

Показания к диагностической катетеризации сердца, 489

Технические аспекты катетеризации сердца, 490

Возможности лаборатории катетеризации сердца, 490
Персонал, 490
Работа лаборатории, 490
Оборудование, 491
Радиационная безопасность, 492
Лабораторный протокол катетеризации, 492
Методы, 494

Гемодинамические данные, 500

Измерение давления, 500
Кривые нормального давления, 502
Методы определения сердечного выброса, 503
Оценка степени стеноза клапанов, 507
Измерение внутривентрикулярных градиентов давления, 509
Оценка регургитации клапана, 509
Диагностика шунтов, 510

Физиологические и фармакологические пробы, 511

Физиологические пробы, 511
Фармакологические пробы, 512
Дополнительные диагностические методы, 512

Осложнения, связанные с катетеризацией сердца, 513

Перспективы, 514

Литература, 515

ГЛАВА 19

Катетеризация сердца

Charles J. Davidson, Robert O. Bonow

ПОКАЗАНИЯ К ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ КАТЕТЕРИЗАЦИИ СЕРДЦА

Решение о выполнении пациенту катетеризации сердца основывается на оптимальном соотношении риска и пользы. Обычно диагностическую катетеризацию сердца рекомендуют в случаях, когда клинически важно определить наличие или тяжесть подозреваемого поражения сердца или нельзя адекватно поставить диагноз с помощью неинвазивных методов. С другой стороны, есть небольшое количество больных, для которых обследование в инвазивных лабораториях небезопасно, т.к. существует риск тяжелых осложнений (< 2%) и

смертности (< 0,08%) после катетеризации сердца. Измерение внутрисердечного давления и коронароангиография — исследования, которые могут быть выполнены с воспроизводимой точностью только с помощью инвазивной катетеризации сердца. Неинвазивные измерения внутрисердечного давления возможны при эхокардиографии (см. главу 14). Компьютерная томография коронарных артерий — перспективный метод оценки анатомии этих сосудов (см. главу 18). Однако в настоящее время ограничения в разрешении изображения, изменчивость частоты сердечных сокращений, сложность общения с пациентом и доза облучения у большинства больных делают коронарную КТ-ангиографию целесообразной только в качестве предварительного скринингового метода.

Чтобы оценить показания для диагностической катетеризации сердца необходимо объединить различные положения из нескольких Руководств American College of Cardiology/American Heart Association (ACC/AHA). В дополнение к рекомендациям по проведению диагностической КАГ [1] показания к катетеризации сердца изложены в других руководствах, таких как рекомендации по ведению пациентов с поражением клапанов сердца [2], хронической сердечной недостаточностью [3], инфарктом миокарда [4], чрескожными коронарными вмешательствами [5] и коронарным шунтированием [6].

Расширение традиционных показаний к катетеризации сердца идет по двум направлениям: (1) за счет тяжелых и гемодинамически нестабильных больных с острой ишемией миокарда, тяжелой СН или кардиогенным шоком; (2) за счет увеличения количества процедур, выполняемых амбулаторно, включая стационары с возможностью оказания кардиохирургической помощи и без нее и отдельные или мобильные лаборатории [7].

Катетеризацию сердца следует рассматривать как диагностический метод, который используют в комбинации с дополнительным неинвазивным обследованием. Например, катетеризацию сердца у пациентов с патологией клапанов или врожденными пороками сердца лучше вы-

полнять после полноценной неинвазивной визуализации и функциональной диагностики. Катетеризация может быть целенаправленной и упрощенной, без детализации анатомических особенностей сердца. Такая детализация возможна при ЭхоКГ, магнитно-резонансной томографии или КТ.

Диагностика ишемической болезни сердца с оценкой протяженности и тяжести поражения КА служит наиболее частым показанием для катетеризации сердца у взрослых (см. главу 54). Информация, полученная при катетеризации, является ключевой для оценки тяжести ИБС в плане оптимизации хирургического лечения и/или медикаментозной терапии у пациентов с разнообразными болевыми синдромами в груди. В дополнение к этому могут быть определены такие динамические изменения КА, как спазм, миокардиальные мостики или тромбоз. Также можно диагностировать такие осложнения ИБС, как ишемическая митральная регургитация или дисфункция левого желудочка. При остром коронарном синдроме может быть проведено ЧКВ как на фоне текущего острого инфаркта миокарда или нестабильной стенокардии, так и в раннем периоде после острого миокардиального повреждения (см. главу 52). Подход отдельных медицинских учреждений к проведению ЧКВ у таких пациентов часто зависит от ресурсов учреждения, возможности круглосуточной работы и тактики лечения, а также от доступности оказания кардиохирургической помощи.

У пациентов с заболеванием миокарда и дисфункцией ЛЖ катетеризация сердца позволяет получить очень важную информацию (см. главы 23, 64) о том, является ли ИБС причиной клинической симптоматики, количественно оценить наличие дисфункции ЛЖ, а также измерить давление в правых отделах сердца и сердечный выброс у пациентов с кардиомиопатией. У пациентов со стенокардией и пониженной функцией желудочков неинвазивное обследование малоинформативно, поэтому следует сразу рекомендовать КАГ [37]. Катете-

490 ризация сердца позволяет выполнить количественный анализ тяжести диастолической и систолической дисфункций миокарда, дифференцировать рестриктивные изменения от сдавления перикардом, оценить степень клапанной регургитации и ответ сердечно-сосудистой системы на острое фармакологическое воздействие.

Катетеризация сердца у пациентов с патологией клапанов позволяет получить подтверждающие и дополнительные данные к неинвазивной ЭхоКГ, МРТ и радионуклидным исследованиям (см. главу 62). При катетеризации сердца можно оценить тяжесть клапанного стеноза или регургитации, особенно когда неинвазивные исследования неубедительны или не совпадают с клиническими симптомами. Представление о наличии или отсутствии ИБС очень важно для большинства пациентов > 35 лет при планировании хирургической коррекции клапанных пороков [2]. Катетеризацию можно не проводить пациентам с предсердной миксомой или молодым пациентам (< 35 лет) с эндокардитом либо с острой клапанной регургитацией. Диагностика аномалий, количественный анализ гемодинамических нарушений при клапанных поражениях, например, легочной гипертензии, острой гемодинамической реакции на лекарственную терапию дают возможность в полной мере оценить предоперационную картину заболевания для определения риска результатов хирургического вмешательства и позволяют выбрать наиболее оптимальное хирургическое вмешательство [2].

В настоящее время роль катетеризации сердца при некоторых врожденных заболеваниях не совсем ясна (см. главу 61). ДЭхоКГ или МРТ сердца часто предоставляют адекватную информацию. В большинстве случаев с помощью этих методов анатомия сердца хорошо визуализируется, поэтому катетеризация требуется только при необходимости получения дополнительной информации о гемодинамических изменениях (например, размер сброса или легочное сосудистое сопротивление) для определения показаний к хирургическому лечению или чрескожным вмешательствам.

Единственным абсолютным противопоказанием к катетеризации сердца служит отказ информированного пациента. Процедура может быть успешно выполнена с относительно низким риском у большинства больных, даже находящихся в критическом состоянии. Относительные противопоказания к катетеризации сердца отражены в табл. 19–1.

ТАБЛИЦА 19–1

Относительные противопоказания к диагностической катетеризации сердца

Острое желудочно-кишечное кровотечение
Электролитный дисбаланс, особенно гипокалиемия
Лекарственная интоксикация, в т.ч. сердечными гликозидами
Прием антикоагулянтов, МНО > 1,8 или тяжелая коагулопатия
Анафилактические реакции на контрастное вещество
Острый инсульт
Острая почечная недостаточность или тяжелая болезнь почек, не требующая диализа
Необъяснимая лихорадка или нелеченая острая инфекция
Тяжелая анемия
Трудность сотрудничества с пациентом

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КАТЕТЕРИЗАЦИИ СЕРДЦА

ВОЗМОЖНОСТИ ЛАБОРАТОРИИ КАТЕТЕРИЗАЦИИ СЕРДЦА

Существует несколько видов лабораторий катетеризации сердца: традиционные лаборатории на базе стационара с возможностью оказания кардиохирургической помощи; лаборатории на базе стационара без возможности оказания хирургической помощи на месте; отдельные лаборатории и мобильные лаборатории. В настоящее время ≈ 75% лабораторий катетеризации сердца обеспечены хирургической бригадой на случай возникновения экстренной ситуации. В задачи мобильной лаборатории катетеризации сердца входит уменьшение стоимости процедуры, а также возможность оказания помощи в любом медицинском учреждении пациентам с низким риском осложнений. Амбулаторная катетеризация у правильно отобранных больных безопасна и сопоставима с другими исследованиями.

Результатом доказанной безопасности и экономической эффективности диагностической катетеризации сердца в амбулаторных условиях стало увеличение доли распространенности именно этого метода. В настоящее время ≈ 50% стационарных процедур выполняют амбулаторно. Пациенты, нуждающиеся в допроцедурной госпитализации для диагностической катетеризации сердца, с тяжелой застойной СН или дисфункцией почек, требующей прегидратации, встречаются нечасто. В настоящее время госпитализация для перевода пациента с варфарина на гепарин не требуется. Нефракционированный гепарин (НФГ) или низкомолекулярный гепарин можно использовать у амбулаторных пациентов как вариант продолжения антикоагулянтной терапии [2].

С помощью неинвазивного исследования можно выявить пациентов, которых необходимо обследовать в условиях кардиохирургического стационара: с тяжелой ишемией, диагностированной во время стресс-теста, ишемией в покое, известным или подозреваемым с высокой степенью вероятности тяжелым поражением ствола левой КА или проксимальным трехсосудистым поражением, критическим аортальным стенозом и тяжелой сопутствующей патологией. Большинство пациентов могут быть выписаны в тот же день через 2–6 ч после процедуры.

Наиболее частое осложнение, при котором показана госпитализация после катетеризации сердца, — образование гематомы, требующей увеличения длительности постельного режима и наблюдения. Установленное во время процедуры поражение ствола левой КА или тяжелая трехсосудистая патология также могут потребовать госпитализации. Другие показания для послепроцедурной госпитализации включают декомпенсированную СН, признаки нестабильной ишемии, тяжелый АС с дисфункцией ЛЖ, почечную дисфункцию, требующую длительной гидратации, и необходимость продолжительной антикоагулянтной терапии [7].

ПЕРСОНАЛ

Персонал лаборатории катетеризации сердца состоит из руководителя (медика по специальности), врачей, медсестер, ординаторов, техников, а также обучающихся медсестер, помощников врачей и рентген-техников. Все члены коллектива должны владеть навыками сердечно-легочной реанимации и интенсивной терапии. Для оптимальной работы лаборатории необходимо предусмотреть возможность оказания кардиохирургической помощи. Все диагностические исследования у пациентов высокого риска, а также все избирательные чрескожные инвазивные вмешательства следует выполнять в лабораториях, имеющих хирургическую поддержку [5].

РАБОТА ЛАБОРАТОРИИ

Для поддержания необходимого уровня профессионализма лабораториям, проводящим исследования взрослым пациентам, следует выполнять минимум 300 процедур в год. Согласно Рекомендациям Accreditation Council for Graduate



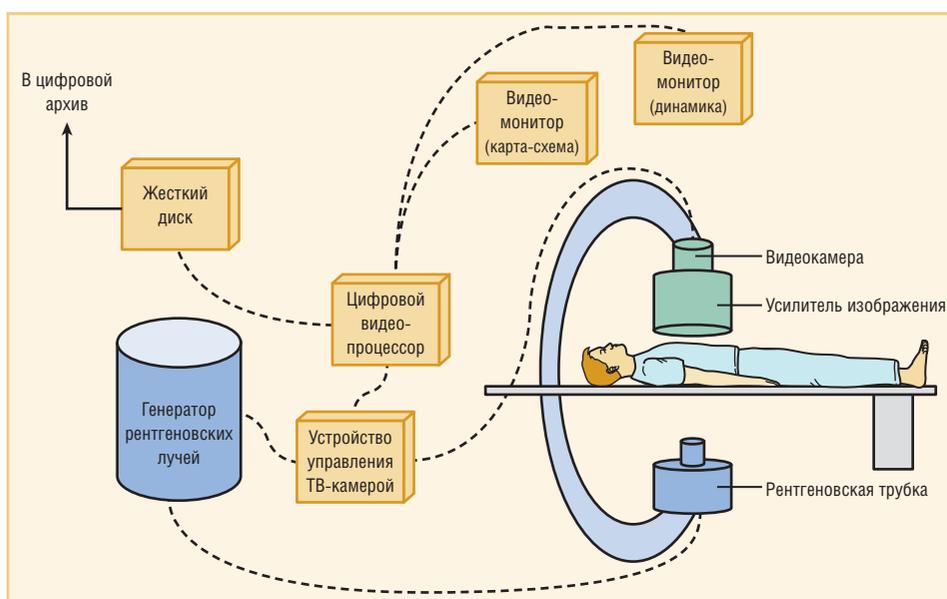
Medical Education (ACGME) по диагностической катеризации, обучающиеся врачи должны выполнить за 8 мес > 300 процедур, из них > 200 — в качестве первого оперирующего, чтобы получить лицензию на врачебную практику для урвня II диагностической катеризации сердца. Минимальное количество пациентов для сертифицированных врачей не установлено [7, 8]. Систематический анализ качества работы лаборатории, врачей, медсестер и техников является обязательным. Руководитель лаборатории должен иметь по меньшей мере пятилетний опыт катеризации сердца. Руководитель лаборатории, выполняющей ЧКВ, должен иметь сертификат по интервенционной кардиологии. Руководитель отвечает за лицензирование врачей, проверку работы лаборатории и врачей, деятельность вспомогательного персонала и обеспечение необходимого уровня знаний у сотрудников. Другие обязанности руководителя заключаются в обеспечении контроля качества работы персонала и оборудования, а также в мониторинге результатов лечения и анализе бюджета.

ОБОРУДОВАНИЕ

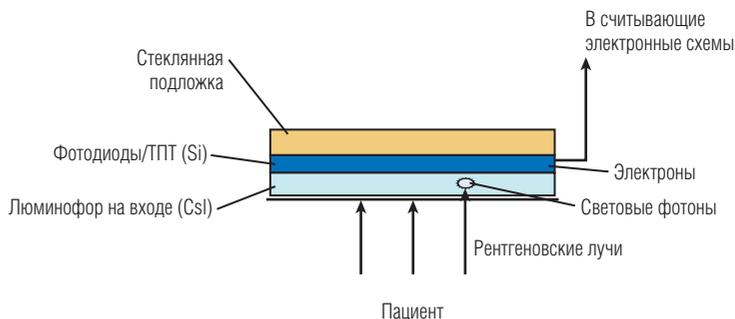
Оборудование для катеризации сердца включает рентгенографическую установку, станцию мониторинга физиологических параметров, состоящую из записывающей и воспринимающей аппаратуры, стерилизационное и реанимационное оборудование. Также необходимо вспомогательное оборудование: автоматический шприц, оборудование для обработки изображений (желательно с возможностью цифровой архивации), соответствующая аппаратура для визуализации и унифицированного формирования отчета.

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Для оптимального выполнения катеризации необходимо получение рентгеновских изображений высокого разрешения. Оборудование состоит из генератора, рентгеновской трубки, усилителя, видеосистемы и системы для цифровой архивации либо кинокамеры (рис. 19–1) [9]. В новых рентгеновских установках чаще используют плоскочелюстные детекторы, чем усилители изображений, поэтому видеокамеры не применяются. Плоскочелюстный детектор преобразует видеоизображение без промежуточной стадии, что улучшает качество изображения.

В настоящее время почти все оборудование переведено с традиционной киноангиографии на цифровую ангиографию. Преимущества получения и хранения информации в цифровом формате: непосредственный анализ в режиме реального времени, отсутствие необходимости проявления пленки, количественный компьютерный анализ, возможность преобразования изображений, функция *road maps*, отсутствие мерцания при низкой частоте кадров и снижение дозы облучения. При использовании этих технологий возможна передача изображений между лабораториями катеризации, госпиталями и врачебными кабинетами с использованием общей компьютерной сети. Развитие тех-



А



Б

Рис. 19–1 (А) Блок-схема рентгенографической установки без кинофильма. Установка включает систему позиционирования пациента, рентгеновский источник, детектор рентгеновского изображения и процессор цифровых видеоизображений, записывающее устройство и систему изображений. Рентгеновские лучи генерируются в рентгеновской трубке электрическим полем высокой мощности, производимым источником рентгеновских лучей. Рентгеновские лучи проходят сквозь пациента, формируя образ, который улавливается и переводится в видимое световое изображение оптическим усилителем. Видимое световое изображение обнаруживает видеокамера и переводит его в цифровой видеосигнал, который обрабатывается и демонстрируется на мониторе. Цифровой видеопроцессор по схеме обратной связи обменивается информацией с генератором рентгеновских лучей, что дает возможность изменять выходную мощность рентгеновских лучей и добиться оптимальной проникаемости рентгеновскими лучами и надлежащей яркости изображения. **(Б)** Детектор с плоской панелью. TPP — тонкопленочный транзистор [Hirshfeld JW Jr, Balter S, Brinker JA, et al: ACCF/ANA/HRS/SCAI clinical competence statement of physician knowledge to optimize patient safety and image quality in fluoroscopically guided invasive cardiovascular procedures. *J Am Coll* 44: 2259, 2004].

нологий цифровой обработки изображений и стандартов процесса передачи информации (DICOM, Digital imaging and communication) при ангиографии сосудов сердца позволило совместить различные системы. Качество цифрового изображения намного превосходит качество изображения на киноплёнке и позволяет использовать в лаборатории катеризации сердца возможности телемедицины. Увеличение объема компьютерной памяти позволяет хранить и осуществлять удаленный доступ к данным тысяч пациентов.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МОНИТОРЫ. Непрерывный мониторинг артериального давления и электрокардиограммы во время катеризации сердца обязателен. Системное, легочное и внутрисердечное давления, как правило, регистрируют с помощью заполненных жидкостью катетеров, соединенных с тензиометрическими датчиками давления; затем информация передается на монитор. Необходимо оборудование для исследования термодилуции, СВ по методу Fick и показателей газов крови, а также для выполнения ЭКГ в 12 отведениях.

Последствия облучения могут быть классифицированы на детерминированные и стохастические эффекты. Все они являются отсроченными и могут возникать через несколько часов или недель. Детерминированные эффекты — дозозависимые, т.е. они не появляются при облучении ниже определенной дозы. Однако при превышении порога тяжесть повреждения увеличивается в зависимости от дозы. Примеры детерминированных эффектов — кожная эритема, десквамация, катаракта, выпадение волос и некроз кожи. Стохастические эффекты связаны с возможностью проявления, а не с дозой, хотя вероятность проявления эффекта связана с дозой. Стохастические эффекты лишены четкого дозового порога проявления. С увеличением дозы облучения возрастает лишь частота появления этих эффектов. Примеры стохастических эффектов — новообразования и генетические дефекты. Расчетный размер дозы при катетеризации сердца составляет от 1 до 10 миллизиверт (мЗв), что эквивалентно естественной фоновой радиации в течение 2–3 лет [9].

Основные принципы снижения лучевой нагрузки состоят в уменьшении времени флюороскопии, использовании коллиматоров, оптимальном расположении рентгеновского источника и приемника изображения, применения наименьшего из возможного увеличения, изменении рентгенографических проекций при длительных процедурах для уменьшения дозы облучения кожи, записи поглощенной дозы, использовании оборудования с возможностями снижения облучения.

Для персонала лаборатории наиболее важными факторами являются максимальное увеличение дистанции от источника рентгеновского излучения, использование свинцовых фартуков и воротников в области щитовидной железы, свинцовых очков и передвижных свинцовых перегородок. Остроугольные проекции, особенно левая передняя косая,

значительно повышают радиационное воздействие на оператора, поэтому следует избегать опасных проекций, которые значительно увеличивают лучевую нагрузку.

Необходим постоянный контроль за лучевой нагрузкой на персонал. Рекомендуется носить два пленочных дозиметра: один — снаружи фартука на шею и другой — под фартуком на талии. Последний контролирует эффективность свинцового фартука. Максимально допустимая доза ионизирующего облучения в год для персонала равна 5 бэр (биологическая эквивалентная доза), или rem (roentgen-equivalents-man), максимальная доза в течение жизни — 50 бэр [7].

Лабораторный протокол катетеризации

ПОДГОТОВКА ПАЦИЕНТА. До поступления в лабораторию катетеризации сердца кардиолог, ответственный за процедуру, должен дать пациенту всю информацию о предстоящем исследовании, включая риски и преимущества, а также ответить на вопросы пациента и/или его семьи. В обследование перед катетеризацией входит сбор анамнеза, физикальное обследование и ЭКГ. Обычные лабораторные исследования предусматривают получение общего анализа крови с определением тромбоцитов, определение уровня электролитов крови, креатинина и глюкозы, протромбинового времени в виде МНО и частичного тромбопластинового времени для пациентов, получающих гепарин. Необходимо уточнить важные детали анамнеза, а именно наличие сахарного диабета (инсулинозависимый или нет), заболевания почек, определить антикоагуляционный статус и заболевания периферических сосудов, а также собрать аллергологический анамнез на контрастные вещества и латекс. Вра-

ТАБЛИЦА 19-2 Протокол катетеризации

Клинические данные	LHC	RHC	CORO	LV	AO	RV	PA	BX	PROVO	IABP
Известная или подозреваемая ИБС	✓		✓	✓						
Стабильная стенокардия	✓			✓						
Позитивный результат стресс-теста	✓		✓	✓						
Предоперационное обследование	✓		✓	✓						
Атипичная боль в груди	✓		✓	✓					±	
Нестабильная или впервые возникшая стенокардия	✓		✓	✓						
Острый инфаркт миокарда	✓	±	✓	±						±
Безуспешный тромболизис	✓	±	✓	±						±
Постинфарктная стенокардия	✓		✓	±						±
Кардиогенный шок	✓	✓	✓	±						✓
Механические осложнения	✓	✓	✓	✓	±					✓
Внезапная сердечная смерть	✓	✓	✓	✓						
Патология клапанов сердца	✓	✓	✓	✓	±					
Заболевания миокарда	✓	✓	✓	✓	±				±	
Заболевания перикарда	✓	✓	✓	✓						
Врожденные пороки сердца	✓	✓	✓	✓	±	±	±			
Расслоение аорты	✓	±	✓	±	✓					
Заболевания легких	✓	✓	✓	✓				±	±	

АО — аортография; BX — биопсия; CORO — коронарная ангиография; IABP — внутриаортальный баллонный насос; LHC — катетеризация левых камер сердца, включая измерение конечного диастолического давления в левом желудочке и градиента на аортальном клапане; LV — вентрикулография левого желудочка; PA — легочная ангиография или давление заклинивания; PROVO — провокационные пробы (например, алкалоиды спорыньи, ацетилхолин); RHC — катетеризация правых отделов сердца, включая измерение давления, определение сердечного выброса, оксиметрию; RV — вентрикулография правого желудочка; ✓ — оптимально; ± — может быть оптимальным в определенных клинических состояниях.

