

## Лекция 2

### Тема 2 Методы функциональной диагностики

1. Электроэнцефалография
2. Электромиография
3. Сфигмография
4. Плетизмография
5. Реография
6. Фотоплетизмография
7. Методы измерений давления крови.

#### 1. Электроэнцефалография

Электроэнцефалография (ЭЭГ) — метод исследования головного мозга, основанный на регистрации биоэлектрических потенциалов отдельных зон, областей, долей мозга. Метод применяется в современной нейрофизиологии, а также в неврологии и психиатрии.

Источниками разности потенциалов являются скопления нервных клеток с их многочисленными отростками, организованные в сложные взаимосвязанные системы.

Электрические процессы, происходящие в клетках головного мозга, начали изучать еще с середины 19 века. Первая запись ЭЭГ человека получена немецким психиатром Хансом Бергером в 1924 году. Он же предложил запись биотоков мозга называть «электроэнцефалограммой».

В электроэнцефалограмме здорового бодрствующего человека обычно выделяют характерные составляющие электрических колебаний, различающихся по амплитуде и частоте, называемыми **ритмами**.

Основные ритмы бодрствующего человека:

**альфа-ритм** — частота 8—14 Гц; амплитуда 50—100 мкВ; присутствует у большинства здоровых людей — более 90 %. Самые высокие показатели амплитуды наблюдаются в состоянии покоя обследуемого, находящегося в темной комнате с закрытыми глазами. Лучше всего определяется в затылочной области. Фрагментарно блокируется или совсем затихает при мыслительной деятельности или зрительном внимании.

**бета-ритм** — частота 14—30 Гц; амплитуда 10—25 мкВ; основные перемены наблюдаются при активном состоянии обследуемого. Ярко выраженные колебания можно диагностировать в лобных долях при обязательном условии наличия активной деятельности, например, психическое или эмоциональное возбуждение и другие. Амплитуда бета-колебаний гораздо меньше альфа.

**гамма-ритм** — частота 120—180 Гц, амплитуда - менее 10 мкВ. Превышение границы 15 мкВ считается патологией, обуславливающей снижение интеллектуальных способностей. Ритм определяется при решении задач и ситуаций, требующих повышенного внимания и концентрации.

**Тета-ритм.** Отвечает за качественное усвоение информации и лежит в основе самообучения.

#### Ритмы в состоянии сна

**Дельта-ритм.** Характерен для фазы глубокого сна и для коматозных больных.

**Сигма-ритм.** Характерен для фазы сна на начальной его стадии.

В последнее время электроэнцефалографии часто противопоставляются новые, высокотехнологичные методы для отображения мозговой активности, типа позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) или функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ). Эти методы обеспечивают детализированное изображение структур мозга.

Однако метод ЭЭГ имеет очень важное преимущество перед ПЭТ и фМРТ: он может показать один из основных параметров работы нервной системы – *свойство ритмичности*, которое отражает *согласованность работы разных структур мозга*. ЭЭГ фиксирует первичные изменения – *электрические процессы в нервных клетках*, в то время как методы ПЭТ и фМРТ фиксируют вторичные *метаболические изменения в ткани мозга*.

ЭЭГ-исследования проводят с помощью электродов, которые контактируют либо с поверхностью тканей, покрывающих мозг (кость, кожа, мышцы и пр.), либо непосредственно с поверхностью мозга, или их вводят в глубинные отделы головного мозга.

Здесь, как и в электрокардиографии, применяют монополярные и биполярные отведения. Монополярные отведения (I, II, III и т. д.), формируются между исследуемой точкой мозга и референтной точкой, которой служит мочка уха, реже — переносица. Нейтральная точка может быть сформирована также с помощью дополнительных сопротивлений.

Биполярные отведения (I, II и т. д.) формируются между двумя точками мозга. Такие отведения обеспечивают большую точность локализации очагов поражений мозга.

Электроды располагаются на поверхности головы в определенном порядке. Например, по системе «10-20» на поверхность головы накладывают 21 электрод.

