

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф.Войно-Ясенецкого" Министерства здравоохранения Российской Федерации

Кафедра анестезиологии и реаниматологии ИПО

## Реферат

На тему: Интраоперационный мониторинг: инвазивный и неинвазивный мониторинг кровообращения

Выполнил ординатор второго года обучения  
Кафедры анестезиологии и реаниматологии ИПО:  
Тупикин Михаил Григорьевич

Красноярск 2019

**Оглавление:**

- 1) Виды мониторинга
- 2) Методы мониторинга
- 3) Особенности инвазивного мониторинга
- 4) Литература

## Интраоперационный мониторинг

Обеспечение безопасности больного, находящегося в состоянии анестезии, является одной из основных обязанностей анестезиолога. "Бдительность" — девиз Американского общества анестезиологов (the American Society of Anesthesiologists). Для эффективного обеспечения безопасности необходима система адекватного наблюдения за больным во время операции, поэтому Американское общество анестезиологов приняло стандарты интраоперационного мониторинга (*минимальные стандарты* приведены в рамке в конце главы). Анестезиолог должен разбираться в особенностях использования сложного монитрного оборудования, включая экономические аспекты (принцип "затраты/эффективность"). В настоящей главе рассматриваются показания, противопоказания, методика, осложнения и клинические особенности применения наиболее важных и распространенных в анестезиологии мониторов.

### Мониторинг кровообращения Артериальное давление

Ритмичные сокращения левого желудочка вызывают колебания артериального давления. Пик артериального давления, генерируемый во время систолического сокращения, называется систолическим артериальным давлением (АДсист.); желобообразное снижение артериального давления в период ди-астолического расслабления — это диастолическое артериальное давление (АДдиаст.). Пульсовое давление представляет собой разницу между систолическим и диастолическим артериальным давлением. Средневзвешенное во времени значение артериального давления на протяжении сердечного цикла называют средним артериальным давлением (АДср.). Среднее артериальное давление можно рассчитать по следующей формуле:

$$\text{АДср.} = (\text{АДсист.} + 2\text{АДдиаст.})/3.$$

Место измерения оказывает выраженное влияние на значение артериального давления. *Когда пульсовая волна распространяется от сердца к периферии, то вследствие феномена отражения ее конфигурация искажается, приводя к увеличению АДсист. и пульсового давления* (рис. 6-1). Например, АДсист. в лучевой артерии обычно выше, чем в аорте, потому что лучевая артерия расположена дистальнее. В отличие от вышесказанного после

гипотермического искусственного кровообращения АДсист. в лучевой артерии ниже, чем в аорте, вследствие снижения сосудистого сопротивления верхней конечности (рис. 6-2). При использовании вазодилататоров (например, изофлюрана, нитроглицерина) эта разница возрастает. На значения артериального давления также влияет место его измерения относительно уровня сердца, что обусловлено действием силы тяжести (рис. 6-3). При тяжелых заболеваниях периферических артерий могут наблюдаться существенные различия при измерении артериального давления на правой и левой руке: в этом случае следует принимать во внимание большее значение. Поскольку неинвазивные (пальпация, доплерография, аускультация, осциллометрия, плетизмография, тонометрия) и инвазивные (катетеризация артерии) методы измерения артериального давления существенно различаются, они будут рассмотрены отдельно.

## 1. НЕИНВАЗИВНЫЙ МОНИТОРИНГ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

### Показания

Общая и регионарная анестезия — это абсолютные показания для мониторинга артериального давления. Методика и частота измерения артериального давления зависят от состояния больного и вида хирургического вмешательства. В подавляющем большинстве случаев аускультативное измерение артериального давления каждые 3-5 мин представляет собой вполне адекватный подход. Если аускультативно измерить артериальное давление невозможно (например, при выраженном ожирении), то используют доплерографию или осциллометрию.

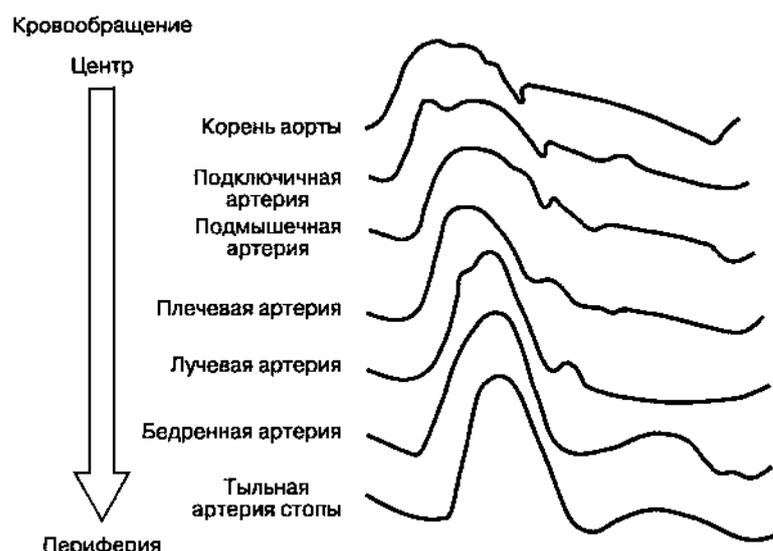


Рис. 6-1. Изменение конфигурации пульсовой волны по мере уменьшения калибра артерий. (Из: Blitt C. D. *Monitoring in Anesthesia and Critical Care Medicine*, 2nd ed. Churchill Livingstone, 1990. Воспроизведено с разрешения.)

### Противопоказания

Не следует накладывать манжетку для измерения артериального давления на конечность с аномалиями сосудов (например, артериовенозная фистула для гемодиализа) или установленным катетером для в/в инфузий.

### Методика и осложнения

А. Пальпация. Измеряют АД сист. следующим образом: 1) определяют пульс на периферической артерии; 2) проксимальнее места пульсации накладывают манжетку прибора для измерения артериального давления и нагнетают в нее воздух до тех пор, пока пульс не перестанет определяться;

3) из манжетки медленно выпускают воздух — скорость снижения давления должна составлять приблизительно 2-3 мм рт. ст. на каждый удар сердца;

4) фиксируют давление в манжетке, при котором вновь начинает определяться пульс. Эта методика дает заниженные значения АД сист. вследствие недостаточной тактильной чувствительности пальцев, а также из-за задержки по времени между прохождением потока крови под манжеткой и дистальной пульсацией. С помощью пальпации невозможно определить диастолическое и среднее

артериальное давление. Оборудование для измерения артериального давления методом пальпации является простым и недорогим (рис. 6-4).

Б. Допплерография. Если заменить палец анестезиолога доплеровским датчиком, то измерение артериального давления становится возможным при ожирении, при шоке и у детей (рис. 6-5). *Эффект Доплера* состоит в том, что частота звука, издаваемого движущимся объектом, изменяется при восприятии этого звука неподвижным наблюдателем. Это изменение частоты звука получило название "сдвиг частоты звуковых волн".

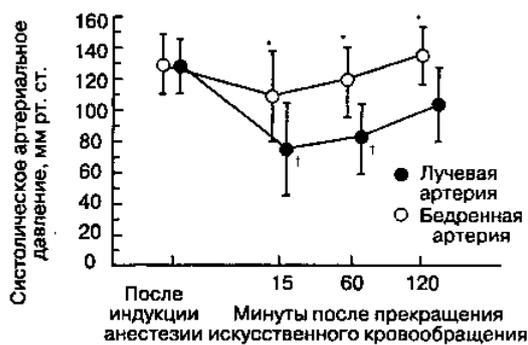


Рис. 6-2. Через 15, 60 и 120 мин после прекращения искусственного кровообращения систолическое артериальное давление в лучевой артерии ниже, чем в бедренной. Эта разница возрастает при использовании нитратов и антагонистов кальция. В то же время среднее артериальное давление в лучевой и бедренной артерии остается одинаковым. (Из: Maruyama K. et al. Effect of combined infusion of nitroglycerin and nicardine on femoral-to-radial arterial pressure gradient after cardiopulmonary bypass. *Anesth. Analg.*, 1990. 70:428. Воспроизведено с разрешения.)

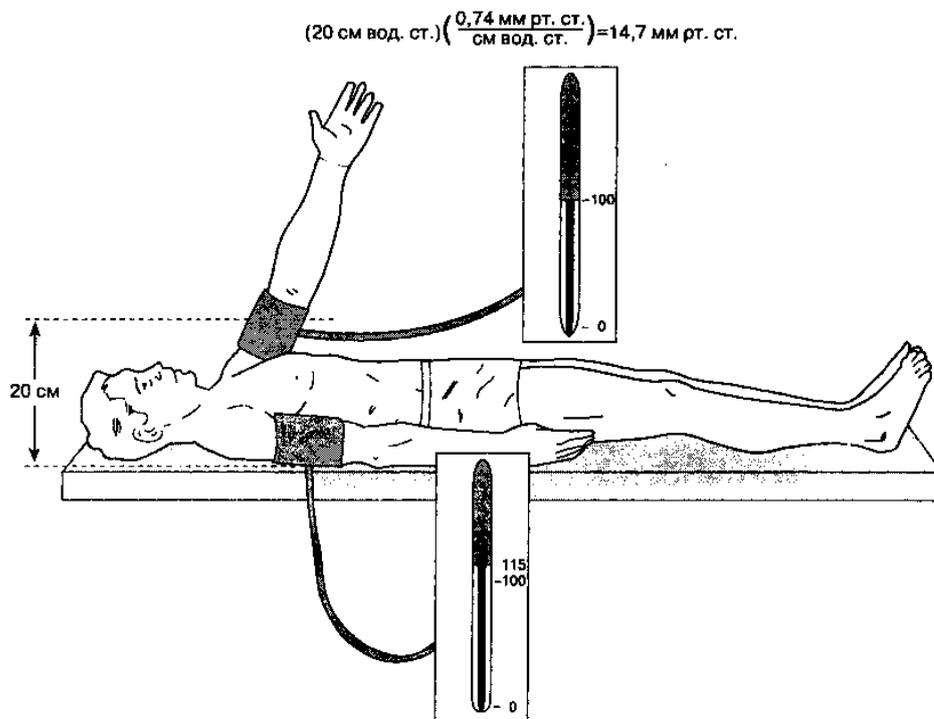


Рис. 6-3. Различие в результатах измерения артериального давления (в мм рт. ст.) при размещении манжетки на различной высоте равно величине водного столба между точками измерения (в см вод. ст.), умноженной на поправочный коэффициент (1 см вод. ст. = 0,74 мм рт. ст.)

Например, громкость свистка поезда нарастает по мере его приближения и снижается при его удалении. При отражении звуковых волн от движущегося объекта также происходит сдвиг частоты

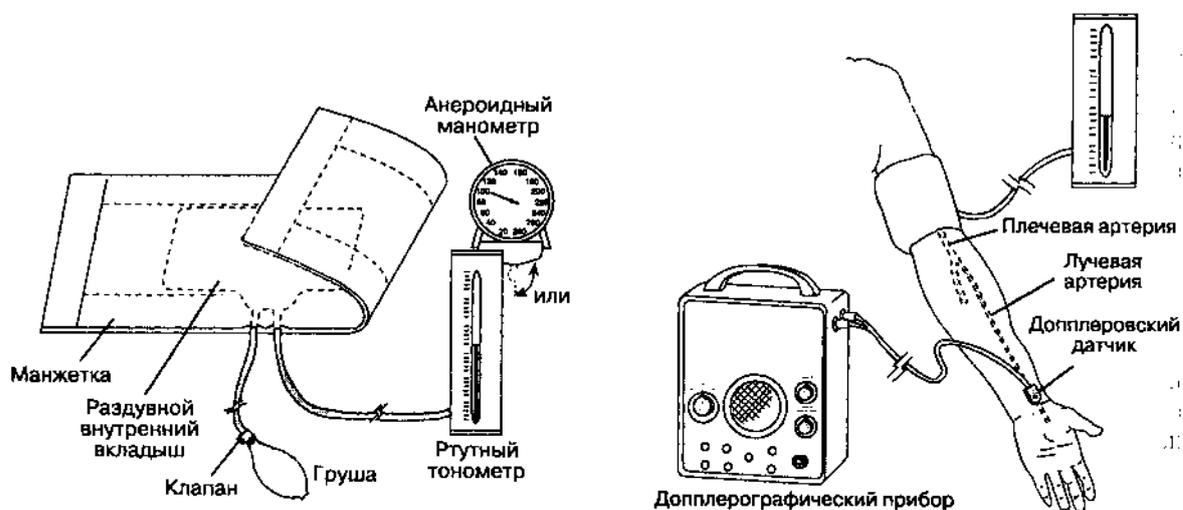


Рис. 6-4. Оборудование, необходимое для измерения артериального давления методом пальпации

Рис. 6-5. Допплеровский датчик, закрепленный над лучевой артерией, будет воспринимать перемещения эритроцитов до тех пор, пока давление в манжетке не превысит систолического артериального давления. (С разрешения Parks Medical Electronics.)

*звуковых волн.* Допплеровский датчик посылает ультразвуковой сигнал, который отражается от тканей. Так как эритроциты продвигаются по артерии, то доплеровский датчик будет регистрировать сдвиг частоты ультразвуковых волн. Разница между излучаемой и воспринимаемой частотой вызывает свистящий звук, появление которого свидетельствует о возобновлении кровотока в сосуде. Так как воздух является проводником ультразвуковых волн, то на кожу следует нанести контактный гель (ни в коем случае не электродный — он вызывает коррозию датчика). Необходимо расположить датчик непосредственно над артерией, чтобы пучок ультразвуковых лучей прошел через стенку сосуда. Досадными помехами являются интерференция от перемещения датчика или работы электрокаутера. Следует заметить, что доплеровская методика позволяет достоверно измерить только АД сист.

Вариантом доплеровской методики является применение пьезоэлектрических кристаллов, которые регистрируют боковые смещения артериальной стенки при перемежающемся изменении просвета сосуда в систолу и диастолу. Использование пьезоэлектрических кристаллов позволяет измерить не только систолическое, но и диастолическое артериальное давление.

**В. Аускультация.** Раздувание манжетки давлением, промежуточным между систолическим и диастолическим, приводит к частичному перекрытию просвета подлежащей артерии, что вызывает турбулентный поток в сосуде и проявляется характерными звуками Короткова. Эти звуки можно прослушать через стетоскоп, расположенный под дистальной третьей раздутой манжетки или сразу дистальнее ее края. *Diasyst* — резиновый стетоскоп особой конструкции, который закрепляется под манжетку (с внутренней ее стороны) застежками Велкро (рис. 6-6). Систолическое артериальное давление соответствует первым ударам звуков Короткова. Относительно диастолического артериального давления существует два мнения: согласно одному, это давление соответствует началу затухания звука, согласно второму — полному исчезновению. Иногда в части диапазона от АД сист. до

АДдиаст. невозможно услышать звуки Короткова. Этот аускультативный провал чаще всего наблюдается при артериальной гипертонии и может привести к ошибке — полученные значения артериального давления окажутся заниженными. Звуки Короткова трудно выслушать при гипотонии и при выраженной периферической вазоконстрикции. В подобных ситуациях с помощью микрофона выявляют волны субзвуковой частоты (ассоциированные со звуковыми), после чего усиливают их и измеряют систолическое и диастолическое артериальное давление; двигательные артефакты и интерференция от электрокаутера ограничивают применение этой методики.

Г. Осциллометрия. Пульсация артерии вызывает колебания (осцилляции) давления в манжетке. Эти осцилляции малы, если давление в манжетке больше, чем АДсист. Когда давление в манжетке снижается до уровня АДсист., то пульсация передается на манжетку и осцилляции заметно возрастают. Амплитуда осцилляции максимальна, когда давление в манжетке соответствует АДср., при дальнейшем снижении давления амплитуда уменьшается. Поскольку некоторые осцилляции давления в манжетке не вызваны изменением артериального давления (например, некоторые осцилляции присутствуют при давлении выше систолического или ниже диастолического), то ртутный и aneroidный манометры дают довольно грубые и неточные результаты. Автоматические электронные мониторы измеряют давление, которое соответствует изменению амплитуды осцилляции (рис. 6-7). Микропроцессор в соответствии с алгоритмом рассчитывает АДсист., АДдиаст. и АДср. Для адекватной работы осциллометрических мониторов необходима последовательность одинаковых пульсовых волн, поэтому они могут давать неправильные результаты при аритмиях (например, мерцательная аритмия). Осциллометрические мониторы не следует применять при использовании аппарата искусственного кровообращения. Тем не

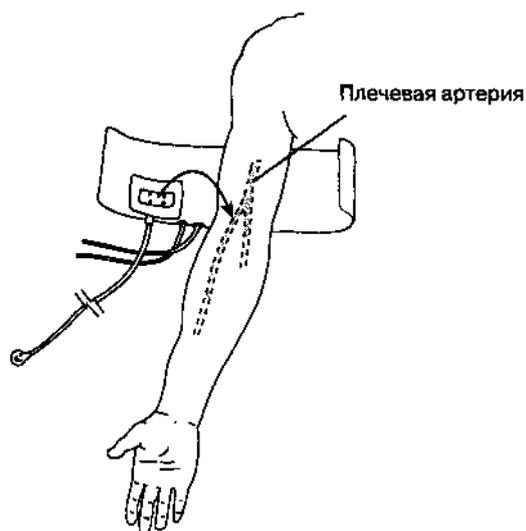


Рис. 6-6. Стетоскоп Diasyst. (Из: Cohen D. D., Robbins L. S. Blood pressure monitoring in the anesthetized patient: A new stethoscope device. *Anesth. Analg.*, 1966. 45: 93. Воспроизведено с изменениями, с разрешения.)

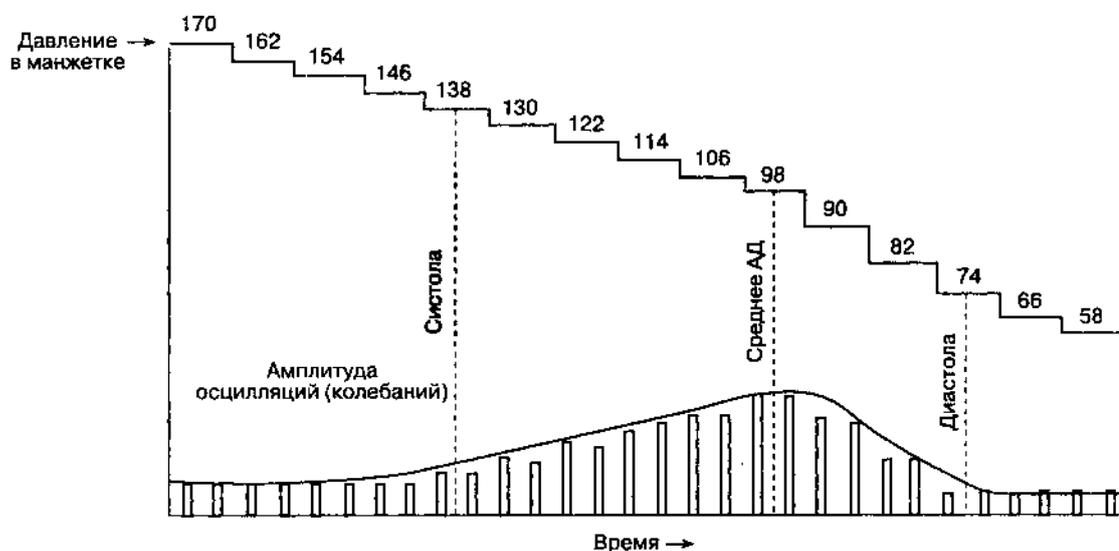


Рис. 6-7. Осциллометрическое определение артериального давления менее благодаря быстрой получению результатов, точности и возможности применения в различных клинических ситуациях наибольшее распространение в США получил именно осциллометрический метод неинвазивного мониторинга артериального давления.

Д. Плетизмография. Пульсация артерий вызывает преходящее увеличение кровенаполнения конечностей. Пальцевой фотоплетизмограф, состоящий из светодиода и фотоэлемента, измеряет изменения объема пальца. Если давление в проксимально

расположенной манжетке превышает АД сист., то пульсации и изменения в объеме прекращаются. Плетизмограф Finapres (*finger arterial pressure* — артериальное давление в пальце) непрерывно измеряет минимальное давление в пальцевой манжетке, необходимое для того, чтобы объем пальца все время оставался одинаковым. Воздушный насос, управляемый соленоидом, быстро модулирует давление в манжетке, что отражается на дисплее в виде непрерывной кривой колебаний артериального давления. Данные плетизмографического мониторинга обычно соответствуют данным, полученным с помощью внутриартериального катетера. Однако плетизмография дает недостоверные результаты при нарушенной периферической перфузии (например, при заболевании периферических артерий или гипотермии).

Е. Артериальная тонометрия. Артериальная тонометрия позволяет неинвазивно и непрерывно определять артериальное давление путем измерения давления, необходимого для частичного прижатия поверхностной артерии (например, лучевая артерия) к подлежащим костным структурам. Тонометр состоит из нескольких независимых датчиков давления и накладывается на кожу в проекции артерии (рис. 6-8). Датчик через кожу воспринимает напряжение стенки артерии  $p_i$ , прижимая ее, отражает давление внутри просвета. Непрерывная регистрация артериального давления дает кривую, форма которой очень похожа на конфигурацию волны при инвазивном измерении артериального давления. Тонометрия чувствительна к смещениям (движение руки приводит к артефактам), поэтому при данном методе необходима частая калибровка прибора.