чу необходимо знать о любых серьезных вмешательствах в анамнезе, включая катетеризацию сердца, ЧКВ, хирургические, периферические и кардиохирургические вмешательства.

Пациенту не следует принимать пищу, по крайней мере, в течение 6 ч до исследования. Необходимо обеспечить внутривенный доступ. Обычно применяют *per os* или в/в седацию (например, бензодиазепинами). При назначении этих препаратов следует использовать пульсоксиметрию для наблюдения за функцией дыхания. В некоторых лабораториях проводят премедикацию антигистаминными препаратами, такими как дифенингидрамин (25 мг в/в), в качестве антиаллергических препаратов и для пролонгации седативного эффекта. Для снижения риска кровотечения пероральные антикоагулянты следует отменить, а МНО должно быть < 1,8. Аспирин и другие пероральные антиагреганты перед процедурой не отменяют. Пациентам с СД, принимающим метформин, следует прекратить прием препарата утром перед катетеризацией и не возобновлять до тех пор, пока функция почек не нормализуется (по крайней мере, в течение 48 ч после процедуры) [10]. Всем пациентам необходимо проводить допроцедурную и послепроцедурную гидратацию. Ее степень зависит от функции сердца и баланса жидкости. Однако, если возможно, желательнее ввести как минимум 1 л жидкости.

Пациентам с аллергическими реакциями на контрастное вещество в анамнезе необходима *per os* или в/в профилактика перед исследованием. Рекомендован прием *per os* 60 мг преднизолона или в/в введение 100 мг гидрокортизона за 12 ч и непосредственно перед катетеризацией. Также можно ввести неселективный гистаминовый блокатор циметидин (300 мг в/в) и дифенингидрамин (25–50 мг в/в). Наличие в анамнезе крапивницы не предрасполагает к реакциям на контрастное вещество.

ПРОТОКОЛЫ КАТЕТЕРИЗАЦИИ. Каждому врачу следует выработать определенную последовательность выполнения диагностической катетеризации для получения всех необходимых результатов. Для ответа на специальные клинические вопросы следует выполнять исследование каждому пациенту в необходимом для него объеме и использовать соответствующий доступ (табл. 19–2). Гемодинамические измерения и определение СВ следует выполнить до ангиографии, чтобы получить наиболее точные предварительные данные и определить достаточный объем ангиографического исследования. В случае возникновения осложнения при выполнении ангиографии сосуда или камеры сердца, имеющие наибольшую клиническую значимость, визуализируют в первую очередь.

Катетеризацию правых отделов сердца не следует выполнять при стандартной коронарной ангиографии всем пациентам. Пример катетера с флотирующим баллоном (Swan–Ganz) показан на рис. 19–2. Несмотря на низкий риск, катетеризация правых отделов, включая скрининговую оксиметрию, измерение давления и определение СВ, имеет небольшую диагностическую ценность у пациентов с подозрением на ИБС без другой патологии сердца. Катетеризация правых отделов сердца показана в случаях, когда при изолированной катетеризации левых отделов невозможно ответить на клинические вопросы или когда у пациента присутствуют дисфункция ЛЖ, застойная СН, осложненный ОИМ, клапанное поражение, подозрение на ЛГ врожденные аномалии развития, внутрисердечные шунты или заболевания перикарда.

Несмотря на то что при стандартной катетеризации сердца применение временного кардиостимулятора не



Рис. 19–2 Типичный катетер Swan–Ganz: проксимальные порты слева направо, проксимальный инъекционный вход, коннектор термистора, дистальный вход и клапан для наполнения баллона со шприцом. На дистальном конце катетера имеются баллон и концевое отверстие. Проксимальный инъекционный порт расположен в 30 см от дистального просвета (стрелка). Термистор находится проксимально от баллона.

показано, оперирующим врачам следует знать способы правильного введения и настройки кардиостимулятора при необходимости. Даже у пациентов с изолированной БЛН ПГ катетеризация правых отделов сердца флотирующим баллонным катетером, как правило, может быть выполнена без риска дополнительного повреждения проводящей системы.

КАТЕТЕРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Врачам, выполняющим катетеризацию сердца, следует хорошо знать технические аспекты оборудования, применяемого во время процедуры. Катетеры, используемые для катетеризации сердца, различаются по длине, размеру и форме. Обычная длина катетера варьирует между 50 и 125 см, 100 см — наиболее часто используемая длина катетера для катетеризации левых отделов сердца через бедренный доступ. Внешний диаметр катетера определяется по шкале French; 1 French (F) = 0,33 мм. Внутренний диаметр катетера меньше внешнего на толщину материала, из которого изготовлен катетер. Проводник, используемый в ходе исследования, должен быть достаточно небольшим, чтобы пройти через внутренний диаметр иглы и катетера. Длину проводника измеряют в сантиметрах, диаметр — в дюймах, а концевая часть описывается согласно форме. Обычно используют проводник 150 см, 0,035 дюйма, J-типа. Интродьюсеры (вспомогательные устройства для проведения основного катетера при катетеризации сердца. — Прим. научн. ред. перев.) различают по наибольшему диаметру катетера, свободно проходящего внутри интродьюсера, а не по внешнему диаметру самого интродьюсера. Следовательно, через интродьюсер 7F можно провести катетер 7F, но наружный диаметр интродьюсера будет > 7F, или 2,31 мм.

Необходимо выбирать размер катетера так, чтобы обеспечить адекватное контрастирование КА и отделов сердца, возможность манипулирования катетером, а также небольшое количество сосудистых осложнений ранней активности поведения пациента. Катетерами большого диаметра (7 и 8F) удобнее манипулировать, они обеспечивают хорошую видимость, однако в большинстве случаев используют катетеры меньшего диаметра (от 4 до 6F), позволяющие быстрее активизировать пациентов после катетеризации. Технология изготовления катетеров улучшилась настолько, что системы 4–6F ис-

494 используют для стандартной ангиографии без существенной потери качества процедуры. Катетеры меньшего диаметра усложняют технику манипуляции, и скорость потока через них меньше. Таким образом, их применение может быть ограничено сложной анатомией или тучностью пациентов. Взаимосвязь между размером катетера и количеством сосудистых осложнений не установлена. Антикоагуляционный фон, предусматривающий применение тиаенопиридинов, ингибиторов гликопротеиновых рецепторов П₂/П₃ при гематологических нарушениях, является более важным фактором, вызывающим сосудистые осложнения, чем техника пункции артерии [11].

Методы

Катетеризация правых отделов сердца

Катетеризация правых отделов сердца позволяет выполнить измерение и анализ давления в правом предсердии, правом желудочке, легочной артерии, определить давление заклинивания легочных капилляров, измерить СВ методом термодилуции и провести поиск внутрисердечных шунтов. Образцы крови для оксиметрии следует забирать из верхней полой вены и ЛА. Катетеризацию правых отделов сердца выполняют антеградно через нижнюю полую вену или верхнюю полую вену. Обычно используют чрескожный доступ через бедренную, подключичную, яремную или переднюю кубитальную вены. Анатомия крупных артерий и вен, применяемых для катетеризации сердца, показана на рис. 19–3, 19–4.

При катетеризации левых отделов сердца по методике Judkins наиболее часто используют чрескожный доступ через бедренную вену. Однако если катетер после исследования нужно оставить, доступ через внутреннюю яремную вену может стать более предпочтительным. При этом доступе пациент имеет возможность сидеть в кровати, а не лежать. Доступ через внутреннюю яремную вену предпочтительнее подключичного, т.к. при нем уменьшается риск пневмоторакса. Применяя набор для микропункции с иглой 21G, можно уменьшить возможную травму из-за случайной пункции сонной артерии. После пункции яремной вены набор для микропункции может быть заменен на больший интродьюсер (например, 7F), необходимый для катетеризации правых отделов сердца. Дополнительное использование портативного сосудистого ультразвукового датчика может помочь локализовать яремную вену в трудных условиях, например у пациентов с короткой толстой шеей или после множественных предшествующих катетеризаций.

КАТЕТЕРЫ С ФЛОТИРУЮЩИМ БАЛЛОНОМ. Катетеры с флотирующим баллоном наиболее простые, и их применяют чаще всего. Если необходимо определить СВ методом термодилуции, используют катетеры с термисторами, такие как катетеры Swan–Ganz (см. рис. 19–2). С помощью таких катетеров можно измерить внутрисердечное давление и насыщение крови кислородом для обнаружения внутрисердечных шунтов. Эти

гибкие катетеры направляются потоком крови, но при бедренном доступе для канюлирования ЛА и определения места заклинивания легочных капилляров почти всегда необходима флюороскопия. Катетеры для катетеризации правых отделов сердца имеют J-образную кривизну для облегчения прохождения из ВПВ в ЛА или S-кривизну при бедренном доступе. Другие катетеры для катетеризации правых отделов сердца с флотирующим баллоном и отверстием на кончике более жесткие и легко управляемые, что позволяет провести через катетер обычный 0,035- или 0,038-дюймовый проводник для облегчения манипуляции. Это снижает возможность определения СВ методом термодилуции, но позволяет получить более точные значения давления из-за уменьшения катетерных «хлыстовых» артефактов и большего отверстия на кончике.

Для проведения флотирующего баллонного катетера через бедренную вену существует два способа. Часто катетер может быть проведен прямо через ПП и трехстворчатый клапан. Попав в ПЖ, катетер направляется вверх прямо в выходной отдел ПЖ. В ВОПЖ можно легко попасть, если продвигать катетер, слегка вращая его по часовой стрелке. Затем следует дать возможность баллону попасть в ЛА, в позицию заклинивания (рис. 19–5). При необходимости глубокий вдох или кашель могут облегчить это движение и способствовать прохождению через клапан ЛА. Если катетер продолжает продвигаться ниже, к верхушке ПЖ, следует использовать другой метод, т.к. при дальнейшем продвижении есть риск перфорации верхушки ПЖ.

Другой метод катетеризации ПЖ флотирующим баллоном представлен на рис. 19–5. В ПП формируется петля, в которой конец катетера направлен латерально. Петлю можно сформировать, зацепив конец катетера в печеночной вене или продвигая катетер до тех пор, пока он не будет направлен латерально в ПП. После формирования петли катетер следует продвигать дальше, при этом кончик его направляет-

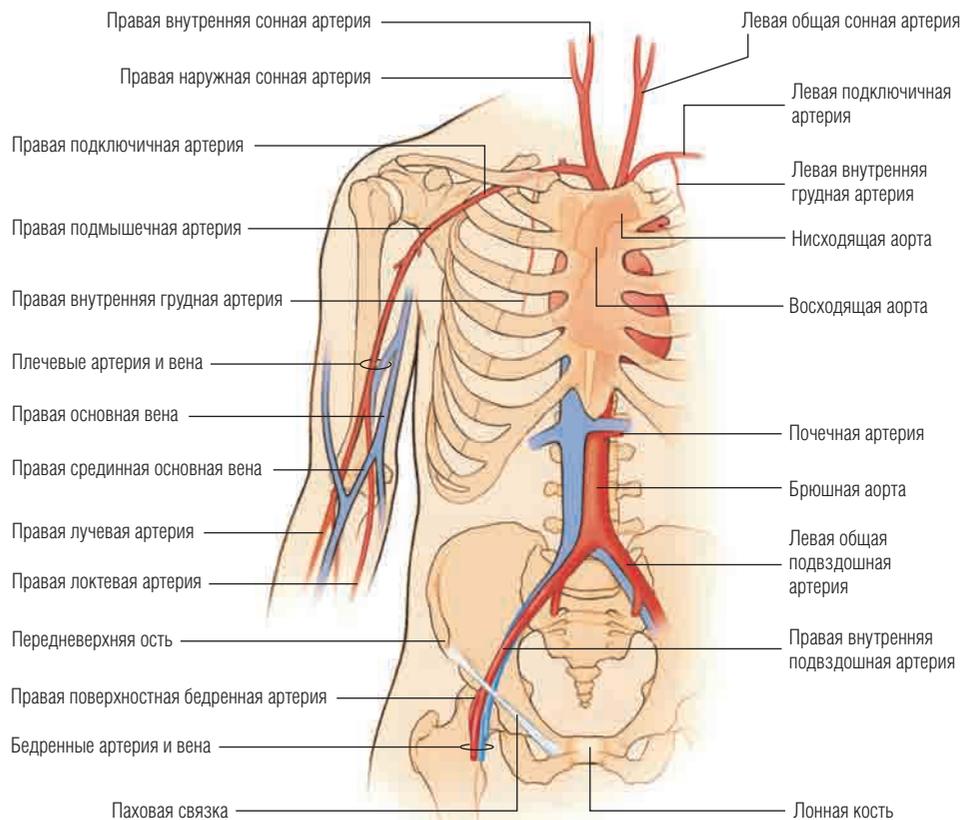


Рис. 19–3 Основные артерии, используемые для доступа во время катетеризации сердца. На предплечье показаны только поверхностные вены [Thibodeau GA, Patton KT (eds): *Anthony's Textbook of Anatomy and Physiology*. 17th ed. St. Louis, CV Mosby, 2002].

ся вниз и затем медиально через ТК. Антеградный кровоток должен направить катетер в ЛА. После установки катетера в позицию заклинивания избыточную петлю следует убрать легким подтягиванием.

НЕФЛОТИРУЮЩИЕ КАТЕТЕРЫ. При использовании катетера с концевым отверстием (например, Curgand или многоцелевого) без баллона на конце техника канюляции ЛА заметно отличается. Для продвижения в ЛА катетер необходимо вращать. Его следует направлять вниз через ТК и затем вверх в ВОПЖ. Как правило, рекомендуется сделать одну попытку формирования петли в ПП до продвижения в ПЖ, чтобы уменьшить риск перфорации.

Наличие открытого овального окна, имеющегося у 20–30% взрослых пациентов, позволяет получить доступ к ЛП, используя многоцелевой катетер с концом, направленным медиально и слегка кзади. Катетер медленно подтягивают из ВПВ или ПП до начала легкого движения кончика вперед и медиально. Затем у пациентов с открытым овальным окном катетер пролабирует в ЛП при небольшом давлении на меж-

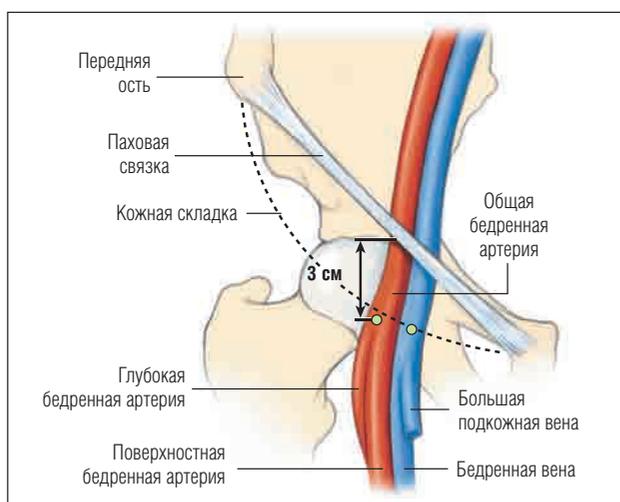
предсердную перегородку. Присутствие катетера в ЛП может быть подтверждено кривой давления, образцами крови, показывающими насыщение ее кислородом, или ручным введением контраста. Если необходим доступ в ЛП, который не может быть обеспечен с помощью этого метода, следует предпринять транссептальную катетеризацию (см. «Транссептальная катетеризация»).

Катетеризация левых отделов сердца и коронароангиография

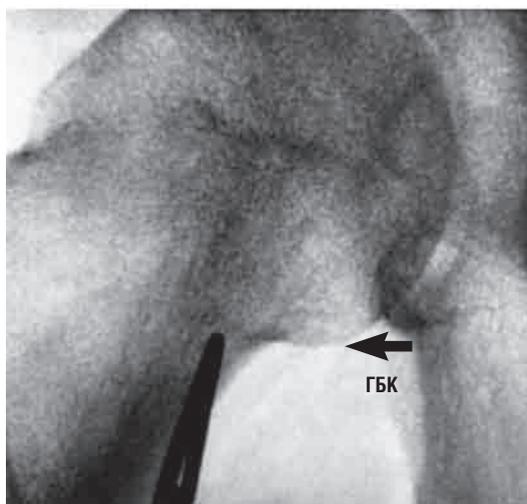
МЕТОД JUDKINS. Из-за относительной простоты, скорости, надежности и низкой частоты осложнений [1, 7] метод Judkins наиболее широко используют при катетеризации левых отделов сердца и КАГ. После местной анестезии 1% раствором лидокаина осуществляется чрезкожный доступ к бедренной артерии (БА) пункцией сосуда на 1–3 см (или на ширину одного-двух пальцев) ниже паховой связки (см. рис. 19–4). Связку можно пальпировать по направлению от верхней передней

подвздошной ости до верхней лонной ветви. Именно эту связку, а не паховую складку следует использовать в качестве ориентира. Паховая складка может ввести в заблуждение, особенно у тучного пациента. В проекции БА делается поперечный надрез кожи скальпелем. Для подтверждения того, что насадка сделана над нижним краем головки бедренной кости, можно использовать гемостатический зажим под флюороскопическим контролем. При использовании модифицированной методики Seldinger (рис. 19–6) тонкостенную иглу 18G (рис. 19–7) вводят в БА под углом 30–45°, затем через иглу проводят в артерию 0,035–0,038-дюймовый проводник с J-образным кончиком с тefлоновым покрытием. Проводник должен проходить в Ао свободно, как нагретый нож в масле.

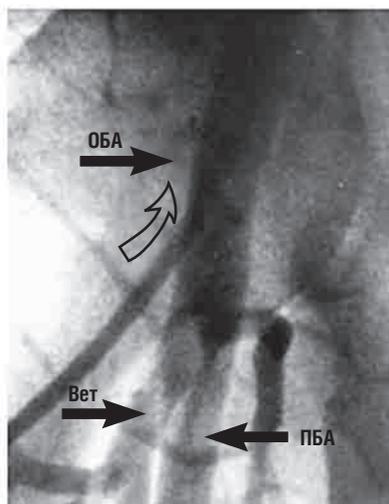
После получения артериального доступа в БА обычно вводят интродьюсер, равный по размеру коронарному катетеру. Целесообразность стандартного применения гепарина при диагностической катетеризации не доказана. Однако при длительных процедурах, например у пациентов с сосудистыми шунтами или клапанным стенозом, можно в/в ввести от 2 до 3 тыс. ЕД гепарина. Стандартное введение протамина после процедуры для нейтрализации гепарина не рекомендуется. Гипотензивные реакции на протамин, несмотря на их редкость, могут быть тяжелыми и наиболее распространены у пациентов с СД. У пациентов, получающих гепарин до поступления в лабораторию, после доступа в БА следует определить активированное время



А



Б



В

Рис. 19–4 Томографическая анатомия бедренных артерий и вен для чрезкожной катетеризации. **(А)** Схема, показывающая направление бедренных артерий и вен ниже паховой связки, которая проходит от передневерхней ости подвздошной кости к лонному бугорку. Надрез кожи для пункции артерии следует делать на ≈ 3 см ниже связки и прямо над местом пульсации бедренной артерии; для пункции вены надрез кожи следует делать на том же уровне, но приблизительно на один палец медиальнее. Хотя этот уровень не точно соответствует кожной складке у большинства пациентов, анатомическая локализация относительно паховой связки служит более постоянным ориентиром. **(Б)** Флюороскопическая локализация надреза кожи (отмечено концом зажима) на нижней границе головки бедренной кости (ГБК). **(В)** Катетер (прозрачная стрелка) введен через кожный надрез в общую бедренную артерию (ОБА), выше бифуркации на поверхностную бедренную артерию (ПБА) и глубокие ветви (Вет) (стрелки) (см. также рис. 20–1) [Baim DS, Grossman W: Percutaneous approach, including transseptal and apical puncture. In Baim DS, Grossman W [eds]: Cardiac Catheterization, Angiography, and Intervention. 7th ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 2006, p. 81].



Рис. 19–5 Катеризация правых отделов сердца из бедренной вены (схематичный вид). **(А)** Катетер в правых отделах сердца, изначально расположенный в правом предсердии (ПП), направлен к боковой стенке предсердия. Вращением против часовой стрелки катетер направляют кзади, что позволяет попасть в верхнюю полую вену (ВПВ). Хотя на рисунке и не видно, но вращение катетера по часовой стрелке с ориентацией кпереди будет способствовать его введению в ушко правого предсердия (УПП), препятствуя катеризации ВПВ. **(Б)** Катетер подтягивают назад в правое предсердие и направляют латерально. Вращением по часовой стрелке конец катетера направляют антеро медиально и через трехстворчатый клапан. Конец катетера ориентируют горизонтально, точно за позвоночник, и позиционируют ниже выходного отдела правого желудочка (ВОПЖ). Затем дополнительным вращением по часовой стрелке катетер направляют вверх и продвигают в легочную артерию и правую легочную артерию (ПЛА). **(В)** При катеризации расширенных правых отделов сердца используют два приема. Для достижения трехстворчатого клапана может потребоваться большая петля с направленным вниз концом катетера, которую формируют, зацепив конец катетера за печеночную вену (ПВ) и быстро продвинув его в правое предсердие. Техника обратной петли (нижний ряд) обеспечивает направление конца катетера вверх к выходному отделу правого желудочка. ЛА — легочная артерия; НПВ — нижняя полая вена; ПЖ — правый желудочек [Baim DS, Grossman W: Percutaneous approach, including transseptal and apical puncture. In Baim DS, Grossman W [eds]: Cardiac Catheterization, Angiography, and Intervention. 7th ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 2006, p. 86].