В соответствии с этой системой у каждого испытуемого точно измеряют расстояние между серединой переносицы и твердым костным бугорком на затылке, а также между левой и правой ушными ямками. Возможные точки расположения электродов разделены интервалами, составляющими 10% или 20% этих расстояний на черепе. При этом весь череп разбит на области, обозначенные буквами: F — лобная, O — затылочная область, P — теменная, T — височная, C — область центральной борозды. Нечетные номера мест отведения относятся к левому, а четные — к правому полушарию. Буквой Z — обозначается отведение от верхушки черепа. Это место называется вертексом. Электроды, расположенные в левом полушарии, принято обозначать нечетными цифрами, а в правом полушарии — четными.

Для удобства измерений разработаны специальные шлемы с гнездами, куда вставляются электроды.

Прибор, с помощью которого измеряют и регистрируют разность потенциалов между двумя точками головного мозга называется **электроэнцефалограф**.

Современные приборы представляют собой многоканальные (до 24 и более) регистрирующие устройства, которые позволяют одновременно регистрировать электрическую активность от соответствующего числа электродов, установленных на голове обследуемого. Сами же электроды представляют собой небольшие металлические пластины или стержни. По способу регистрации данных электроэнцефалографы подразделяются на аналоговые, или бумажные (перьевые), где данные записываются на бумажную ленту, и более современные – цифровые, где полученные данные отображаются на мониторе компьютера и обрабатываются с помощью специальных программ.

Электроды осуществляют контакт с поверхностью кожи головы испытуемого, помещенного в темную и звукоизолированную камеру. С помощью соединительных проводов они подключаются к электродной распределительной коробке с пронумерованными гнездами. Отсюда с помощью гибкого изолированного многожильного провода электроды соединяются с коммутационным устройством, служащим для переключения электродов на разные каналы и входы усилителей. Входные усилители обеспечивают предварительное усиление поступающего с электродов сигнала. Промежуточные каскады доводят коэффициент усиления до нужной величины. Конечные каскады усиления обеспечивают достаточную мощность усиленных колебаний биопотенциалов с тем, чтобы они могли привести в действие записывающую систему регистрирующего устройства.

Современные портативные модели электроэнцефалографов записывают сигнал с помощью беспроводной конструкции, дополненной системой видеомониторинга, что делает тестирование более комфортным для пациента. Для получения более полной картины функционирования мозга - в процессе обследования производят дополнительную стимуляцию светом или звуком.

## **2. Электромиография**

Электромиография представляет собой метод исследования мышечной системы путем регистрации электрических потенциалов мышц. С мышцы, находящейся в состоянии максимально возможного расслабления, то есть в режиме покоя, биоэлектрическая активность в норме не регистрируется. При слабом мышечном сокращении появляются осцилляции с амплитудой 100–150 мкВ. При максимальном произвольном мышечном сокращении амплитуда колебаний индивидуальна, как и сила людей, различающихся по возрасту и физическому здоровью, и может достигать в норме 1-3 мВ.

Различают следующие основные виды ЭМГ:

*1. Поверхностная* - неинвазивный метод, при котором электроды устанавливаются на всей поверхности рук, ног, шеи, других частей тела в

зависимости от области поражения. Метод не вызывает болезненных ощущений, помогает оценить состояние большой площади мышечной ткани, однако чувствительность метода невысокая.

2. *Игольчатая* (локальная) электромиография. Используется для более точного исследования. С этой целью в мышцу вводится игольчатый электрод. При этом возникает незначительная болезненность, которая в скором времени проходит. Игольчатая электромиография относится к инвазивному методу исследования.

3. *Стимуляционная* электромиография является неинвазивным исследованием, проводится при искусственной стимуляции нерва слабым электрическим током. Это позволяет исследовать нервно-мышечную передачу, рефлекторную деятельность, определить скорость проведения возбуждения по нерву. Стимуляционную миографию чаще проводят на нижних и верхних конечностях с целью исследования слабости, утомляемости, онемения, снижения чувствительности мышц.