#### Клинические особенности

Во время анестезии необходимо поддерживать адекватную доставку кислорода к жизненно важным органам. К сожалению, аппаратура для мониторинга перфузии и оксигенации отдельных органов сложна и дорогостояща, поэтому об органном кровотоке судят по системному артериальному давлению. Следует заметить, что кровоток определяется не только градиентом (разницей) давления, но и сосудистым сопротивлением:

#### Градиент давления

Поток = \_\_\_\_\_

## Сосудистое сопротивление

Таким образом, артериальное давление следует рассматривать только как индикатор перфузии органов, но отнюдь не как ее точный показатель.

*Точность тех методов измерения артериального давления, при которых используют манжетку, зависит от ее размеров (рис. 6-9). По длине резиновая*

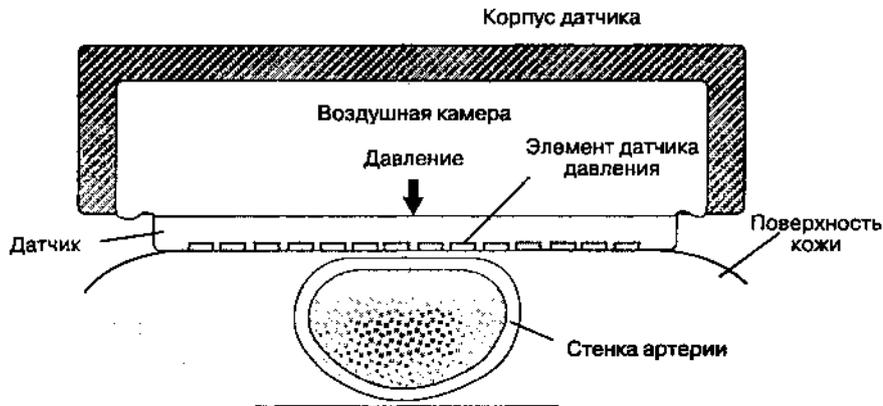


Рис. 6-8. Тонометрия — метод непрерывного (от удара к удару) измерения артериального давления. Датчик должен быть установлен непосредственно над артерией

манжетка должна по крайней мере 1,5 раза оборачиваться вокруг конечности, а ширина ее должна на 20-50 % превышать диаметр конечности (рис. 6-10). В анестезиологии часто используются автоматические мониторы артериального давления, в работе которых применяется одна из вышеперечисленных методик или их сочетание. Автоматический насос нагнетает воздух в манжетку через установленные интервалы времени. Если воздух нагнетается в манжетку слишком часто и на протяжении длительного времени, то могут возникнуть отек конечности (вследствие интенсивного поступления введенных инфузионных растворов из сосудистого русла во внеклеточную жидкость) и парезы нервов. На случай неисправности всегда должен быть готов к работе запасной комплект оборудования для измерения артериального давления.

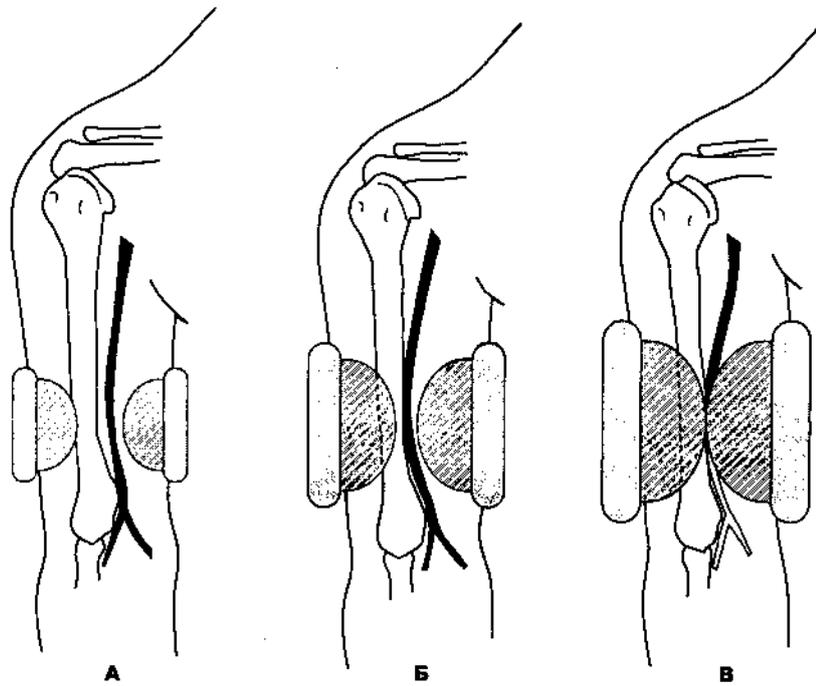


Рис. 6-9. На результаты измерения артериального давления влияет ширина манжетки. Представлены три манжетки, давление внутри них одинаковое. Для того чтобы перекрыть просвет плечевой артерии и таким образом измерить АДсист., в самой узкой манжетке (А) требуется создать наибольшее давление, а в самой широкой (В) — наименьшее. Использование слишком узкой манжетки может привести к значительному превышению АДсист., тогда как излишне широкая манжетка дает заниженные значения АДсист. Если манжетка на 20 % шире должной, то ошибка измерения менее существенна, чем если она на 20 % уже должной. (Из: Gravenstein J. S., Paulus D. A. Monitoring Practice in Clinical Anesthesia. Lippincott, 1982. Воспроизведено с разрешения.)

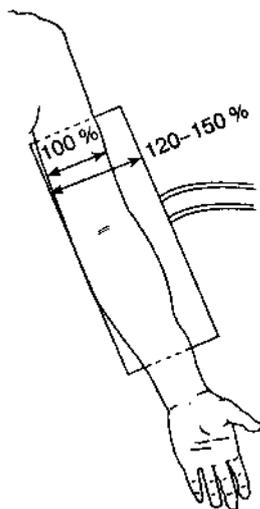


Рис. 6-10. Ширина манжетки для измерения артериального давления должна на 20-50 % превышать диаметр конечности больного

## 2. ИНВАЗИВНЫЙ МОНИТОРИНГ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

### Показания

Показания к инвазивному мониторингу артериального давления путем катетеризации: управляемая гипотония; высокий риск значительных сдвигов артериального давления во время операции; заболевания, требующие точной и непрерывной информации об артериальном давлении для эффективного управления гемодинамикой; необходимость частого исследования газов артериальной крови.

### Противопоказания

Следует по возможности воздерживаться от катетеризации, если отсутствует документальное подтверждение сохранности коллатерального крово-тока, а также при подозрении на сосудистую недостаточность (например, синдром Рейно).

### Методика и осложнения

А. Выбор артерии для катетеризации. Для чрес-кожной катетеризации доступен ряд артерий.

1. Лучевую артерию катетеризируют чаще всего, так как она располагается поверхностно и имеет

коллатерали. Тем не менее у 5 % людей артериальные ладонные дуги оказываются незамкнутыми, что делает коллатеральный кровоток неадекватным. *Проба Аллена* — простой, хотя и не вполне достоверный способ определения адекватности коллатерального кровообращения по локтевой артерии при тромбозах лучевой артерии. Вначале больной несколько раз энергично сжимает и разжимает кулак, пока кисть не побледнеет; кулак остается сжатым. Анестезиолог пережимает лучевую и локтевую артерии, после чего больной разжимает кулак. Коллатеральный кровоток через артериальные ладонные дуги считается полноценным, если большой палец кисти приобретает первоначальную окраску не позже чем через 5 с после прекращения

давления на локтевую артерию. Если восстановление первоначального цвета занимает 5-10 с, то результаты теста нельзя трактовать однозначно (иначе говоря, коллатеральный кровоток "сомнителен"), если больше 10 с — то существует недостаточность коллатерального кровотока. Альтернативными методами определения артериального кровотока дистальнее места окклюзии лучевой артерии могут быть пальпация, доплеровское исследование, плетизмография или пульсоксиметрия. В отличие от пробы Аллена, для этих способов оценки коллатерального кровотока не требуется содействие самого больного.

2. Катетеризацию локтевой артерии технически сложнее проводить, так как она залегает глубже и более извита, чем лучевая. Из-за риска нарушения кровотока в кисти не следует катетеризировать локтевую артерию, если ипсилатеральная лучевая артерия была пунктирована, но катетеризация не состоялась.

3. Плечевая артерия крупная и достаточно легко идентифицируется в локтевой ямке. Так как по ходу артериального дерева она расположена недалеко от аорты, то конфигурация волны искажается лишь незначительно (по сравнению с формой пульсовой волны в аорте). Близость локтевого сгиба способствует перегибанию катетера.

4. При катетеризации бедренной артерии высок риск формирования псевдоаневризм и атером, но часто только эта артерия остается доступной при обширных ожогах и тяжелой травме. Асептический некроз головки бедренной кости — редкое, но трагическое осложнение при катетеризации бедренной артерии у детей.

5. Тыльная артерия стопы и задняя больше-берцовая артерия находятся на значительном удалении от аорты по ходу артериального дерева, поэтому форма пульсовой волны существенно искажается. Модифицированная проба Аллена позволяет оценить адекватность коллатерального кровотока перед катетеризацией этих артерий.

6. Подмышечная артерия окружена подмышечным сплетением, поэтому существует риск повреждения нервов иглой или в результате сдавления гематомой. При промывании катетера,

установленного в левой подмышечной артерии, воздух и тромбы будут быстро попадать в сосуды головного мозга.

#### Б. Методика катетеризации лучевой артерии.

Одна из методик катетеризации лучевой артерии приведена на рис. 6-11. Супинация и разгибание кисти обеспечивают оптимальный доступ к лучевой артерии. Предварительно следует собрать систему катетер-магистраль-преобразователь и заполнить ее гепаринизированным раствором (примерно 0,5-1 ЕД гепарина на каждый мл раствора), т. е. подготовить систему для быстрого подключения после катетеризации артерии.

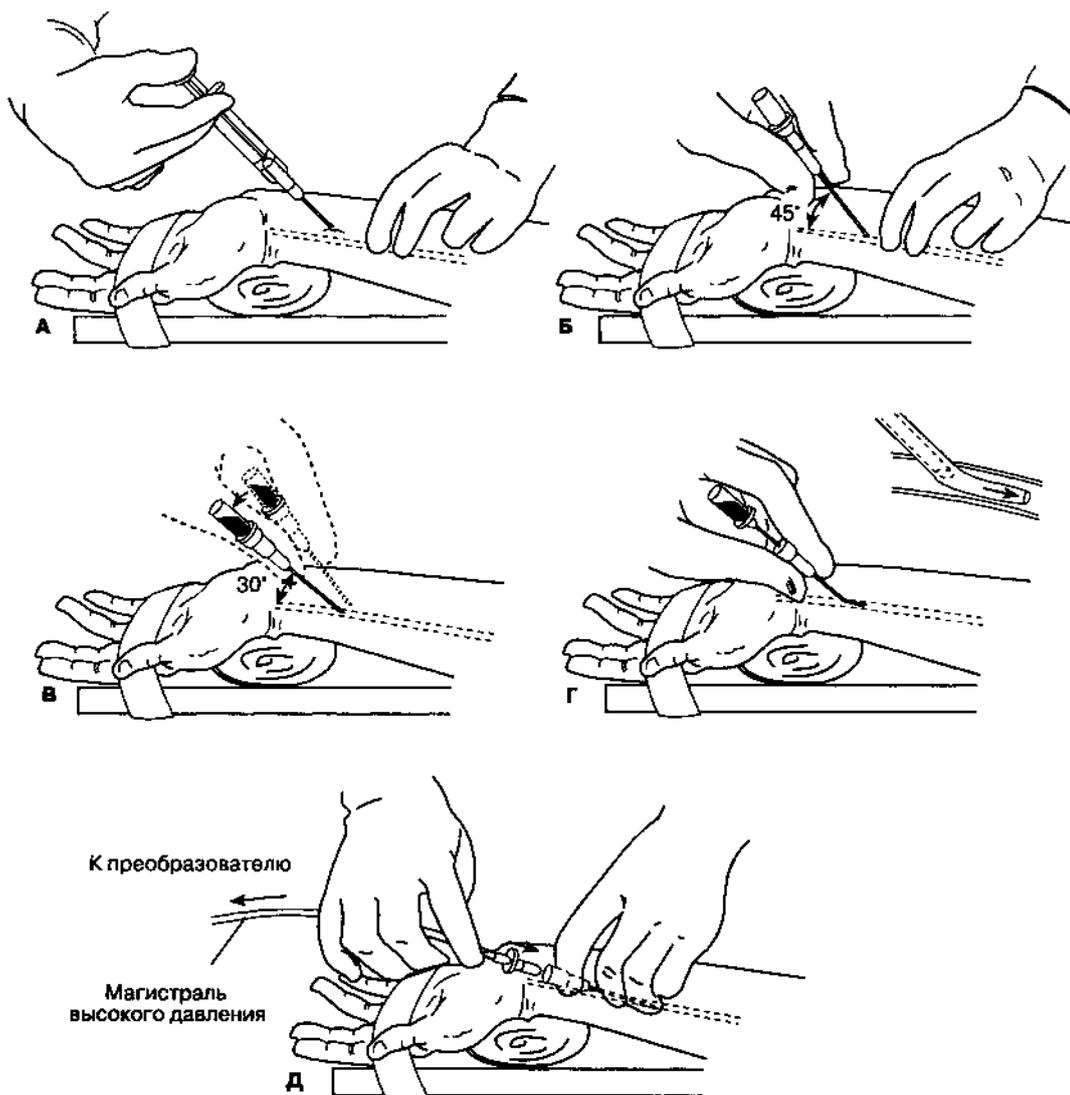


Рис. 6-11. Катетеризация лучевой артерии. А. Решающим моментом является правильная укладка конечности и пальпация артерии. Кожу обрабатывают антисептиком и через иглу 25-го размера инфильтрируют местным анестетиком в проекции артерии, Б.

Катетером на игле 20-22-го размера прокалывают кожу под углом 45°. В. Появление крови в павильоне свидетельствует о попадании в артерию. Угол вкола уменьшают до 30°, и катетер на игле продвигают еще на 2 мм в глубь артерии. Г. Катетер вводят в артерию по игле, которую затем удаляют. Д. Пережимая артерию средним и безымянным пальцами проксимальнее катетера, предотвращают выброс крови во время подсоединения магистрали через коннектор типа Люера

Путем поверхностной пальпации кончиками указательного и среднего пальцев недоминантной руки анестезиолог определяет пульс на лучевой артерии и ее расположение, ориентируясь на ощущение максимальной пульсации. Кожу обрабатывают йодоформом и раствором спирта и через иглу 25-27-го размера инфильтрируют 0,5 мл лидокаина в проекции артерии. Тefлоновым катетером на игле 20-22-го размера прокалывают кожу под углом 45°, после чего продвигают его по направлению к точке пульсации. При появлении крови в павильоне угол вкола иглы уменьшают до 30° и для надежности продвигают вперед еще на 2 мм в просвет артерии. Катетер вводят в артерию по игле, которую затем удаляют. Во время подсоединения магистрали артерию пережимают средним и безымянным пальцами проксимальнее катетера, чтобы предотвратить выброс крови. Катетер фиксируют к коже водоустойчивым лейкопластырем или швами.

В. Осложнения. К осложнениям интраартериального мониторинга относятся гематома, спазм артерии, тромбоз артерии, воздушная эмболия и тромбоэмболия, некроз кожи над катетером, повреждение нервов, инфекция, потеря пальцев (вследствие ишемического некроза), непреднамеренное внутриартериальное введение препаратов. Факторами риска являются длительная катетеризация, гиперлипидемия, многократные попытки катетеризации, принадлежность к женскому полу, применение экстракорпорального кровообращения, использование вазопрессоров. Риск развития осложнений снижают такие меры, как уменьшение диаметра катетера по отношению к просвету артерии, постоянная поддерживающая инфузия раствора гепарина со скоростью 2-3 мл/ч, уменьшение частоты струйных промываний катетера и тщательная асептика. Адекватность перфузии при катетеризации лучевой артерии можно непрерывно контролировать

путем пульсоксиметрии, размещая датчик на указательном пальце ипсилатеральной кисти.

### Клинические особенности

Поскольку внутриартериальная катетеризация обеспечивает длительное и непрерывное измерение давления в просвете артерии, эта методика считается "золотым стандартом" мониторинга артериального давления. Вместе с тем качество преобразования пульсовой волны зависит от динамических характеристик системы катетер-магистраль-преобразователь (рис. 6-12). Ошибка в результатах измерения артериального давления чревата назначением неправильного лечения.

Пульсовая волна в математическом отношении является сложной, ее можно представить как сумму простых синусоидных и косинусоидных волн. Методика преобразования сложной волны в несколько простых называется анализом Фурье. Чтобы результаты преобразования были достоверными, система катетер-магистраль-преобразователь должна адекватно реагировать на самые высокочастотные колебания артериальной пульсовой волны (рис. 6-13). Иными словами, естественная частота колебаний измеряющей системы должна превышать частоту колебаний артериального пульса (приблизительно 16-24 Гц).

Кроме того, система катетер-магистраль-преобразователь должна предотвращать гиперрезонансный эффект, возникающий в результате реверберации волн в просвете трубок системы. Оптимальный демпинговый коэффициент ( $\beta$ ) составляет 0,6-0,7. Демпинговый коэффициент и естественную частоту колебаний системы катетер-магистраль-преобразователь можно рассчитать при анализе кривых осцилляции, полученных при промывании системы под высоким давлением (рис. 6-14).

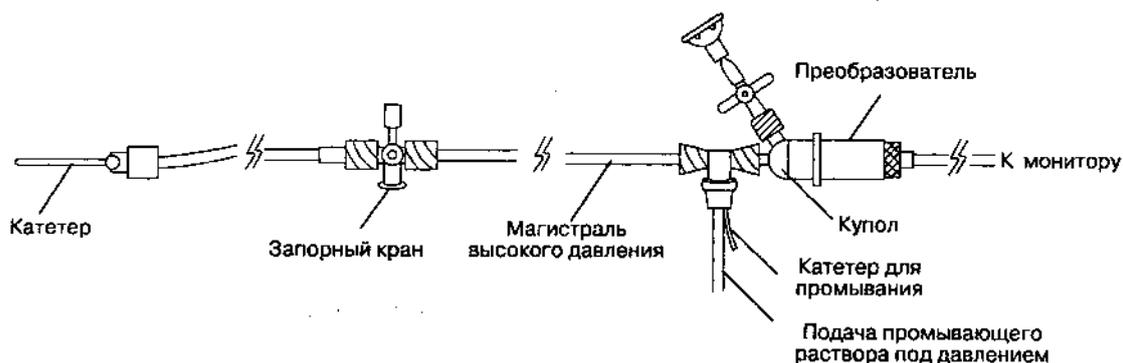


Рис. 6-12. Система катетер-магистраль-преобразователь



Рис. 6-13. На этих иллюстрациях представлено совмещение исходной пульсовой волны с реконструкциями, полученными с помощью анализа Фурье: слева реконструкция воспроизведена по четырем гармоникам, справа — по восьми. Следует отметить, что чем больше число гармоник, тем точнее реконструкция соответствует исходной волне. (Из: Saidman L. S., Smith W. T. *Monitoring in Anesthesia*. Butterworths, 1984. Воспроизведено с разрешения.)

Уменьшение длины и растяжимости трубок, удаление лишних запорных кранов, предотвращение появления воздушных пузырьков — все эти мероприятия улучшают динамические свойства системы. Хотя внутрисосудистые катетеры малого диаметра снижают естественную частоту колебаний, они позволяют улучшить функционирование системы с низким демпинговым коэффициентом и уменьшают риск возникновения сосудистых осложнений. Если катетер большого диаметра окклюзирует артерию полностью, то отражение волн приводит к ошибкам в измерении артериального давления.

Преобразователи давления эволюционировали от громоздких приспособлений многократного использования к миниатюрным одноразовым датчикам. Преобразователь превращает механическую энергию волн давления в электрический сигнал. Большинство преобразователей основано на принципе измерения напряжения: растяжение проволоки или силиконового кристалла изменяет их электрическое сопротивление. Чувствительные элементы расположены как контур мостика сопротивления, поэтому вольтаж на выходе пропорционален давлению, действующему на диафрагму.

От правильной калибровки и процедуры установки нулевого значения зависит точность измерения артериального давления. Преобразователь устанавливают на желаемом уровне — обычно это среднеподмышечная линия, открывают запорный кран, и на включенном мониторе высвечивается нулевое значение артериального давления. Если во время операции положение больного изменяют (при изменении высоты операционного стола), то преобразователь необходимо переместить одновременно с больным или переустановить нулевое значение на новом уровне среднеподмышечной линии. *В положении сидя артериальное давление в сосудах головного мозга существенно отличается от давления в левом желудочке сердца. Поэтому в положении сидя артериальное давление в сосудах мозга определяют, установив нулевое значение на уровне наружного слухового прохода, что приблизительно соответствует уровню виллизиева круга (артериального круга большого мозга).* Преобразователь следует регулярно проверять на предмет "дрейфа" нуля — отклонения, обусловленного изменением температуры.