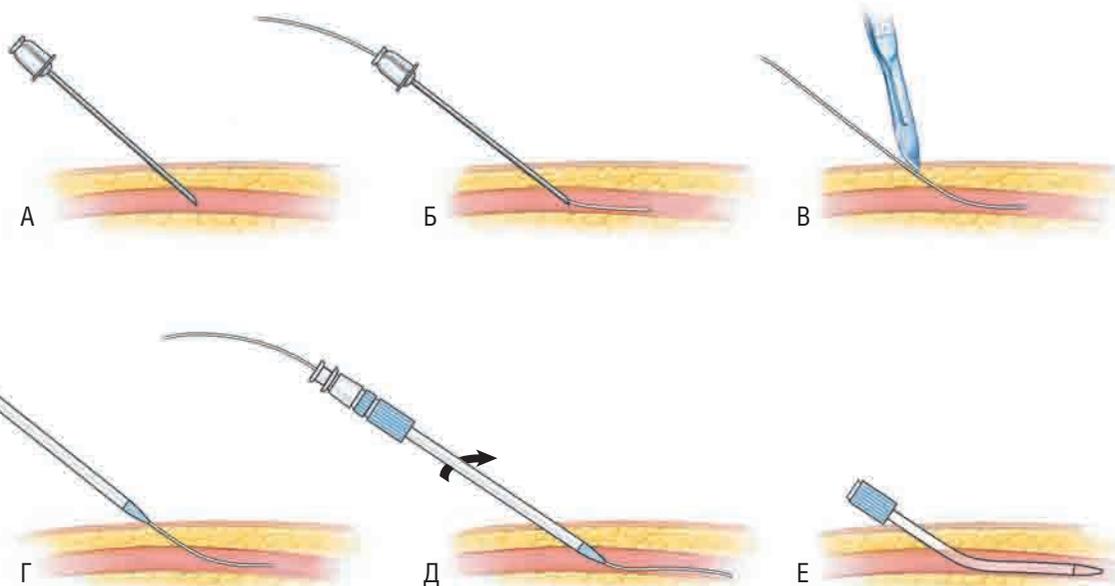
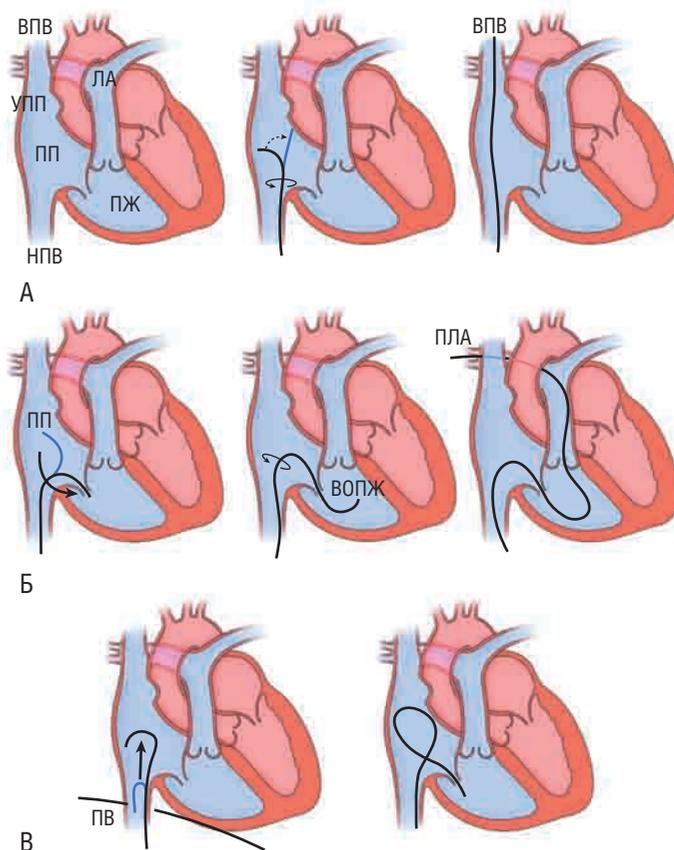


Рис. 19–6 Модифицированная техника Seldinger для чрескожного введения интродьюсера. **(А)** Пункция сосуда иглой. **(Б)** Гибкий проводник проводят в сосуд через иглу. **(В)** Иглу удаляют, проводник оставляют на месте, скальпелем делают надрез кожи. **(Г)** Интродьюсер и дилататор проводят, используя проводник. **(Д)** Интродьюсер и дилататор проводят по проводнику в сосуд. **(Е)** Дилататор и проводник удаляют, а интродьюсер оставляют в сосуде [Hill JA, Lambert CR, Vlietstra RE, Pepine CJ: Review of general catheterization techniques. In Pepine CJ, Hill JA, Lambert CR [eds]: Diagnostic and Therapeutic Cardiac Catheterization. 3rd ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 1998, p. 107].

свертывания (АВС). Удаление интродьюсера обычно не рекомендуется до тех пор, пока АВС не будет < 170 сек, за исключением случаев, когда применено сосудистое закрывающее устройство.

Конечное диастолическое давление и конечное систолическое давление в ЛЖ можно определить, продвигая катетер типа pigtail в ЛЖ (рис. 19–8). При оценке сте-

пени АС следует одновременно записывать давление в ЛЖ и БА с помощью двух датчиков. Аортальный катетер лучше располагать в брюшной Ао, а не в БА. У пожилых пациентов с заболеваниями периферических артерий снижение давления может быть значимым. Определение давления в Ао для оценки тяжести клапанного поражения будет неточным. При подозреваемом митральном

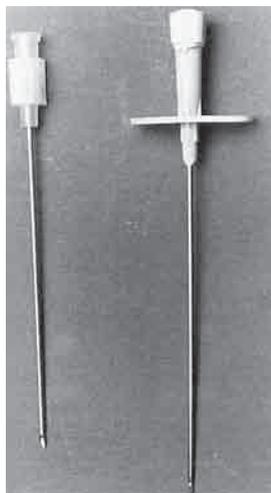


Рис. 19-7 Два наиболее часто применяемых вида для сосудистого доступа. Слева. Тонкостенная цельная игла для передней стенки. Справа. Двухкомпонентная тонкостенная игла Seldinger [MacDonald RG: Catheters, sheaths, guidewires, needles, and related equipment. In Pepine CJ, Hill JA, Lambert CR (eds): Diagnostic and Therapeutic Cardiac Catheterization. 3rd ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 1998, p. 130].

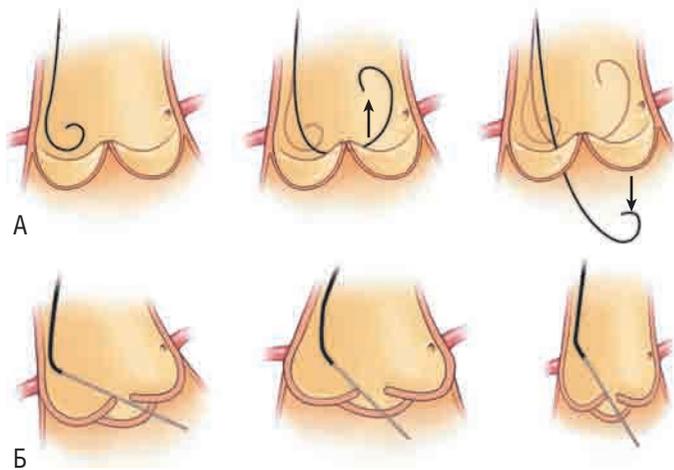


Рис. 19-8 Техника ретроградного прохождения аортального клапана с использованием катетера типа pigtail. **(А)** Техника прохождения нормального аортального клапана. **(Б)** Применение комбинации прямого проводника и катетера типа pigtail. Увеличение длины выступающего за край катетера проводника уменьшает кривизну катетера и направляет его к устью правой коронарной артерии; при уменьшении длины выступающего за край катетера проводника форма катетера типа pigtail восстанавливается и отклоняет конец катетера к левой коронарной артерии. После выбора соответствующей длины проводника и правильной ориентации катетера повторные подача вперед и потягивание катетера и проводника вместе позволяют ретроградно продвинуть их через клапан. При расширенном корне аорты предпочтительно использовать угловой катетер типа pigtail. В маленьком корне аорты **(Б, справа)** правый коронарный катетер Judkins может быть предпочтительнее. У пациентов с двухстворчатым клапаном часто применяют левый катетер Amplatz, т.к. он более управляем [Baim DS, Grossman W: Percutaneous approach including transeptal and apical puncture. In Baim DS, Grossman W (eds): Cardiac Catheterization, Angiography, and Intervention. 6th ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 2006, p. 93].

стенозе давление в ЛЖ и ДЗЛК или давление в ЛП должны быть определены одновременно. Вентрикулографию ЛЖ выполняют в правой косой проекции 30° и левой косой проекции 45–50°. Для этой цели наиболее часто применяют катетер типа pigtail. Для оценки функции ЛЖ и тяжести митральной регургитации используют автоматическую инъекцию в желудочек контраста объемом 30–40 мл со скоростью 12–15 мл/сек. После вентрикулографии могут быть повторно измерены конечное диастолическое и систолическое давление в ЛЖ и зарегистрировано систолическое давление при извлечении

катетера из ЛЖ в Ао. При наличии трансклапанного градиента давления (ΔP) кривая давления это покажет. Для измерения предположительного внутрижелудочкового ΔP нужен многоцелевой катетер с отверстием на конце, чтобы обнаружить ΔP в ЛЖ. Катетер типа pigtail имеет боковые отверстия, что снижает возможность определения вида ΔP (внутрижелудочковый, подклапанный или надклапанный).

После КАГ и катетеризации левых отделов сердца катетеры удаляют и проводят ручное надавливание на этот участок бедра в течение 10 мин. Пациенту для профилактики образования гематомы необходимо находиться в постели в течение нескольких часов, не сгибая ногу. При использовании катетеров 4–6F достаточно постельного режима в течение 2 ч, а после применения катетера > 6F обычно требуется, по крайней мере, 3–4 ч постельного режима.

В качестве альтернативы можно использовать сосудистые закрывающие устройства. В настоящее время доступны четыре их типа: коллагеновые пробки, шовное закрытие, металлические клипсы, гемостатические заплатки. Все они дают возможность ранней активности пациента (в пределах 1–2 ч после исследования), при этом время гемостаза меньше, чем при ручном прижатии [12, 13]. Сосудистые закрывающие устройства позволяют раньше удалять интродьюсер у пациентов, принимающих антикоагулянты. Однако метаанализ показал повышение риска развития псевдоаневризмы и гематомы после пункции артерии при использовании закрывающего устройства [14]. Окончательный благоприятный исход любых способов обеспечения гемостаза зависит от пункции только одной передней стенки общей БА.

Основные преимущества метода Judkins — скорость и простота селективной катетеризации. Эти преимущества, тем не менее, не заменяют опыт врача, проводящего катетеризацию, для обеспечения качества исследований с допустимым уровнем безопасности. Основным недостатком этого метода — трудности применения у пациентов с тяжелым илеофemorальным атеросклеротическим поражением, у которых ретроградное проведение катетера через область наибольшего сужения или извитость может быть затруднительным или невозможным. Однако при аккуратных манипуляциях прохождение через синтетический аортофemorальный шунт может быть выполнено с низкой частотой осложнений.

КАТЕТЕРИЗАЦИЯ СЕРДЦА ЧРЕСКОЖНЫМ ДОСТУПОМ ЧЕРЕЗ ПЛЕЧЕВУЮ АРТЕРИЮ — МЕТОД SONES. Sones и коллеги первыми предложили метод катетеризации КА доступом через плечевую артерию. Технически сложный метод Sones еще применяют в некоторых центрах (см. главу 20).

МЕТОД КАТЕТЕРИЗАЦИИ СЕРДЦА ЧРЕСКОЖНЫМ ДОСТУПОМ ЧЕРЕЗ ПЛЕЧЕВУЮ АРТЕРИЮ. Модификацией метода Sones является чрескожный доступ в ПА с помощью катетеров Judkins. При этом методе достигается доступ к ПА по Seldinger. В артерию устанавливают проводниковый катетер размерами от 4 до 6F и в его боковой порт вводят 3–5 тыс. ЕД гепарина. Затем под флюороскопическим контролем в восходящую Ао вводят проводник. Для выполнения рутинной ангиографии и вентрикулографии через проводник проводят левый и правый катетеры Judkins, а также катетер типа pigtail. Иногда может понадобиться проводник для направления катетера в синус Valsalva и устье левой главной КА. Для катетеризации устьев КА также можно использовать многофункциональный катетер Amplatz. После удаления проводникового катетера верхняя конечность должна быть разогнута в локтевом

498 суставе, на место пункции ПА накладывают давящую повязку на 4–6 ч, контролируют пульс на ПА и лучевой артерии.

Главное преимущество этого метода заключается в том, что не требуется пересечения и последующего восстановления целостности ПА. Главный недостаток — сложность манипуляций с катетерами. При этом методе уровень комфорта для пациента, эффективность процедуры и качество получаемых изображений выше, а время достижения гемостаза и время выписки из стационара меньше, правда, время действия излучения меньше при феморальном методе. Количество осложнений примерно одинаково.

МЕТОД КАТЕТЕРИЗАЦИИ СЕРДЦА ЧРЕСКОЖНЫМ ДОСТУПОМ ЧЕРЕЗ ЛУЧЕВУЮ АРТЕРИЮ. Катетеризация левых отделов сердца доступом через лучевую артерию была предложена как альтернатива чрескожному брахиальному методу в целях снижения количества сосудистых осложнений. Основное преимущество доступа через лучевую артерию заключается в том, что кисть кровоснабжается двумя артериями, анастомозирующими через ладонные дуги, а в месте пункции отсутствуют нервы или вены. Кроме того, после исследования не требуется постельный режим, что позволяет выполнять ангиографию амбулаторно.

Для выполнения метода необходимы нормальные результаты теста Allen. После ручного прижатия локтевой и лучевой артерий во время сжатия в кулак кисть бледнеет. Ее окраска становится нормальной в течение 10 сек после ослабления давления на локтевую артерию, а выраженная реактивная гиперемия после уменьшения давления на лучевую артерию не возникает.

Предплечье отводят и запястье максимально разгибают на марлевом валике. Применяют стандартную анестезию кожи, выполняют небольшой разрез сразу проксимальнее шиловидного отростка лучевой кости и в подкожных тканях с помощью пинцета делают туннель. Затем в артерию вводят иглу 18G под углом 45°, в нее вводят 0,035- или 0,038-дюймовый проводник с J-образным концом. По нему проводят 23-сантиметровый проводниковый катетер 4 или 5F. Вводят 5 тыс. ЕД гепарина через боковой порт последнего. Через проводники в восходящую Ао проводят коронарные катетеры. Левую и правую КА катетеризируют как при плечевом доступе. В конце исследования после удаления проводникового катетера гемостаз достигается путем прямого надавливания на артерию. Рекомендуется дать крови излиться из места пункции артерии в течение нескольких ударов сердца перед ее сдавлением. Пульс на лучевой артерии следует регулярно контролировать в течение нескольких часов после исследования.

Потенциальными противопоказаниями для этой процедуры являются невозможность канюляции лучевой артерии в силу ее малого размера и склонность к развитию спазма, недостаточно хорошая видимость КА вследствие применения катетеров малого диаметра с ограниченным объемом движений и риск окклюзии лучевой артерии вследствие диссекции или тромбоза. Кроме того, при катетеризации правых отделов сердца требуются дополнительные доступы. Если предполагают чрескожное вмешательство, то выбор устройства может быть ограничен размерами проводникового катетера. Несмотря на то что доступ через БА считается наиболее простым и, возможно, наиболее безопасным методом катетеризации левых отделов сердца, в некоторых лабораториях транслучевой доступ катетеризации левых отделов сердца применяют довольно часто [15].

ТРАНССЕПТАЛЬНАЯ КАТЕТЕРИЗАЦИЯ. Интерес к транссептальной катетеризации левых отделов сердца возродился вновь с изобретением баллона для чрескожной митральной комиссуротомии как приемлемой альтернативы хирургической комиссуротомии (см. главу 62). Были разработаны электрофизиологические методы с доступом к легочным венам (см. главу 35), в связи с развитием методов чрескожного протезирования и пластики клапанов и в связи с применением дисковых кла-

панных протезов в аортальной позиции. Через этот тип клапанных протезов нельзя безопасно провести катетер, поэтому ретроградную катетеризацию левых отделов сердца в этих случаях проводить нельзя. У опытных врачей количество осложнений при применении данного метода составляет < 1% [16, 17].

Транссептальный катетер — это коротко изогнутый катетер с коническим кончиком (рис. 19–9). Иногда применяют комбинацию проводникового катетера Mullins 8F и дилатора. Игла Brockenbrough — игла размером 18G, имеющая размер 21G в дистальном конце. Одним из широко распространенных методов катетеризации является следующий: 0,032-дюймовый проводник проводят через бедренную вену и ПП в ВПВ. Затем транссептальный интродьюсер и расширитель Mullins продвигают по проводнику в ВПВ. Проводник удаляют и заменяют иглой Brockenbrough, дистальный конец которой присоединяют к манометру. Всю систему подтягивают к себе, при этом кончик иглы находится чуть проксимальнее конца проводникового катетера Mullins. Одновременно катетер поворачивают из позиции 12 часов условного циферблата в позицию 5 часов. Оперирующий наблюдает два резких движения вправо. Первое движение происходит, когда катетер опускается из ВПВ

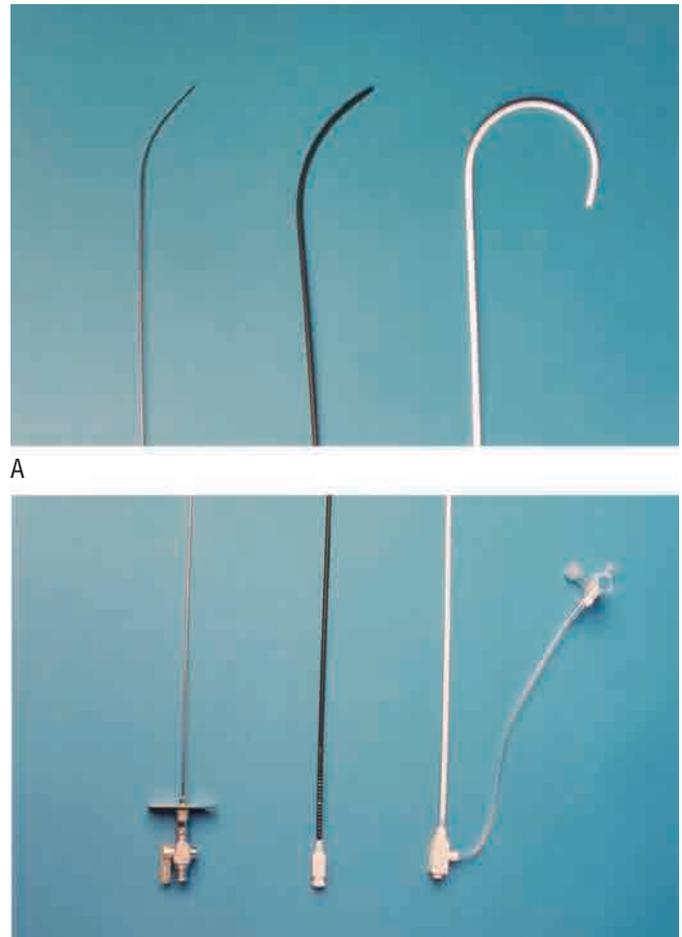


Рис. 19–9 (А) Дистальные транссептальные катетеры. **(Б)** Проксимальные транссептальные катетеры. Транссептальные проводниковые катетеры Mullins (слева), проводник (дилатор), помещенный внутрь проводникового катетера с целью придания ему жесткости (в середине), транссептальная игла Brockenbrough, помещенная внутрь проводникового катетера и применяемая для пенетрации перегородки (справа).

в ПП, второе — когда кончик расширителя Mullins пересекает каемчатый край овальной ямки. Кривизна проводникового катетера и иглы должна быть ориентирована немного впереди. Затем расширитель и игла могут быть одновременно осторожно продвинуты вперед. Часто достаточно постоянного небольшого давления для проведения всей системы через овальную ямку в ЛП. Если не получается, то иглу проводят через МПП, в то время как проводниковый катетер Mullins удерживают на одном месте. При затруднении выполнения трансептальной пункции из-за больших размеров ПП, предшествующих операций на сердце или анатомических особенностей для определения локализации овальной ямки и МПП может быть полезна внутрисердечная ЭхоКГ [18].

Расположение системы в ЛП подтверждается увеличением давления с левопредсердными а- и v-формами кривой, ручной инъекцией раствора контрастного вещества или измерением насыщения крови кислородом. После подтверждения нахождения катетера в ЛП катетер должен быть повернут на 3 часа, а дилатор с проводниковым катетером осторожно продвинуты на 2–3 см в ЛП. Проводниковый катетер плотно удерживают, а дилатор и иглу удаляют. Далее следует повторить измерение давления в ЛП. Если необходимо измерить давление в ЛЖ или выполнить левостороннюю вентрикулографию, обычно легко удается переместить катетер в ЛЖ путем небольшого поворота против часовой стрелки. Главная опасность трансептальной катетеризации заключается в пункции близлежащих предсердных структур, таких как свободная стенка предсердия, ушко ЛП, коронарный синус, вход в корень Ао или легочный ствол.

Прямая трансторакальная пункция левого желудочка

Единственным показанием для прямой пункции ЛЖ является измерение давления в ЛЖ и выполнение вентрикулографии пациентам с механическими клапанными протезами в митральной и аортальной позициях, которым противопоказаны ретроградная артериальная и трансептальная катетеризации. Следует избегать проведения катетера через дисковые протезы клапанов сердца, т.к. это может привести к застреванию катетера, окклюзии протеза или возможной дислокации его диска с последующей эмболией.

Процедуру выполняют после определения местоположения верхушки ЛЖ путем пальпации или, что предпочтительнее, под контролем ЭхоКГ [19, 20]. После выполнения местной анестезии 6-дюймовый набор тefлоновых катетеров размерами 18G или 21G вводят по верхнему краю ребра и направляют немного кзади и ко II межреберью справа до тех пор, пока не почувствуют пульсацию. Иглу с проводниковым катетером вводят в ЛЖ. Стиллет и иглу удаляют, а проводниковый катетер присоединяют к системе для манометрии.