Кривая записи электрической активности мышц называется электромиограммой (ЭМГ).

Прибор, с помощью которого осуществляют электромиографические исследования, называется *электромиографом*.

Электроды обеспечивают снятие биопотенциалов с диагностируемого органа, блок усиления усиливает получаемые сигналы до уровней, удобных для обработки их в блоке обработки. Блок обработки обычно содержит в себе АЦП высокого разрешения и высокочастотный микроконтроллер, который обеспечивает обработку информации и управляющий интерфейс.

Блок стимуляции используется как дополнительная опция для проведения стимуляционной миографии.

### **3. Сфигмография**

Сфигмография — это методика графической регистрации артериального пульса, точнее пульсовой волны (*сфигмо - пульсация, пульс*). Пульс – это периодические колебания объема сосудов, связанные с динамикой их кровенаполнения и давления в них в течение одного сердечного цикла.

Пульсовая волна, или *волна повышения давления*, возникает в аорте в момент изгнания крови из левого желудочка сердца в период систолы. В момент систолы объем и диаметр аорты увеличиваются, во время диастолы - восстанавливаются до исходных размеров. Колебания давления, волнообразно повторяясь и постепенно ослабевая, захватывают все новые и новые участки артерий, пока не достигают артериол и капилляров, где пульсовая волна гаснет.

Скорость кровотока также имеет пульсирующий характер: наблюдается ускорение кровотока во время систолы и замедление во время диастолы.

Французский физиолог и изобретатель Этьен-Жюль Марс в 1860 году сконструировали *сфигмограф*, являющийся прямым предшественником современного *сфигмометра* - прибора, измеряющего колебания кровяного давления в артериях.

**Сфигмограф Маре.** Принцип работы: регистрация колебаний пульса лучевой артерии осуществляются на движущейся бумажной ленте при помощи рычага. Колебания передаются на рычаг через пелотный датчик (m), который накладывается на пульсирующую артерию и закрепляется винтом (H). В передней части устройства располагается штифт (S) с винтовой поверхностью. При его движении вверх-вниз происходит зацепление с зубчатым колесом, посаженным на ось (P). Далее данное колесо двигает полоску закопченной бумаги, на которой и рисуется сфигмограмма. Все это фиксируется на руке при помощи шин.

Аппараты такого принципа конструкции применяются и в настоящее время.

**Методики сфигмографии.** Существует две разновидности методики записи пульсовых кривых, которые называются прямой и объемной сфигмографией.

*Прямая, или обычная, сфигмография* характеризует степень деформации сосудистой стенки на данном ограниченном участке артериального сосуда. Ее осуществляют с помощью пелотных датчиков, которые накладывают на определенные места, где хорошо прощупывается пульс.

*Объемная сфигмография* регистрирует объемные изменения исследуемого участка тела, вызванные прохождением пульсовой волны по его артериям с помощью накладываемой пневматической манжеты с компрессионным давлением 40 мм рт. ст. на исследуемый сегмент конечности, т. е. на плечо, предплечье, кисть, бедро, верхнюю и нижнюю треть голени, стопу с обеих сторон. Обычно синхронно записывается ЭКГ

**Сфигмограмма (СФГ)** — результат сфигмографии в виде пульсовой кривой, по которой определяют свойства пульса и диагностику состояния сердечно-сосудистой системы.

Различают СФГ центрального и периферического артериального пульса. Центральный пульс – это пульс аорты и крупных артерий (сонной и подключичной). Периферический пульс - пульс периферических артерий (лучевой, бедренной, артерий стопы и др.). Формы соответствующих кривых несколько различаются.

Кривая центрального артериального пульса начинается небольшой *пресистолической волной 1*, связанная с изометрическим сокращением левого желудочка.