Наружное калибрование заключается в сравнении значений давления преобразователя с данными ртутного манометра (рис. 6-15). Ошибка измерения должна находиться в пределах 5 %; если ошибка больше, то следует отрегулировать усилитель монитора. Современные преобразователи редко нуждаются в наружном калибровании.

Цифровые значения АДсист. и АДдиаст. являются средними значениями соответственно наиболее высоких и наиболее низких показателей артериального давления за определенный период времени. Так как случайное движение или работа электрока-утера могут исказить значения артериального давления, то необходим мониторинг конфигурации пульсовой волны. Конфигурация пульсовой волны предоставляет ценную информацию о гемодинамике. *Так, крутизна подъема восходящего колена пульсовой волны характеризует сократимость миокарда, крутизна спуска нисходящего колена пульсовой волны определяется общим периферическим сосудистым сопротивлением, значительная вариабельность размеров пульсовой волны в зависимости от фазы дыхания указывает на гиповолемию.* Значение АДср. рассчитывают с помощью интегрирования площади под кривой.

Внутриартериальные катетеры обеспечивают возможность частого анализа газов артериальной крови.

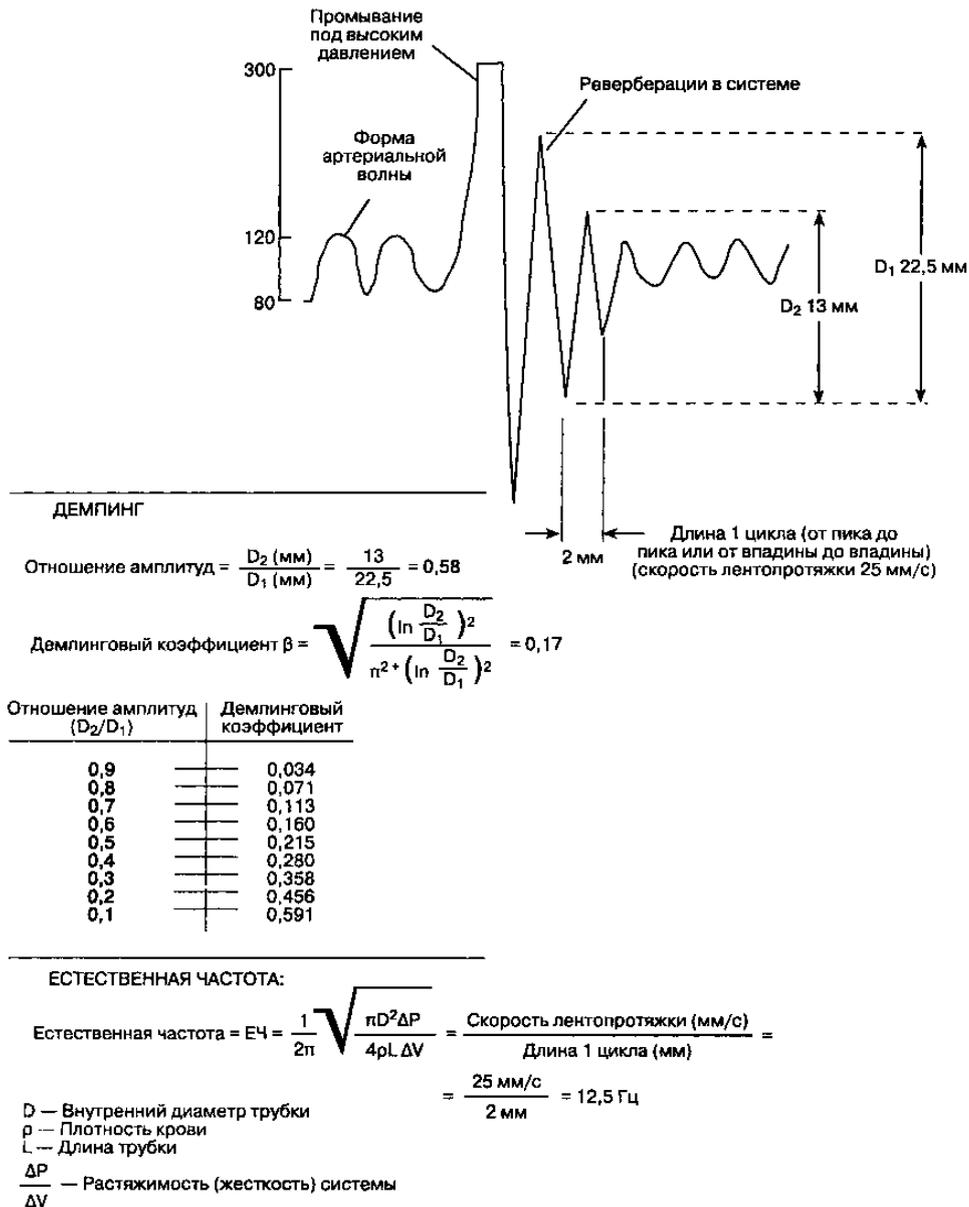


Рис. 6-14. Промывание под высоким давлением позволяет измерить демпинг (затухание) и естественную частоту системы катетер-магистраль-преобразователь. (Из: Blitt C. D. Monitoring in Anesthesia and Critical Care Medicine, 2nd ed. Churchill Livingstone, 1990. Воспроизведено с разрешения.)

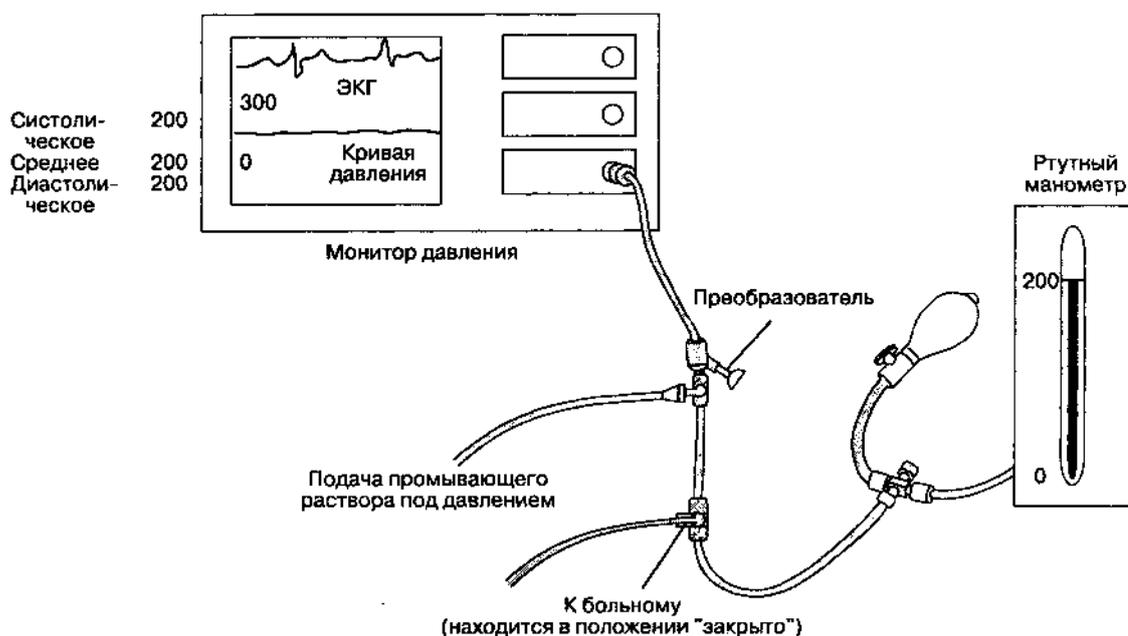


Рис. 6-15. Наружное калибрование преобразователя по ртутному манометру. Давление нагнетают до 200 мм рт. ст. и постепенно снижают до 50 мм рт. ст. Необходимо соблюдать стерильность и избегать попадания воздуха в магистраль. Ошибка измерения находится в пределах 5 %

В последнее время появилась новая разработка — волоконно-оптический датчик, вводимый в артерию через катетер 20-го размера и предназначенный для длительного непрерывного мониторинга газов крови. Через оптический датчик, кончик которого имеет флуоресцентное покрытие, передается свет высокой энергии. В результате флуоресцентный краситель испускает свет, волновые характеристики которого (длина и интенсивность волны) зависят от  $pH$ ,  $PCO_2$  и  $PO_2$  (оптическая флуоресценция). Монитор определяет изменения флуоресценции и отражает на дисплее соответствующие значения газового состава крови. К сожалению, стоимость этих датчиков высока.

## Электрокардиография

### Показания и противопоказания

Мониторинг ЭКГ при хирургических вмешательствах показан всем больным без исключения. Противопоказаний нет.

### Методика и осложнения

Диагностическую ценность ЭКГ определяет выбор отведения. Электрическая ось II отведения параллельна предсердиям, поэтому

именно в этом отведении вольтаж зубца Р максимален. Мониторинг II отведения ЭКГ позволяет распознавать ишемию нижней стенки левого желудочка и аритмии. Отведение  $V_5$  регистрируется при установке электрода в пятом межреберье по передней подмышечной линии, что позволяет обнаружить ишемию передней и боковой стенки левого желудочка. Истинное отведение  $V_5$  можно получить только на электрокардиографе, снабженном не менее чем пятью входными проводами для снятия ЭКГ. Модифицированное отведение  $V_5$  можно получить, переместив электроды стандартных отведений от трех конечностей (рис. 6-16). Каждое отведение несет уникальную информацию, поэтому идеальным вариантом является одновременный мониторинг отведений II и  $V_5$  с помощью двухканального электрокардиографа. При использовании одноканального электрокардиографа выбор отведения для мониторинга зависит от локализации предшествующего инфаркта или ишемии миокарда. Пищеводные отведения позволяют распознать аритмии даже лучше, чем II отведение, но они пока не получили широкого распространения в условиях операционной.

На тело больного накладывают хлорсеребряные электроды (рис. 6-17), которые подсоединяют к электрокардиографу проводами. Проводящий гель уменьшает электрическое сопротивление кожи, которое дополнительно можно снизить предварительной обработкой места наложения электродов раствором спирта или обезжиривающими средствами. Игольчатые электроды применяют только в тех случаях, когда хлорсеребряные электроды использовать нельзя (например, при обширных ожогах).

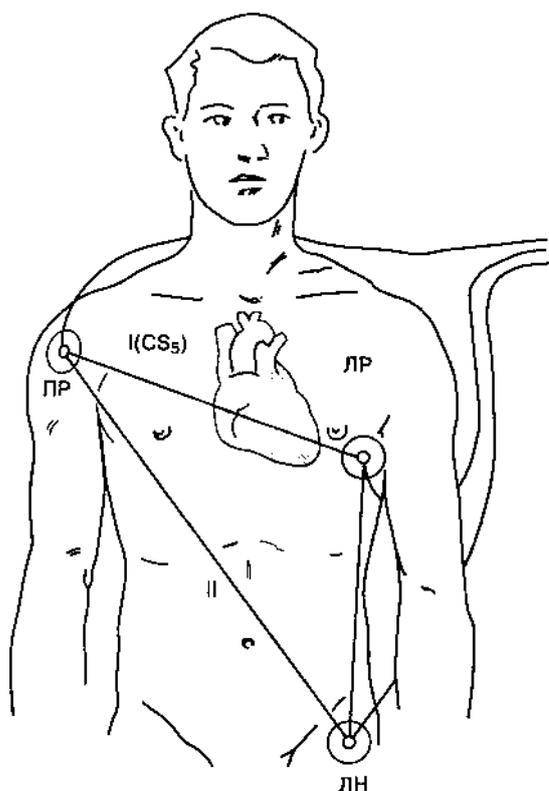


Рис. 6-16. Модификация трех отведений ЭКГ. Ишемию передней и боковой стенки можно выявить, поместив электрод с левой руки (ЛР) в положение  $V_5$ . При включении I отведения на мониторе появляется модифицированное отведение  $V_5$  ( $CS_5$ ). Отведение II позволяет выявить аритмии и ишемию нижней стенки левого желудочка. ЛН — левая нога; ПР — правая рука

#### Клинические особенности

ЭКГ представляет собой запись электрических потенциалов, генерируемых клетками миокарда. Ин-траоперационный мониторинг ЭКГ позволяет своевременно диагностировать нарушения ритма и проводимости, дисфункцию электрокардиостимулятора, ишемию миокарда, электролитные расстройства.



Рис. 6-17. Поперечный разрез хлорсеребряного электрода

Так как вольтаж измеряемых потенциалов невелик, то артефакты составляют серьезную проблему при интерпретации ЭКГ.

Причиной артефактов, имитирующих аритмию на ЭКГ, являются движения больного, непреднамеренное смещение проводов отведений, работа электрохирургического оборудования, интерференция электроволн, а также неплотная фиксация электродов на коже. Мониторные фильтры, установленные в усилителе, снижают частоту появления артефактов, но при этом искажают сегмент ST, что затрудняет диагностику ишемии миокарда. Цифровое отображение частоты сердечных сокращений может быть ошибочным, если монитор воспринимает в качестве комплекса QRS увеличенный зубец T (особенно часто у детей) или артефакт.

В зависимости от имеющегося оборудования, до индукции анестезии следует или распечатать ЭКГ, или внести ее в память монитора для последующего сравнения с интраоперационной ЭКГ. Для правильной оценки изменений сегмента ST необходимо откалибровать электрокардиограф таким образом, чтобы напряжение в 1 мВ соответствовало вертикальному отклонению регистрирующей системы на 10 мм. Современные электрокардиографы могут осуществлять постоянный мониторинг сегмента ST, что позволяет распознавать ранние признаки ишемии миокарда. Автоматический анализ сегмента ST способствует раннему выявлению ишемии, не требует особых дополнительных навыков или внимания персонала и у некоторых больных способен предсказать — а иногда даже позволяет предупредить — осложнения со стороны сердечно-сосудистой системы. *Общепринятые критерии, позволяющие установить диагноз ишемии миокарда, включают уплощение или ко-сонисходящую депрессию сегмента ST ниже изолинии более чем на 1 мм через 60-80 мс после точки J (точка J — это точка перехода комплекса QRS в сегмент ST), особенно в сочетании с отрицательным зубцом T. Подъем сегмента ST в сочетании с высоким заостренным зубцом T также может быть признаком ишемии.* Автоматический анализ сегмента ST неинформативен при синдроме WPW (Вольфа-Паркинсона-Уайта), блокаде ветвей пучка Гиса и электрокардиостимуляции. Звуковые сигналы (бипер), подаваемые при генерации каждого комплекса QRS, должны быть отрегулированы на достаточно высокую громкость, чтобы анестезиолог мог легко распознать на слух нарушения ЧСС и ритма сердца, даже если его внимание отвлечено от экрана монитора другими событиями. Некоторые

электрокардиографы способны интерпретировать аритмии и сохранять в памяти aberrантные QRS-комплексы для последующего анализа. Интерференция, обусловленная работой электрохирургического оборудования, ограничивает возможности интраоперационного автоматического анализа аритмий.

## Катетеризация центральных вен

### Показания

Показания к катетеризации центральных вен включают: мониторинг центрального венозного давления (ЦВД) для инфузионной терапии при гиповолемии и шоке; парентеральное питание и введение раздражающих периферические вены препаратов; аспирацию воздуха при воздушной эмболии; эндокардиальную электрокардиостимуляцию; обеспечение венозного доступа при плохих периферических венах.

### Противопоказания

К противопоказаниям относятся распространение клеток опухоли почек в правое предсердие и грибовидные разрастания трехстворчатого клапана. Другие противопоказания обусловлены местом катетеризации. Например, из-за риска непреднамеренной пункции сонной артерии катетеризация внутренней яремной вены относительно противопоказана при лечении антикоагулянтами, а также при ипсилатеральной каротидной эндартерэктомии в анамнезе.

### Методика и осложнения

Катетер для измерения ЦВД устанавливают таким образом, чтобы его конец находился прямо над местом впадения верхней полой вены в правое предсердие. Так как при этой локализации на конец катетера влияет внутригрудное давление, то в фазу вдоха ЦВД будет повышаться (при принудительной ИВЛ) или снижаться (при самостоятельном дыхании). ЦВД измеряют с помощью водного столба в градуированной трубке (единица измерения — см вод. ст.) или, что предпочтительнее, электронного датчика (единица измерения — мм рт. ст.). В большинстве своем врачи измеряют ЦВД в конце выдоха.

Для пункции и катетеризации используют различные вены. Катетеризация подключичной вены даже при длительном

нахождении катетера редко служит причиной бактериемии, но сочетается с высоким риском развития пневмоторакса во время пункции. Катетеризация правой внутренней яремной вены технически проста и относительно безопасна (табл. 6-1). Катетеризация левой внутренней яремной вены сочетается с повышенным риском эрозии сосуда и гидроторакса. Существуют по крайней мере три методики катетеризации: катетер на игле (аналогично катетеризации периферической вены), катетер через иглу (необходима большая игла), катетер по проводнику (методика Сельдинджера). Методика Сельдинджера представлена на рис. 6-18 (А-Г) и описана ниже.

Для снижения риска воздушной эмболии, заполнения и лучшего контурирования внутренней яремной вены больного укладывают в положение Тренделенбурга. Ключица и обе головки грудноключично-сосцевидной мышцы представляют собой три стороны треугольника (рис. 6-18А). Катетеризацию вены выполняют в условиях полной асептики, используя стерильные перчатки, маску и операционное белье. После обработки кожи раствором йодоформа или другого антисептика широкого спектра действия область верхушки треугольника инфильтрируют местным анестетиком через иглу 25-го размера. Внутреннюю яремную вену вначале пунктируют поисковой иглой 25-го размера (или 23-го размера у крупных больных), продвигая ее под углом 30° к поверхности кожи по направлению к ипсилатеральному соску. Помимо того, местонахождение вены можно определить с помощью доплеровского исследования.

ТАБЛИЦА 6-1. Выбор центральной вены для катетеризации: сравнительные характеристики

	Медиальная подмышечная вена	Наружная яремная вена	Внутренняя яремная вена	Подключичная вена	Бедренная вена
Легкость катетеризации	1	2	4	5	3



Рис. 6-18. Катетеризация правой внутренней яремной вены по Сельдинджеру (см. текст)

Аспирация крови подтверждает попадание кончика иглы в просвет вены. *Пункцию сонной артерии можно исключить, подсоединив катетер к датчику давления (преобразователю) и наблюдая конфигурацию волны на мониторе или же сравнивая цвет крови и  $PaO_2$  с образцом артериальной крови.* Тонкостенную иглу 18-го размера продвигают в том же направлении, что и поисковую (рис. 6-18Б). Если при подтягивании поршня в шприц легко поступает кровь, то через иглу вводят J-образный проводник с радиусом кривизны 3 мм (рис. 6-18В). Иглу удаляют, по проводнику вводят силиконовый катетер, например Silastic (рис. 6-18Г). Катетер закрепляют и накладывают стерильную повязку. Правильное положение катетера следует подтвердить рентгенографией грудной клетки. *Конец катетера не должен мигрировать в полости сердца.* Инфузионные системы необходимо менять каждые 72 ч.

К осложнениям катетеризации центральных вен относят инфекцию, воздушную эмболию и тромбоэмболию, аритмии (признак того, что конец катетера находится в правом предсердии или желудочке), гематому, пневмоторакс, гемоторакс, гидроторакс, хилоторакс, перфорацию сердца, тампонаду сердца, повреждение близлежащих нервов и артерий, тромбозы. Причиной некоторых осложнений является недостаточно хорошее владение методикой катетеризации.

#### Клинические особенности

Для нормальной работы сердца необходимо адекватное заполнение желудочков венозной кровью. ЦВД приблизительно соответствует давлению в правом предсердии, которое в значительной мере определяется конечно-диастолическим объемом правого желудочка. У здоровых людей механическая деятельность правого и левого желудочка изменяется параллельно, поэтому у них по ЦВД косвенно можно судить и о заполнении левого желудочка.

Форма волны ЦВД соответствует процессу сердечного сокращения (рис. 6-19): волна *a* обусловлена сокращением предсердий (atria), она отсутствует при мерцательной аритмии, а при АВ-узловых ритмах, наоборот, ее амплитуда увеличена (пушечные волны); волна *c* связана с закрытием трехстворчатого клапана в ранней фазе сокращения (contraction) правого желудочка; волна *u* отражает

поступление венозной крови в правое предсердие (venous return, т. е. венозный возврат) в условиях закрытого трехстворчатого клапана; нисходящие волны х и у обусловлены, вероятнее всего, смещением вниз правого желудочка во время систолы и открытием трехстворчатого клапана во время диастолы.