К осложнениям такой процедуры относят тампонаду сердца, гемоторакс, пневмоторакс, повреждение ЛПНА, тромбоэмболию из ЛЖ, вагусные реакции и желудочковые аритмии. Риск тампонады перикарда незначителен у пациентов, ранее перенесших вмешательства на сердце вследствие развития спаечного процесса. Однако при наличии неинвазивных методов визуализации, включая чреспищеводную ЭхоКГ, эту процедуру выполняют нечасто.

Эндомиокардиальная биопсия

Эндомиокардиальную биопсию наиболее часто проводят с применением одноразового биоптома (или, реже, много-

разового). Самые распространенные устройства для доступа через внутреннюю яремную вену, — предварительно подогнанные по форме 50-сантиметровые биоптомы. Биопсию ПЖ можно выполнять доступом через внутреннюю яремную вену (описание этого доступа см. «Катетеризация правых отделов сердца»), подключичную или бедренную вены. Биопсию ЛЖ обычно выполняют доступом через БА.

При биопсии ПЖ через правую внутреннюю яремную вену в нее вводят короткий прямой проводниковый катетер 7–9F по методике Seldinger. Биоптом 7–8F под флюороскопическим контролем подводят к боковой стенке ПП. Поворачивая биоптом против часовой стрелки, его проводят через ТК по направлению к межжелудочковой перегородке. Расположение биоптома напротив МЖП подтверждается в правой передней косой (30°) и левой передней косой (60°) флюороскопических проекциях. Иногда для установки биоптома в правильной позиции вместо флюороскопии применяют двухмерную ЭхоКГ. Контакт с миокардом подтверждается появлением преждевременных сокращений желудочков, сопротивлением при дальнейшем продвижении и передачей желудочковых сокращений (толчков) оперирующему. Затем биоптом немного двигают от перегородки на себя, бранши щипцов открывают, биоптом снова подают вперед до контакта с миокардом, щипцы закрывают. При удалении устройства ощущается небольшой рывок. При другой методике используют предварительно подогнанный по форме интродьюсер с гибким прямым биоптомом. Формы интродьюсеров похожи на те, что применяют при феморальном доступе. Для качественного патогистологического анализа необходимо 4–6 образцов миокарда. Перед процедурой необходимо проконсультироваться с патологоанатомом для гарантии адекватного забора образцов и определения метода их обработки.

Биопсия из ПЖ через бедренную вену требует введения длинного проводникового катетера размером 6–7F к тому месту желудочка, где нужно взять образец. Для выполнения биопсии из ПЖ используют катетерные проводники разной формы. Обычные катетерные проводники имеют кривизну в 45° на дистальном конце для доступа к ПЖ. Новые катетерные проводники имеют двойную кривизну: обычная кривизна в 180° и дополнительная кривизна в 90° в дистальном отделе перпендикулярно плоскости перегородки, которая позволяет улучшить управляемость и возможность установки к МЖП.

Биоптом проводят через проводниковый катетер, и биоптом должен быть виден в 30° правой передней косой проекции и в 40° левой передней косой проекции. Правая передняя косая проекция позволяет убедиться, что катетер находится в середине желудочка, вдали от верхушки. В левой передней косой проекции подтверждается, что кончик проводникового катетера направлен к МЖП. Чтобы удостовериться в этом, можно ввести раствор контрастного вещества через боковой порт. Образцы миокарда забирают описанным ранее способом.

Если необходимо выполнить биопсию из ЛЖ, проводниковый катетер для биопсии обычно вводят через БА и проводят через многоцелевой катетер или катетер типа pigtail, который устанавливают в ЛЖ. Проводниковый катетер проводят ниже МК и на небольшом расстоянии от заднебазальной стенки. Затем многоцелевой катетер извлекают и вводят длинный левожелудочковый биоптом. Выполнять биопсию из ЛЖ следует с осторожностью, чтобы не допустить воздушной эмболии во время проведения биоптома через проводниковый катетер. Постоянное введение промывного раствора через катетер снижает риск воздушной эмболии или тромбоэмболии.

Осложнениями эндомиокардиальной биопсии могут быть перфорация сердца с развитием тампонады, эмболии (воздушная, тканевая, тромбоэмболия), аритмии, нарушения электропроводения, повреждения клапанов сердца, вазовальные реакции и пневмоторакс. Общее количество осложнений составляет ≈ 1–2%, при этом риск перфорации сердца с тампонадой обычно < 0,05% [21]. При биопсии желудочков



500 частое осложнение — системная эмболия и желудочковые аритмии. Биопсию из ЛЖ не следует выполнять у пациентов с блокадой правой ножки пучка Гиса из-за потенциальной возможности развития полной атриовентрикулярной блокады и пациентам с тромбом в ЛЖ.

Показания к эндомикардиальной биопсии остаются противоречивыми [3]. Общеизвестно, что эндомикардиальная биопсия показана для мониторинга отторжения донорского сердца и также может быть полезной для слежения за кардиотоксичностью антрациклина. Целесообразность назначения эндомикардиальной биопсии с целью определения причины дилатационной КМП не доказана [3]. Другими возможными показаниями к эндомикардиальной биопсии являются проведение дифференциальной диагностики между рестриктивными и констриктивными КМП [22], определение того, является ли миокардит причиной желудочковых аритмий, и обследование пациентов с нарушением функции ЛЖ, связанным с ВИЧ-инфекцией [23].

Чрескожное введение баллона для внутриаортальной контрпульсации

Устройства для внутриаортальной контрпульсации устанавливают в нисходящую грудную Ао. Эти устройства состоят из баллона объемом 30–50 мл, в котором в качестве газа-наполнителя применяют гелий. Баллон наполняют во время диастолы и опорожняют во время систолы. Размер баллона зависит от роста пациента. Устройство вводят через БА по стандартной методике Seldinger таким образом, чтобы кончик был на 2–3 см ниже уровня левой подключичной артерии. Применяют системы размером 8 и 9,5F [24]. Для точной установки системы требуется флюороскопический контроль. Синхронизацию баллона настраивают в режиме 1 : 2 (одно наполнение на каждые два сердечных сокращения) так, чтобы наполнение баллона происходило в аортальном диастолическом зубце, а опорожнение — непосредственно перед систолой. Такая синхронизация обеспечивает максимальный диастолический кровоток и минимальное сопротивление во время систолы. На рис. 19–10 показаны оптимальные схемы синхронизации внутриаортального баллонного насоса (ВАБН) [25].

Положительными гемодинамическими эффектами ВАБН являются уменьшение левожелудочковой постнагрузки и увеличение оксигенации миокарда [26]. ВАБН показан пациентам со стенокардией, резистентной к медикаментозной терапии, больным с кардиогенным шоком, механическими осложнениями ИМ (например, тяжелая МР, дефект МЖП) или пациентам со стенозом ствола левой КА тяжелой степени. ВАБН также может быть полезен пациентам с высоким риском возникновения осложнений после ЧКВ или первичной ангиопластики в острейшем периоде ИМ [27, 28]. ВАБН противопоказан пациентам с АР средней или тяжелой степени, раслоением Ао, аневризмой Ао, открытым артериальным протоком, тяжелыми заболеваниями периферических сосудов, нарушениями гемостаза или сепсисом.

Осложнениями ВАБН являются ишемия конечности, требующая немедленного удаления баллона или хирургического вмешательства, разрыв или застревание баллона, гематомы и сепсис [25, 27]. Количество сосудистых осложнений колеблется от 12 до > 40% [25, 27]. У большинства пациентов при развитии ишемии конечности после установки баллона ишемия купируется после его удаления и хирургическое вмешательство не требуется (например, тромбэктомия, восстановление целостности сосуда, фасциотомия, ампутация). Риск возникновения ишемии конечности возрастает у женщин, пациентов с СД, заболеваниями периферических сосудов и у паци-

ентов с лодыжечно-плечевым индексом < 0,8 после установки ВАБН. Однако с появлением катетера меньшего диаметра (8–9,5F) и внедрением метода безкатетерной установки количество сосудистых осложнений уменьшилось [25–28].

ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Гемодинамический компонент катетеризации сердца сводится к измерениям давления кровотока (например, СВ, кровотока по шунтам, через стенотическое отверстие, регургитационный и коронарный кровоток) и зависит от сосудистого сопротивления. В упрощенном виде кровоток через кровеносный сосуд (Q) определяется разницей давления (P) в сосуде и сосудистым сопротивлением (R) по закону Ома:

$$Q = \Delta P / R.$$

Измерение давления

Точная регистрация кривых давления и правильная интерпретация физиологических показателей согласно этим кривым — главные цели катетеризации сердца. Кривая давления отражает силу сокращения мышцы сердца, а ее амплитуда и длительность зависят от многих механических и физиологических параметров. На кривые давления из каждой камеры сердца влияет сила сокращения данной камеры и окружающие ее структуры (смежные полости сердца, перикард, легкие и сосуды). Физиологические колебания ЧСС и дыхательный цикл также влияют на кривую давления. Знания о компонентах сердечного цикла важны для правильной интерпретации гемодинамических результатов, получаемых в лаборатории катетеризации сердца.

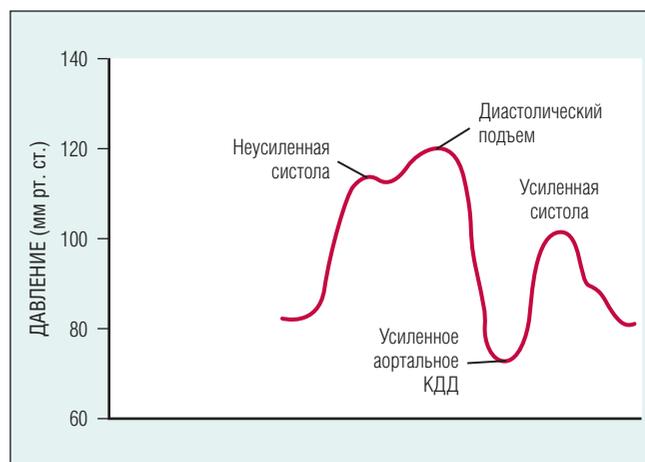
Системы для измерения давления

СИСТЕМЫ, ЗАПОЛНЕННЫЕ ЖИДКОСТЬЮ. Внутрисосудистое давление обычно измеряют с помощью катетеров, заполненных жидкостью, присоединенных к датчику давления. Кривая давления передается от кончика катетера на датчик через столб жидкости внутри катетера. Большинство датчиков давления, используемых в настоящее время, представляют собой одноразовые электрические преобразователи. Изменение давления деформирует диафрагму или провод внутри датчика. Затем эта энергия трансформируется в электрический сигнал пропорционально величине давления по принципу Wheatstone bridge. Этот сигнал усиливается и записывается как аналоговый [29].

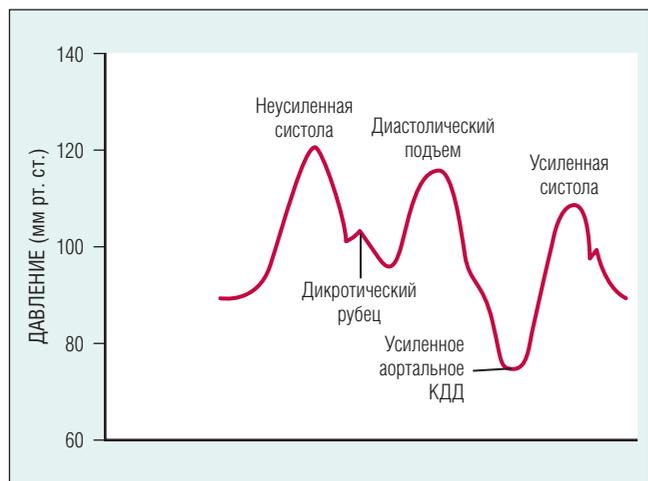
Существует несколько источников ошибок при измерении давления с помощью катетерных систем, заполненных жидкостью. Искажение выходного сигнала происходит в результате частотно-ответных характеристик и поглощающих свойств системы. Частотный ответ системы — это отношение амплитуды выходящего сигнала к амплитуде входящего на протяжении всего частотно-волнового спектра давления на входе. Истинная частота — это частота колебаний системы при возбуждении в отсутствие трения. Рассеивание энергии системы при трении называют амортизацией. Для обеспечения высокочастотной реакции система должна иметь максимально возможную истинную частоту и оптимальную амортизацию. При оптимальной амортизации энергия рассеивается постепенно, приближая кривую частотного ответа к 1 (отношение внешней ча-



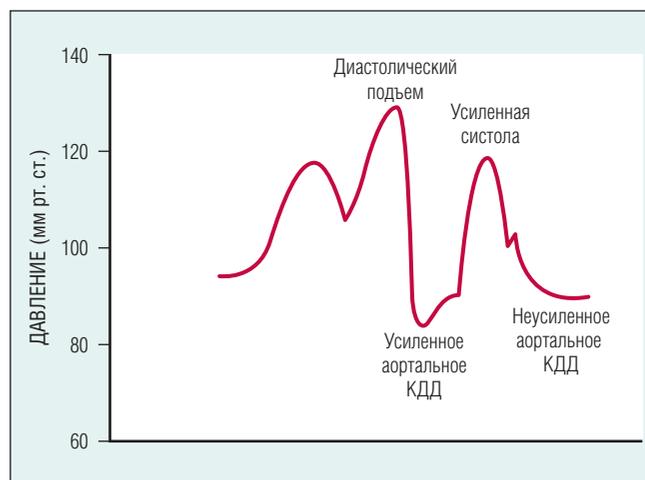
А



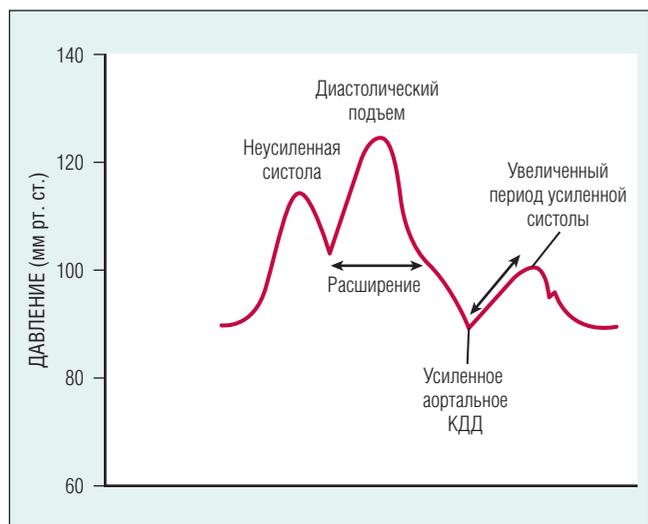
Б



В



Г



Д

Рис. 19–10 Оптимальная синхронизация и кривые артериального давления с внутриаортальным баллонным насосом (ВАБН). **(А)** Кривая системного артериального давления пациента с нормально функционирующим ВАБН, у которого ВАБН запрограммирован наполнять насос через один сердечный цикл (обычно обозначаемый 1 : 2 — одно наполнение каждые два сердечных цикла). При первом ударе сердца систолическое и конечное диастолическое давление в аорте показаны без поддержки ВАБН. При втором сокращении баллон наполняется, появляются дикротический зубец и пиковое увеличение диастолического давления. При опорожнении баллона наблюдаются конечное диастолическое давление и систолическое давление с поддержкой. Баллон наиболее гемодинамически эффективен, когда пиковое диастолическое давление выше систолического давления без поддержки, а систолическое и диастолическое давление с поддержкой меньше, чем без поддержки. **(Б)** Кривая системного артериального давления пациента, у которого наполнение баллона происходит слишком рано (перед закрытием аортального клапана). Соответственно, левый желудочек вынужден выбрасывать кровь через наполненный баллон; в след за увеличением постнагрузки может увеличиться кислородная потребность миокарда и ухудшиться его систолическая функция. **(В)** Кривая системного артериального давления пациента, у которого наполнение баллона происходит слишком поздно (значительно позднее начала диастолы), что уменьшает диастолическое повышение давления. **(Г)** Кривая системного артериального давления пациента, у которого опорожнение баллона происходит слишком рано (до конца диастолы). Это может укоротить период повышения диастолического давления. Сопутствующее этому временное снижение давления в аорте может спровоцировать ретроградный ток крови от сонных и венечных артерий и вызвать церебральную или миокардиальную ишемию. **(Д)** Кривая системного артериального давления пациента, у которого наполнение баллона происходит слишком поздно (после окончания диастолы), что приводит к таким же негативным последствиям, которые возникают при слишком раннем наполнении баллона (увеличение постнагрузки, вызывающее повышение потребности в кислороде миокарда и ухудшение его систолической функции). КДД — конечное диастолическое давление [Trost JC, Hillis LD: Intra-aortic balloon counterpulsation, Am J Cardiol 97:1391, 2006].

502 стоты к внутренней), как это происходит при истинной частоте системы. Оптимальная амортизация достигается применением короткой широкопросветной несборной катетерной системы, которую напрямую присоединяют к датчику и которая заполнена жидкостью с низкой вязкостью без пузырьков воздуха [29].

Датчик давления должен быть откалиброван, установка нулевого уровня — первый этап катетеризации сердца. Чтобы обнулить датчик, его помещают на уровень предсердий примерно в средней части грудной клетки. Если датчик присоединен к коллектору и будет подключаться во время исследования к разным портам, к нему должна быть присоединена вторая катетерная система, заполненная жидкостью и установленная на уровне средней части грудной клетки. Все датчики, которые будут использованы во время процедуры, следует обнулить и откалибровать одновременно. Из-за возможного смещения во время процедуры все датчики должны быть перенастроены непосредственно перед измерением трансклапанного ΔP или одновременным определением давления.

Потенциальными источниками ошибок являются артефакты, связанные с «хлыстовым» движением кончика катетера в исследуемой камере сердца, артефакты конечного давления (измерение давления через отверстие на кончике катетера искусственно завышает его вследствие встречного потока или высокой скорости изменения кривой давления), артефакты, связанные с катетером (когда катетер ударяется о стенки камеры сердца или клапаны), и закупоривание кончика катетера в мелких сосудах или отверстиях клапанов вследствие большого размера самого катетера. Оператор должен знать об источниках потенциальных ошибок и при несоответствии между получаемыми данными и клиническими проявлениями исключать эти ошибки.

МИКРОМАНОМЕТРИЧЕСКИЕ КАТЕТЕРЫ. Применение этих катетеров с датчиком измерения давления на конце значительно уменьшает количество ошибок, характерных для систем, заполненных жидкостью. Однако частота использования микроманометрических катетеров ограничивается их высокой стоимостью и дополнительным временем, необходимым для правильной калибровки данной системы. Эти катетеры имеют лучшие амортизационные характеристики вследствие отсутствия столба жидкости, кроме того, уменьшается количество артефактов, связанных с «хлыстовым» движением катетера. Кривая давления искажается меньше и видна без задержки в 30–40 мсек, как это бывает при использовании систем, заполненных жидкостью. Высокоточные микроманометрические катетеры имеют отверстия на кончике и по бокам, что дает возможность проводить их через проводниковые катетеры в кровеносную систему и совмещать с ангиографией. Катетеры с двумя датчиками, расположенными на небольшом расстоянии, полезны для точного измерения ΔP через клапанные структуры и в полости желудочков. Микроманометрические системы применяют в научных целях для оценки уровня подъема давления в желудочках (dP/dt), напряжения стенки, уровня затухания давления в желудочках ($-dP/dt$), временной постоянной расслабления (τ) и желудочковых отношений давление–объем (см. главу 23).

У микроманометрических катетерных систем есть некоторые недостатки: высокая стоимость, хрупкость и увеличенное время исследования. Нулевой уровень в этих системах может изменяться после выравнивания

давления в сосуде с давлением в заполненном жидкостью просвете катетера.

КРИВЫЕ НОРМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Понимание морфологии кривых нормального давления необходимо для выявления отклонений, характеризующих конкретные патологические состояния. Нормальные уровни давления в камерах сердца и магистральных сосудах представлены в табл. 19–3. При увеличении количества жидкости в полости или сжатии ее давление обычно повышается; при уменьшении количества жидкости или расслаблении полости давление уменьшается. Существует исключение из этого правила — в ранней фазе диастолического наполнения желудочка, когда объем желудочка увеличивается после открытия МК, давление в ЛЖ продолжает падать из-за активного его расслабления. Примеры кривых нормального давления показаны на рис. 19–11.

ПРЕДСЕРДНОЕ ДАВЛЕНИЕ. Кривая давления в ПП имеет три положительные волны: а-волна, с-волна и v-волна. а-Волна возникает в результате систолы ПП и следует за зубцом Р на ЭКГ. Высота а-волны зависит от сократительной способности ПП и сопротивления наполнения ПЖ. За а-волной следует х-провал, отображающий расслабление ПП и возвратное движение створок ТК, вызываемое сокращением ПЖ. х-Провал прерывается с-волной, которая представляет собой небольшое положительное отклонение, вызываемое протрузией закрытого ТК в ПП. После х-провала давление в предсердии повышается вследствие пассивного его наполнения. Затем

ТАБЛИЦА 19–3		Нормальные значения давления и сосудистого сопротивления	
Давление	Средние значения (мм рт. ст.)	Колебание (мм рт. ст.)	
Правое предсердие			
а-Волна	6	2–7	
v-Волна	5	2–7	
Среднее	3	1–5	
Правый желудочек			
Пиковое систолическое	25	15–30	
Конечное диастолическое	4	1–7	
Легочная артерия			
Пиковое систолическое	25	15–30	
Конечное диастолическое	9	4–12	
Среднее	15	9–19	
Легочные капилляры			
Заклинивания			
Среднее	9	4–12	
Левое предсердие			
а-Волна	10	4–16	
v-Волна	12	6–21	
Среднее	8	2–12	
Левый желудочек			
Пиковое систолическое	130	90–140	
Конечное диастолическое	8	5–12	
Центральная часть аорты			
Пиковое систолическое	130	90–140	
Конечное диастолическое	70	60–90	
Среднее	85	70–105	
Сосудистое сопротивление	Средние значения (дин·сек · см ⁻⁵)	Колебание (дин·сек · см ⁻⁵)	
Системное сосудистое сопротивление	1100	700–1600	
Общее легочное сопротивление	200	100–300	
Легочное сосудистое сопротивление	70	20–130	

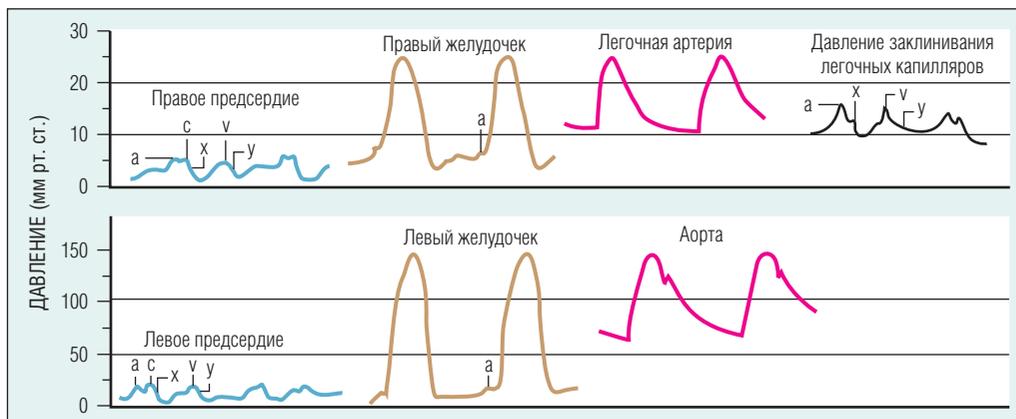


Рис. 19–11 Нормальные левопредсердные и правопредсердные кривые давления, зарегистрированные у пациента при использовании катетерных систем, заполненных жидкостью [Perine C, Hill JA, Lambert CR (eds): Diagnostic and Therapeutic Cardiac Catheterization. 3rd ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 1998, p. 451].