Затем следует быстрый крутой подъем - *анакрота* - главной волны 2, которая возникает вследствие увеличения давления в артерии во время систолы и вызванного этим растяжения, которому подвергаются стенки артерий под влиянием крови выброшенной сердцем в начале фазы изгнания. В конце систолы желудочка при падении давления возникает спад волны - *катакрота* 3. Когда желудочек начинает расслабляться и давление в его полости становится ниже, чем в аорте, кровь, выброшенная в артериальную систему, устремляется назад к желудочку, давление в артериях резко падает и на пульсовой кривой появляется глубокая выемка 4 - *инцизура*. Она отражает

движение крови обратно к сердцу, которому препятствуют закрывающиеся полулунные клапаны. Волна крови отражается от клапанов и создает вторичную волну повышения давления - *дикротический подъем* 5. Это диастолическая часть кривой, которая отражает равномерный отток крови на периферию.

Характер пульсовой волны зависит от эластичности сосудистой стенки, частоты пульса, объема исследуемого участка ткани, ширины просвета сосудов. Считается, что частота и продолжительность пульсовой волны зависят от особенностей работы сердца, а величина и форма ее пиков – от состояния сосудистой стенки.

При оценке формы артериальной СГ придают значение крутизне нарастания анакроты, характеру перехода ее в катакроту, наличию и расположению дополнительных зубцов, выраженности дикротической волны. При крутом подъеме и спаде пульс быстрый, при пологом - медленный.

СФГ периферического пульса состоит из двух волн — основной 1 и дикротической 2. Подъем основной волны плавно переходит в вершину, от которой кривая понижается и образует слегка вогнутое плато, к которому примыкает дикротическая волна. На СФГ артерий стопы дикротическая волна обычно выражена более отчетливо.

Скорость распространения пульсовой волны зависит от растяжимости сосудистой стенки и отношения толщины стенки к радиусу сосуда, поэтому данный показатель используют для характеристики упруго-эластических свойств и тонуса сосудистой стенки.

#### **4. Плетизмография**

*Плетизмография* - метод исследования кровенаполнения части тела, основанный на графической регистрации изменения ее объема или других сопутствующих явлений. В связи с этим различают плетизмографию механическую, импедансную и фотоплетизмографию.

Метод плетизмографии используется главным образом для оценки сосудистого тонуса.

**Плетизмография механическая** - плетизмография, осуществляемая с помощью гидравлической и пневматической системы передачи изменений объема органа на регистрирующее устройство.

*Плетизмограф механический* представляет собой герметично закрытую камеру, в которую помещают исследуемый объект (тело организма в целом, рука, нога, палец). Камера заполняется подходящей средой, например, воздухом для целого организма, водой для частей тела.

Среда камеры при необходимости постоянно автоматически обновляется. При изменении кровенаполнения конечности изменяется и ее объем, что вызывает увеличение или уменьшение давления в сосуде, в который помещена конечность. Эти изменения давления регистрируются манометром и записываются в виде кривой - *плетизмограммы*.

Механические плетизмографы, использующие для передачи артериальных колебаний водную среду, в настоящее время практически не используются, поскольку они очень громоздки и недостаточно точные. Чаще используются *пневмомеханические плетизмографы* (заполненные воздухом).

Одной из разновидностей механической плетизмографии является *окклюзионная плетизмография*, представляющая собой метод регистрации прироста объема части тела после создания его венозной окклюзии, нарушающей венозный отток из органа. Метод применяют для оценки тонуса вен, а также для измерения объемной скорости кровотока.

Принцип метода: исследуемая часть тела (чаще всего палец) герметизируется в специально подобранном сосуде – рецепторе. Среда, окружающая эту часть тела (воздух или вода) и передающая изменения объема органа через систему датчиков и усиления, связана с регистрирующим устройством. На плечо, накладывают компрессионную манжету. Вначале регистрируют исходную плетизмограмму, на которой видны колебания объема, связанные с пульсовым кровенаполнением органа. После этого в манжете создают давление 20 мм рт. ст. и вновь записывают плетизмограмму.