## Катетеризация легочной артерии

### Показания

Показания к катетеризации легочной артерии расширяются по мере того, как все большее количество анестезиологов овладевает этой методикой (табл. 6-2), Американское общество анестезиологов разработало рекомендации и протоколы по катетеризации легочной артерии. Хотя во многих группах хирургических больных эффективность мониторинга, проводимого с помощью катетера в легочной артерии, остается в значительной степени недоказанной, тем не менее установлено, что информация о важных параметрах гемодинамики позволяет снизить риск развития некоторых периоперационных осложнений (например, ишемии миокарда, сердечной недостаточности, почечной недостаточности, отека легких). При критических состояниях мониторинг давления в легочной артерии и сердечного выброса обеспечивает получение более точной информации о системе кровообращения, чем физикальное обследование. Катетеризация легочной артерии показана в тех случаях, когда требуется информация о сердечных индексах, преднагрузке, ОЦК или степени оксигенации смешанной венозной крови. Эти показатели имеют исключительную ценность у больных с высоким риском возникновения гемодинамических нарушений (например, недавний инфаркт миокарда) или при операциях, сочетанных с высоким риском развития осложнений со стороны кровообращения (например, вмешательство по поводу аневризмы грудного отдела аорты).

### Противопоказания

*К относительным противопоказаниям, к катетеризации легочной артерии относят полную блокаду левой ножки пучка Гиса (так как существует риск полной АВ-блокады), синдром Вольфа-Паркинсона -Уайта и аномалию Эбштейна (в связи с риском тахикардии).* При этих состояниях предпочтительнее использовать катетер с встроенным электрокардиостимулятором. При сепсисе

плавающий катетер может служить источником инфекции, при гиперкоагуляции — местом формирования тромбов.

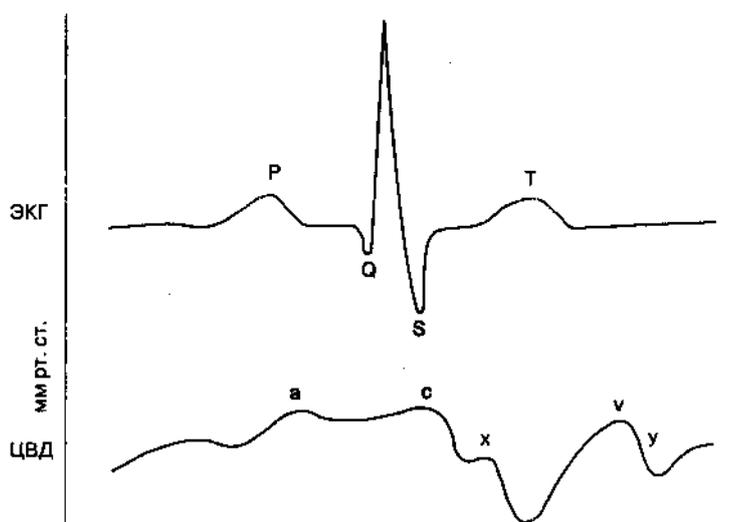


Рис. 6-19. Направленные вверх (а, с, v) и вниз (х, у) волны кривой центрального венозного давления, соотнесенные с ЭКГ. (Из: Gravenstein J. S., Paulus D. A. Monitoring Practice in Clinical Anesthesia. Lippincott, 1982. Воспроизведено с разрешения.)

ТАБЛИЦА 6-2. Показания к катетеризации легочной артерии
Заболевания сердца
ИБС с дисфункцией ЛЖ или недавно перенесенный инфаркт миокарда Пороки сердца Сердечная недостаточность (например, кардио-миопатия, тампонада сердца, легочное сердце)
Заболевания легких
Острая дыхательная недостаточность (например, респираторный дистресс-синдром взрослых) Тяжелое хроническое обструктивное заболевание легких
Инфузионная терапия
Шок Сепсис Острая почечная недостаточность Ожоги (острый период) Геморрагический панкреатит
Хирургические вмешательства
Аортокоронарное шунтирование Протезирование клапанов Перикардэктомия Пережатие аорты (например, при операциях по поводу аневризмы аорты) Операции на задней черепной ямке в

положении больного сидя Шунтирование портальной вены
Осложненная беременность
Тяжелый токсикоз Отслойка плаценты

### Методика и осложнения

Хотя существует несколько вариантов катетера для введения в легочную артерию, наиболее популярная модель представляет собой четырехпросветный (четыреканальный) поливинилхлоридный катетер размером 7 F и длиной 110 см (рис. 6-20). Через термисторный канал проходит провод, соединяющий термистор с устройством для расчета сердечного выброса; воздушный канал предназначен для заполнения баллона воздухом; проксимальный порт ведет в канал, через который вводят инфузионные растворы, в том числе для измерения сердечного выброса, а также измеряют давление в правом предсердии; дистальный порт ведет в канал, который предназначен для забора образцов смешанной венозной крови и измерения давления в легочной артерии.

Для установки катетера в легочную артерию прежде всего по методике Сельдингера катетеризируют центральную вену. Вместо обычного катетера используют сосудорасширитель и катетер-футляр, которые проводят по проволочному проводнику. После извлечения сосудорасширителя и проводника в просвет катетера-футляра вводят плавающий катетер (рис. 6-21).

Перед установкой осуществляют проверку плавающего катетера: надувают и опустошают баллон, через дистальный и проксимальный порт промывают катетер гепаринизированным изотоническим раствором натрия хлорида. Дистальный порт соединяют с датчиком, и на уровне среднеподмышечной линии проводят процедуру установки нулевого значения.

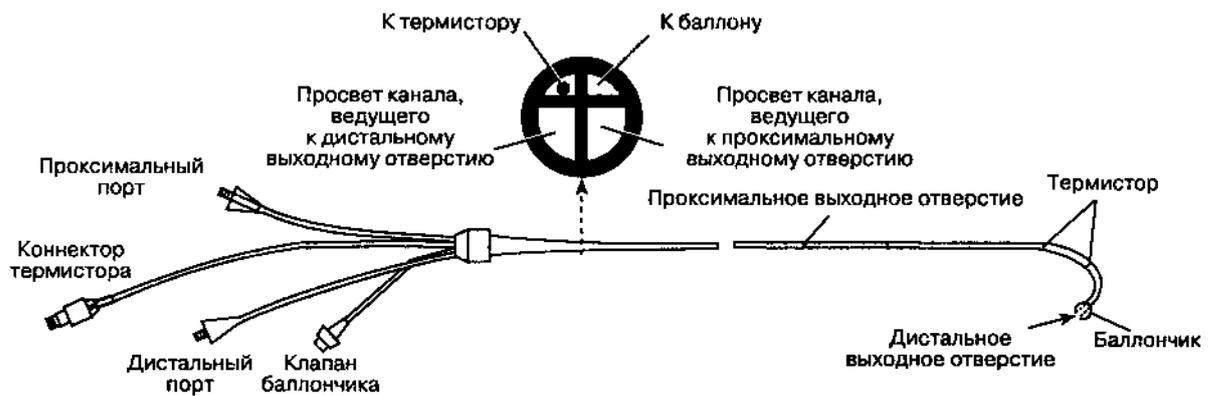


Рис. 6-20. Плавающий катетер с баллончиком для катетеризации легочной артерии (катетер Свана-Ганца). (Из: Blitt С. D. Monitoring in Anesthesia and Critical Care Medicine. Churchill Livingstone, 1990. Воспроизведено с разрешения.)

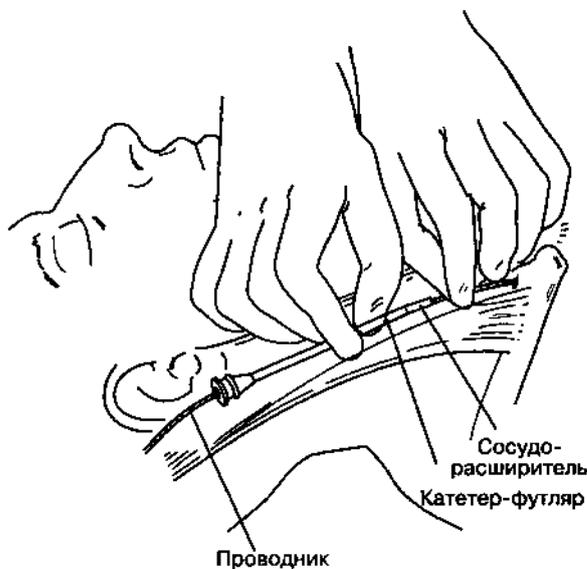


Рис. 6-21. Чрескожный интродьюсер (система для чрес-кожного введения катетера Свана-Ганца) состоит из со-судорасширителя и катетера-футляра, которые проводят по проволочному проводнику

Через просвет катетера-футляра плавающий катетер проводят во внутреннюю яремную вену. Приблизительно на уровне 15-сантиметровой отметки (на катетер нанесена маркировка) кончик катетера попадает в правое предсердие, при этом на мониторе на кривой центрального венозного давления отрицательные волны совпадают с дыхательным циклом. Баллон раздувают воздухом в соответствии с рекомендациями производителя (обычно 1,5 мл).

*После того как катетер попадает в правое предсердие, во время продвижения баллон должен всегда оставаться заполненным*

воздухом, что предотвращает травматизацию эндокарда кончиком катетера, а также заставляет катетер мигрировать с током крови. Наоборот, при извлечении катетера баллон необходимо опустошить. Во время введения катетера необходимо проводить мониторинг ЭКГ для распознавания аритмий. Преходящие экстрасистолы — распространенное явление при раздражении эндокарда правого желудочка баллоном или концом катетера, но необходимость во в/в введении лидокаина возникает редко. О попадании катетера в правый желудочек свидетельствует резкое повышение *систолического* давления (рис. 6-22). При продвижении катетера на 35-45 см его кончик попадает в легочную артерию, что проявляется резким повышением *диастолического* давления.

Если после продвижения катетера на расчетное расстояние кривая давления не претерпевает ожидаемых изменений, то для предотвращения узлооб-разования следует опустошить баллон и удалить катетер. В особенно трудных случаях (низкий сердечный выброс, легочная гипертензия, врожденный порок сердца) способность катетера к миграции с током крови можно улучшить с помощью некоторых приемов: увеличить дыхательный объем (попросить больного сделать глубокий вдох); поднять головной конец операционного стола и повернуть больного на правый бок; ввести через прокси-мальный порт ледяной изотонический раствор натрия хлорида, что повышает жесткость катетера, хотя одновременно влечет за собой риск перфорации; ввести в/в небольшую дозу инотропного препарата, что увеличивает сердечный выброс.



Рис. 6-22. Нормальные значения давления и форма кривой по мере продвижения катетера Свана-Ганца от правого предсердия до заклинивания в легочной артерии

После попадания в легочную артерию катетер осторожно продвигают вперед на незначительное расстояние, что приводит к резкому снижению амплитуды кривой давления — "заклиниванию". Если после этого баллон опустошить, то на мониторе снова появляется кривая давления в легочной артерии. Если заклинивание достигнуто при не полностью раздутом баллоне, то это значит, что кончик катетера мигрировал слишком дистально: катетер следует немного вытянуть (конечно, при этом опустошают баллон). Разрыв легочной артерии, который в 50-70 % случаев приводит к летальному исходу, обычно обусловлен перераздуванием баллона, поэтому число попыток заклинивания следует строго ограничить. Во избежание опасной чрезмерной миграции катетера следует проводить постоянный мониторинг давления в легочной артерии (но не давления заклинивания!). Так, если проксимальное выходное отверстие (которое должно открываться в правый желудочек) находится в 10 см от кончика катетера, то при его смещении в дистальном направлении кривая давления будет соответствовать легочной артерии.

ТАБЛИЦА 6-3. Частота развития осложнений при катетеризации легочной артерии

Осложнения	Распространенность, %
Центральный венозный доступ	
Пункция артерии	1,1-13
Кровотечение из места разреза (у детей)	5,3
Постпункционная нейропатия	0,3-1,1
Пневмоторакс	0,3-4,5
Воздушная эмболия	0,5
Катетеризация легочной артерии	
Незначительные нарушения ритма <sup>1</sup>	4,7-68,9

Тяжелые нарушения ритма (желудочковая тахикардия или фибрилляция желудочков) <sup>1</sup>	0,3-62,7
Блокада правой ножки пучка Гиса <sup>1</sup>	0,1 -4,3
Полная АВ-блокада (при сопутствующей блокаде левой ножки пучка Гиса) <sup>1</sup>	0-8,5
Эксплуатация катетера	
Разрыв легочной артерии <sup>1</sup>	0,1-1,5
Высевание флоры с кончика катетера	1,4-34,8
Сепсис, ассоциированный с катетером	0,7-11,4
Тромбофлебит	6,5
Тромбозы вен	0,5-66,7
Инфаркт легкого <sup>1</sup>	0,1-5,6
Пристеночный тромбоз <sup>1</sup>	28-61
Вегетации на клапанах или эндокарде; эндокардит <sup>1</sup>	2,2-100
Летальный исход (обусловленный катетеризацией легочной артерии) <sup>1</sup>	0,02-1,5
<sup>1</sup> Осложнения, которые возникают только при катетеризации легочной артерии или же встречаются чаще, чем при катетеризации центральной вены. (Из: Practice guidelines for pulmonary artery catheterization: A report by the ASA Task Force on pulmonary artery catheterization. <i>Anesthesiology</i> , 1993. 78: 380. Воспроизведено с разрешения.)	

Правильность положения катетера следует подтвердить рентгенограммой грудной клетки в боковой проекции. Хотя в большинстве случаев катетер смещается в каудальном направлении и вправо, иногда он мигрирует вперед по направлению к полой вене. В этой ситуации истинное давление в легочных капиллярах может быть ниже, чем альвеолярное давление, что при ИВЛ под положительным давлением вызывает ложное завышение значений.

Катетеризация легочной артерии может сопровождаться теми же осложнениями, что и катетеризация центральной вены, и, помимо

того, бактериемией, эндокардитом, тромбообразованием, инфарктом легкого, разрывом легочной артерии (особенно при лечении антикоагулянтами, у пожилых, у женщин, при легочной гипертензии), узлообразованием катетера, нарушениями ритма и проводимости, повреждением клапанов легочной артерии (табл. 6-3). Не следует игнорировать даже незначительное кровохарканье, так как оно может быть признаком разрыва легочной артерии. Своевременная интубация двухпросветной эндотрахеальной трубкой обеспечивает адекватную оксигенацию через неповрежденное легкое. Чем больше продолжительность катетеризации, тем выше риск развития осложнений: плавающий катетер следует удалить не позже чем через 72 ч после введения.

### Клинические особенности

Плавающий катетер (катетер Свана -Ганца) революционизировал мониторинг и ведение больных в критическом состоянии во время операции. Катетеризация легочной артерии позволяет определить преднагрузку левого желудочка точнее, чем катетеризация центральной вены или физикальное исследование. Кроме того, катетер Свана-Ганца дает возможность получать образцы смешанной венозной крови, а также диагностировать воздушную эмболию и ишемию миокарда. Катетеры, снабженные термистором (рассмотрены ниже в данной главе), позволяют измерять сердечный выброс, что помогает рассчитать многие параметры гемодинамики (табл. 6-4). Некоторые модели катетеров имеют встроенные электроды, позволяющие регистрировать внутрисердечную ЭКГ и проводить электрокардиостимуляцию. Волоконно-оптический пучок (имеющийся в некоторых моделях) способствует проведению непрерывного мониторинга насыщения гемоглобина кислородом в смешанной венозной крови.

*Старлинг показал, что существует прямая зависимость между насосной функцией левого желудочка и длиной его мышечных волокон в конце диастолы (которая обычно пропорциональна конечно-диастолическому объему). Если можно исключить патологически низкую растяжимость (что бывает, например, при ишемии миокарда, перегрузке объемом или тампонаде сердца), то конечнодиастолическое давление в левом желудочке должно отражать длину мышечных волокон. Если митральный клапан поврежден, то во время диастолы, когда он открыт и кровь из*

левого предсердия поступает в левый желудочек, давление в левом предсердии приблизительно равно давлению в левом желудочке. Левое предсердие сообщается с правыми отделами сердца через легочные сосуды. Дистальный просвет правильно заклиненного в легочной артерии катетера изолирован от давления в правых отделах сердца заполненным баллоном. На дистальное выходное отверстие катетера воздействует только давление заклинивания, которое — в отсутствие высокого давления в дыхательных путях или заболевания легочных сосудов — равно давлению в левом предсердии. Действительно, аспирация через дистальный просвет катетера при раздутом баллоне позволяет получить артериализованную кровь. Представленная цепочка рассуждений позволяет сделать вывод, что определение давления заклинивания легочной артерии является косвенным методом измерения длины мышечных волокон левого желудочка и, следовательно, его функции.

В то время как катетеризация центральной вены позволяет точно определить функцию правого желудочка, катетеризация легочной артерии показана при дисфункции правого или левого желудочка, приводящей к рассогласованности ге-модинамики между большим и малым кругом кровообращения.

ТАБЛИЦА 6-4. Гемодинамические показатели, рассчитываемые на основании данных, полученных при катетеризации легочной артерии

Показатель	Формула	Норма	Единица измерения
Сердечный индекс	$\frac{\text{Сердечный выброс (л/мин)}}{\text{Площадь поверхности тела (м}^2\text{)}}$	2,8-4,2	л/(мин x м <sup>2</sup> )
Общее периферическое сосудистое сопротивление	$\frac{(\text{АДср.} - \text{ЦВД}) \times 80}{\text{Сердечный выброс (л/мин)}}$	1200-1500	дин x с x см <sup>-5</sup>
Легочное сосудистое сопротивление	$\frac{(\text{ДЛАср.} - \text{ДЗЛА}) \times 80}{\text{Сердечный выброс (л/мин)}}$	100-300	дин x с x см <sup>-5</sup>

	мин)		
Ударный объем	$\frac{\text{Сердечный выброс (л/мин)} \times 1000}{\text{ЧСС(мин}^1\text{)}}$	60-90	мл/удар
Ударный индекс (УИ)	$\frac{\text{Ударный объем (мл/удар)}}{\text{Площадь поверхности тела (м}^2\text{)}}$	30-65	мл/удар/м <sup>2</sup>
Ударный индекс правого желудочка	$0,0136 \text{ (ДЛАср. ЦВД)} \times \text{УИ}$	5-10	г-м/удар/м <sup>2</sup>
Ударный индекс левого желудочка	$0,0136 \text{ (АДср. ДЗЛА)} \times \text{УИ}$	45-60	г-м/удар/м <sup>2</sup>

Примечание. ДЛАср. — среднее давление в легочной артерии; ДЗЛА — давление заклинивания легочной артерии; г-м — грамм-метр.

ЦВД не отражает давления в легочных капиллярах, если фракция изгнания составляет менее 0,50. Даже давление заклинивания легочной артерии не всегда соответствует конечно-диастолическому давлению левого желудочка (табл. 6-5). *Зависимость между конечно-диастолическим объемом левого желудочка (истинная преднагрузка) и давлением заклинивания легочной артерии (измеряемая преднагрузка) нарушается при снижении растяжимости левого предсердия или желудочка, при дисфункции митрального клапана, при высоком сопротивлении легочных вен.* Эти состояния часто встречаются в ближайшем послеоперационном периоде после серьезных вмешательств на сердце и сосудах, а также на фоне инотропной терапии и при септическом шоке.

### Сердечный выброс Показания

Показания к измерению сердечного выброса обычно совпадают с показаниями к определению давления в легочной артерии. Полноценное использование плавающего катетера обязательно включает и измерение сердечного выброса (табл. 6-4). Совершенствование неинвазивных методик в конце концов приведет к

широкому использованию интра-операционного мониторинга сердечного выброса.

### Противопоказания

Противопоказания к измерению сердечного выброса методом термодиллюции совпадают с противопоказаниями к определению давления в легочной артерии.

ТАБЛИЦА 6-5. Состояния, при которых давление заклинивания легочной артерии не коррелирует с конечно-диастолическим давлением левого желудочка

ДЗЛА > КДД ЛЖ

Митральный стеноз

Миксома левого предсердия

Обструкция легочных вен

Высокое альвеолярное давление

ДЗЛА < КДД ЛЖ

Снижение растяжимости левого желудочка (КДДЛЖ > 25 ммрт. ст.)

Аортальная недостаточность

Примечание. ДЗЛА — давление заклинивания легочной артерии; КДД ЛЖ — конечно-диастолическое давление левого желудочка.

### Методика и осложнения

А. Термодиллюция. Введение в правое предсердие определенного количества раствора (2,5; 5 или 10 мл), температура которого меньше температуры тела больного (обычно комнатной температуры или ледяной), изменяет температуру крови, контактирующей с термистором в легочной артерии. Степень изменения обратно пропорциональна сердечному выбросу. Изменение температуры незначительно при высоком сердечном выбросе и резко выражено, если сердечный выброс низок. Графическое изображение зависимости изменений температуры от времени представляет собой *кривую термодиллюции*. Сердечный выброс определяют с помощью компьютерной программы, которая интегрирует площадь под кривой термодиллюции. *Чтобы измерить*

*сердечный выброс точно, необходимо быстро и с одинаковой скоростью ввести раствор, точно знать температуру и объем вводимого раствора, правильно ввести в компьютер калибровочные факторы (которые различаются в зависимости от температуры и объема раствора и вида катетера), а также не измерять сердечный выброс во время работы элект-рокаутера.* Недостаточность трехстворчатого клапана и внутрисердечные шунты значительно снижают ценность полученных результатов, так как реально измеряется только выброс правого желудочка, который в этих случаях не соответствует выбросу левого желудочка. В редких случаях быстрая инфузия ледяного раствора вызывает аритмии. Возможные осложнения при измерении сердечного выброса совпадают с осложнениями катетеризации центральных вен и легочной артерии.