давление в ПП повышается в виде v-волны, которая отображает систолу ПЖ. Высота v-волны зависит от податливости предсердия и количества крови, возвращающейся из периферии в ПП. Обычно правопредсердная v-волна меньше, чем a-волна. y-Провал сменяет v-волну, отражая открытие ТК и опорожнение предсердия в ПЖ. При спонтанном дыхании давление в ПП снижается во время вдоха, поскольку внутригрудное давление падает. Давление в ПП повышается при выдохе вследствие повышения внутригрудного давления. При искусственной вентиляции наблюдается противоположный эффект.

Кривая давления в ЛП похожа на правопредсердную кривую, хотя нормальное давление в ЛП выше, как и во всех левых отделах сердца. В ЛП, в отличие от ПП, v-волна обычно выше a-волны, поскольку ЛП сзади ограничено легочными венами, тогда как декомпрессия ПП может легко произойти через ВПВ и НПВ. Высота v-волны ЛП наиболее точно отображает податливость ЛП.

ДАВЛЕНИЕ ЗАКЛИНИВАНИЯ ЛЕГОЧНЫХ КАПИЛЛЯРОВ. Кривая ДЗЛК похожа на кривую давления в ЛП, но кривая ДЗЛК заметно уменьшена по амплитуде и отсрочена по времени из-за передачи через легкие. Визуализируются a- и v-волны, x- и y-провалы, но с-волна может быть не видна. В норме диастолическое давление в ЛА близко к среднему ДЗЛК, поскольку легочный кровоток имеет малое сопротивление. При определенных патологических состояниях, связанных с повышением легочного сосудистого сопротивления (например, гипоксемия, тромбоэмболия легочной артерии, хроническая ЛП), а иногда после оперативных вмешательств на МК, ДЗЛК может быть выше истинного давления в ЛП. При этих обстоятельствах для точного измерения ΔP на МК может потребоваться прямое измерение давления в ЛП [30].

ДАВЛЕНИЕ В ЖЕЛУДОЧКАХ. Кривые давления ПЖ и ЛЖ идентичны по форме. Они отличаются главным образом своей величиной. В ЛЖ длительность систолы, изоволюмического сокращения и расслабления больше, а период изгнания короче. Может быть небольшой (5 мм рт. ст.) систолический ΔP между ПЖ и ЛА. Кривая желудочкового диастолического давления образуется волной раннего быстрого наполнения, во время которого наполняется почти весь желудочек; фазой медленного наполнения и a-волной отображается систола предсердий. Конечное диастолическое давление обычно измеряют в точке С, которая представляет собой увеличение давления в желудочках в начале изоволюмического сокращения. В случаях, когда точка С не видна, проводят линию от зубца R на одновременно снимаемой ЭКГ к кривой давления в желудочке. Точку их пересечения считают точкой измерения конечного диастолического давления.

ДАВЛЕНИЕ В МАГИСТРАЛЬНЫХ СОСУДАХ. Кривая давления в Ао и легочном стволе состоит из систолической волны, вырезки (указывающей на закрытие полулунных клапанов) и постепенного снижения давления вплоть до следующей

систоли. Пульсовое давление выражает ударный объем и эластичность артериальной стенки. Среднее давление в Ао наиболее точно отображает периферическое сосудистое сопротивление. Поскольку волна системного давления передается по длине Ао, амплитуда систолической волны давления увеличивается и становится более треугольной, а волна диастолического давления снижается, пока не достигнет Ао в среднегрудном отделе, затем снова повышается. Среднее давление в Ао обычно идентично среднему давлению в периферических артериях, хотя иногда отличается на ≤ 5 мм рт. ст. Разница в

систолическом давлении центральной Ао и периферических артерий (бедренной, плечевой, лучевой) наиболее выражена у молодых пациентов вследствие высокой сосудистой эластичности. Эта потенциально возможная разница должна быть учтена при измерении и интерпретации пикового систолического ΔP между ЛЖ и системным АД у пациентов с подозрением на стеноз АК. В случае трансклапанного ΔP наиболее точное измерение давления в Ао достигается на уровне КА. При этом отсутствует эффект восстановления давления, который представляет собой изменяющееся повышение бокового давления ниже стенозированного отверстия (см. главу 62). Это может иметь клиническое значение в случаях стеноза АК легкой и средней степени тяжести, в частности при малом размере Ао [31, 32]. При этом возможна недооценка трансклапанного ΔP из-за более высокого давления в БА. Определение давления проводят с помощью катетера типа pigtail с двумя отверстиями, одновременно измеряющими давление в ЛЖ и восходящей Ао.

Признаки нарушения давления

Кривые давления с нарушениями могут служить диагностическими критериями специфических патологических состояний. В табл. 19–4 перечислены наиболее часто встречающиеся кривые давления.

Методы определения сердечного выброса

Абсолютно точного метода измерения СВ не существует, но он может быть определен с различными допущениями. Два наиболее часто используемых метода — метод Fick и метод термодилуции. В современной практике метод термодилуции применяют довольно редко. У пациентов СВ часто соотносят с площадью поверхности тела, вычисляя сердечный индекс.

МЕТОД ТЕРМОДИЛУЦИИ. При этом методе необходимо болюсно вводить жидкость (физиологический раствор или раствор декстрозы) в проксимальный порт катетера. Возникающее изменение температуры жидкости измеряют терморезистором, смонтированным в дистальный конец катетера. Изменение температуры в зависимости от времени можно отобразить графически. Затем вычисляют СВ, применяя уравнение, которое связывает температуру и силу тяжести вводимого раствора, температуру и силу тяжести крови с объемом вводимого раствора. СВ обратно пропорционален площади под термодилуционной кривой, которая является функцией температуры от времени. При этом меньшая площадь свидетельствует о большем СВ. Колебания температуры в системе могут влиять на точность измерения [33], при-

I Кривые давления в правом предсердии*Низкое среднее предсердное давление*

1. Гиповолемия
2. Неправильное обнуление датчика

Увеличенное среднее предсердное давление

1. Внутрисосудистая перегрузка объемом
2. Правожелудочковая недостаточность, вызванная патологией клапанов (трикуспидальный или пульмональный стеноз или недостаточность)
3. Правожелудочковая недостаточность, вызванная заболеванием миокарда (правожелудочковая ишемия, кардиомиопатия)
4. Правожелудочковая недостаточность, вызванная левожелудочковой недостаточностью (митральный стеноз/недостаточность, аортальный стеноз/недостаточность, кардиомиопатия, ишемия)
5. Правожелудочковая недостаточность, вызванная повышенным легочным сосудистым сопротивлением (тромбоэмболия легочной артерии, хроническая обструктивная болезнь легких, первичная легочная гипертензия)
6. Перикардиальный выпот с признаками тампонады
7. Обтурирующая предсердная миксома

Увеличенная а-волна (любое повышение наполнения желудочков)

1. Стеноз трехстворчатого клапана
2. Сниженная податливость желудочков, вызванная желудочковой недостаточностью, стенозом клапана легочного ствола или легочной гипертензией

«Пушечная» а-волна

1. Предсердно-желудочковая асинхрония (предсердие сокращается против закрытого трехстворчатого клапана, как во время полной блокады сердца вслед за преждевременным сокращением желудочков, во время желудочковой тахикардии или при наличии желудочкового водителя ритма)

Отсутствие а-волны

1. Фибрилляция предсердий или их остановка
2. Трепетание предсердий

Увеличенная v-волна

1. Трикуспидальная регургитация
2. Правожелудочковая недостаточность
3. Сниженная податливость предсердий (рестриктивная миопатия)

а-Волна, равная v-волне

1. Тампонада
2. Констриктивные болезни перикарда
3. Гиперволемия

Выгнутый х-провал

1. Тампонада
2. Подострая и, возможно, хроническая констрикция
3. Ишемия правого желудочка с сохранением сократимости предсердия

Выгнутый у-провал

1. Констриктивный перикардит
2. Рестриктивные миопатии
3. Трикуспидальная регургитация

Притупленный х-провал

1. Фибрилляция предсердий
2. Ишемия правого предсердия

Притупленный у-провал

1. Тампонада
2. Ишемия правого желудочка
3. Стеноз трехстворчатого клапана

Комбинированные нарушения

1. Признак Kussmaul (повышение на вдохе или замедление снижения давления в правом предсердии): сдавливающий перикардит, правожелудочковая ишемия
2. Выравнивание (≤ 5 мм рт. ст.) среднего правопредсердного, желудочкового диастолического давления, диастолического давления в легочной артерии, давления заклинивания легочных капилляров и перикардиального давления при тампонаде
3. Кривая в форме М или W: правожелудочковая ишемия, перикардиальная констрикция, застойная сердечная недостаточность
4. Увеличение давления в правом предсердии до уровня желудочкового: тяжелая трикуспидальная регургитация
5. Вид зубьев пилы: трепетание предсердий
6. Диссоциация между регистрацией давления и внутрисердечной электрокардиограммой — аномалия Ebstein

II Кривые давления в левом предсердии (кривые давления заклинивания легочных капилляров)*Низкое среднее давление*

1. Гиповолемия
2. Неправильное обнуление датчика

Увеличенное среднее давление

1. Внутрисосудистая перегрузка объемом
2. Левожелудочковая недостаточность, вызванная клапанной патологией (митральный или аортальный стеноз или недостаточность)
3. Левожелудочковая недостаточность, вызванная заболеванием миокарда (ишемия или кардиомиопатия)
4. Левожелудочковая недостаточность, вызванная системной гипертензией
5. Перикардиальный выпот с признаками тампонады
6. Обтурирующая предсердная миксома

Увеличенная а-волна (любое повышение наполнения желудочков)

1. Стеноз митрального клапана
2. Сниженная податливость желудочков, вызванная желудочковой недостаточностью, стенозом аортального клапана или системной гипертензией

«Пушечная» а-волна

1. Предсердно-желудочковая асинхрония (предсердие сокращается против закрытого митрального клапана, как во время полной блокады сердца, вслед за преждевременным сокращением желудочков, во время желудочковой тахикардии или при наличии желудочкового водителя ритма)

Отсутствие а-волны

1. Фибрилляция предсердий или их остановка
2. Трепетание предсердий

Увеличенная v-волна

1. Митральная регургитация
2. Левожелудочковая недостаточность
3. Дефект межжелудочковой перегородки

а-Волна, равная v-волне

1. Тампонада
2. Констриктивные болезни перикарда
3. Гиперволемия

Выгнутый х-провал

1. Тампонада
2. Подострая и, возможно, хроническая констрикция

Выгнутый у-провал

1. Констриктивный перикардит
2. Рестриктивные миопатии
3. Митральная регургитация

Притупленный х-провал

1. Фибрилляция предсердий
2. Ишемия предсердий

Притупленный у-провал

1. Тампонада
2. Желудочковая ишемия
3. Стеноз митрального клапана

Давление заклинивания легочных капилляров, не равное конечному диастолическому давлению в левом желудочке

1. Стеноз митрального клапана
2. Миксома левого предсердия
3. Трехпредсердное сердце
4. Обструкция легочных вен
5. Сниженная податливость желудочков
6. Повышенное плевральное давление
7. Попадание катетера в независимую зону легкого

III Кривые давления в легочной артерии*Увеличенное систолическое давление*

1. Первичная легочная гипертензия
2. Стеноз или недостаточность митрального клапана
3. Застойная сердечная недостаточность
4. Рестриктивные миопатии
5. Значимый шунт слева направо
6. Заболевание легких (тромбоэмболия легочной артерии, гипоксемия, хроническая обструктивная болезнь легких)

Сниженное систолическое давление

1. Гиповолемия
2. Стеноз клапанов легочной артерии
3. Под- или надклапанный стеноз
4. Аномалия Ebstein
5. Стеноз трехстворчатого клапана
6. Атрезия трехстворчатого клапана

<p><i>Сниженное пульсовое давление</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ишемия правых отделов сердца 2. Инфаркт правого желудочка 3. Эмболия легочной артерии 4. Тампонада <p><i>Расщепленная кривая давления в легочной артерии</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Большая левопредсердная v-волна передается ретроградно (например, при митральной регургитации) <p><i>Диастолическое давление в легочной артерии выше, чем давление заклинивания легочных капилляров</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Заболевания легких 2. Эмбол в легочной артерии 3. Тахикардия 	<p><i>Провисание и выравнивание волны диастолического давления</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Констриктивный перикардит 2. Рестриктивные миопатии 3. Ишемия правого желудочка 4. Острое расширение, связанное с: <ol style="list-style-type: none"> а) трикуспидальной регургитацией б) митральной регургитацией <p><i>Конечное диастолическое давление в левом желудочке больше конечного диастолического давления в правом желудочке</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Рестриктивные миопатии
<p>IV Кривые давления в желудочках</p> <p><i>Увеличенное систолическое давление</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Легочная или системная гипертензия 2. Стеноз аортального или легочного клапанов 3. Обструкция выходного отдела желудочков 4. Надклапанная обструкция 5. Повышение давления в правом желудочке со значительным: <ol style="list-style-type: none"> а) дефектом межпредсердной перегородки б) дефектом межжелудочковой перегородки 6. Повышение давления в правом желудочке вследствие факторов, повышающих легочное сосудистое сопротивление (см. факторы, повышающие давление в правом предсердии) <p><i>Сниженное систолическое давление</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Гиповолемия 2. Кардиогенный шок 3. Тампонада <p><i>Увеличенное конечное диастолическое давление</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Гиперволемиа 2. Застойная сердечная недостаточность 3. Сниженная податливость 4. Гипертрофия 5. Тампонада 6. Недостаточность клапанов 7. Перикардальная констрикция <p><i>Сниженное конечное диастолическое давление</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Гиповолемия 2. Стеноз трехстворчатого или митрального клапана <p><i>Уменьшение или отсутствие a-волны</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Фибрилляция или трепетание предсердий 2. Стеноз трехстворчатого или митрального клапана 3. Трикуспидальная или митральная регургитация при повышенной податливости желудочков 	<p>V Кривые давления в аорте</p> <p><i>Увеличенное систолическое давление</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Системная гипертензия 2. Артериосклероз 3. Аортальная недостаточность <p><i>Сниженное систолическое давление</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Стеноз аортального клапана 2. Сердечная недостаточность 3. Гиповолемия <p><i>Расширение кривой пульсового давления</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Системная гипертензия 2. Аортальная недостаточность 3. Выраженный незарощенный артериальный проток 4. Значительный разрыв аневризмы синуса Valsalva <p><i>Сниженное пульсовое давление</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Тампонада 2. Застойная сердечная недостаточность 3. Кардиогенный шок 4. Стеноз аортального клапана <p><i>Дикротический пульс</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Аортальная недостаточность 2. Обструктивная гипертрофическая кардиомиопатия <p><i>Парадоксальный пульс</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Тампонада 2. Хроническая обструктивная болезнь дыхательных путей 3. Тромбоэмболия легочной артерии <p><i>Альтернирующий пульс</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Застойная сердечная недостаточность 2. Кардиомиопатия <p><i>Пульс parvus et tardus</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Стеноз аортального клапана <p><i>Конфигурация комплекса пик-волна</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Обструктивная гипертрофическая кардиомиопатия

менение двух терморезисторов значительно повышает точность измерения [34].

Метод термодилуции имеет несколько преимуществ: нет необходимости в заборе артериальной крови; полученные данные меньше зависят от рециркуляции. Самое главное его преимущество состоит в быстром получении результатов (рис. 19–12). Однако у пациентов с тяжелой трикуспидальной регургитацией результаты часто недостоверны. У пациентов с низким СВ (< 2,5 л/мин) метод термодилуции часто завышает СВ.

МЕТОД FICK. Этот метод основан на принципе, что уровень потребления кислорода является функцией уровня кровотока, умноженного на количество кислорода, переносимого эритроцитами. Основное допущение заключается в том, что поток крови в заданный период времени является частным от деления количества вещества, вводимого в кровоток за этот же период времени, на разницу концентраций вещества выше и ниже точки пунктирования (рис. 19–13). При отсутствии внутрисердечного сброса крови в единицу времени в легкие поступает и выходит одинаковое количество эритроцитов. Таким образом, при известных определенных параметрах (например, количество молекул кислорода, присоединенных к эритроцитам при поступлении в

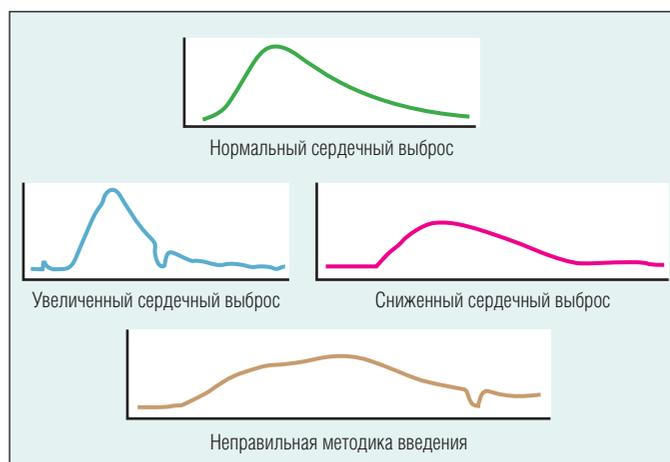


Рис. 19–12 Термодилуционные кривые сердечного выброса. Нормальная кривая имеет резкий подъем вслед за инъекцией раствора. Далее кривая медленно и плавно опускается до исходной линии. Площадь под кривой обратно пропорциональна сердечному выбросу. При низком сердечном выбросе кривая возвращается к исходной линии в течение более длительного времени, поэтому площадь под кривой увеличивается. При увеличенном сердечном выбросе холодный раствор проходит через правые отделы сердца быстрее, и температура возвращается к исходной линии также быстро. Площадь под кривой меньше, а сердечный выброс — больше.

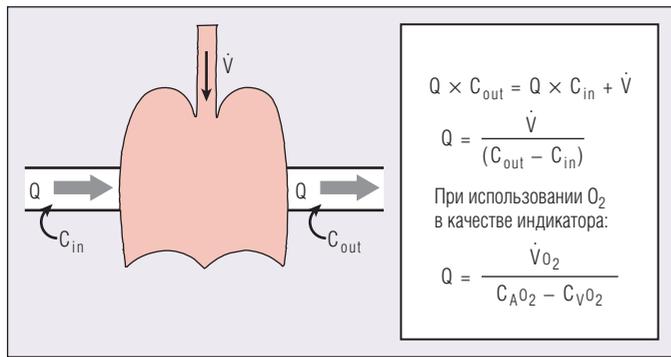


Рис. 19–13 Измерение кровотока с применением метода Fick. Жидкость, содержащая известную концентрацию индикатора (C_{in}), поступает в систему со скоростью потока Q . Во время прохождения в систему со скоростью потока \dot{V} добавляют индикатор, увеличивая концентрацию на выходе до C_{out} . В устойчивом состоянии количество индикатора, выходящего из системы (QC_{out}), должно быть равно количеству индикатора на входе в систему (QC_{in}) плюс количество добавляемого (\dot{V}) индикатора. При использовании кислорода в качестве индикатора сердечный выброс может быть определен путем измерения потребления кислорода ($\dot{V}O_2$), содержания кислорода в артериальной (C_AO_2) и венозной крови (C_VO_2) [Winniford MD, Kern MJ, Lambert CR: Blood flow measurement. In Pepine CJ, Hill JA, Lambert CR [eds]: Diagnostic and Therapeutic Cardiac Catheterization. 3rd ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 1998, p. 400].

легкие, количество этих молекул на выходе из легких и количество кислорода, потребленного во время прохождения эритроцитов через легкие) можно вычислить поток эритроцитов через легкие:

$$\begin{aligned}
 \text{СВ (л/мин)} &= \\
 &= \frac{\text{Потребление кислорода (мл/мин)}}{\text{Артериовенозная разница по кислороду} \\
 &\quad (\text{об\%}) \times 1,36 \times \text{Hb} \times 10}
 \end{aligned}$$

где Hb — концентрация гемоглобина (мг/дл), 1,36 — кислородсвязывающая способность Hb (мл O_2 /г Hb).

Измерения следует выполнять в стабильных условиях. С помощью автоматизированных методов можно точно определить содержание кислорода в образцах крови. Таким образом, источник наибольшего колебания измерений — потребление кислорода. В оригинальных определениях СВ методом Fick собирали образцы выдыхаемой газовой смеси в большой мешок за определенный период времени. Измеряя концентрацию кислорода в выдыхаемом воздухе и зная концентрацию кислорода в помещении, можно определить потребление кислорода за этот период времени. Количественную оценку выдыхаемого кислорода проводят с помощью полярографа. Этот аппарат присоединяют к пациенту с помощью пластикового мешка или через мундштук и трубку.

Преимущество метода Fick состоит в том, что у пациентов с малым СВ этот метод наиболее точен, следовательно, более предпочтителен, чем метод термодилуции. Метод Fick также не зависит от факторов, влияющих на форму кривой и вызывающих искажение результатов измерения методом термодилуции. Трудности метода Fick заключаются в сложности точного измерения потребления кислорода и невозможности достижения стабильных условий измерения при некоторых состояниях. В связи с тем что метод измеряет средний кровоток за определенный промежуток времени, он не очень удобен при быстрых изменениях скорости кровотока. Во время забора артериальной крови пациенты должны дышать атмосферным воздухом.