В первые секунды, когда отток крови прекращается, на плетизмограмме отмечается быстрый прирост объема за счет растяжения вен притоком крови, причем некоторое время этот прирост, например, до высоты  $H$ , имеет линейный характер, полностью соответствуя величине артериального притока за единицу времени. Скорость прироста объема во время окклюзии отражает *объемную скорость кровотока* в органе. Ее определяют, вычисляя прирост объема  $H$  за время  $t$ :

$$Q = H/t.$$

По мере растяжения вен давление в них и сопротивление притоку крови возрастают, что на ПГ отражается уменьшением угла наклона кривой. Когда давление в сосудах превысит давление окклюзии, отток крови восстанавливается, и при достижении его равенства с притоком кривая приобретает горизонтальное направление (образуется «плато») на некоторой высоте  $h$ , соответствующей полному окклюзионному приросту объема вен, величина которого при одинаковом давлении окклюзии зависит от растяжимости вен, т.е. в основном от их тонуса. Снятие окклюзии (сброс давления из компрессионной манжеты) сопровождается спадом кривой до исходного уровня, причем крутизна спада характеризует скорость эвакуации крови или скорость дренирования вен, что зависит от их проходимости.

**Плетизмограмма.** Естественные колебания кровенаполнения отражаются на плетизмограмме *тремя порядками волн*.

Основными являются волны первого порядка, или *объемный пульс*. Волны 1-го порядка синхронизированы с сокращениями сердца, т.е. они соответствуют динамике кровенаполнения за каждый сердечный цикл и по форме напоминают волны сфигмограммы. Волны первого порядка называют пульсовыми волнами. Они выражают то, что при каждом сокращении сердца объем органа — руки, ноги и т. д. — увеличивается вследствие прилива новой порции крови, выбрасываемой сердцем в органы тела;

Волны второго порядка имеют период дыхательных волн ( $a$ ), т.е. они синхронизированы с ритмом дыхания человека, поэтому их называют *дыхательными волнами*. При начале каждого вдоха кровь устремляется из вен к сердцу, а при начале выдоха, — наоборот — кровь несколько задерживается в венах; поэтому при вдохе получается падение, а при выдохе, наоборот, повышение объема органов; так как на каждое дыхательное движение приходится около 4 сердцебиений, то дыхательные колебания объема органов реже пульсовых. В норме амплитуда волн второго порядка меньше амплитуды объемного пульса.

Волнами третьего порядка называют все регистрируемые колебания с периодом, большим, чем период дыхательных волн, происходящих от периодического сокращения и расширения сосудов, зависящих от их собственной сосудодвигательной иннервации.

На форме волн третьего порядка отражается связь различных сосудистых реакций с функциями высшей нервной деятельности, а также наличие и характер реакций на различные раздражители (звук, свет, боль).

Развитие плетизмографических методов регистрации изменений кровенаполнения тканей привело к созданию методов исследования, основанных не на динамике их объема, а на других сопутствующих изменениях, например, их электрического импеданса (*импедансная плетизмография*, или *реография*), а также их оптических свойств (*оптическая плетизмография* или *фотоплетизмография*).

## 5. Реография

Реография («рео» - «поток, течение») — метод исследования функции сердца и кровоснабжения органов путем регистрации колебаний *импеданса*, т.е. полного сопротивления переменному току высокой частоты. Эти колебания связаны с изменениями кровенаполнения исследуемых участков тела. Величина этого сопротивления зависит от электропроводности тканей, площади электродов, расстояния между ними, частоты переменного тока.

Электрический плетизмограф помогает производить оценку наполняемости сосудов на большой изучаемой площади.

Для получения реограммы через тело пациента пропускают переменный ток частотой 50-100кГц, малой силы (не более 10 мкА), создаваемый специальным генератором.

Сущность метода заключается в следующем. Полное сопротивление переменному току для живых тканей имеет две составляющие: *активное* (омическое)  $R$  и *реактивное* (емкостное)  $X_C$ , суммарное значение которых называется *импедансом*  $Z$ :

$$Z = R + X_C, \text{ где } X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

где  $f$  – частота зондирующего тока.