Модифицированная методика термодилуции позволяет проводить непрерывный мониторинг сердечного выброса, при этом применяют специальный катетер и монитор. Катетер содержит термофи-ламент, который генерирует низкоинтенсивные тепловые импульсы в кровь проксимальнее клапана легочной артерии, и термистор, измеряющий изменения температуры крови в легочной артерии. Компьютер монитора определяет сердечный выброс путем перекрестной корреляции количества поданного тепла и изменений температуры крови.

Б. Разведение красителя. Если ввести индоциа-нин зеленый в центральную вену через катетер, то его концентрацию в артериальной крови можно определить при анализе образцов крови с помощью денситометра. Измерив концентрацию в нескольких образцах крови, полученных через разные промежутки времени после введения красителя, строят кривую. Определив площадь под *кривой концентрации красителя-индикатора*, можно измерить сердечный выброс. Методические трудности включают рециркуляцию индикатора, необходимость получения образцов артериальной крови и потребность в специальном оборудовании.

В. Эхокардиография. Чреспищеводная эхокар-диография с датчиком, содержащим пьезоэлектрические кристаллы, позволяет получить двухмерное изображение сердца. У младенцев и маленьких детей возможно сдавление аорты крупным датчиком. *Чреспищеводная эхокардиография позволяет измерить заполнение*

левого желудочка (конечно-диастолический и конечно-систолический объем), фракцию изгнания, оценить глобальную сократимость и выявить нарушения локальной сократимости. Поскольку во время систолы амплитуда движений и степень утолщения ишемизированного миокарда значительно снижены, то Чреспищеводная эхокардиография является чрезвычайно чувствительным индикатором интраоперационной ишемии миокарда. Помимо того, Чреспищеводная эхокардиография позволяет легко обнаружить пузырьки воздуха при воздушной эмболии (в том числе при парадоксальной воздушной эмболии). Ограничениями в использовании чреспищеводной эхокардиографии являются: необходимость проводить ее под общей анестезией (таким образом, исключено применение в период индукции и интубации), сложность в разграничении ишемии миокарда и высокой постнагрузки, а также вариабельность в интерпретации результатов.

Импульсная доплер-эхокардиография — надежный способ измерения линейной скорости кровотока в аорте. В комбинации с чреспищеводной эхокардиографией (с помощью которой можно измерить площадь поперечного сечения аорты) импульсная доплер-эхокардиография позволяет определить ударный объем и сердечный выброс. Относительно недавнее достижение эхокардиографической техники — чреспищеводное цветное доплеровское сканирование, которое позволяет выявить недостаточность и стенозы клапанов, а также внутрисердечные шунты. Цвет указывает на направление кровотока (от датчика или к датчику), а интенсивность цвета — на линейную скорость. Высокая стоимость ограничивает применение этих методик.

Постоянно-волновая супрастернальная доплер-эхокардиография также позволяет определить линейную скорость кровотока в аорте. Площадь поперечного сечения аорты не измеряют с помощью чреспищеводной эхокардиографии, а рассчитывают по номограмме в зависимости от возраста, массы тела и пола больного. Эти расчетные данные в сочетании с измеренной линейной скоростью кровотока в аорте позволяют определить сердечный выброс. Хотя использование номограммы значительно удешевляет исследование, оно влечет за собой риск ошибки, особенно при заболеваниях аорты.

При чрестрахеальной доплер-эхокардиографии датчик прикрепляют к дистальному концу эн-дотрахеальной трубки. Сердечный выброс рассчитывают на основании диаметра и линейной скорости кровотока восходящего отдела аорты. Точность результатов зависит от правильности размещения датчика.

Г. Биоимпеданс грудной клетки. Величина сопротивления грудной клетки (биоимпеданс) зависит от ее объема. Измерение биоимпеданса грудной клетки в точке сердечного цикла, соответствующей завершению деполяризации желудочков, позволяет определить ударный объем. Для подачи микротока и определения биоимпеданса с обеих сторон грудной клетки необходимо использовать четыре пары электрокардиографических электродов. К недостаткам метода можно отнести высокую чувствительность к электрической интерференции и значительную зависимость от правильности наложения электродов. Подобно супрастернальной или чрестрахеальной доплер-эхокардиографии, точность этой методики у некоторых групп больных, например у больных с пороком аортального клапана или после кардиохирургических операций, сомнительна.

Д. Принцип Фика. Потребление кислорода ( $VO_2$ ) равно артериовенозной разнице содержания кислорода ( $A/V$ ), умноженной на сердечный выброс ( $CB$ ). Следовательно:

Потребление кислорода

$$CB = \frac{VO_2}{(CaO_2 - CvO_2)} =$$

Артериовенозная разница по кислороду

Содержать кислорода в смешанной венозной крови и в артериальной крови легко определить с помощью, соответственно, плавающего катетера в легочной артерии и обычного внутриартериального катетера (например, установленного в лучевой артерии). Потребление кислорода можно вычислить по разнице содержания кислорода во вдыхаемой и выдыхаемой смеси. Все варианты методики разведения красителя-индикатора, позволяющие измерить сердечный выброс, основаны на принципе Фика.

## Клинические особенности

Определение сердечного выброса позволяет рассчитать многие индексы, отражающие полную картину функционирования системы кровообращения. Результаты измерения давления в легочной артерии сложно интерпретировать без информации о сердечном выбросе. Например, у больного с нормальным артериальным давлением и нормальным давлением заклинивания легочной артерии перфузия жизненно важных органов может быть недостаточной вследствие низкого сердечного выброса и высокого общего периферического сосудистого сопротивления. Эффективное фармакологическое воздействие на преднагрузку, постнагрузку и сократимость невозможно без точного измерения сердечного выброса.

## Мониторинг дыхания

### Прекардиальные и пищеводные стетоскопы

#### Показания

Большинство анестезиологов считают, что во время анестезии у всех больных следует использовать для мониторинга прекардиальный или пищеводный стетоскоп.

#### Противопоказания

К противопоказаниям относятся стриктуры и ва-рикоз вен пищевода.

#### Методика и осложнения

Тяжелую металлическую колоколообразную головку (резонансную камеру) прекардиального стето-

скопа накладывают на грудную клетку или в область яремной вырезки. Массивная резонансная камера удерживается на поверхности тела за счет силы тяжести, но двусторонний клейкий диск обеспечивает плотный звукопроводящий контакт с кожей, изолированный от посторонних шумов (рис. 6-23). Существуют различные конструктивные варианты резонансной камеры, но при этом для большинства больных вполне пригодны камеры детских размеров. От резонансной камеры отходит гибкая звукопроводящая трубка. Моноаурикулярный наконечник, вставляемый в ухо анестезиолога, позволяет одновременно проводить аускультацию и

следить за обстановкой в операционной. Осложнения от применения прекардиального стетоскопа маловероятны, хотя возможны местные аллергические реакции, ссадины на коже и болезненность при быстром удалении клейкого диска.

Пищеводный стетоскоп — это гибкий пластиковый катетер (размера от 8 F до 24 F), на дистальном конце которого имеются отверстия, прикрытые баллоном (рис. 6-24). Хотя качество проведения дыхательных и сердечных шумов через пищеводный стетоскоп значительно лучше, чем через прекардиальный, его можно использовать только у интубированных больных. Существуют модификации пищеводного стетоскопа со встроенным температурным датчиком, электродом для ЭКГ

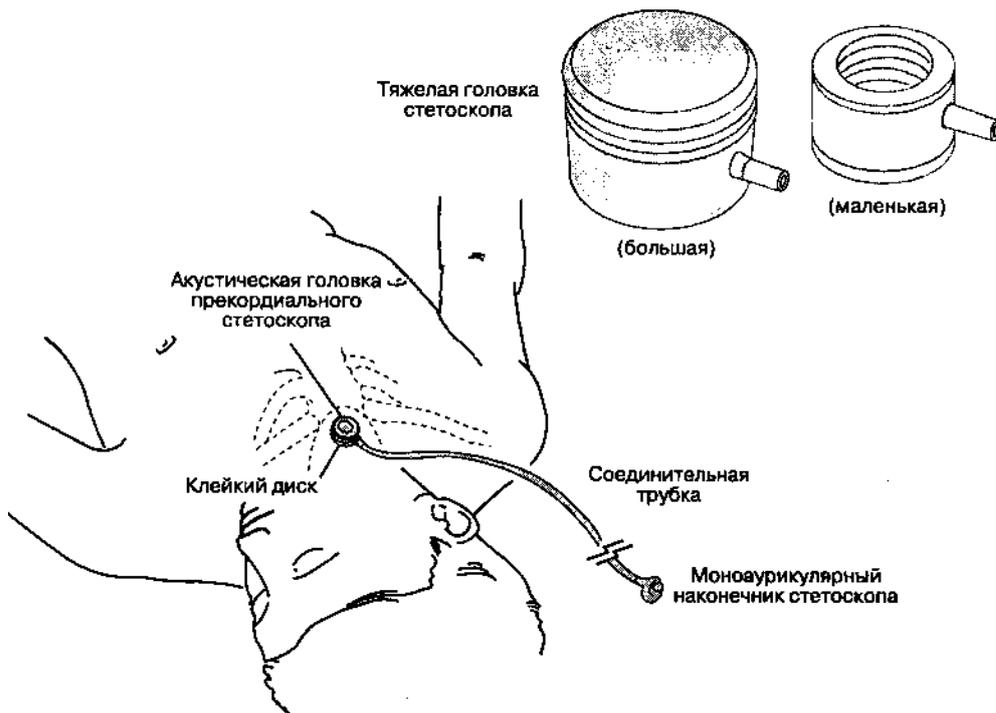


Рис. 6-23. Прекардиальный стетоскоп

и даже с электродом для предсердной электрокар-диостимуляции. Введение стетоскопа через рот или нос может сопровождаться повреждением слизистой оболочки и кровотечением. Реже встречается осложнение, которое заключается в следующем: стетоскоп соскальзывает в трахею, что сопровождается утечками газовой смеси вокруг манжетки эндотрахеальной трубки.

#### Клинические особенности

С помощью прекардиального и пищеводного стетоскопа можно подтвердить факт поступления дыхательной смеси в легкие,

оценить характер дыхательных шумов (например, стридор), ритмичность сердечных сокращений, характер сердечных тонов (приглушение тонов обусловлено снижением сердечного выброса). Вместе с тем оценку проведения дыхательных шумов над обеими сторонами грудной клетки после интубации трахеи рекомендуется осуществлять с помощью более чувствительного биаурикулярного стетоскопа.

## Пульсоксиметрия

### Показания и противопоказания

Пульсоксиметрия входит в стандарт обязательного интраоперационного мониторинга. Пульсоксиметрия особенно полезна в тех случаях, когда необходимо часто контролировать оксигенацию: при сопутствующей легочной патологии (например, при легочном фиброзе, обусловленном действием блеомицина), при специфическом характере оперативного вмешательства (например, пластика грыжи пищеводного отверстия диафрагмы), при некоторых видах анестезиологического пособия (например, однологочная ИВЛ). Пульсоксиметрия показана для мониторинга у новорожденных с риском ретинопатии недоношенности. Противопоказаний к пульсоксиметрии нет.

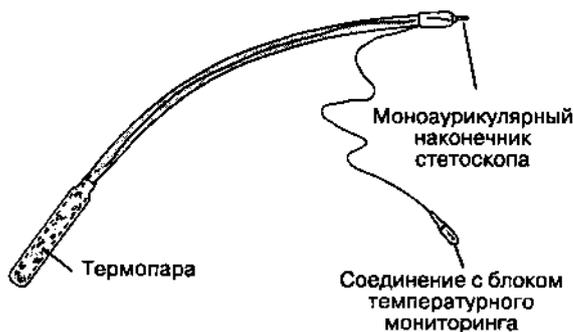


Рис. 6-24. Пищеводный стетоскоп

### Методика и осложнения

В основе пульсоксиметрии лежат принципы оксиметрии и плетизмографии. Она предназначена для неинвазивного измерения насыщения артериальной крови кислородом. Датчик состоит из источника света (два светоэмиссионных диода) и приемника света (фотодиода). Датчик размещают на пальце руки или ноги, на мочке уха — т. е. там, где возможна трансиллюминация (просвечивание насквозь) перфузируемых тканей.

Оксиметрия основана на том, что оксигемоглобин (оксигенированный гемоглобин) и дезоксигемоглобин (восстановленный гемоглобин) отличаются по способности абсорбировать лучи красного и инфракрасного спектра (закон Ламберта-Бера). Оксигемоглобин ( $\text{HbO}_2$ ) сильнее абсорбирует инфракрасные лучи (с длиной волны 990 нм), тогда как дезоксигемоглобин интенсивнее абсорбирует красный свет (с длиной волны 660 нм), поэтому де-оксигенированная кровь придает коже и слизистым оболочкам синеватый цвет (цианоз). Следовательно, в основе оксиметрии лежит изменение абсорбции света при пульсации артерии (рис. 6-25). Соотношение абсорбции красных и абсорбции инфракрасных волн анализируется микропроцессором, в результате рассчитывается насыщение пульсирующего потока артериальной крови кислородом —  $\text{SpO}_2$  (S — от англ, saturation — насыщение; p — от англ, pulse — пульс). Пульсация артерии идентифицируется путем плетизмографии, что позволяет учитывать световую абсорбцию неппульсирующим потоком венозной крови и тканями и проводить соответствующую коррекцию. Если периодически не менять положение датчика, то тепло от источника света или механическое сдавление фиксирующей частью может вызвать повреждение тканей. Пульсоксиметр не нуждается в калибровании.

### Клинические особенности

Пульсоксиметрия, помимо насыщения кислородом, оценивает перфузию тканей (по амплитуде пульса) и измеряет частоту сердечных сокращений. Поскольку в норме насыщение крови кислородом составляет приблизительно 100 %, то в большинстве случаев отклонение от этого показателя свидетельствует о серьезной патологии. В зависимости от индивидуальных особенностей кривой диссоциации оксигемоглобина  $\text{SpO}_2$  90 % может соответствовать  $\text{PaO}_2 < 65 \text{ мм рт. ст.}$  Эти данные сравнимы с возможностями физикального исследования: цианоз возникает при концентрации дезоксигемоглобина  $> 5 \text{ г/л}$ , что соответствует  $\text{SpO}_2 < 80 \%$ . Пульсоксиметрия обычно не позволяет диагностировать эндобронхиальную интубацию (т. е. непреднамеренную интубацию бронха), если только это осложнение не сочетается с сопутствующим заболеванием легких

или низкой фракционной концентрацией кислорода во вдыхаемой смеси.

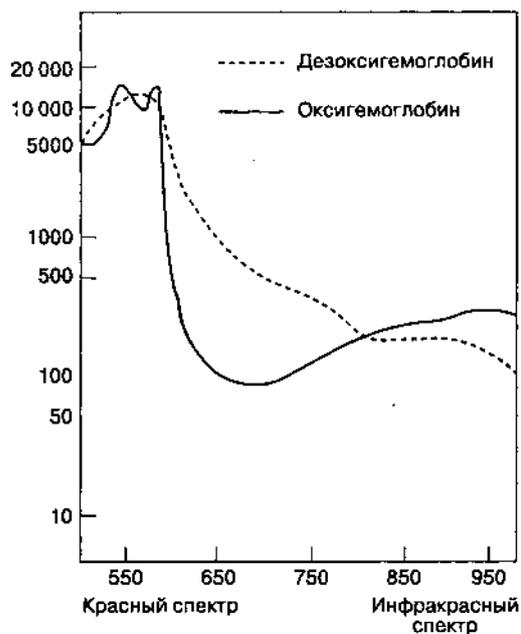


Рис. 6-25. Оксигемоглобин и дезоксигемоглобин отличаются по способности абсорбировать лучи красного и инфракрасного спектра

Так как карбоксигемоглобин (COHb) и оксигемоглобин одинаково абсорбируют волны длиной 660 нм, то на пульсоксиметрах тех моделей, которые сравнивают только две длины световых волн, показатели насыщения кислородом при отравлении угарным газом будут ложно завышены. Метгемоглобин имеет одинаковый коэффициент абсорбции как для красного, так и для инфракрасного света. Возникающее соотношение абсорбции 1:1 соответствует насыщению 85 %. Таким образом, метгемоглобинемия приводит к ложнозаниженным результатам, если истинное  $SaO_2 > 85 \%$ , и ложнозавышенным результатам, если истинное  $SaO_2 < 85 \%$ .

Большинство моделей пульсоксиметров неточны при низком насыщении кислородом и для всех из них характерно отставание в реагировании на изменения  $SaO_2$  и  $SpO_2$ . Датчики, прикрепленные к мочке уха, реагируют на изменения насыщения быстрее пальцевых, потому что кровь от легких поступает к уху раньше, чем к пальцам. Потерю сигнала вследствие периферической вазоконстрикции можно предупредить, выполнив блокаду пальцевых нервов растворами местных анестетиков (не содержащими адреналина!). Причиной появления артефактов при

пульсок-симетрии могут быть такие состояния, как избыточная внешняя освещенность; движения; инъекция метиленового синего; пульсация вен в конечности, опущенной ниже уровня тела; низкая перфузия (например, при низком сердечном выбросе, выраженной анемии, гипотермии, высоком общем периферическом сопротивлении); смещение датчика; поступление света от светоэмитирующего диода к фотодиоду, минуя артериальное ложе (оптическое шунтирование). Тем не менее пульсоксиметрия — это поистине бесценный метод для быстрой диагностики катастрофической гипоксии (например, при нераспознанной интубации пищевода), а также для наблюдения за доставкой кислорода к жизненно важным органам. В палате пробуждения пульсоксиметрия помогает выявить такие дыхательные расстройства, как выраженная гиповентиляция, бронхоспазм и ателектаз.

Технология пульсоксиметрии привела к появлению таких новых методов мониторинга, как измерение насыщения смешанной венозной крови кислородом и неинвазивная оксиметрия мозга. Измерение насыщения смешанной венозной крови кислородом требует введения в легочную артерию специального катетера с волоконно-оптическими датчиками, которые непрерывно определяют насыщение гемоглобина кислородом в легочной артерии ( $SvO_2$ ). Поскольку значение  $SvO_2$  зависит от концентрации гемоглобина, сердечного выброса,  $SaO_2$  и потребления кислорода организмом в целом, то интерпретация результатов достаточно сложна (см. гл. 22). Существует вариант методики, при которой внутреннюю яремную вену катетеризируют ретроградно и устанавливают волоконно-оптический датчик таким образом, чтобы он измерял насыщение гемоглобина кислородом в луковице внутренней яремной вены; полученные данные позволяют оценить адекватность доставки кислорода к мозгу.

Неинвазивная оксиметрия головного мозга позволяет определять регионарное насыщение гемоглобина кислородом в мозге,  $rSO_2$  (г — от англ. regional — местный). Датчик, размещаемый на лбу, испускает свет с определенной длиной волны и измеряет отраженный (оптическая спектроскопия в параинфракрасном спектре). В отличие от пульсоксиметрии, оксиметрия мозга определяет насыщение гемоглобина кислородом не только в

артериальной, но также в венозной и капиллярной крови. Таким образом, полученный результат представляет собой усредненное значение насыщения гемоглобина кислородом во всех микрососудах исследуемого участка головного мозга. Нормальное значение  $rSO_2$  составляет приблизительно 70 %. Остановка кровообращения, эмболия сосудов головного мозга, глубокая гипотермия или значительная гипоксия вызывают выраженное снижение  $rSO_2$ .

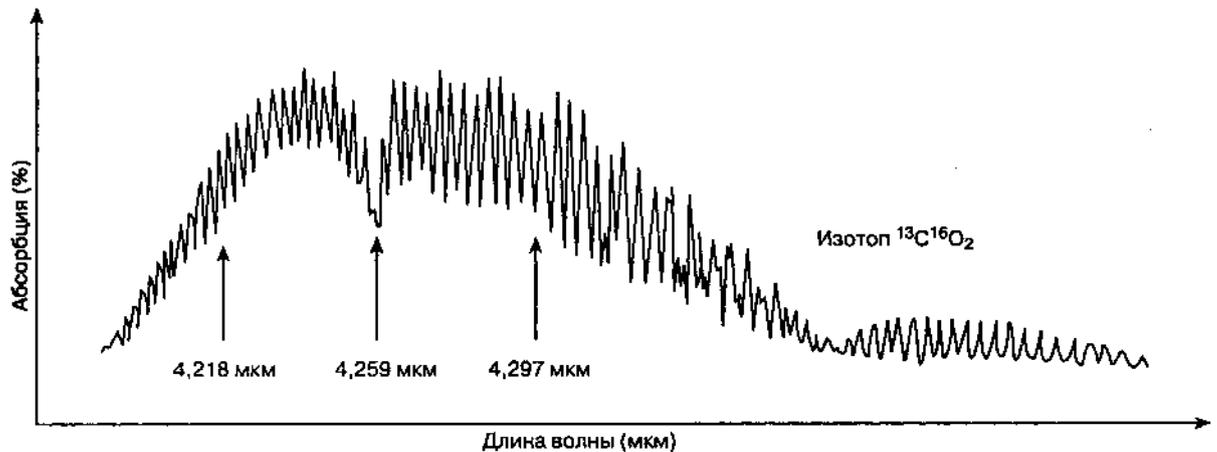


Рис. 6-26. Спектр абсорбции для  $CO_2$ . (Из: Scurr C., Feldman S. Scientific Foundations of Anesthesia. Year Book, 1982. Воспроизведено с разрешения.)