Во многих лабораториях применяют метод Fick для вычисления предположительного потребления кислорода, при котором индекс потребления кислорода вычисляют на основе возраста пациента, пола, площади поверхности тела (125 мл/м^2). Однако при этом вычислении могут возникать серьезные ошибки [35].

АНГИОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ СЕРДЕЧНОГО ВЫБРОСА. Ударный объем может быть вычислен путем ангиографического отслеживания изображений конечного систолического и конечного диастолического объемов. УО — количество крови, выбрасываемой сердцем с каждым сокращением. Конечный диастолический объем (КДО) — это максимальный объем ЛЖ сразу перед началом систолы. При синусовом ритме КДО получают сразу после сокращения предсердий. Конечный систолический объем (КСО) — это минимальный объем ЛЖ во время сердечного цикла. Для получения точного объема желудочка необходима калибровка изображений сеткой или желудочковая модель. Ангиографически СВ и УО получают из следующих формул:

$$\text{УО} = \text{КДО} - \text{КСО}.$$

$$\text{СВ} = (\text{КДО} - \text{КСО}) \times \text{ЧСС}.$$

Характерные неточности в ангиографической калибровке объемов часто делают этот метод измерения ненадежным. У пациентов с клапанной регургитацией или фибрилляцией предсердий ангиографическое измерение СВ не позволяет точно измерить истинный системный СВ. Однако измерение СВ ангиографически или методом термодилуции предпочтительнее метода Fick, а метод термодилуции предпочтительнее для вычисления площади стеноза у пациентов с выраженной аортальной или митральной регургитацией.

Определение сосудистого сопротивления

Определение сосудистого сопротивления основано на принципах гидравлики потока жидкости, с помощью которых сопротивление вычисляют как отношение снижения давления между двумя точками в сосудистом сегменте к кровотоку через этот сегмент. Хотя эта прямая аналогия с законом Ома сильно упрощена для анализа сложного поведения пульсирующего потока в динамичных и разнообразных сосудистых бассейнах, вычисление сосудистого сопротивления, основанное на этих принципах, оказалось полезным в ряде клинических состояний.

Определение сопротивления в сосудистом бассейне требует измерения среднего давления в его проксимальном и дистальном концах и точного измерения СВ. Сосудистое сопротивление (R) обычно определяют в абсолютных единицах (дин·сек·см⁻⁵):

$$R = [\text{Средний } \Delta P \text{ (дин/см}^2\text{)}] / [\text{Средний поток (см}^3\text{/сек)}].$$

Гибридные единицы (единицы Wood) применяют реже [36].

Системное сосудистое сопротивление (SVR, Systemic Vascular Resistance) в абсолютных единицах вычисляют с помощью следующего уравнения:

$$\text{SVR} = [80 (A_{o_m} - R_{A_m})] / Q_s,$$

где A_{o_m} — показатель среднего давления (мм рт. ст.) в A_o , R_{A_m} — показатель среднего давления (мм рт. ст.) в ПП, Q_s — сердечный выброс (л/мин). Константу 80 применяют для перевода единиц из единицы Wood (мм рт. ст./л/мин) в абсолютные единицы сопротивления (дин·сек·см⁻⁵). Если давление в ПП неизвестно, значение R_{A_m} можно опустить. Конечный результат называют общим периферическим сосудистым сопротивлением (ОПСС):

$$\text{ОПСС} = 80(A_{o_m}) / Q_s.$$

Аналогично легочное сосудистое сопротивление (ЛСС) вычисляют с помощью следующего уравнения:

$$\text{ЛСС} = [80(\text{РА}_m - \text{ЛА}_m)]/\text{Q}_p,$$

где РА_m — давление в ЛА, ЛА_m — давление в ЛП, а Q_p — легочный кровоток. Среднее ДЗЛК обычно заменяет среднее давление в ЛП, если последнее не измеряли прямым способом (иногда из-за этого могут возникать ошибки). При отсутствии внутрисердечного сброса крови легочный кровоток (Q_p) равен системному СВ. Нормальные значения приведены в табл. 19–3.

Увеличенные значения сопротивления в большом и малом кругах кровообращения могут отображать обратимые изменения или быть постоянными вследствие необратимых структурных изменений. При некоторых клинических состояниях (застойная СН, патология клапанов, первичная ЛГ и ВПС с внутрисердечным шунтированием) определение при катетеризации сердца возможности снижения повышенного ОПСС или ЛСС поможет в выборе возможных стратегий лечения. Вмешательства, которые можно выполнить с этой целью в лаборатории катетеризации сердца, включают назначение вазодилатирующих препаратов (натрия нитропруссид), физические упражнения и кислородотерапию или вдыхание оксида азота у пациентов с ЛГ, в/в введение эпопростенола, легочного и системного вазодилатора (см. главу 73).

Сосудистый импеданс зависит от вязкости крови, пульсирующего потока, отраженных волн и податливости артериальной стенки. Следовательно, сосудистый импеданс может оценивать динамическую взаимосвязь между давлением и потоком более полно, чем расчет простым определением сосудистого сопротивления. Для импеданса необходимо одновременно вычислить значения давления и потока, что на практике труднодостижимо, поэтому идея определения импеданса не получила широкого распространения и не была принята в качестве стандартного клинического показателя.

Оценка степени стеноза клапанов

(см. главу 62)

Определение тяжести стеноза клапанов на основе ΔP и кровотока через клапан — одна из главных задач при обследовании пациентов с патологией клапанов сердца. У многих из них определения только ΔP достаточно для разграничения клинически значимого и незначимого стеноза.

Определение градиентов давления

У пациентов со стенозом АК трансклапанный ΔP наиболее точно измеряют при введении одного катетера в ЛЖ, а второго — в восходящую Ао. Удобней измерять ΔP между ЛЖ и БА, но нисходящее увеличение сигнала давления и задержка в передаче давления между восходящей Ао и БА могут существенно изменить кривую и привести к ошибочному измерению ΔP [31, 32].

Градиент артериального давления между ЛЖ и БА может быть достаточным для оценки тяжести стеноза АК. Если боковой порт артериального интродьюсера используют для измерения давления в БА, внутренний диаметр интродьюсера должен быть как минимум на 1F больше наружного диаметра катетера в ЛЖ.

Для подтверждения идентичности между обеими точками оперирующий должен одновременно получить значения давления в восходящей Ао и БА. На значения ΔP между ЛЖ и БА не всегда можно положиться при оценке площади открытия клапана у пациентов с умеренными трансклапанными ΔP . Осторожное потягивание на себя одного катетера из ЛЖ в Ао часто предпочтительнее одновременного измерения давления в ЛЖ и БА. С другой стороны, для одновременного измерения давления в ЛЖ

и центральной части Ао можно использовать один катетер с дистальным и проксимальным отверстиями или микроанометрический катетер с дистальным и проксимальным датчиками. Другой способ — поместить два артериальных катетера (один — в Ао, второй — в ЛЖ), но при этом необходима пункция двух артерий, поэтому метод применяют редко.

У пациентов с тяжелым стенозом АК катетер в ЛЖ сам по себе может уменьшать эффективную площадь и приводить к искусственному завышению ΔP . Однако эта переоценка тяжести стеноза АК редко имеет большое клиническое значение, поскольку у таких пациентов диагноз тяжелого стеноза АК уже ясен.

Средний ΔP через АК определяют измерением площади отверстия, разделяющего ЛЖ и Ао во время нескольких сердечных сокращений (рис. 19–14). Именно этот ΔP используют при расчете площади отверстия АК. Пиковый ΔP , измеряемый как разница между пиковым давлением в ЛЖ и пиковым давлением в Ао, обычно используют для количественной оценки клапанного ΔP , т.к. он определяется быстро и его можно оценить визуально. Однако с физиологической точки зрения пиковый ΔP необоснован, поскольку давление в ЛЖ и Ао редко бывает максимальным одновременно. Пиковый ΔP , измеряемый в лаборатории катетеризации сердца, обычно ниже мгновенного ΔP , получаемого при ЭхоКГ (см. главу 14), поскольку мгновенный пиковый ΔP отображает максимальную разницу давления между ЛЖ и Ао при одновременном измерении. Максимальная разница давления наблюдается в восходящем отделе Ао (см. рис. 19–14). Средний аортальный трансклапанный ΔP и площадь АК хорошо коррелируют при использовании обоих методов [37].

У пациентов со стенозом МК наиболее точные значения ΔP на МК получают, измеряя давление в ЛП трансептальным способом с одновременным измерением давления в ЛЖ, вычислением площади отверстия между ЛЖ и ЛП во время диастолы и анализируя несколько сердечных циклов (рис. 19–15). В большинстве лабора-

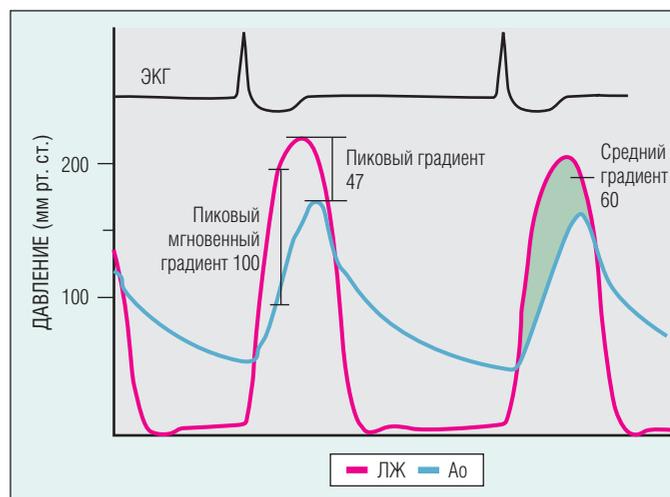


Рис. 19–14 Различные методы описания аортального градиента давления при протезировании аортального клапана. Пиковый градиент (47 мм рт. ст.) — это разница между максимальным давлением в аорте (Ао) и максимальным давлением в левом желудочке (ЛЖ). Пиковый мгновенный градиент (100 мм рт. ст.) — разница максимального давления между Ао и ЛЖ при одновременном измерении (обычно во время ранней систолы). Средний градиент (зеленая область) — интеграл разницы давления между Ао и ЛЖ во время систолы (60 мм рт. ст.) [Bashore TM: Invasive Cardiology: Principles and Techniques. Philadelphia, BC Decker, 1990, p. 258].

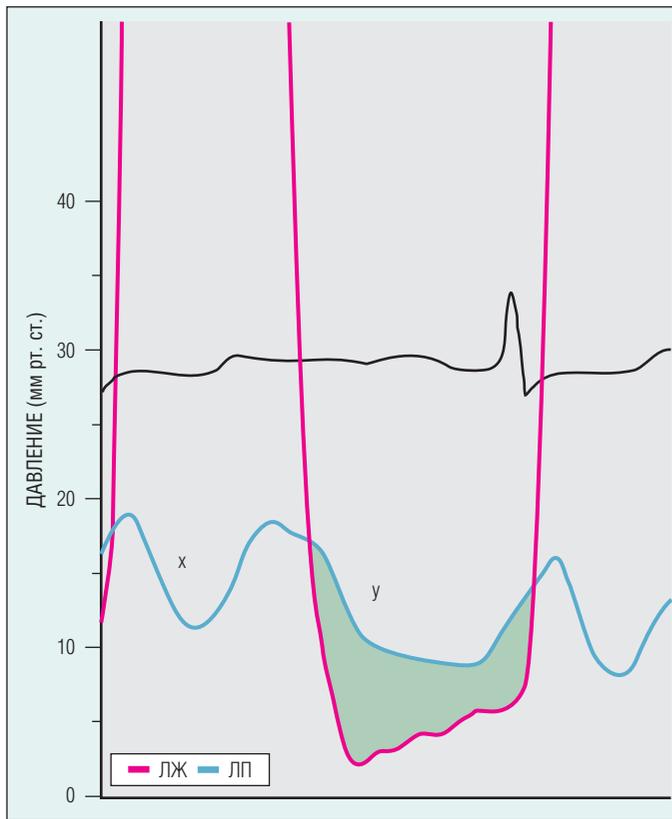


Рис. 19-15 Градиент давления у пациента со стенозом митрального клапана. Давление в левом предсердии (ЛП) превышает давление в левом желудочке (ЛЖ) во время диастолы, что вызывает диастолический градиент давления (зеленая область) [Bashore TM: Invasive Cardiology: Principles and Techniques. Philadelphia, BC Decker, 1990, p. 264].

торий ДЗЛК заменяет значение давления в ЛП, т.к. его измерить проще. Для точного определения средних ΔP кривая ДЗЛК должна быть сопоставлена с кривой давления в ЛЖ. Общеизвестно, что ДЗЛК является чувствительным показателем давления в ЛП, но в некоторых исследованиях было показано, что ДЗЛК может довольно часто переоценивать давление в ЛП на 2–3 мм рт. ст., таким образом повышая ΔP на МК [30]. Кроме того, бывает трудно получить точные кривые ДЗЛК у пациентов со стенозом МК вследствие АГ или расширенных правых отделов сердца. Неправильное положение катетера приводит к записи уменьшенного ДЗЛК и переоценке тяжести стеноза МК. Сомнения в правильности положения катетера в позиции заклинивания могут быть подтверждены медленным забором крови на оксиметрический анализ. Насыщение кислородом, равное системному, подтверждает правильное положение катетера в позиции заклинивания.

При стенозе клапана легочного ствола клапанный ΔP обычно получают путем потягивания на себя катетера из ЛА в ПЖ или размещением разных катетеров в ПЖ и ЛА. Многопросветные катетеры также можно использовать для одновременной записи давления. ΔP на ТК следует оценивать при одновременной записи показателей давления в ПЖ и ГПП.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ОТВЕРСТИЯ СТЕНОЗИРОВАННОГО КЛАПАНА. Площадь отверстия стенозированного клапана вычисляют по ΔP и СВ с помощью формулы, разработанной Gorlin и Gorlin на основе фундаментальных гидравлических уравнений, связывающих площадь отверстия с потоком и давлением, передающимся через отверстие:

$$F = cAV,$$

где F — поток, A — площадь отверстия, V — скорость потока, c — константа, связанная с центральным потоком жидкости через отверстие, который уменьшает размер эффективного отверстия. Следовательно,

$$A = F/cV.$$

Скорость потока соотносится с ΔP через отношение $V = k\sqrt{(2g\Delta P)}$, где k — константа, показывающая колебательную потерю энергии, g — ускорение свободного падения (980 см/сек²) и ΔP — средний градиент давления (мм рт. ст.). Заменяя V в уравнении площади отверстия и объединяя c и k в одну константу C , получаем следующее уравнение:

$$A = F/44,3C\sqrt{\Delta P}.$$

Gorlin и Gorlin определили ценность константы C , сравнивая вычисленную площадь отверстия клапана с нативной площадью клапана, измеренной на аутопсии или во время оперативного вмешательства на 11 МК. Максимальное расхождение между нативной площадью МК и вычисленными значениями составило всего 0,2 см² при использовании константы 0,85. По отношению к АК данные получены не были, и значение константы приняли за 1,0. Поскольку кровоток через АК происходит только во время систолы, поток при расчете площади АК (см²), рассчитывают как СВ (мл/мин), деленный на систолический период изгнания (SEP, systolic ejection period) (сек/сокращение), умноженный на ЧСС (уд/мин). SEP определяют от открытия до закрытия АК. Следовательно, площадь отверстия АК (AVA, aortic valve area) вычисляют из формулы Gorlin, используя следующее уравнение:

Площадь отверстия АК (см²) =

$$= \frac{СВ (л/мин) \times 1000}{(44,3) (ЧСС) (SEP) \sqrt{Средний \Delta P}},$$

где средний ΔP измеряют в мм рт. ст.

Аналогично, поскольку кровоток через МК происходит только во время диастолы, в уравнении для вычисления площади отверстия МК СВ определяют диастолическим периодом наполнения (DFP, diastolic filling period) (сек/сокращение) с момента открытия до момента закрытия МК:

Площадь отверстия МК (см²) =

$$= \frac{СВ (л/мин) \times 1000}{(37,7) (ЧСС) (DFP) \sqrt{Средний \Delta P}}.$$

В норме у взрослых площадь отверстия АК = 2,6–3,5 см², а площадь < 1,0 см² связана с тяжелым стенозом АК. В норме площадь отверстия МК = 4–6 см², а тяжелый стеноз МК развивается при площади < 1,0 см².

Рассчитанная площадь клапанного отверстия важна для принятия решения о лечении пациентов со стенозом АК или МК. Следовательно, необходимо точно и одновременно измерить ΔP и СВ, особенно у пациентов с пограничными или низкими ΔP .

Существуют ограничения в расчетах площади отверстия. Вследствие применения в формуле Gorlin квадратного корня из среднего ΔP на вычисление площади отверстия клапана сильнее влияет СВ, чем ΔP . Таким образом, ошибки в определении СВ могут приводить к неправильному расчету площади отверстия клапана, в частности у пациентов с низким СВ, у которых размер площади отверстия имеет важное значение.

Как отмечалось ранее, метод термодилуции может давать ошибочные значения СВ при его снижении или в случае наличия сопутствующей аортальной, митральной или трикуспидальной регургитации. Таким образом, определение СВ по методу Fick наиболее точно для оценки СВ, особенно в случае его снижения. У пациентов с комбинированной клапанной патологией (стеноз и недостаточность) одного и то-

го же клапана учет входящего потока, как при методе Fick или методе термодилуции, переоценивает тяжесть клапанного стеноза. Это происходит вследствие того, что формула Gorlin зависит от входящего кровотока через стенозированный клапан, а не только от общего входящего потока. При недостаточности клапана измерение СВ ангиографически — наиболее приемлемый метод. В случае аортальной и митральной регургитации поток через каждый клапан в отдельности измерить нельзя, поэтому площади их отверстий не могут быть определены точно.

Другие ошибки и ограничения, характерные для формулы Gorlin, возникают из-за неточного измерения ΔP на клапанах, а также из-за более фундаментальных понятий, позволяющих применять формулы допущения. В случае низкого СВ формула Gorlin может систематически занижать площадь отверстия клапана. Существует доказательство, что рост СВ приводит к увеличению площади отверстия клапана. Несмотря на это, зависимость вычисляемой площади отверстия клапана от потока может содержать ошибки, характерные для формулы Gorlin, в частности по отношению к АК. Определение степени зависимости в формуле и не отображает действительное изменение площади клапана.

Было выполнено исследование, сравнивающее одновременное измерение площади АК при ЧПЭхоКГ и катетеризации сердца с помощью формулы Gorlin [39]. Оно показало, что с увеличением трансклапанного потока площадь клапана по Gorlin также увеличивается. Эта находка не была связана с прямым изменением площади АК. Такие результаты подтверждают, что связанное с потоком изменение площади клапана по Gorlin возникло вследствие диспропорциональной потоковой зависимости в формуле и не отображает действительное изменение площади клапана.

Была предложена другая формула для вычисления площади отверстия клапана. При нормальной ЧСС эффекты SEP и DFP наполнения — относительно постоянные величины, поэтому эти показатели могут быть удалены из уравнения. Это допускает, что $ЧСС \times SEP \times 44,3 \approx 1000$ в большинстве случаев. При таких допущениях площадь отверстия АК может быть быстро определена по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \text{Площадь отверстия АК (см}^2\text{)} &= \\ &= \frac{\text{СВ (л/мин)}}{\sqrt{\text{Пиковый-к-пиковому или средний } \Delta P \text{ (мм рт. ст.)}}} \end{aligned}$$

Применение как пикового, так и среднего ΔP в формуле Gorlin приводит к сходной корреляции.

Так вычисляют площадь отверстия клапана у пациентов с низким аортальным трансклапанном ΔP и низким СВ для определения сопротивления АК. Однако его клиническая эффективность не доказана. Пациентам с низкими СВ и ΔP при стенозе АК точно определить площадь отверстия клапана довольно трудно как при катетеризации сердца, так и при ЭхоКГ. Выяснить, является ли несоответствие постнагрузки или нарушение сократительной функции первичным звеном в снижении производительности желудочка, нелегко. Для разграничения умеренного и тяжелого стеноза АК целесообразно проведение фармакологического теста путем введения небольших доз добутина [40, 41]. Идея состоит в том, что у пациентов без истинного структурно тяжелого стеноза АК будет увеличиваться площадь отверстия клапана с незначительным изменением трансклапанного ΔP [2]. Если добутином увеличивает площадь отверстия АК более чем на 0,2 см² без изменения ΔP , то, скорее всего, при первичной оценке степень тяжести стеноза АК была завышена [2]. Установлено также, что пациенты, у которых УО ЛЖ увеличивается менее чем на 20%, имеют сниженную сократительную способность миокарда; у таких больных прогноз плохой как при медикаментозном, так и при хирургическом лечении [41].

Несмотря на некоторые теоретические ограничения, доказано, что формула Gorlin подходит для клинической оценки у пациентов с подозрением на стеноз АК.

Измерение внутрижелудочковых ΔP — один из самых интересных и сложных моментов диагностической катетеризации. Обычно измеряют давление одновременно в центральной Ао или БА и в полости ЛЖ. Потягивание на себя катетера из верхушки желудочка сразу под АК позволяет обнаружить внутрижелудочковый ΔP . В случае застревания катетера между хордами гипертрофированного миокарда внутрижелудочковый ΔP может быть измерен неправильно.

Внутрижелудочковый ΔP отличается от ΔP на стенозированном АК отсутствием ΔP между давлением в Ао и ЛЖ, когда катетер все еще расположен в ЛЖ проксимальнее препятствия. Тщательный анализ восходящей части кривой артериального давления позволяет дифференцировать клапанный и подклапанный стенозы, т.к. при стенозе АК кривая артериального давления имеет медленный подъем. Другие методы определения внутрижелудочковых ΔP : применение двухпросветного катетера, микроанометрических катетеров с двумя датчиками, помещение катетера с отверстием на кончике в ВОЛЖ и транссептального катетера в ЛЖ при одновременном измерении давления. Внутрижелудочковый ΔP может повышаться при некоторых провокационных пробах, например пробе Valsalva, ингаляции амилнитрита, индукции преждевременного сокращения желудочка, введении изопротеренола (см. «Физиологические и фармакологические пробы»).

