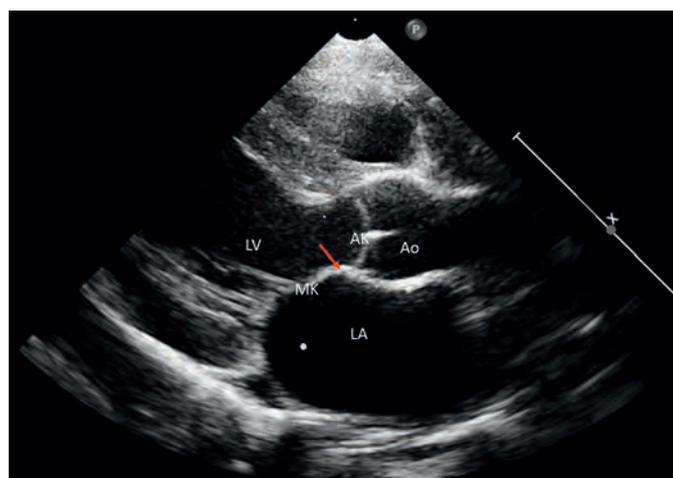


Рис. 2.4 Изображение сердца при сканировании из парастерального доступа по длинной оси. Передняя створка митрального клапана (МК) непосредственно переходит в аорту (Ao), образуя аортомитральный переход (стрелка). АК – аортальный клапан; LA – левое предсердие; LV – левый желудочек.

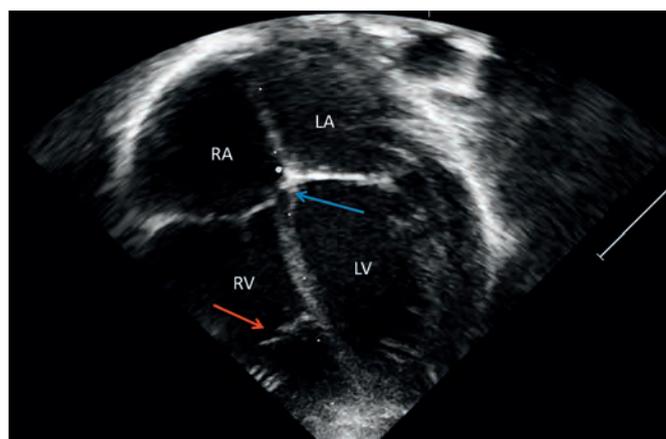


Рис. 2.5 Сканирование из апикального доступа в четырехкамерном сечении. Инвертированное изображение. Характерным признаком правого желудочка (RV) является наличие в его верхушечной части модераторной трабекулы (красная стрелка). Кроме того, трехстворчатый клапан (синяя стрелка), который находится в правом желудочке, располагается апикальнее митрального. LA – левое предсердие; LV – левый желудочек; RA – правое предсердие.

кпереди от него и «обвивает» ЛЖ, который, таким образом, оказывается разделенным на три части: входную, трабекулярную и выходную. Тристворчатый клапан и клапан легочного ствола отделены друг от друга мышечной тканью, возвышающейся в виде валика, – наджелудочковым гребнем (рис. 2.6). Под клапаном легочного ствола находится артериальный конус – воронкообразная часть ПЖ, образованная его миокардом. Артериальный конус связывает ПЖ с клапаном легочного ствола. Еще одним характерным признаком ПЖ является наличие в нем модераторного тяжа (*trabecula septomarginalis*) (рис. 2.5), представляющего собой массивный мышечный пучок, который наискось пересекает ПЖ в области его верхушки. Сосочковые мышцы ПЖ начинаются также от межжелудочковой перегородки. Плоскость трехстворчатого клапана по отношению к митральному клапану располагается апикальнее и лучше визуализируется на четырехкамерном сечении из апикального доступа.

2.1.3 Межжелудочковая перегородка

Межжелудочковая перегородка отделяет друг от друга правый и левый желудочки сердца. Она делится на мембранозную и мышечную части (рис. 2.6). Меньшая (мембранозная) часть располагается между аортной и трехстворчатым клапаном. В большей (мышечной) части выделяют три отдела: приточную часть, соответствующую входному отделу желудочка (*inlet septum*), трабекулярную часть и отточную часть, соответствующую выходному отделу желудочка (*инфундибулярная часть*, или артериальный конус).

Знание строения межжелудочковой перегородки необходимо при уточнении локализации ДМЖП и его размеров.

2.1.4 Предсердия

В правое предсердие кровь поступает через верхнюю и нижнюю полые вены. В области устья нижней полой вены расположена редуцированная евстахиева

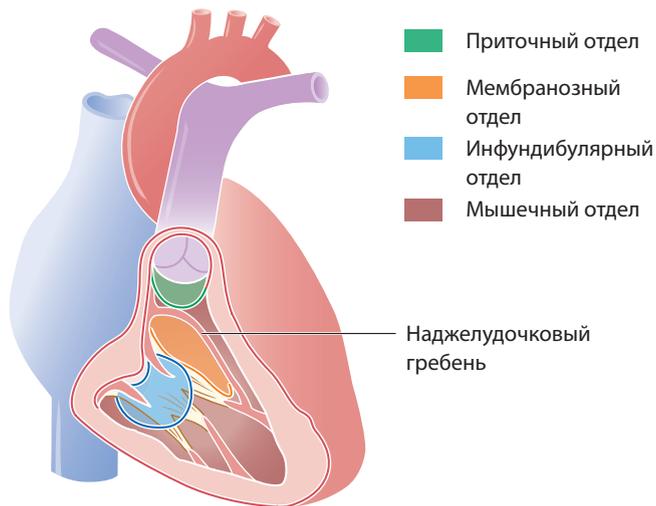


Рис. 2.6 Части межжелудочковой перегородки. После вскрытия ПЖ можно увидеть различные части межжелудочковой перегородки.