Мониторинг концентрации углекислого газа в конце выдоха (капнография)

Показания и противопоказания

Определение концентрации  $CO_2$  в конце выдоха применяется при всех методиках анестезии для подтверждения адекватности вентиляции. Знание концентрации  $CO_2$  в конце выдоха позволяет проводить мониторинг при снижении внутричерепного давления с помощью ИВЛ в режиме гипервентиляции. Резкое снижение концентрации  $CO_2$  в конце выдоха является чувствительным индикатором воздушной эмболии — серьезного осложнения при операциях на задней черепной ямке, выполняемых в положении больного сидя. Противопоказаний к капнографии не существует.

Методика и осложнения

Капнограф позволяет осуществлять достоверный мониторинг дыхания, кровообращения и состояния дыхательного контура. И капнографы прямого потока, и аспирационные капнографы

основаны на принципе абсорбции инфракрасного света углекислым газом (см. рис. 6-26).

А. Капнографы прямого потока. Капнографы прямого потока измеряют концентрацию углекислого газа, проходящего через адаптер, установленный в дыхательном контуре (рис. 6-27). Капнограф измеряет степень абсорбции инфракрасных лучей в процессе прохождения через поток газа, и на мониторе отображается концентрация  $\text{CO}_2$ . Из-за проблем с "дрейфом" нулевого значения старые модели капнографов прямого потока в фазу вдоха самонастраивались на нуль. Следовательно, эти модели не могли измерять концентрацию  $\text{CO}_2$  на выдохе, что необходимо для диагностики нарушений в дыхательном контуре (например, истощение сорбента, заливание направляющего клапана). Масса датчика может вызывать тракцию эндотрахеальной трубки, а излучение тепла — приводить к ожогам кожи. В новых моделях эти проблемы решены.

Б. Аспирационные капнографы. Аспирационные капнографы (капнографы бокового потока) постоянно отсасывают газовую смесь из дыхательного контура в измерительную камеру монитора (на рис. 6-28 представлен аспирационный капно-метр). Концентрация углекислого газа определяется сравнением степени абсорбции инфракрасных лучей в камере с образцом и в камере, свободной от  $\text{CO}_2$ .

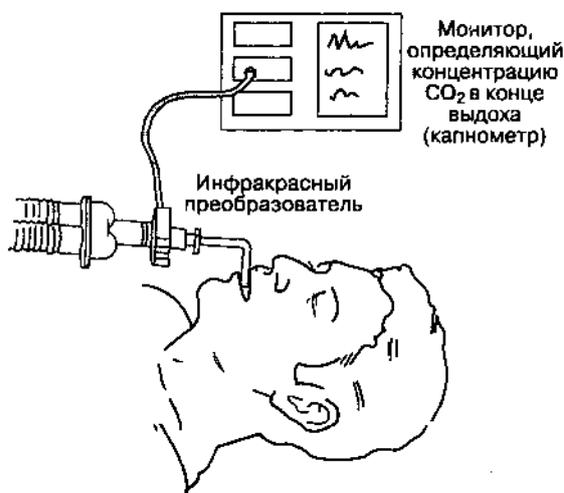


Рис. 6-27. Датчик прямого потока, установленный непосредственно в дыхательном контуре, определяет концентрацию  $\text{CO}_2$  в месте контакта с дыхательной смесью

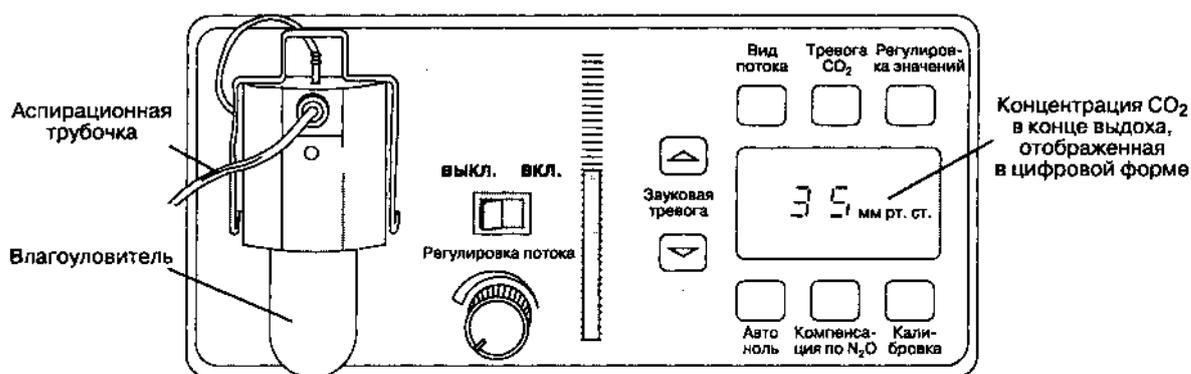


Рис. 6-28. Аспирационный капнометр отсасывает газовую смесь из дыхательного контура в измерительную камеру монитора. Капнограф имеет графический дисплей для отображения капнограммы

Постоянная аспирация анестезиологических газов приводит к существенным утечкам из дыхательного контура, что в отсутствие системы отвода отработанных газов или рециркуляции загрязняет воздух операционной. Высокая скорость аспирации (до 250 мл/мин) и использование трубок с низким "мертвым пространством" обычно увеличивают чувствительность и сокращают запаздывание по времени. Если дыхательный объем невелик (например, у детей), то при высокой скорости аспирации из дыхательного контура может насасываться свежая дыхательная смесь, что приводит к занижению концентрации CO<sub>2</sub> в конце выдоха. Низкая скорость аспирации (менее 50 мл/мин) увеличивает запаздывание по времени и занижает концентрацию при высокой частоте дыхания. Эти аппараты устанавливаются на ноль относительно воздуха помещения, но для калибрования необходим источник с уже известным содержанием CO<sub>2</sub> (обычно 5 %). Нарушение работы клапана выдоха выявляется при обнаружении CO<sub>2</sub> во вдыхаемой смеси. Хотя неисправность клапана вдоха также вызывает рециркуляцию CO<sub>2</sub>, этот дефект не столь очевиден, так как часть инспираторного объема будет еще свободна от CO<sub>2</sub>. При этом на мониторе капнографа в части фазы вдоха будет высвечиваться ноль. В аспирационной трубке и измерительной камере легко осаждается влага, что может привести к обструкции аспирационной линии и ошибке в измерении.

Клинические особенности

Другие газы (например, закись азота) также абсорбируют инфракрасные лучи, приводя к эффекту расширения давления. Чтобы уменьшить ошибку, вызванную наличием примеси закиси азота, предложены различные приспособления и фильтры, встроенные в монитор. *Капнографы быстро и достоверно определяют интубацию пищевода — наиболее распространенную причину анестезиологических катастроф, но не способны достоверно выявить интубацию бронха.* Несмотря на то что в желудке в результате заглатывания выдыхаемой смеси может присутствовать небольшое количество  $\text{CO}_2$  (в концентрации не больше 10 мм рт. ст.), он вымывается буквально в течение нескольких вдохов. Внезапное исчезновение  $\text{CO}_2$  на выдохе может свидетельствовать о рассоединении контура. Возрастание интенсивности метаболизма при злокачественной гипертермии сопровождается существенным нарастанием концентрации  $\text{CO}_2$  в конце выдоха.

*Градиент (разница) между концентрацией  $\text{CO}_2$  в конце выдоха и парциальным давлением  $\text{CO}_2$  в артериальной крови в норме составляет 2-5 мм рт. ст. Этот градиент отражает альвеолярное "мертвое пространство" — альвеолы, которые вентилируются, но не перфузируются. Любое существенное снижение перфузии легких (например, воздушная эмболия, переход в вертикальное положение, уменьшение сердечного выброса или снижение артериального давления) увеличивает альвеолярное "мертвое пространство", так что в дыхательную смесь поступает меньше  $\text{CO}_2$  и концентрация  $\text{CO}_2$  в конце выдоха снижается. На дисплее капнографов, в отличие от капнометров, отражается кривая концентрации  $\text{CO}_2$  (капнограмма), что позволяет распознавать различные состояния (рис. 6-29).*

Чрескожный мониторинг содержания кислорода и углекислого газа

Показания и противопоказания

Хотя чрескожный мониторинг содержания  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}_2$  применяют у многих категорий больных при критических состояниях, наибольшее распространение он получил в детских отделениях реанимации и интенсивной терапии. Противопоказаний для его использования нет.

Методика и осложнения

Датчик, прикрепляемый к коже (рис. 6-30), содержит электрод для измерения  $O_2$  (электрод Кларка) или  $CO_2$  или же оба электрода, а также нагревательный элемент. Кислородный электрод определяет газовый состав, измеряя электропроводность раствора электролита (полярография). Большинство моделей  $CO_2$ -электродов измеряют рН:

$$pH = 0,97(\log PCO_2).$$

Под влиянием нагревательного элемента возникает вазодилатация, вследствие чего возрастает проницаемость рогового слоя и, соответственно, увеличивается диффузия газов. Для калибрования и установки нулевых значений можно использовать сухие стандартные газы и воздух помещения. В зависимости от кровотока, толщины кожи и особенностей теплового элемента большинству датчиков требуется 15-30 мин для достижения стабильного уровня (плато). Локализацию датчика следует менять каждые 2 ч во избежание ожогов, особенно при низкой перфузии.

#### Клинические особенности

*Фактически чрескожные датчики измеряют парциальное кожное давление, которое с определенным приближением соответствует парциальному давлению в артерии,— если сердечный выброс и перфузия адекватны.  $PtcO_2$  ( $P_sO_2$ ) составляет приблизительно 75 % от  $PaO_2$ , а  $PtcCO_2$  ( $P_sCO_2$ ) - 130 % от  $PaCO_2$  (индекс tc — от англ, transcutaneous — чрескожный, индекс s — от англ, skin — кожа).*

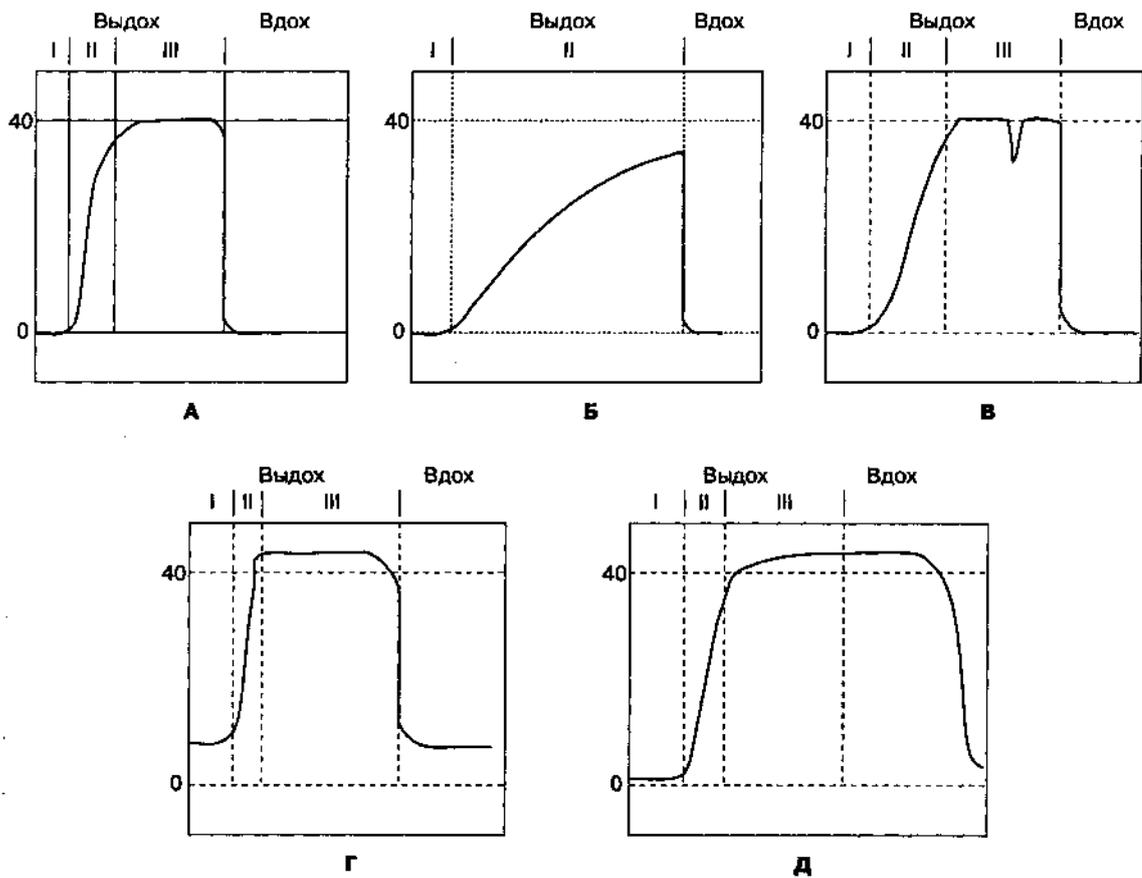


Рис. 6-29. А. В норме на капнограмме регистрируются 3 фазы выдоха, каждая из них характеризуется определенным газовым составом выдыхаемой смеси: I фаза — газ "мертвого пространства", II фаза — смесь из газа "мертвого пространства" и альвеолярного газа, III фаза — плато альвеолярного газа. Б. Капнограмма при тяжелом хроническом обструктивном заболевании легких. Фаза альвеолярного плато отсутствует. Увеличен альвеолоартериальный градиент  $\text{CO}_2$ . В. Быстрое преходящее снижение концентрации  $\text{CO}_2$  во время III фазы указывает на попытку самостоятельного вдоха. Г. Во время вдоха концентрация  $\text{CO}_2$  не снижается до нуля, что может свидетельствовать о дисфункции клапана выдоха или истощении сорбента  $\text{CO}_2$ . Д. Присутствие выдыхаемого газа в фазе вдоха свидетельствует о нарушении работы клапана вдоха

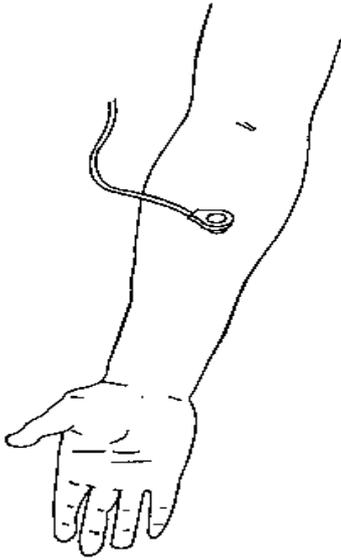


Рис. 6-30. Чрескожный кислородный датчик прикреплен к предплечью больного

Постепенное снижение  $PtcO_2$  может быть обусловлено снижением  $PaO_2$  или ухудшением перфузии кожи. *Отсутствие устойчивой корреляции между  $PtcO_2$  и  $PaO_2$  следует рассматривать не как дефект методики, а скорее, как раннее предупреждение о неадекватной перфузии тканей (например, при шоке, гипервентиляции, гипотермии).* Индекс  $PtcO_2$ , представляющий собой отношение  $PtcO_2$  к  $PaO_2$ , изменяется пропорционально сердечному выбросу и периферическому потоку. Резкое снижение  $PtcO_2$  указывает на смещение датчика и экспозицию его к воздуху помещения.

Популярность чрескожного мониторинга не сравнялась с таковой у пульсоксиметрии из-за затрат времени на прогревание, трудностей в эксплуатации датчиков и сложности в интерпретации данных. К сожалению, эти технические затруднения пока ограничивают клиническое применение чрескожного мониторинга содержания  $O_2$ , который является истинным индикатором доставки кислорода к ткани, хотя бы и к коже. Пульсокси-метрию и чрескожный мониторинг  $O_2$  следует рассматривать как взаимно дополняющие друг друга, но не конкурирующие методики. Например, *снижение  $PtcO_2$  в сочетании с неизменным  $SaO_2$  — достоверный показатель недостаточной перфузии тканей.* Появление конъюнктивальных кислородных датчиков, которые могут неинвазивно определять артериальный рН, возможно, оживит интерес к этой методике.

## Мониторинг анестезиологических газов

### Показания

Мониторинг анестезиологических газов обеспечивает ценную информацию при общей анестезии.

### Противопоказания

Противопоказаний не существует, хотя высокая стоимость ограничивает проведение данного мониторинга.

### Методики

К наиболее распространенным методикам анализа анестезиологических газов относятся масс-спектрометрия, рамановская спектроскопия и абсорбция инфракрасных лучей. Из бокового порта в сегменте дыхательного контура образцы газовой смеси под воздействием вакуумной помпы через длинную трубку диаметром 1 мм поступают внутрь масс-спектрометра, где и осуществляется их анализ. Из финансовых соображений один масс-спектрометр обычно обслуживает несколько операционных, при этом клапан-направитель автоматически регулирует забор образцов в операционных. Образец газа ионизируется электронным лучом и затем проходит через магнитное поле. Ионы с высоким соотношением масса: заряд в магнитном поле отклоняются слабее и следуют по кривой большего радиуса (рис. 6-31). Спектр отклонения ионов представляет собой основу для анализа. Газы с идентичной молекулярной массой ( $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$ ) дифференцируются по отклонению в магнитном поле их фрагментов, образующихся при бомбардировке образца электронным лучом.

Рамановская спектроскопия идентифицирует газы и измеряет их концентрацию путем анализа интенсивности световой эмиссии, которая происходит при возвращении молекул газа к исходному (невозбужденному) энергетическому состоянию после воздействия лазерным лучом.

Инфракрасные анализаторы основаны на различных методиках, принципиально сходных с кап-нографией. Для измерения абсорбции инфракрасных лучей используют акустические датчики, параинфракрасные оптические датчики и оптические датчики спектра, удаленного от инфракрасного. Молекулы кислорода не

абсорбируют инфракрасные лучи, поэтому их концентрация не может быть измерена с помощью данной технологии.

### Клинические особенности

Большинство масс-спектрометров обслуживают несколько операционных, хотя существуют модели, предназначенные только для одной.

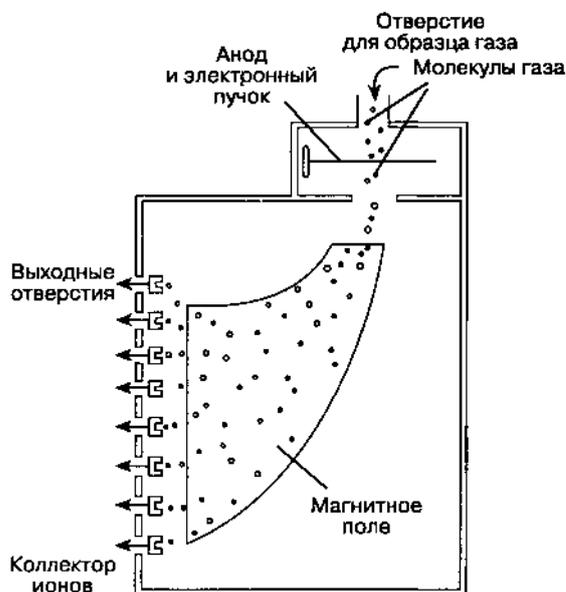


Рис. 6-31. В масс-спектрометре образец газа ионизируется и проходит через магнитное поле. Газ идентифицируется по степени рассеивания ионов

Следовательно, образцы газа, как правило, анализируются по очереди для каждой операционной, и результаты обновляются каждые 1-2 мин. Новые модели непрерывно измеряют концентрацию  $\text{CO}_2$  с помощью инфракрасного анализатора и, таким образом, имеют преимущества перед стандартным капнографом. Помимо содержания углекислого газа анализаторы способны измерять концентрацию азота, кислорода, закиси азота, галотана, энфлюрана, изофлюрана, десфлюрана и севофлюрана. *Увеличение концентрации азота в конце выдоха свидетельствует о воздушной эмболии или поступлении воздуха извне в дыхательный контур. Измерение концентрации ингаляционных анестетиков позволяет предотвратить передозировку при нарушении работы испарителя или при непреднамеренном заполнении испарителя "чужим" анестетиком.* Например, непреднамеренное заполнение энфлюранового испарителя галотаном может привести к

передозировке, потому что давление насыщенного пара галотана выше и, кроме того, галотан мощнее энфлюрана.

Один из недостатков масс-спектрометрии обусловлен тем, что постоянная аспирация образцов газа осложняет измерение потребления кислорода при анестезии по закрытому (реверсивному) контуру. Если дыхательный объем невелик или же если используется бесклапанный дыхательный контур Мэйплсона, то при высокой скорости аспирации из дыхательного контура может насасываться свежая дыхательная смесь, что приводит к занижению концентрации газов в выдыхаемой смеси. В перспективе возможности масс-спектрометра могут расшириться до неинвазивного измерения легочных объемов и сердечного выброса.