Оценка регургитации клапана (см. главу 62)

Степень регургитации клапана обычно определяют визуально, хотя иногда рассчитывают фракции регургитации. Согласно Рекомендациям АСС/АНА гемодинамическая оценка как аортальной, так и митральной регургитации находится в классе I показаний в случаях, когда давление в ЛА непропорционально степени регургитации, выявленной неинвазивно, или когда имеется расхождение между клинической картиной и данными неинвазивных методов обследования [2]. При пробе с физической нагрузкой с оценкой гемодинамики также можно получить важную информацию.

ВИЗУАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕГУРГИТАЦИИ. Регургитацию клапанов можно оценить визуально по определенному количеству раствора контрастного вещества, заполняющего камеру сердца проксимальнее места инъекции. Оценка регургитации зависит как от ее объема, так и от размера и сократительной способности проксимально расположенной полости. Оригинальная классификация, предложенная Sellers и коллегами, является стандартной в большинстве лабораторий катетеризации сердца:

«+» — видна минимальная струя регургитации; контрастное вещество быстро удаляется из проксимальной камеры с каждым сокращением;

«++» — умеренное заполнение контрастным веществом проксимальной камеры; удаление контраста происходит через несколько сокращений;

«+++» — интенсивное заполнение контрастным веществом проксимальной камеры, равное заполнению в дистальной камере;

«++++» — интенсивное заполнение контрастным веществом проксимальной камеры, превышающее заполнение дистальной камеры; заполнение часто сохраняется на всех изображениях.



510 ФРАКЦИЯ РЕГУРГАТАЦИИ. Степень регургитации клапана можно приблизительно оценить путем определения фракции регургитации (ФРег). Разницу между УО, измеренным ангиографически, и УО, поступающим в Ао, можно определить как УО регургитации. ФРег — это часть УО, определяемого при катетеризации, которая не вносит вклад в СВ:

УО регургитации = Ангиографически измеренный УО — УО, поступающий в Ао.

УО, поступающий в Ао, — это СВ, определяемый по методу Fick или методом термодилуции, деленный на ЧСС. Метод термодилуции для определения СВ нельзя применять при выраженной сопутствующей трикуспидальной регургитации.

При визуальном изучении регургитация степени 1+ приблизительно соответствует ФРег ≤ 20%; степени 2+ — ФРег от 21 до 40%; степени 3+ — ФРег от 41 до 60%; степени 4+ — ФРег > 60%.

В основе определения ФРег лежат следующие допущения: (1) УО, измеряемый при катетеризации, и УО, поступающий в Ао, точны и сопоставимы; (2) ЧСС примерно равны; (3) гемодинамические показатели между измерениями стабильны; (4) только один клапан имеет регургитацию. При этих условиях уравнение позволяет получить только приблизительную оценку потока регургитации.

Диагностика шунтов (см. главу 61)

В норме потоки крови в большом и малом кругах кровообращения равны. При патологическом сообщении между камерами сердца или магистральными сосудами происходит сброс крови из большого круга кровообращения в малый (шунт слева направо, L → R), из малого круга в большой круг (шунт справа налево, R → L) или в обоих направлениях (двунаправленный шунт). Хотя возможное существование шунтов предполагают до проведения катетеризации, врач должен быть бдителен при определении причин неожиданных находок. Например, необъяснимое насыщение крови кислородом в ЛА (> 80%) должно вызвать подозрение о возможном наличии шунта слева направо, в то время как необъяснимое снижение насыщения артериальной крови (< 93%) может указывать на наличие шунта справа налево [42]. Снижение насыщения артериальной крови кислородом обычно происходит при альвеолярной гиповентиляции и связано с физиологическим шунтированием, причинами которого могут быть передозировка седативных препаратов при премедикации, заболевание легких, венозная перегрузка легких, отек легких и кардиогенный шок. Если снижение насыщения артериальной крови кислородом сохраняется после того, как пациент сделает несколько глубоких вдохов, покашляет, или после назначения 100% кислорода, должно быть заподозрено наличие сброса крови справа налево.

Есть несколько неинвазивных и инвазивных методов для обнаружения внутрисердечных шунтов. Неинвазивные методы — ЭхоКГ, радионуклидная томография и МРТ. Наиболее часто применяемый метод в лаборатории катетеризации сердца — оксиметрический.

ОКСИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД. Оксиметрический метод основан на заборе образцов крови из венозных камер сердца для определения степени насыщения кислородом. Шунт слева направо диагностируют, когда обнаруживают значительное повышение насыщения крови кислородом между двумя правосторонними сосудами или камерами сердца.

Скрининговое определение степени насыщения крови кислородом при любом шунте слева направо часто выполняют при катетеризации правых отделов сердца путем забора крови из ВПВ и ЛА. Если разница в насыщении крови кислородом между этими образцами крови составляет ≥ 8%, можно подозревать наличие шунта слева направо, а оксиме-

трическое исследование следует продолжить. При этом нужно получить образцы крови из всех правых отделов сердца, включая ВПВ, НПВ, ПП, ПЖ, ЛА. В случае межпредсердного или межжелудочкового шунта для уточнения уровня шунтирования рекомендуется получить несколько образцов крови из верхних, средних, нижних отделов ПП или входного отдела ПЖ, его верхушки и ВОПЖ. При использовании в скрининговых целях ПП, а не ВПВ иногда можно пропустить небольшой сброс слева направо вследствие неполного перемешивания крови в ПП, которая поступает в ПП из НПВ, ВПВ и коронарного синуса. Насыщение крови кислородом в НПВ выше, чем в ВПВ, т.к. почки потребляют меньше кислорода по сравнению с кровотоком в них, чем другие органы, в то время как в крови из коронарного синуса очень низкое насыщение кислородом. Среднее венозное насыщение наиболее точно можно измерить в ЛА после полного перемешивания крови.

Для полного исследования насыщения крови кислородом необходимо получить образцы из верхней и нижней частей НПВ, верхней и нижней частей ВПВ, верхней, средней, нижней частей ПП, входного, среднего и выходного отделов ПЖ, легочного ствола, левой или правой ЛА, легочной вены и ЛП и, если возможно, из ЛЖ и дистального отдела Ао. При необходимости выявления шунта слева направо образцы крови должны быть взяты из легочных вен, ЛП, ЛЖ и Ао. Главным недостатком метода пошаговой оксиметрии является его низкая чувствительность, тем не менее с его помощью обычно удается выявить клинически значимые шунты. Получение большого количества образцов из каждой камеры помогает снизить вероятность ошибки. Большинство приборов анализируют образцы с ошибкой измерения в пределах от 2,5 до 1% насыщения или меньше [43]. При другом методе оксиметрического определения внутрисердечных шунтов применяют гибковолоконный катетер с баллоном на кончике, что позволяет проводить постоянную регистрацию насыщения крови кислородом при перемещении катетера из ЛА через правые отделы в ВПВ или НПВ.

Количественное определение шунтирования. Принципы, используемые для определения СВ методом Fick, применяют также для количественного определения внутрисердечного шунтирования. Для установления размера шунта слева направо требуется измерение легочного кровотока (PBF, pulmonary blood flow) и системного кровотока (SBF, system blood flow). PBF — потребление кислорода, деленное на разницу в содержании кислорода в малом круге кровообращения, тогда как SBF — потребление кислорода, деленное на разницу в содержании кислорода в большом круге. Эффективный кровоток (EBF, effective blood flow) — это фракция смешанной венозной крови, поступающая в легкие без добавления шунтирующегося потока. В отсутствие шунта PBF, SBF и EBF равны.

$$PBF = \frac{\text{Потребление кислорода (мл/мин)}}{(P\bar{V}O_2 - PaO_2)}$$

$$SBF = \frac{\text{Потребление кислорода (мл/мин)}}{(SaO_2 - M\bar{V}O_2)}$$

$$EBF = \frac{\text{Потребление кислорода (мл/мин)}}{(P\bar{V}O_2 - M\bar{V}O_2)}$$

где $P\bar{V}O_2$ — содержание кислорода в крови из легочных вен (мл O_2 /л крови), PaO_2 — содержание кислорода в крови ЛА (мл O_2 /л крови), SaO_2 — содержание кислорода в крови магистральных артерий (мл O_2 /л крови), $M\bar{V}O_2$ — содержание кислорода в смешанной венозной крови (мл O_2 /л крови). Определение содержания кислорода описано в разделе определения СВ методом Fick.

Если из легочных вен образцы крови не взяты, показатель содержания кислорода в магистральных артериях можно опустить, предполагая, что системное насыщение артериальной крови ≥ 95%. Как обсуждалось ранее, если системное насыщение артериальной крови < 95%, может иметь место шунтирование справа налево. Если артериальное насыщение снижено, но не по причине шунта справа налево, то ис-

пользуют значение содержания кислорода в артериях. Если имеется шунт справа налево, то содержание кислорода в легочных венах вычисляют как 98% кислородной емкости.

Смешанное венозное содержание кислорода — это среднее содержание кислорода в крови камеры сердца, расположенной проксимальнее шунта. При оценке сброса крови слева направо на уровне ПП необходимо вычислить содержание кислорода в смешанной венозной крови ($M\bar{V}O_2$) из НПВ, ВПВ и коронарного синуса. В этом случае наиболее часто используют вычисление с помощью формулы Flemm:

$$M\bar{V}O_2 = \frac{3(\text{Содержание } O_2 \text{ в ВПВ}) + 1(\text{Содержание } O_2 \text{ в НПВ})}{4}$$

Учитывая, что объем и размер шунта слева направо не изменяются в отсутствие сопутствующего шунта справа налево, формула упрощается:

$$\text{Шунт } L \rightarrow R = PBF - SBF.$$

В случае наличия шунта справа налево в дополнение к шунту слева направо примерный размер шунта слева направо вычисляют следующим образом:

$$\text{Шунт } L \rightarrow R = PBF - EBF.$$

Примерный размер шунта справа налево:

$$\text{Шунт } R \rightarrow L = SBF - EBF.$$

Отношение PBF/SBF (или Q_p/Q_s) применяют в клинической практике для определения гемодинамической значимости сброса. Отношение потоков $< 1,5$ указывает на небольшой шунт слева направо, отношение $1,5-2,0$ — на умеренный шунт слева направо, отношение $\geq 2,0$ указывает на наличие значимого шунта слева направо и необходимость чрескожного или хирургического вмешательства для предотвращения легочных или правожелудочковых осложнений в будущем. Отношение потоков $< 1,0$ указывает на отсутствие сброса крови справа налево. Если потребление кислорода не измеряют, отношение PBF к SBF можно вычислить следующим образом:

$$PBF/SBF = \frac{(SaO_2 - M\bar{V}O_2)}{(P\bar{V}O_2 - PaO_2)},$$

где SaO_2 — системное артериальное насыщение крови кислородом, $M\bar{V}O_2$ — смешанное венозное насыщение крови кислородом, $P\bar{V}O_2$ — насыщение крови кислородом в легочных венах, PaO_2 — насыщение крови кислородом в ЛА.

МЕТОД РАЗВЕДЕНИЯ ИНДИКАТОРА. Метод разведения индикатора более чувствителен, чем оксиметрический метод, для обнаружения небольших шунтов, но его не следует использовать для определения уровня сброса крови слева направо. В качестве индикатора в проксимальную камеру сердца вводят краситель индоцианин зеленый, в то время как из дистальной камеры с помощью денситометра забирают образец крови. Изменение плотности красителя изображается графически как функция от времени. Для определения сброса крови слева направо краситель вводят в ЛА, а забор крови выполняют из системной артерии. Наличие сброса крови подтверждается ранней рециркуляцией красителя на нисходящей части кривой. С помощью этого метода сброс крови может быть определен количественно, но этот метод в клинической практике применяют нечасто.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЫ

Потенциально значимые аномалии сердца могут быть обнаружены только при нагрузке. Следовательно, если врач, выполняющий катетеризацию сердца, не может объяснить причину симптомов у пациента в покое, нуж-

но обсудить целесообразность проведения различных физиологических и фармакологических проб.

Физиологические пробы

ДИНАМИЧЕСКАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА. Для динамической физической нагрузки в лаборатории катетеризации сердца наиболее часто используют горизонтальный велоэргометр, однако также можно использовать вертикальный ВЭМ или простое поднятие ног или рук. Вертикальный тредмил можно применять вне лаборатории катетеризации, но при этом необходимо для измерения давления в ЛА, ДЗЛК и СВ пользоваться флотирующим баллонным катетером, введенным через переднекубитальную вену. Связанные с нагрузкой изменения ЧСС, СВ, потребления кислорода и внутрисердечного давления измеряют в стабильном состоянии пациента во время пошагового увеличения ФН. Обычно увеличение потребления кислорода при ФН сопровождается увеличением СВ и экстракции кислорода из артериальной крови. У пациентов с патологией сердца увеличение СВ в ответ на ФН невозможно, поэтому у них увеличивается потребление кислорода из артериальной крови и, соответственно, повышается артериовенозная разница по кислороду.

Взаимосвязь между СВ и потреблением кислорода линейная, поэтому можно использовать регрессивную формулу для определения расчетного СИ при данном уровне потребления кислорода. Фактический СИ, деленный на расчетный СИ, расценивают как индекс нагрузки. Величина СИ $\geq 0,8$ указывает на нормальный СВ при ФН. Нагрузочный фактор — еще один метод, описывающий ту же самую взаимосвязь между СВ и потреблением кислорода. В норме при ФН на каждые 100 мл/мин роста потребления кислорода СВ повышается, по крайней мере, на 600 мл/мин, поэтому нормальный нагрузочный фактор будет $\geq 0,6$ [44].

Горизонтальная ФН обычно приводит к повышению среднего артериального и легочного давления. По сравнению с ЛСС и повышением ЧСС системное сосудистое сопротивление снижается более значимо. Сократимость миокарда увеличивается из-за повышения симпатического тонуса и увеличения ЧСС, растет ФВ ЛЖ. Во время начальных уровней ФН повышается венозный возврат, увеличивается КДО ЛЖ, что приводит к увеличению УО. При увеличивающихся уровнях ФН КСО и КДО уменьшаются, приводя к незначительному увеличению УО. Таким образом, увеличение СВ на пике горизонтальной ФН обычно вызвано увеличением ЧСС (см. главу 13). По этой причине, если планируется ФН во время исследования, до катетеризации следует отменить все средства, которые могут снижать хронотропную реакцию.

ФН может провоцировать симптомы у пациентов с пограничным клапанным поражением в покое (см. главу 62). Нагрузка увеличивает ΔP на МК, давление в ЛА при стенозе МК и может спровоцировать симптомы, отсутствующие в покое. При оценке клапанной регургитации используют гемодинамическую реакцию на ФН. Клинически значимая клапанная недостаточность присутствует, если имеет место увеличение конечного диастолического давления в ЛЖ, ДЗЛК и системного сосудистого сопротивления в связи со сниженным индексом нагрузки ($< 0,8$) и патологическим нагрузочным фактором ($< 0,6$). В неясных случаях целесообразно использовать синхронизированное с ЭхоКГ исследование. У пациентов с поражением миокарда (ишемическим или



512 каким-либо другим) при ФН может повышаться конечное диастолическое давление в ЛЖ.

ИЗОМЕТРИЧЕСКАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА. При изометрической ручной ФН происходит увеличение ЧСС, среднего АД и сердечного выброса. Поскольку системное сосудистое давление не увеличивается, повышение АД происходит в основном за счет увеличения СВ, чем вазоконстрикции. Пациенты с дисфункцией ЛЖ патологически реагируют на изометрическую физическую нагрузку (например, существенно увеличивается конечное диастолическое давление в ЛЖ, недостаточно увеличивается УО и отмечается незначительный прирост dP/dT) [44].

ИСКУССТВЕННО ВЫЗВАННАЯ ТАХИКАРДИЯ. Быстрая стимуляция предсердий или желудочков увеличивает потребление кислорода миокардом и миокардиальный кровоток. Электрическая стимуляция, в противоположность динамической или изометрической ФН, сопровождается снижением КДО ЛЖ и незначительным изменением СВ. Этот метод можно использовать для определения тяжести ИБС и клапанной патологии. Например, ΔP на МК при быстрой предсердной стимуляции увеличивается из-за роста ЧСС. Преимущество этого вида стимуляции заключается в возможности контроля и быстрой остановки тахикардии при показаниях.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЫ. Различные физиологические пробы изменяют тяжесть обструкции при гипертрофической КМП (см. главу 65). Проба Valsalva (форсированный выдох при закрытой голосовой щели) увеличивает систолический субаортальный ΔP в фазу напряжения, в течение которой уменьшается венозный возврат и снижается объем ЛЖ. Эта проба дает патологический результат у пациентов с застойной СН. Проба Müller (форсированный вдох при закрытой голосовой щели) вызывает противоположный эффект. Еще одна проба у пациентов с гипертрофической обструктивной КМП — вызов преждевременного желудочкового сокращения (проба Brockenbrough). Преждевременные желудочковые сокращения (экстрасистола) обычно увеличивают пульсовое давление последующего желудочкового сокращения. При обструктивной гипертрофической КМП выходной ΔP увеличивается в момент сокращения, следующего за экстрасистолой, при снижении пульсового давления в Ао. Экстрасистола может также усиливать пик и сглаживать волну аортального давления.

Быстрое нарастание объема позволяет диагностировать сдавливание перикарда (см. главу 70) и дифференцировать его от рестриктивных нарушений, когда давление наполнения в предсердии и желудочке ниже нормы из-за гиповолемии. При сдавливании перикарда присутствует симптом Kussmaul. Он появляется на вдохе, когда давление в ПП недостаточно снижается или фактически повышается в зависимости от ухудшения диастолического наполнения ПЖ [45].

Фармакологические пробы

Введение добутамина во время катетеризации сердца показано пациентам с низкой скоростью кровотока и низким ΔP при стенозе АК (см. главу 62) [2]. У пациентов со средним $\Delta P < 30$ мм рт. ст. и низким СВ формула Gorlin может не отражать истинную площадь поверхности клапана. Провокация с введением добутамина может помочь дифференцировать истинное нарушение сократимости от нагрузки, преодолеваемой при сокращении, не соответствующей клапанному стенозу.

Следует провести гемодинамические измерения в покое, включающие трансклапанный ΔP , СВ и площадь АК. Добутамин вводят в дозе 5 мкг/кг/мин, увеличивая ее на 3–10 мкг/кг/мин каждые 5 мин до максимальной дозы в 40 мкг/кг/мин и повышения среднего $\Delta P > 40$ мм рт. ст., увеличения СВ на 50% или ЧСС > 140 уд./мин. Пациенты с площадью АК $< 1,2$ см² и средним $\Delta P > 30$ мм рт. ст. рассматриваются как пациенты с тяжелым стенозом АК [40].

Оксид азота является эндотелийзависимым вазодилататором с селективными легочными вазодилатирующими свойствами. При ингаляции оксид азота вводится в/в, который может вызвать тяжелую системную гипотензию [46]. Хорошо известно, что снижение легочного артериального давления при использовании вазодилататоров — фактор благоприятного исхода у пациентов с ЛГ (см. главу 73).

Показано, что при ингаляции NO можно безопасно и эффективно оценивать величину легочной вазодилатации у пациента без системной гипотензии. Это поможет точно спрогнозировать ответ на последующую медикаментозную терапию [47]. Дозы NO 10, 20 и 40 частей/млн можно применять с 5–10-минутными интервалами с измерениями среднего легочного артериального давления и вычислением ЛСС. Выраженный ответ отмечается при уменьшении любого параметра более чем на 20% [47].

Для имитации динамической нагрузки в горизонтальном положении используют изопроterenол, хотя его побочные эффекты ограничивают использование этого препарата. Положительные инотропные и хронотропные свойства препарата могут повышать ΔP при обструктивной гипертрофической КМП или стенозе МК. Нитроглицерин и амилнитрат снижают преднагрузку и подчеркивают систолический ΔP у пациентов с обструктивной КМП (см. главу 65). Амилнитрат обычно вдыхают, начало и окончание его действия очень быстрые. Средства, повышающие системное сосудистое сопротивление (например, фенилэфрин), уменьшают ΔP при обструктивной гипертрофической КМП. Использование такого инотропного средства, как добутамин, вводимого в/в, помогает установить тяжесть стеноза АК у пациентов с низким СВ и низким трансклапанным ΔP [2, 40, 41]. Введение нитропруссид натрия увеличивает СВ и давление наполнения у пациентов с дилатационной КМП и у больных с митральной регургитацией, снижением ОПСС и ЛСС. Положительный ответ на введение нитропруссид натрия может прогнозировать хороший клинический исход.

Метилэргоновин малеат — более безопасный и специфичный препарат, чем эргоновин, для провокационного теста на спазм КА, вызываемый эндотелиальной дисфункцией. Его вводят внутрикоронарно небольшими дозами (от 5 до 10 мкг). Не следует превышать общую дозу > 50 мкг. Внутрикоронарное введение ацетилхолина менее чувствительно, но более безопасно, чем использование метилэргоновин малеата, и почти полностью заменило последний в клинической практике [48].

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Определение давления и кровотока в коронарных сосудах

Для измерения коронарного кровотока в лаборатории катетеризации сердца доступны пять методов — термодилуция, цифровая субтракционная ангиография, электромагнитная флоуметрия, доплерография для определения скорости и проводники с датчиками давления [49]. Несмотря на то что

большинство методов используют для относительного измерения коронарного кровотока, можно получить полезную информацию о физиологически значимых стенозах, гипертрофии миокарда и фармакологических вмешательствах. Допплеровское измерение кровотока через участки с translesional ΔP — наиболее часто применяемые методы в клинике (см. главу 48).

Электромеханическое картирование левого желудочка

Улучшение конструкции катетера и навигационных технологий привело к разработке трехмерных систем картирования, оценивающих региональную и глобальную функцию ЛЖ. Система позволяет получить одновременно электрическую, механическую и структурную информацию [50]. Электромеханическое картирование ЛЖ дает возможность отличить жизнеспособный миокард от нежизнеспособного, а ишемизированный — от интактного.

Клинический опыт использования этой системы ограничен. Однако предварительные данные показывают, что система картирования перспективна в плане прогнозирования восстановления функции после реваскуляризации [51]. Этот метод, возможно, станет полезным для направленной доставки средств миокардиальной регенерирующей терапии, такой как локальная инъекция стволовых клеток [52].

Внутрисердечная эхокардиография

Внутрисердечная ЭхоКГ (ВСЭхоКГ) дает возможность получения изображения внутрисердечных камер трансвеноз-

ным доступом. ВСЭхоКГ — устройство длиной 90 см и диаметром 8 или 10F с управлением в двух плоскостях (переднезадней и право-левой), датчиками с частотой от 5 до 10 МГц и различными возможностями, включая двухмерное изображение, цветную и спектральную доплерографию.