заслонка, роль которой особенно велика в фетальном кровообращении (рис. 2.7) и состоит в направлении тока крови, поступающей по нижней полой вене, в овальное окно. Ушко правого предсердия имеет форму пирамиды с широким основанием.

В правое предсердие вблизи трехстворчатого клапана открывается устье коронарного синуса, в который собирается коронарная венозная кровь. В левое предсердие впадают левые верхняя и нижняя и правые верхняя и нижняя легочные вены. На уровне нижнего края левого предсердия располагается коронарный синус – достоверный признак левого предсердия (рис. 2.8). Ушко левого предсердия, в отличие от правого, имеет пальцеобразно вытянутую форму и не столь широкое основание.

2.1.5 Межпредсердная перегородка

Межпредсердная перегородка располагается между обоими предсердиями. Разделение предсердий на правое и левое происходит в эмбриональном периоде в результате роста первичной перегородки от «крыши» предсердия к плоскости АВ-клапана. После сращения первичной перегородки с плоскостью АВ-клапана происходит деление последней на верхний и средний отделы. На образующийся дефект (*ostium secundum*) свисает в виде занавески вторичная перегородка, которая растет справа сверху вниз. В результате *ostium secundum* уменьшается до небольшой щели, называемой овальным окном (*foramen ovale*) (рис. 2.9).

Овальное окно функционирует как своего рода обратный клапан, который у плода направляет кровь, поступающую по нижней полой вене в правое предсердие, в левое предсердие. Когда после рождения ребенка давление крови в левом предсердии повышается, овальное окно сначала утрачивает свою функцию (рис. 2.9b), а позднее зарастает. Но примерно

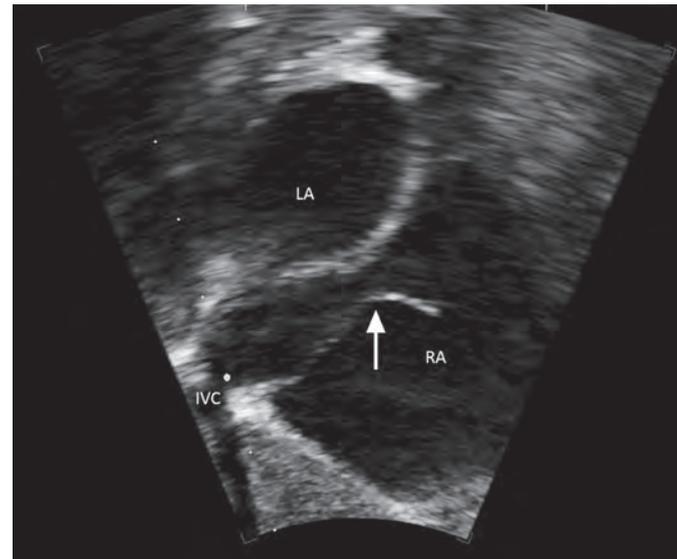


Рис. 2.7 Евстахиева заслонка (инвертированное изображение сердца). Евстахиева заслонка (стрелка) у устья нижней полой вены (IVC) в правом предсердии (RA) при сканировании сердца из субкостального доступа по длинной оси. LA – левое предсердие.

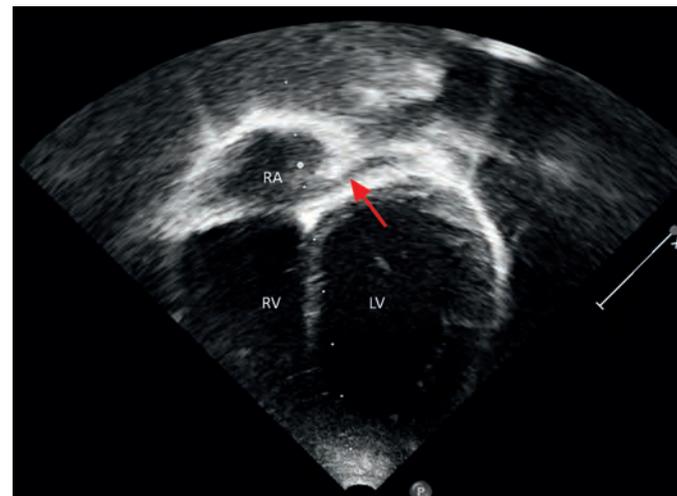


Рис. 2.8 Расположение коронарного синуса на инвертированном изображении сердца, полученном из апикального доступа в четырехкамерном сечении. Ход коронарного синуса (стрелка) по задней стенке левого предсердия на уровне его основания. LV – левый желудочек; RA – правое предсердие; RV – правый желудочек.

у 1/4–1/3 людей овальное окно закрывается не полностью и пропускает катетер при зондировании камер сердца.

2.1.6 Клапаны сердца

Клапаны сердца представляют собой дубликатуры эндокарда. Трехстворчатый клапан состоит из трех створок – передней, задней и септальной. Створки с помощью сухожильных нитей (*chordae tendineae*) связаны с сосочковыми мышцами. Сосочковые мышцы трехстворчатого клапана берут начало также