Результаты масс-спектрометрии и рамановской спектроскопии в равной степени точны, несмотря на наличие принципиальных отличий в технологии. Преимущества рамановской спектроскопии заключаются в более быстром получении результатов, в возможности самокалибрования и в длительном сроке службы. В настоящее время появилась модель рамановского спектроскопа, предназначенная для обслуживания одной операционной (а не нескольких).

Появились анализаторы, которые могут измерять концентрацию ингаляционных анестетиков по осцилляциям кварцевых кристаллов или изменению абсорбции инфракрасных лучей, а не с помощью масс-спектрометрии или рамановской спектроскопии. Хотя кварцевые осцилляторы дешевле, большинство из них неспособно выявить заполнение испарителя несоответствующим анестетиком, так как они не могут отличить один анестетик от другого.

## Мониторинг центральной нервной системы

### Электроэнцефалография

#### Показания и противопоказания

Электроэнцефалографию (ЭЭГ) применяют при вмешательствах на сосудах головного мозга, при искусственном кровообращении, а также при управляемой гипотонии для оценки адекватности оксигенации головного мозга. ЭЭГ-исследование в 16 отведениях,

проводимое с помощью 8-канального электроэнцефалографа, редко бывает показано для мониторинга глубины анестезии, потому что существуют более простые методики. Противопоказаний к проведению ЭЭГ нет.

#### Методика и осложнения

Электроэнцефалография представляет собой запись электрических потенциалов, генерируемых клетками коры головного мозга. Хотя можно использовать стандартные электроды для ЭКГ, все же целесообразно применять серебряные чашечковые электроды, заполняемые электродной пастой. Игольчатые электроды, изготовленные из платины или нержавеющей стали, травмируют скальп и имеют высокий импеданс (сопротивление); вместе с тем их можно стерилизовать и устанавливать в области операционного поля. Расположение электродов на скальпе (монтажная схема) соответствует международной системе "10-20" (рис. 6-32). Между электродами существует разница электрических потенциалов, которая после фильтрации усиливается и передается на осциллоскоп или перовой писчик.

#### Клинические особенности

Интраоперационный мониторинг ЭЭГ применяют достаточно ограниченно, потому что электроэнцефалограф занимает много места, интерпретация результатов сложна и эффективность метода под вопросом. Точность ЭЭГ сомнительна у больных с устойчивым повреждением головного мозга (например, инсульт). *Изменения, которые соответствуют ишемии головного мозга (например, угнетение высокочастотной активности), могут имитироваться такими состояниями, как гипотермия, воздействие анестетиков, электролитные нарушения и выраженная гипокания.* Тем не менее обнаружение отклонений на ЭЭГ ориентирует анестезиолога на поиск возможных причин ишемии, что в ряде случаев позволяет предотвратить необратимое повреждение головного мозга.

Математическая обработка огромных массивов информации, полученной при ЭЭГ (например, периодический анализ, аperiodический анализ, спектральный анализ), позволяет упростить интерпретацию данных. К сожалению, компьютерный анализ обычно происходит в ущерб чувствительности.

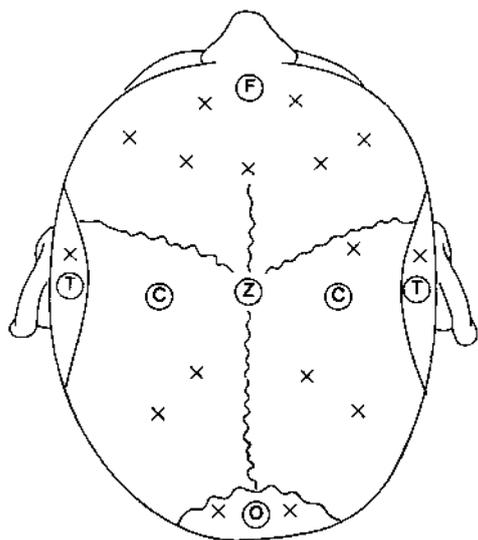


Рис. 6-32. Отведения ЭЭГ: международная система "10-20". Локализация электродов на голове определяется их буквенным обозначением: F — лобные (frontalis); C — центральные (coronalis, centralis); T — височные (temporalis); O — затылочные (occipitalis); Z — срединный

Мониторы, которые обрабатывают информацию, поступающую только от одной пары электродов, неспособны выявить очаговую ишемию мозга. Когда по мере усовершенствования математического аппарата и вида представления данных появятся более удобные для практики устройства, интраоперационный мониторинг ЭЭГ получит более широкое распространение.

#### Вызванные потенциалы Показания

Интраоперационный мониторинг вызванных потенциалов показан при хирургических вмешательствах, сочетанных с риском повреждения ЦНС (операции с искусственным кровообращением, каротидная эндартерэктомия, спондилодез стержнями Харрингтона, вмешательство по поводу аневризмы брюшной аорты, операции на головном мозге). Вызванные потенциалы позволяют обнаружить глобальную ишемию при гипоксии или передозировке анестетиков. Мониторинг вызванных потенциалов облегчает проведение стереотаксических нейрохирургических операций.

#### Противопоказания

Хотя специфических противопоказаний не существует, проведение мониторинга вызванных потенциалов ограничено техническими

возможностями (например, в некоторых случаях необходим прямой доступ к структурам мозга), наличием оборудования и квалифицированного персонала.

### Методика и осложнения

Мониторинг вызванных потенциалов является неинвазивным методом оценки функции ЦНС путем измерения электрофизиологического ответа на сенсорную стимуляцию. Наиболее распространен мониторинг зрительных, акустических и соматосенсорных вызванных потенциалов (табл. 6-6). Ниже обсуждаются только последние из перечисленных. Кратковременными электрическими импульсами через пару электродов раздражают чувствительный или смешанный периферический нерв. Если раздражаемые проводящие пути не повреждены, то вызванные потенциалы будут передаваться на контралатеральную сенсорную кору. Этот потенциал измеряется электродами, установленными на скальп в соответствии с международной системой "10-20". Чтобы выявить реакцию коры, стимул подается многократно, при этом каждый ответ суммируется с предыдущими и усредняется (ответы складываются и сумма делится на число суммаций). Эта методика позволяет выделить искомый сигнал и подавить фоновый шум. Вызванные потенциалы графически представляют как изменение вольтажа во времени. При анализе вызванных потенциалов оперируют такими понятиями, как латентность (время между подачей стимула и появлением потенциала) и пиковая амплитуда. Сравнивают вызванные потенциалы, полученные до и после манипуляции, сочетанной с риском повреждения мозговых структур (например, при спондилодезе стержнями Харринг-тона). Определяют значимость выявленных изменений. Осложнения при мониторинге вызванных потенциалов развиваются редко. К ним относятся электрошок, раздражение кожи и ишемия от сдавливания в месте наложения электродов.

### Клинические особенности

На вызванные потенциалы влияют не только повреждение нейронов, но и многие другие факторы. Так, анестетики оказывают на вызванные потенциалы многостороннее, сложное влияние. *В общем, сбалансированная анестезия (закись азота, миоре-*

лаксанты и опиоиды) вызывает минимальные изменения, тогда как испаряемые ингаляционные анестетики (галотан, энфлюран, севофлюран, дес-флюран и изофлюран) при необходимости мониторинга вызванных потенциалов применять не следует. Коротколатентные потенциалы в меньшей степени подвержены действию анестетиков, чем длиннола-тентные потенциалы. Акустические вызванные потенциалы позволяют проводить мониторинг глубины анестезии. При мониторинге вызванных потенциалов физиологические параметры (артериальное давление, температура, насыщение гемоглобина кислородом) и глубину анестезии следует поддерживать на постоянном уровне.

Устойчивое отсутствие ответа при мониторинге вызванных потенциалов является прогностическим признаком послеоперационного неврологического дефицита. К сожалению, наличие (сохранность) сен-сомоторных вызванных потенциалов (путь которых проходит по задним отделам спинного мозга) не гарантирует нормальной двигательной функции, которая определяется интактностью вентральных отделов спинного мозга (ложноотрицательные результаты). Кроме того, вызванные соматосен-сорные потенциалы, полученные при раздражении заднего большеберцового нерва, не позволяют отличить ишемию периферических нервов от ишемии ЦНС (ложноположительные результаты). Разрабатываемые методики получения вызванных моторных потенциалов с помощью транскраниальной или эпидуральной стимуляции смогут уменьшить частоту получения ложных результатов.

Прочие виды мониторинга

Температура Показания

Общая анестезия — показание к мониторингу температуры тела. Исключение можно сделать только для очень кратковременных вмешательств (< 15 мин).

Противопоказания

Противопоказаний нет, хотя иногда не рекомендуется вводить датчики в некоторые полые органы (например, при стриктурах пищевода — в пищевод).

Методика и осложнения

В условиях операционной температура обычно измеряется термистором или термопарой. Термисторы представляют собой полупроводники, сопротивление которых предсказуемым образом снижается при нагревании. Термопара — это спайка из двух разнородных металлов, последовательно соединенных таким образом, что при нагревании их температура повышается неодинаково и генерируется разность потенциалов. Одноразовые датчики, сконструированные как термопары или термисторы, предназначены для мониторинга температуры барабанной перепонки, прямой кишки, носоглотки, пищевода, мочевого пузыря и кожи.

Осложнения при мониторинге температуры обусловлены травмой при введении датчиков (например, перфорация прямой кишки или барабанной перепонки).

ТАБЛИЦА 6-6, *Характеристика вызванных потенциалов и показания к применению*

Тип вызванного потенциала	Стимул	Метод доставки стимула	Показания к применению
Зрительный Акустический	Световая вспышка	Очки со светодиодами	Удаление опухоли гипофиза
	Щелчки или тоновые посылки	Наушники	Удаление опухоли мосто-мозжечкового угла
Соматосенсорный	Электрический ток	Электроды	Операции на спинном мозге

#### Клинические особенности

Гипотермия, которая определяется как температура тела  $< 36^{\circ}\text{C}$ , — это частое явление при общей анестезии и оперативных вмешательствах. Так как гипотермия снижает метаболические потребности в кислороде, она обеспечивает защиту при ишемии головного мозга или миокарда. Вместе с тем непреднамеренная гипотермия вызывает некоторые вредные физиологические эффекты (табл. 6-7). Периоперационная гипотермия сочетается с увеличением летальности у больных с травмами. Послеоперационная дрожь сопровождается увеличением потребления

кислорода (которое может пятикратно превосходить потребление в покое), снижением насыщения гемоглобина кислородом и коррелирует с возрастанием риска развития ишемии миокарда и стенокардии. Хотя послеоперационная дрожь эффективно устраняется мепериди-ном (25 мг в/в), ее все же целесообразно избегать путем поддержания нормотермии. Риск непреднамеренной гипотермии возрастает у детей и стариков, при вмешательствах на органах брюшной полости, при продолжительных операциях, а также при низкой температуре воздуха в операционной. *Центральная температура* (температура крови в центральных сосудах) обычно снижается на 1 -2 °С в течение первого часа общей анестезии (I фаза), затем в последующие 3-4 ч более постепенное снижение (II фаза), и в конце концов устанавливается постоянная температура, или равновесие (III фаза). Первоначальное значительное снижение температуры возникает из-за перераспределения тепла из теплых центральных отделов (например, брюшная или грудная полость) в более холодные периферические (верхние и нижние конечности) вследствие обусловленной анестетиками вазодилатации, в то время как потери тепла во внешнюю среду незначительны. Вместе с тем продолжающиеся потери тепла во внешнюю среду приводят к последующему медленному снижению температуры. В фазу равновесия потери тепла соответствуют его выработке в ходе метаболизма (рис. 6-33).

#### ТАБЛИЦА 6-7. Вредные эффекты гипотермии

Аритмии	Повышение общего периферического сосудистого сопротивления
Смещение кривой диссоциации оксигемоглобина влево	Обратимая коагулопатия (дисфункция тромбоцитов)
Послеоперационный катаболизм белков и стрессовая реакция	Изменение психического статуса
Нарушение функции почек	Угнетение метаболизма лекарственных средств
Плохое заживление ран (замедление репаративных процессов)	

В норме гипоталамус сохраняет центральную температуру тела в очень узких границах (межпороговый промежуток). Повышение температуры тела на долю градуса стимулирует испарение и вазодилатацию, тогда как снижение температуры вызывает вазоконстрикцию и дрожь. *Во время общей анестезии организм не в состоянии компенсировать гипотермию, так как анестетики*

нарушают функцию гипоталамуса, что подавляет центральную терморегуляцию. Например, изо-флюран вызывает дозозависимое снижение пороговой температуры вазоконстрикции ( $3^{\circ}\text{C}$  на каждый процент концентрации изофлюрана).

Спинальная и эпидуральная анестезия также приводят к гипотермии, вызывая вазодилатацию с последующим внутренним перераспределением тепла (I фаза). Кроме того, при регионарной анестезии происходят потери тепла в окружающую среду в результате изменения восприятия гипоталамусом температуры в заблокированных дерматомах (II фаза). Таким образом, и общая анестезия, и регионарная увеличивают межпороговый промежуток, достигая этого посредством разных механизмов.

Предварительное согревание в течение получаса с помощью согревающего одеяла (форсированная конвекция теплого воздуха) устраняет температурную разницу между центральными и периферическими отделами тела, что предотвращает I фазу гипотермии. Снизить теплотери (II фаза гипотермии) позволяют такие приспособления и методы, как согревающие одеяла с форсированной конвекцией теплого воздуха, одеяла с циркулирующей теплой водой, согревание и увлажнение вдыхаемой смеси, подогревание инфузионных растворов, повышение температуры воздуха в операционной.

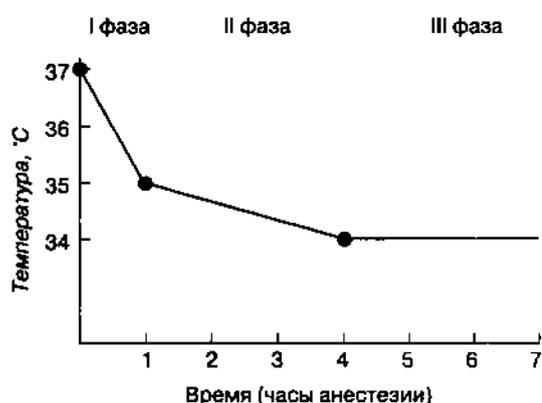


Рис. 6-33. Характерная температурная кривая при непреднамеренной гипотермии во время общей анестезии: резкое снижение температуры в течение первого часа (I фаза — перераспределение), последующее постепенное снижение в течение 3-4 ч (II фаза — потери тепла) и, наконец, стабилизация температуры (III фаза — равновесие)

Приспособления для пассивной изоляции, например подогретые хлопковые одеяла, одеяла с полостью, имеют низкую эффективность, если только не закрыть ими все тело.

Каждый из способов мониторинга обладает преимуществами и недостатками. Температура барабанной перепонки теоретически совпадает с температурой мозга, так как слуховой канал кровоснабжается из наружной сонной артерии. Риск травмы при введении датчика, а также ошибки в показателях, обусловленные изолирующим действием ушной серы, значительно ограничивают клиническое применение тимпанических датчиков. Ректальные датчики медленно реагируют на изменение центральной температуры. Назофа-рингеальные датчики могут вызывать носовое кровотечение, но при условии непосредственного контакта со слизистой оболочкой измеряют центральную температуру с достаточно высокой точностью. Термистор, встроенный в плавающий катетер (катетер Свана-Ганца), также измеряет центральную температуру. Корреляция между подмышечной и центральной температурой варьируется в зависимости от перфузии кожи. Жидкокристаллическая липкая полоска, размещаемая на коже, не является адекватным индикатором центральной температуры во время хирургической операции. В пищеводных температурных датчиках, часто встраиваемых в пищеводный стетоскоп, оптимально сочетаются экономичность, точность и безопасность. Чтобы исключить измерение температуры трахеальных газов, температурный датчик должен быть размещен позади сердца, в нижней трети пищевода. На положение датчика в этой позиции указывает усиление сердечных тонов.

## Диурез

### Показания

Надежный мониторинг диуреза невозможен без катетеризации мочевого пузыря. Показаниями к введению мочевого катетера являются сердечная недостаточность, почечная недостаточность, тяжелое заболевание печени и шок. Мочевой пузырь всегда катетеризируют при операциях на сердце, аорте, сосудах почек, головном мозге, больших вмешательствах на брюшной полости, а также в случаях, когда ожидаются значительные нарушения водного баланса. Продолжительные оперативные вмешательства и

интраоперационное введение диуретиков также служат показаниями к катетеризации мочевого пузыря. Иногда необходимость в катетеризации мочевого пузыря возникает при затруднениях мочеиспускания в палате пробуждения после общей или регионарной анестезии.

### Противопоказания

Следует избегать катетеризации мочевого пузыря при высоком риске его инфицирования.

### Методика и осложнения

Катетеризация обычно выполняется хирургами или медицинскими сестрами. Чтобы избежать травмы, при патологии уретры мочевого пузыря должен катетеризировать уролог. Мягкий резиновый катетер Фолея вводят в мочевой пузырь через уретру и соединяют с калиброванной емкостью для сбора мочи. Во избежание развития мочевого рефлюкса емкость для сбора мочи следует размещать ниже уровня мочевого пузыря. К осложнениям катетеризации относятся травма уретры и инфекция мочевыводящих путей. Острая декомпрессия переполненного мочевого пузыря может вызвать артериальную гипотонию. Надлобковую чрескожную катетеризацию мочевого пузыря пластиковой трубкой, вводимой через толстую иглу, выполняют редко.

### Клинические особенности

Диурез отражает степень перфузии и состояние функции почек. Это своего рода индикатор состояния почек, системы кровообращения, водного баланса и ОЦК. Олигурия определяется как снижение диуреза менее чем на 0,5 мл (кг X ч), но это не совсем корректно, так как в действительности нормальный уровень диуреза зависит еще и от концентрирующей способности почек, а также от осмотической нагрузки. Содержание электролитов в моче, осмоляльность и удельная масса мочи позволяют проводить дифференциальную диагностику олигурии (см. гл. 50).

### Стимуляция периферического нерва Показания

*Поскольку чувствительность к миорелаксантам варьируется, следует проводить мониторинг нервно-мышечной передачи у всех больных, получающих миорелаксанты среднего или длительного действия. Кроме того, стимуляция периферического нерва*

позволяет оценить миорелаксацию при быстрой последовательной индукции, а также при про-

должительной инфузии миорелаксантов короткого действия. Наконец, при регионарной анестезии стимуляция помогает идентифицировать нерв и определить степень сенсорного блока.

### Противопоказания

Противопоказаний к мониторингу нервно-мышечной передачи не существует, хотя в некоторых случаях удобные для размещения электродов места находятся в зоне оперативного вмешательства.

### Методика и осложнения

На кожу в проекции периферического двигательного нерва накладывают пару электродов, после чего подают электрический стимул. Используют либо хлорсеребряные электроды для ЭКГ, либо подкожные иглы. Регистрируется вызванный механический или электрический ответ иннервируемой мышцы. Хотя электромиография обеспечивает быстрое, точное и количественное измерение нервно-мышечной передачи, в клинической практике вполне приемлема визуальная или тактильная оценка мышечного сокращения. Чаще всего стимулируют локтевой нерв (наблюдают сокращение приводящей мышцы большого пальца кисти) или лицевой нерв (наблюдают сокращение круговой мышцы глаза; рис. 6-34). При мониторинге нервно-мышечной передачи следует избегать прямой стимуляции мышцы, располагая электроды по ходу нерва, но не над самой мышцей. Чтобы генерировать супрамакси-мальный импульс, стимулятор периферического нерва должен обеспечить прохождение тока 50 мА через нагрузку в 1000 Ом. У пациентов в сознании ток с такими характеристиками вызывает значительный дискомфорт. Осложнения от стимуляции нервов ограничиваются раздражением кожи и садинами в месте наложения электродов.

### Клинические особенности

Мониторинг нервно-мышечной блокады осуществляют с помощью различных режимов стимуляции периферических нервов (рис. 6-35). Для стимуляции используют электрические импульсы квадратной формы длительностью 200 мкс и одинаковой интенсивности. Одиночный стимул представляет собой одиночный

импульс, подаваемый с частотой от 1 до 0,1 Гц (т. е. от 1 раза в 1 с до 1 раза в 10 с). Углубление нервно-мышечной блокады угнетает вызванный мышечный ответ при подаче одиночного стимула. Серия из четырех импульсов (англ. train of four, сокращенно — TOF) состоит в подаче четырех последовательных импульсов в течение 2 с (частота 2 Гц). По мере угнетения нервно-мышечной проводимости мышечные ответы на стимуляцию в TOF-режиме последовательно затухают. Соотношение мышечных ответов на первый и четвертый импульс серии является чувствительным индикатором действия недеполяризующих миорелаксантов, но в клинических условиях измерить его трудно. В то же время простая визуальная оценка последовательного затухания мышечных ответов значительно удобнее для анестезиолога и коррелирует со степенью нервно-мышечной блокады. Отсутствие четвертого ответа соответствует 75 % нервно-мышечной блокаде, отсутствие третьего — 80 % и отсутствие второго — 90 % (100 % здесь — максимальная нервно-мышечная блокада). Для возникновения клинических признаков миорелаксации необходима 75-95 % нервно-мышечная блокада.