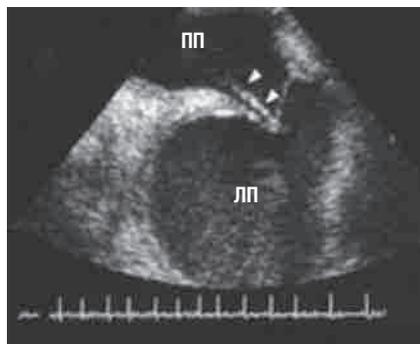
С помощью ВСЭхоКГ можно получать изображения МПП и МЖП, структур левых отделов из ПП или ПЖ с глубиной проникновения до 15 см. Современные показания к применению ВСЭхоКГ: чрескожное закрытие дефекта МПП и открытого овального окна (см. главу 61), что снижает необходимость в ЧПЭхоКГ и анестезии (рис. 19–16). У пациентов, которым нужна транссептальная пункция, ВСЭхоКГ облегчит врачу обнаружение овальной ямки. Метод также может быть использован при электрофизиологическом исследовании для идентификации анатомических структур, трудно визуализируемых при флюороскопии (например, легочные вены или овальная ямка при транссептальной пункции) [18].

ОСЛОЖНЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С КАТЕТЕРИЗАЦИЕЙ СЕРДЦА

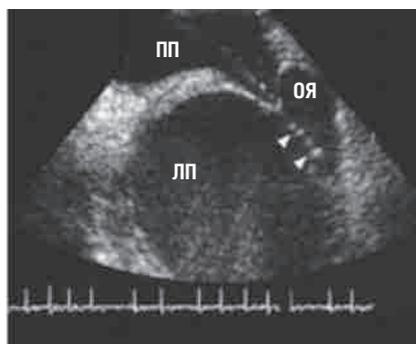
Катетеризация сердца — относительно безопасная процедура, но она имеет определенный риск осложнений и летального исхода (табл. 19–5). Потенциальный риск большинства осложнений, возникающих во время катетеризации сердца, довольно трудно предугадать из-за



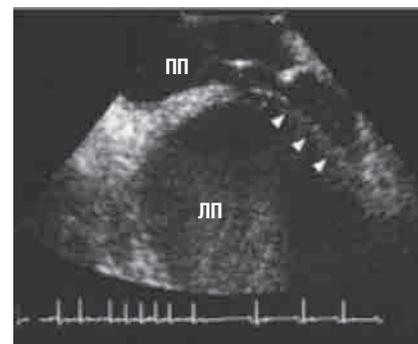
А



Б



В



Г

Рис. 19–16 (А) Внутрисердечный эхокардиографический одноразовый датчик (Siemens Medical, Malvern, PA). Аппарат управления с гибким корпусом находится на проксимальном конце, датчик — на дистальном конце катетера. **(Б)** Прогибание мембранозной ямки иглой-дилататором. Транссептальную иглу (острия стрелок) проводят через мембранозную ямку. **(В)** Продвижение транссептальной иглы через мембранозную ямку. Здесь игла (острия стрелок) видна вблизи задневерхней стенки левого предсердия. Мембрана остается натянутой, т.к. дилататор еще не прошел перегородку. **(Г)** Дилататор и проводниковый катетер теперь проведены в левое предсердие, натяжение мембранозной ямки уменьшено (острия стрелок). ЛП — левое предсердие; ОЯ — овальная ямка; ПП — правое предсердие [Johnson SB, Seward JB, Packer DL: Phased-array intracardiac echocardiography for guiding transseptal catheter placement: Utility and learning curve. Pacing Clin Electrophysiol 25:402, 2002].

ТАБЛИЦА 19–5

Риск осложнений при катетеризации сердца и коронарной ангиографии*

Осложнение	Риск (%)
Смертность	0,11
Инфаркт миокарда	0,05
Цереброваскулярное событие	0,07
Аритмия	0,38
Сосудистые осложнения	0,43
Реакции на контрастное вещество	0,37
Гемодинамические осложнения	0,26
Перфорация камер сердца	0,03
Другие осложнения	0,28
Общее количество тяжелых осложнений	1,70

* Количество пациентов — 59 702 человека.

[Scanlon PJ, Faxon DP, Audet AM, et al: ACC/AHA guidelines for coronary angiography: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Coronary Angiography). J Am Coll Cardiol 33:1760, 1999].

сопутствующих заболеваний и различных методов, используемых для сбора информации по осложнениям. Использование низкоосмолярных или изоосмолярных контрастных средств, низкопрофильных диагностических катетеров, уменьшение дозы антикоагулянтов и большой опыт врача, проводящего катетеризацию, снижают число осложнений. Несколько больших исследований позволили определить основные осложнения и группу пациентов повышенного риска [1, 53, 54].

Частота летального исхода при диагностической катетеризации сердца составляет 0,08–0,75% и зависит от исследуемой выборки. Данные Society for Cardiac Angiography позволили определить группы пациентов с повышенным коэффициентом смертности [54]. В результате анализа данных 58 332 пациентов с разнообразными осложнениями были определены: терминальное состояние, увеличение функционального класса по классификации New York Heart Association, гипотензия, шок, поражение АК, почечная недостаточность, НС, поражение МК, ОИМ в течение 24 ч, застойная СН и КМП. Кроме того, риск осложнений при катетеризации сердца повышается у пациентов > 80 лет. Несмотря на общую летальность в этой группе ($\approx 0,8\%$), риск нефатальных значимых осложнений, в основном периферических сосудов, составляет $\approx 5\%$.

Риск развития ИМ колеблется от 0,03 до 0,06%, неврологических осложнений — от 0,03 до 0,2%, значимых брадиаритмий и тахикардий — от 0,56 до 1,3% [54]. В одном исследовании использование МРТ головного мозга показало у 22% больных острую местную церебральную эмболию вслед за ретроградным прохождением стенозированного АК. У 3% пациентов появился клинически значимый неврологический дефицит [55]. Однако результаты этого исследования противоречат ранее опубликованным крупномасштабным клиническим наблюдениям и нуждаются в дополнительном подтверждении.

Наиболее частое осложнение — кровотечение в месте артериального доступа, которое обычно проявляется незначительным выделением крови или небольшой гематомой. Количество значимых сосудистых осложнений варьиabelно, в большинстве исследований при использо-

вании доступа через ПА по Sones выявлено незначительное увеличение количества осложнений. Число значимых сосудистых осложнений составляет около 0,4% [54]. Серьезные сосудистые осложнения: развитие окклюзии, требующей восстановления целостности артерии или тромбэктомии; забрюшинное кровотечение; формирование гематомы; псевдоаневризма; формирование артериовенозной фистулы; инфекционные осложнения. У пациентов с необъяснимой гипотензией или болью в спине следует заподозрить ретроперитонеальную гематому. Исследование заключается в неоднократном выполнении общего анализа крови, определении статуса антикоагуляции и КТ или ультразвуковой оценке паховой области, таза и живота. Риск возникновения необходимости в хирургическом восстановлении поврежденного сосуда увеличивается с возрастом, при наличии застойной СН и у пациентов с большой площадью поверхности тела. При ультразвуковом сопровождении большинство псевдоаневризм можно успешно вылечить путем прямого чрескожного введения тромбина, и хирургическое вмешательство может не потребоваться.

Важно правильно применять артериальный интродьюсер для предотвращения осложнений. Поскольку увеличение времени нахождения интродьюсера повышает вероятность образования гематомы, все интродьюсеры должны быть удалены как можно раньше, как только АВС станет < 170 сек. Необходимо постоянное наблюдение за ЧСС и АД.

Известны системные осложнения (от умеренных вазогагальных реакций до тяжелых вагусных реакций), которые сопровождаются длительной гипотензией. Малые осложнения встречаются у $\approx 4\%$ пациентов при стандартной катетеризации сердца [56]. Большинство общих неблагоприятных эффектов заключаются в кратковременной гипотензии и коротких эпизодах стенокардии, длящихся < 10 мин.

Может появиться крапивница, но это осложнение наблюдается реже при использовании низкоосмолярного контрастного вещества и при его внутриаартериальном введении. Крапивница быстро купируется в/в введением кортикостероидов и дифенингидамина. Редко наблюдаются анафилактикоидные осложнения.

При катетеризации правых отделов сердца наиболее часто происходят кратковременные предсердные и желудочковые аритмии. Тяжелые осложнения, связанные с катетеризацией правых отделов сердца (инфаркт легкого, перфорация ЛА, ПЖ и инфекционные осложнения), возникают редко.

ПЕРСПЕКТИВЫ

В силу разных причин диагностическая катетеризация сердца находится на распутье. Развитие высокоразрешающей коронарной КТ-ангиографии, вероятно, уменьшит потребность в катетеризации сердца у пациентов низкого риска, у которых ИБС может быть исключена неинвазивными исследованиями. С другой стороны, широкая доступность многочисленных неинвазивных методов визуализации, вероятно, обеспечит более раннюю диагностику ИБС, которая потребует катетеризации сердца, чтобы точно определить размер и тяжесть коронарного, сосудистого и клапанного поражений.

Распространение методов чрескожного лечения коронарных, сосудистых и структурных поражений сердца, а также чрескожные терапевтические вмешательства

стимулируют развитие катетеризации сердца. Метод достаточно безопасен и продолжает улучшаться внедряемым программ стандартизации качества и техническим прогрессом.

Благодарность

Авторы благодарят доктора Robert Fishman за его вклад в предыдущее издание этой главы.

ЛИТЕРАТУРА

Показания к диагностической катетеризации сердца

- Scanlon PJ, Faxon DP, Audet AM, et al: ACC/AHA guidelines for coronary angiography: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Coronary Angiography). Developed in collaboration with the Society for Cardiac Angiography and Interventions. *J Am Coll Cardiol* 33:1756, 1999.
- American College of Cardiology; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to revise the 1998 guidelines for the management of patients with valvular heart disease); Society of Cardiovascular Anesthesiologists; Society for Cardiovascular Angiography and Interventions; Society of Thoracic Surgeons; Bonow RO, Carabello BA, Chatterjee K, et al: ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 1998 guidelines for the management of patients with valvular heart disease) developed in collaboration with the Society of Cardiovascular Anesthesiologists endorsed by the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions and the Society of Thoracic Surgeons. *J Am Coll Cardiol* 48:e1, 2006.
- Hunt SA, Abraham WT, Chin MH, et al; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines; American College of Chest Physicians; International Society for Heart and Lung Transplantation; Heart Rhythm Society; American College of Cardiology: ACC/AHA 2005 Guideline Update for the Diagnosis and Management of Chronic Heart Failure in the Adult: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Update the 2001 Guidelines for the Evaluation and Management of Heart Failure): developed in collaboration with the American College of Chest Physicians and the International Society for Heart and Lung Transplantation: endorsed by the Heart Rhythm Society. *Circulation* 112:e154, 2005.
- Antman EM, Anbe DT, Armstrong PW, et al; American College of Cardiology; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines; Canadian Cardiovascular Society: ACC/AHA guidelines for the management of patients with ST-elevation myocardial infarction: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Revise the 1999 Guidelines for the Management of Patients with Acute Myocardial Infarction). *Circulation* 110:e82, 2004.
- Smith SC Jr, Feldman TE, Hirshfeld JW Jr, et al; American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines; ACC/AHA/SCAI Writing Committee to Update 2001 Guidelines for Percutaneous Coronary Intervention: ACC/AHA/SCAI 2005 guideline update for percutaneous coronary intervention: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/SCAI Writing Committee to Update 2001 Guidelines for Percutaneous Coronary Intervention). *Circulation* 113:e166, 2006.
- Eagle KA, Guyton RA, Davidoff R, et al; American College of Cardiology; American Heart Association: ACC/AHA 2004 guideline update for coronary artery bypass graft surgery: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1999 Guidelines for Coronary Artery Bypass Graft Surgery). *Circulation* 110:e340, 2004.
- Bashore TM, Bates ER, Berger PB, et al: ACC/SCAI Clinical expert consensus document on cardiac catheterization laboratory standards. *J Am Coll Cardiol* 37:2170, 2001.

Технические аспекты катетеризации сердца

- Jacobs AK, Faxon DP, Hirshfeld JW, Holmes DR: Task force 3: Training in diagnostic cardiac catheterization and interventional cardiology. Revision of the 1995 COCATS training statement. *J Am Coll Cardiol* 39:1242, 2002.
- Hirshfeld JW Jr, Balter S, Brinker JA, et al: ACCF/AHA/HRS/SCAI Clinical competence statement of physician knowledge to optimize patient safety and image quality in fluoroscopically guided invasive cardiovascular procedures. *J Am Coll Cardiol* 44:2259, 2004.
- Heupler FA Jr: Guidelines for performing angiography in patients taking metformin. Members of the Laboratory Performance Standards Committee of the Society for Cardiac Angiography and Interventions. *Cathet Cardiovasc Diagn* 43:121, 1998.
- Piper WD, Malenka DJ, Ryan TR Jr: Predicting vascular complications in percutaneous coronary interventions. *Am Heart J* 145:1022, 2003.
- Kussmaul WG, Buchbinder M, Whitlow P, et al: Rapid arterial hemostasis after cardiac catheterization and percutaneous transluminal angioplasty—results

- of a randomized trial of a novel hemostatic device. *J Am Coll Cardiol* 25:1685, 1995.
- Baim DS, Knopf WDD, Hinohara T, et al: Suture-mediated closure of the femoral access site after cardiac catheterization. *Am J Cardiol* 85:864, 2000.
 - Koreny M, Riedmuller E, Nikfardjam M, et al: Arterial puncture closing devices compared with standard manual compression after cardiac catheterization. *JAMA* 291:350, 2004.
 - Archbold RA, Robinson NM, Schilling RJ: Radial artery access for coronary angiography and percutaneous coronary intervention. *BMJ* 329:443, 2004.
 - Baim DS: Percutaneous approach, including transeptal and apical puncture. *In* Baim DS, Grossman W (eds): *Cardiac Catheterization, Angiography, and Intervention*, 7th ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2006, pp 79-106.
 - DePonti R, Cappato R, Curnis A, et al: Trans-septal catheterization in the electrophysiology laboratory. Data from a multicenter survey spanning 12 years. *J Am Coll Cardiol* 47:1037, 2006.
 - Jongbloed MRM, Schalij MJ, Zeppenfeld K, et al: Clinical applications of intracardiac echocardiography in interventional procedures. *Heart* 91:981, 2005.
 - Zuguchi M, Shindoh C, Chida K, et al: Safety and clinical benefits of transsubxiphoid left ventricular puncture. *Catheter Cardiovascular Int* 55:58, 2001.
 - Walters DL, Sanchez PL, Rodriguez-Alemparte M, et al: Transthoracic left ventricular puncture for the assessment of patients with aortic and mitral valve prosthesis. The Massachusetts General experience 1989-2000. *Cathet Cardiovasc Interv* 58:539, 2003.
 - Wu LA, Lapeyre AC 3rd, Cooper LT: Current role of endomyocardial biopsy in the management of dilated cardiomyopathy and myocarditis. *Mayo Clin Proc* 76:1030, 2001.
 - Mehta A, Mehta M, Jain AC: Constrictive pericarditis. *Clin Cardiol* 22:334, 1999.
 - Barbaro G, DiLorenzo G, Grisorio B, et al: Incidence of dilated cardiomyopathy and detection of HIV in myocardial cells in HIV-positive patients. *N Engl J Med* 339:1093, 1998.
 - Cohen M, Ferguson JJ 3rd, Freedman RJ Jr, et al: Comparison of outcomes after 8 vs. 9.5 French size intra-aortic balloon counterpulsation catheters based on 9,332 patients in the prospective Benchmark registry. *Cathet Cardiovasc Interv* 56:200, 2002.
 - Trost JC, Hillis LD: Intra-aortic balloon counterpulsation. *Am J Cardiol* 97:1391, 2006.
 - O'Rourke MF: Augmentation of coronary blood flow with intra-aortic balloon pump counter-pulsation. *Circulation* 103:e129, 2001.
 - Ferguson JJ, Cohen M, Freedman RJ: The current practice of intra-aortic balloon counterpulsation: Results from the Benchmark registry. *J Am Coll Cardiol* 38:1456, 2001.
 - Stone GW, Ohman EM, Miller MF: Contemporary utilization and outcomes of intra-aortic balloon counterpulsation in acute myocardial infarction: The Benchmark registry. *J Am Coll Cardiol* 41:1940, 2003.

Гемодинамические данные

- Grossman W: Pressure measurement. *In* Grossman W, Baim DS (eds): *Cardiac Catheterization, Angiography, and Intervention*. 7th ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 2006, pp 13-35.
- Hildick-Smith DJ, Walsh JT, Shapiro LM: Pulmonary capillary wedge pressure in mitral stenosis accurately reflects mean left atrial pressure but overestimates transmitral gradient. *Am J Cardiol* 85:512, 2000.
- Schobel WA, Voelker W, Haase KK: Extent, determinants and clinical importance of pressure recovery in patients with aortic valve stenosis. *Eur Heart J* 20:1355, 1999.
- Niederberger J, Schima H, Maurer G, Baumgartner H: Importance of pressure recovery for the assessment of aortic stenosis by Doppler ultrasound. *Circulation* 94:1934, 1996.
- Moise SF, Sinclair CJ, Scott DHT: Pulmonary artery blood temperature and the measurement of cardiac output by thermodilution. *Anaesthesia* 57:562, 2002.
- Lehmann KG, Platt MS: Improved accuracy and precision of thermodilution cardiac output measurement using a dual thermistor catheter system. *J Am Coll Cardiol* 33:883, 1999.
- Fakler U, Pauli C, Hennig M, et al: Assumed oxygen consumption frequently results in large errors in the determination of cardiac output. *J Thoracic Cardiovascular Surgery* 130:272, 2005.
- Nichols WW, O'Rourke MF (eds): *McDonald's Blood Flow in Arteries*. 4th ed. New York, Oxford University Press, 1998.
- Otto CM: Cardiac catheterization and angiography. *In* Otto CM (ed): *Valvular Heart Disease*. 2nd ed. Philadelphia, WB Saunders, 2004, pp 93-108.
- Shively BK, Charlton GA, Crawford MH, Chaney RK: Flow dependence of valve area in aortic stenosis: Relation to valve morphology. *J Am Coll Cardiol* 31:654, 1998.
- Tardif JC, Rodrigues AG, Hardey JF, et al: Simultaneous determination of aortic valve area by the Gorlin formula and by transeptal echocardiography under different transvalvular flow conditions. *J Am Coll Cardiol* 29:1296, 1997.
- Nishimura RA, Grantham JA, Connolly HM, et al: Low-output, low-gradient aortic stenosis in patients with depressed left ventricular systolic function: The clinical utility of the dobutamine challenge in the catheterization laboratory. *Circulation* 106:809, 2002.
- Monin JL, Quere JP, Monchi M, et al: Low-gradient aortic stenosis: Operative risk stratification and predictors for long-term outcome: A multicenter study using dobutamine stress hemodynamics. *Circulation* 108:319, 2003.
- Grossman W: Shunt detection and quantification. *In* Grossman W, Baim DS (eds): *Cardiac Catheterization, Angiography, and Intervention*. 7th ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 2006, pp 163-172.



- 516 43. Shepherd AP, McMahon CA: Role of oximeter error in the diagnosis of shunts. *Cathet Cardiovasc Diagn* 37:435, 1996.
44. Grossman W: Stress testing during cardiac catheterization: Exercise and pacing tachycardia. In Grossman W, Baim DS (eds): *Cardiac Catheterization, Angiography, and Intervention*. 7th ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 2006, pp 283-303.
45. Higano ST, Azrak E, Tahirkheli NK, Kern MJ: Hemodynamic rounds series II: Hemodynamics of constrictive physiology: Influence of respiratory dynamics on ventricular pressures. *Cathet Cardiovasc Interv* 46:473, 1999.
46. Ichinose F, Roberts JD, Zapol WM: Inhaled nitric oxide: A selective pulmonary vasodilator: Current uses and therapeutic potential. *Circulation* 109:3106, 2004.
47. Krasuski RA, Warner JJ, Wang A, et al: Inhaled nitric oxide selectively dilates pulmonary vasculature in adult patients with pulmonary hypertension, irrespective of etiology. *J Am Coll Cardiol* 36:2204, 2000.
48. Konidala S, Gutterman DD: Coronary vasospasm and the regulation of coronary blood flow. *Prog Cardiovasc Dis* 46:349, 2004.

Дополнительные диагностические методы

49. Kern MJ: Curriculum in interventional cardiology: Coronary pressure and flow measurements in the cardiac catheterization laboratory. *Cathet Cardiovasc Interv* 54:378, 2001.
50. Underwood SR, Bax JJ, Vom Dahl J, et al: Imaging techniques for the assessment of myocardial hibernation. Report of a study group of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 25:815, 2004.

51. Koch KC, Wenderdel M, Stellbrink C, et al: Electromechanical assessment of left ventricular function following successful percutaneous coronary revascularization. *Cathet Cardiovasc Interv* 54:466, 2001.
52. Vale PR, Losordo DW, Milliken CE, et al: Left ventricular electromechanical mapping to assess efficacy of phVEGF(165) gene transfer for therapeutic angiogenesis in chronic myocardial ischemia. *Circulation* 102:965, 2000.

Осложнения, связанные с катетеризацией сердца

53. Davidson CJ, Mark DB, Pieper KS, et al: Thrombotic and cardiovascular complications related to nonionic contrast media during cardiac catheterization. Analysis of 8517 patients. *Am J Cardiol* 65:1481, 1990.
54. Laskey W, Boyle J, Johnson LW: Multivariable model for prediction of risk of significant complication during diagnostic cardiac catheterization. The Registry Committee of the Society for Cardiac Angiography and Interventions. *Cathet Cardiovasc Diagn* 30:185, 1993.
55. Omran H, Schmidt H, Hackenbroch M, et al: Silent and apparent cerebral embolism after retrograde catheterisation of the aortic valve in valvular stenosis: A prospective, randomised study. *Lancet* 361:1241, 2003.
56. Davidson CJ, Hlatky M, Morris GG, et al: Cardiovascular and renal toxicity of a nonionic radiographic contrast agent after cardiac catheterization. *Ann Intern Med* 110:119, 1989.