Тетаническая стимуляция. Непрерывная серия импульсов частотой 50-100 Гц, подаваемых в течение 5 с, является чувствительным индикатором нервно-мышечной проводимости. Непрерывное сокращение в течение 5 с указывает на адекватное — но не обязательно полное — прекращение действия миорелаксантов. Стимуляция в режиме двойной вспышки (СРДВ) более комфортна для больного, чем тетаническая стимуляция. СРДВ имеет два варианта: серия из трех коротких (0,2 мс) импульсов с интервалом 20 мс (частота 50 Гц), затем пауза длиной 750 мс, после чего повторяются два (СРДВ<sub>3,2</sub>) или три (СРДВ<sub>3,3</sub>) импульса, аналогичных начальным. Стимуляция в режиме двойной вспышки более чувствительна для клинической (визуальной) оценки затухания, чем стимуляция в TOF-режиме.

Так как чувствительность разных мышечных групп к воздействию миорелаксантов различна, использование стимулятора периферических нервов не может заменить непосредственного наблюдения за состоянием тех мышц (например, диафрагмы), которые должны быть расслаблены во время той или иной операции. Более того, восстановление функции приводящей

мышцы большого пальца кисти и тонуса мышц, поддерживающих проходимость дыхательных путей, совсем не обязательно протекает параллельно. После воздействия миорелаксантов нервно-мышечная проводимость в диафрагме, прямых мышцах живота, приводящих мышцах гортани и круговой мышце глаза восстанавливается быстрее, чем в приводящей мышце большого пальца кисти. К иным признакам восстановления мышечного тонуса относятся способность удерживать голову, усилие вдоха не менее 25 см вод. ст. и возможность крепко сжать руку. Гипотермия исследуемой группы мышц ослабляет силу ответа на стимул (6 % на каждый °C). Стимуляция периферических нервов рассмотрена также в гл. 9.

Случай из практики: мониторинг при магнитно-резонансной томографии (МРТ)

Планируется проведение МРТ у 50-летнего мужчины в связи с недавно возникшими судорожными припадками. Предыдущая попытка МРТ не удалась из-за выраженной клаустрофобии. Перед анестезиологом стоит задача обеспечения внутривенной седации или общей анестезии.

Какие трудности испытывают больной и анестезиолог при проведении МРТ?

МРТ-исследование занимает много времени (более часа) и в большинстве случаев сопровождается полной изоляцией больного от окружающего мира (тело больного полностью находится в туннеле томографа), что влечет за собой риск развития клаустрофобии. Для получения качественного изображения необходима полная неподвижность, достигнуть которой у некоторых больных не удастся без седации или общей анестезии.

При МРТ используется мощный магнит, поэтому ферромагнитные предметы не должны находиться вблизи томографа. К ферромагнитным предметам относят имплантированные протезы суставов, электрокардиостимуляторы, хирургические скобки, батарейки, наркозные аппараты, часы, ручки и кредитные карточки. Обычные металлические кабели, используемые для пульсоксиметрии или ЭКГ, являются своего рода антеннами и притягивают достаточное количество высокочастотной энергии, чтобы исказить МРТ-изображение и даже вызвать ожог у больного. Кроме того,

воздействие магнитного поля томографа вызывает грубые нарушения работы мониторов. Чем мощнее магнит томографа, тем выше риск развития подобных осложнений. Мощность магнитного поля определяется магнитной индукцией, которая измеряется в теслах (1 тесла = 10 000 гаусс). Среди иных сложностей можно указать затрудненный доступ к больному в период исследования (особенно к дыхательным путям), гипотермию у детей, слабую освещенность внутри туннеля томографа и очень интенсивный шум (до 100 децибелов).

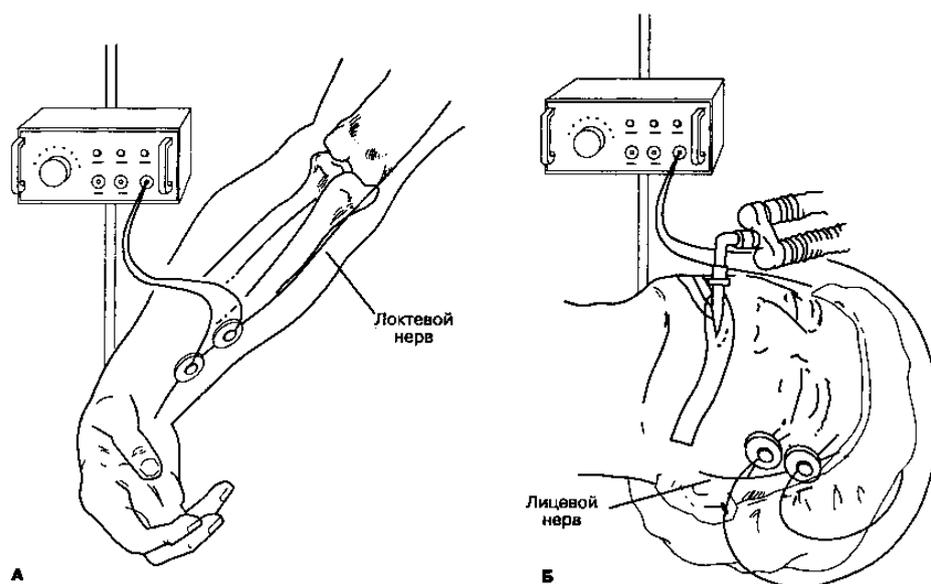


Рис. 6-34. А. Стимуляция локтевого нерва вызывает сокращение приводящей мышцы большого пальца кисти. Б. Стимуляция лицевого нерва вызывает сокращение круговой мышцы глаза. После воздействия миорелаксантов нервно-мышечная проводимость вначале восстанавливается в круговой мышце глаза и только потом в приводящей мышце большого пальца

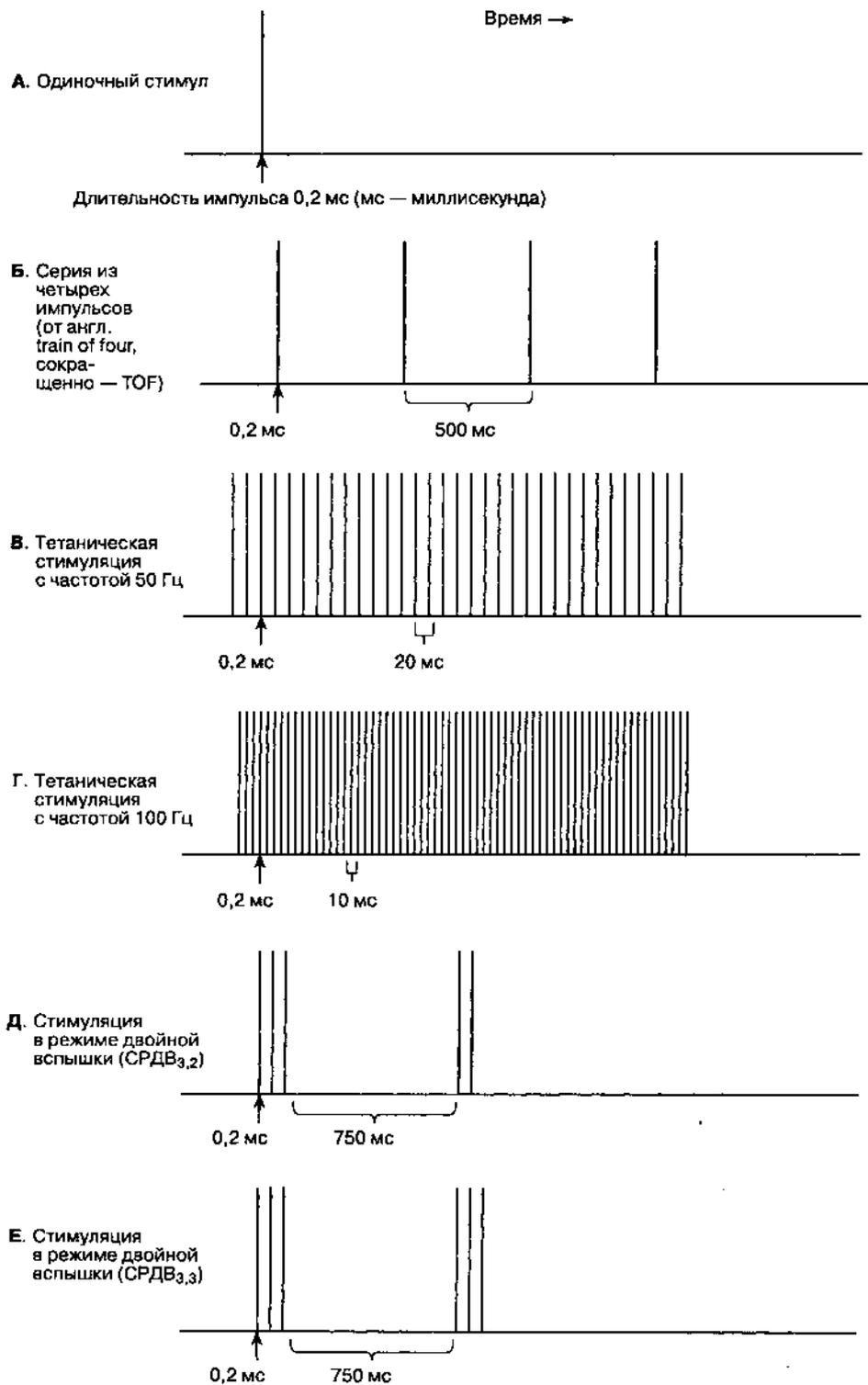


Рис. 6-35. Режимы стимуляции периферических нервов

Стандарты основного интраоперационного мониторинга

(Утверждены на конгрессе Американского общества анестезиологов 21 октября 1986 г., последние поправки внесены 13 октября 1993 г.)

Настоящие стандарты распространяются на все анестезиологические пособия, хотя в неотложных ситуациях приоритетными являются реанимационные мероприятия. Ответственный анестезиолог всегда может дополнить эти стандарты. Стандарты обеспечивают качественное наблюдение за больным, но их соблюдение не гарантирует благоприятного исхода. По мере развития медицины стандарты следует время от времени пересматривать. Данные стандарты применимы для мониторинга при всех методиках общей анестезии, регионарной анестезии и анестезиологического наблюдения. Настоящие стандарты описывают основной интраоперационный мониторинг, который является только одним из компонентов анестезиологического обеспечения. В определенных редких или необычных обстоятельствах (1) могут возникнуть значительные затруднения в проведении некоторых рекомендованных видов мониторинга и (2) рекомендованные методы мониторинга могут оказаться несостоятельными в распознавании осложнений. При проведении периодического<sup>1</sup> мониторинга неизбежны кратковременные перерывы. *Если имеется уважительная причина, ответственный анестезиолог вправе отказаться от тех видов мониторинга, которые помечены звездочкой (\*); это должно быть отмечено в истории болезни с указанием мотивации.* Эти стандарты не распространяются на анестезиологическое обеспечение родов и лечение болевых синдромов.

## СТАНДАРТ I

Квалифицированный анестезиологический персонал должен находиться рядом с больным на протяжении всего времени общей анестезии, регионарной анестезии и анестезиологического мониторинга.

Цель: так как во время анестезии состояние больного быстро меняется, то необходимо постоянное присутствие квалифицированного анестезиологического персонала для проведения мониторинга и обеспечения анестезиологического пособия. В случае явной опасности для персонала (например, радиация), когда можно наблюдать больного только на расстоянии или через определенные промежутки времени, необходимо использовать все доступные меры для обеспечения мониторинга. Если ответственного анестезиолога просят временно покинуть

операционную для оказания помощи при какой-либо неотложной ситуации, то его решение будет зависеть от сравнения экстренности этой ситуации с состоянием больного, и в случае положительного решения он должен назначить лицо, временно ответственное за проведение анестезии.

## СТАНДАРТ II

Во время анестезии необходимо проводить периодический мониторинг оксигенации, вентиляции, кровообращения и температуры тела больного.

## ОКСИГЕНАЦИЯ

Цель: обеспечить адекватную концентрацию кислорода во вдыхаемой смеси и в крови во время анестезии.

### Методы

1. Вдыхаемая газовая смесь: при использовании наркозного аппарата следует измерять концентрацию кислорода в дыхательном контуре с помощью кислородного анализатора, снабженного тревожной сигнализацией, срабатывающей при снижении концентрации кислорода\*.
2. Оксигенация крови: во время анестезии всегда следует применять количественный способ измерения оксигенации, такой как пульсоксиметрия\*. Необходимы адекватное освещение и доступ к больному для оценки цвета кожи.

## ВЕНТИЛЯЦИЯ

Цель: обеспечить адекватную вентиляцию во

время анестезии. Методы

1. При общей анестезии каждому больному необходимо проводить периодический мониторинг вентиляции. Хотя такие клинические признаки, как экскурсия грудной клетки, состояние дыхательного мешка и характер дыхательных шумов, обеспечивают адекватную информацию, рекомендуется использование количественных методик — анализ содержания  $CO_2$  в выдыхаемом воздухе и/или волнометрия.
2. После интубации трахеи правильное положение эндотрахеальной трубки необходимо верифицировать клинически и обнаружением

СО<sub>2</sub> в выдыхаемой смеси\*. Настоятельно рекомендуется проведение анализа концентрации СО<sub>2</sub> в конце выдоха на протяжении всей анестезии.

3. Если проводится принудительная ИВЛ, то тревожная сигнализация разгерметизации постоянно должна находиться в рабочем состоянии. При снижении давления в дыхательном контуре ниже заданного порога тревожная сигнализация должна подавать звуковой сигнал.

4. При регионарной анестезии и анестезиологическом мониторинге необходимо оценивать вентиляцию, как минимум, путем периодической качественной оценки клинических признаков.

## КРОВООБРАЩЕНИЕ

Цель: обеспечить адекватное кровообращение во время анестезии.

### Методы

1. Каждому больному следует проводить постоянный мониторинг ЭКГ от начала ане-

стезии до момента транспортировки из операционной\*.

2. Во время анестезии следует измерять артериальное давление и частоту сердечных сокращений не реже 1 раза в 5 мин\*.

3. Во время общей анестезии нужно применять, помимо вышеперечисленных, какой-либо один из следующих методов периодического мониторинга кровообращения: пальпация пульса, аускультация сердца, ин-вазивный мониторинг артериального давления, доплерографический мониторинг пульса, плетизмография или оксиметрия.

## ТЕМПЕРАТУРА ТЕЛА

Цель: поддержание необходимой температуры тела во время анестезии.

Методы: должны быть доступны средства постоянного мониторинга температуры тела. Если предполагается изменение температуры тела, то ее необходимо измерять.

<sup>1</sup>Отметим, что здесь понятие "периодический" определяется как "повторяющийся регулярно, часто, в постоянной быстрой

последовательности", тогда как "постоянный" означает "проводимый постоянно, без какого-либо перерыва".

Как проводить мониторинг и использовать наркозный аппарат при МРТ?

Производители аппаратуры разработали модели мониторов, адаптированные к условиям проведения МРТ. В них используют неферромагнитные электроды для ЭКГ, графитовые и медные кабели, мощные фильтры сигналов, сверхдлинные трубки (по которым подается воздух) к манжеткам для измерения артериального давления, а также волоконно-оптические приспособления. Применяют не содержащие ферромагнитных компонентов наркозные аппараты, респираторы, а также удлиненные дыхательные контуры Мэйплсона D или реверсивные дыхательные контуры. Примером немагнитного оборудования могут служить алюминиевые газовые баллоны.

Какие факторы влияют на решение вопроса о том, что в данном случае следует предпочесть — общую анестезию или внутривенную седацию?

Хотя при необходимости фармакологической коррекции во время МРТ большинству больных вполне достаточно седации, при черепно-мозговой травме и у детей может понадобиться общая анестезия. Так как существуют технические ограничения на использование мониторов и наркозного аппарата, методом выбора следует считать седацию. Однако нарушение проходимости дыхательных путей при глубокой седации может вызвать катастрофические последствия из-за затрудненного доступа и отсроченной диагностики. Кроме того, следует принимать во внимание обеспечение медицинского персонала мониторами и общее состояние больного.

Каков стандарт обязательного мониторинга при МРТ?

*Уровень мониторинга при МРТ должен быть не меньшим, чем в операционной при аналогичных не-инвазивных вмешательствах. Следует руководствоваться стандартами Американского общества анестезиологов (ASA) для основного интраоперационного мониторинга при общей анестезии у больных без сопутствующей патологии.*

При МРТ невозможно использовать некоторые виды мониторинга, обычно применяемые при внутривенной седации, или же

приходится их модифицировать. Когда больной находится в туннеле томографа, то невозможно оценить адекватность оксигенации по цвету кожи или ногтевого ложе, поэтому пульсоксиметрия приобретает особо важное значение. Постоянная аускультация дыхательных шумов через пластиковый (но не металлический) прекардиальный стетоскоп позволяет выявить обструкцию дыхательных путей при чрезмерно глубокой седации. Так как определение пульса и прослушивание звуков Короткова значительно затруднены, то адекватность кровообращения оценивают с помощью ЭКГ и осциллометрического мониторинга артериального давления. Если проводится внутривенная седация, то аспирационный капнограф можно приспособить для работы на фоне самостоятельного дыхания, подведя линию для забора образцов газовой смеси непосредственно ко рту или к носу больного. Поскольку примешивание к смеси воздуха помещения препятствует точному измерению, такая модификация капнографии является только качественным индикатором вентиляции. Во время проведения седации все оборудование, необходимое для экстренного перехода к общей анестезии (эндотрахеальные трубки, реанимационный дыхательный мешок), должно находиться в рабочем состоянии.

Требуется ли постоянное пребывание анестезиологического персонала рядом с больным во время анестезии присутствия?

Да, однозначно требуется. Термин анестезия присутствия (*standby anesthesia*) ошибочен, его следует заменить термином анестезиологический мониторинг (*monitored anesthesia care*). Во время седации больные нуждаются в непрерывном мониторинге, что позволяет предотвратить развитие многочисленных непредвиденных осложнений (например, апноэ или рвоту).

Избранная литература

Benumof J. L. (eds). *Clinical Procedures in Anesthesia and Intensive Care*. Lippincott, 1992. Известное руководство, включающее описание большинства процедур мониторинга.

Blitt C. D., Hines R. L. (eds). *Monitoring in Anesthesia and Critical Care Medicine*, 3rd ed. Churchill Livingstone, 1995. Представлены все аспекты мониторинга во время анестезии.

Butterworth J. F. *Atlas of Procedures in Anesthesia and Critical Care*. Saunders, 1992. Хорошо иллюстрированный атлас, включающий поэтапное описание катетеризации артерии и вены.

deBruijn N. P., Clements F. M. *Intraoperative Use of Echocardiography*. Lippincott, 1991.

Dorsch J. A., Dorsch S. E. *Understanding Anesthesia Equipment*, 3rd ed. Williams & Wilkins, 1993. Включает прекрасное обсуждение капногра-фов и масс-спектрометров.

Ehrenwerth J., Eisenkraft J. B. (eds). *Anesthesia Equipment: Principles and Applications*. Mosby YearBook, 1993. Доступное изложение устройства оборудования, стандартов его использования и опасностей при эксплуатации.

Lake C. L. (ed.). *Clinical Monitoring for Anesthesia and Critical Care*, 2nd ed. Daunders, 1994. Описаны прикладные аспекты физиологии и физики, необходимые для понимания устройства и работы современных мониторов.

May W. S. et al. *Capnography in the Operating Room*. Raven Press, 1985. 30 капнограмм с комментариями.

Patterson S. K., Chesney J. T. Anesthetic management for magnetic resonance imaging: problems and solutions. *Anesth. Analg.*, 1992. 74: 121.

Peden C. J. et al. Magnetic resonance for the anaesthetist. Part II: Anaesthesia and monitoring in MR units. *Anaesthesia*, 1992. 47: 508. В этой и предыдущей статьях изложены стратегии мониторинга при МРТ.

Practice guidelines for pulmonary artery catheterization: A report by the American Society of Anesthesiologist task force on pulmonary artery catheterization. *Anesthesiology*, 1993. 78: 380.

Royston D., Feely T. W. (eds). *Monitoring in Anesthesiology: Current Standarts and Newer Techniques*. *Int. Anesthesiol. Clin.* (№ 3), Little Brown, 1993.

Scurr C., Feldman S. *Scientific Foundations of Anaesthesia*, 4th ed. Heinemann, 1990. Представлены физические принципы, лежащие в основе разработки многих анестезиологических мониторов, включая датчик-преобразователь, доп-плер и термистор.

Sessler D. I. *Temperature regulation and anesthesia. Chapter 7.* In: *ASA Refresher Courses in Anesthesiology, Volume 21.* Barash P. G. (ed.). Lippincott, 1993.

Tremper K. K., Barker S. J. *Pulse oxymetry.* *Anesthesiology*, 1989. 70: 98. Клиническое применение и ограничения.