Активное (омическое) сопротивление в основном определяется *ионной* проводимостью. Емкостное сопротивление обусловлено *объемной* и

*поверхностной поляризацией*, т.е. образованием в момент прохождения тока двойного электрического слоя на поверхностях границ различных тканевых структур и клеточных мембран.

Увеличение частоты переменного тока приводит к снижению величины емкостной составляющей, т.е. уменьшаются явления поляризации, мешающие реографическим исследованиям. В результате величина импеданса будет определяться только омическим сопротивлением, зависящим от ионной проводимости.

Поскольку кровь обладает более высокой электропроводностью, чем другие биологические ткани, то в момент систолического подъёма пульсовой волны электрическое сопротивление тканей уменьшается, а в период диастолического спуска - увеличивается. Возникающие по закону Ома перемены импеданса вызывают изменения тока в цепи. Усиленные и графически зарегистрированные, эти изменения образуют кривую, называемую *реограммой*.

Первая часть обусловлена *притоком крови* (во время сокращения сердца), вторая часть связана с *венозным оттоком* (во время расслабления сердца).

Одновременно с получением основной реограммы часто регистрируется и первая производная или *дифференциальная реограмма*. Она позволяет судить о сократительной функции миокарда и сосудистом тоне по изменению скорости кровенаполнения сосудов в разные фазы систолы. Для лучшего сопоставления данных реограммы с фазами сердечного цикла одновременно записывают ЭКГ (II отведение) и нередко фонокардиограмму.

Запись реограммы производится контактным путем с помощью электродов, накладываемых на определенный участок тела, соединенных с прибором – **реографом**.

В зависимости от расположения электродов на пациенте различают следующие виды реографии:

*Реография аорты и легочной артерии*

*Реопульмонография* - метод исследования легочного кровообращения и легочной вентиляции.

*Реоэнцефалография* -- метод исследования сосудов головного мозга

*Реовазография* — метод исследования кровообращения в конечностях.

*Реокардиография* - метод исследования кровенаполнения сердца и крупных сосудов в течение сердечного цикла.

*Реогепатография* - метод исследования кровотока печени

*Реоофтальмография* - метод исследования кровообращения в сосудистой оболочке глаза

## **6. Фотоплетизмография**

Метод фотоплетизмографии (или *оптическая плетизмография*) основан на методе фотометрии. В основу фотометрических методов положена способность биологической ткани изменять степень поглощения или

отражения светового потока, проходящего сквозь нее. В соответствии с законом Бугера-Ламберта-Бера поглощение света в объекте с однородными оптическими свойствами зависит от толщины слоя, через который это излучение проходит:

$$I = I_0 \cdot e^{-a\lambda l}$$

где:  $I$  – интенсивность светового потока, прошедшего через ткань,  
 $I_0$  – интенсивность светового потока, падающего на ткань,  $a\lambda$  – коэффициент светопоглощения, зависящий от длины волны излучения и оптических свойств ткани,  $l$  – толщина ткани, поглощающей свет.

Если световой поток пропускать через биологическую ткань, содержащую артериальные сосуды и оценивать значение светового потока, прошедшего через нее, то поглощение светового излучения или абсорбция будет зависеть от толщины биоткани, ее внутренней структуры, размеров кровеносных сосудов и спектрального состава источника света.

В классической фотоплетизмографии частей тела человека используют ближнее инфракрасное излучение, которое меньше всего поглощается биологическими тканями и кровью. Поэтому после прохождения сквозь ткань интенсивность такого света зависит в основном от его рассеяния тканью, которое изменяется при пульсовых изменениях объема.

Принцип метода: исследуемый участок ткани просвечивается инфракрасным светом, который после рассеивания (или отражения, в зависимости от положения оптопары), попадает на фотопреобразователь. Интенсивность света, отраженного или рассеянного исследуемым участком ткани (органа), определяется количеством содержащейся в нем крови.

Фотоплетизмографические датчики закрепляются на кончике пальца руки или ноги, мочке уха пациентов, у детей – на стопе в области большого пальца или на ладони. Это позволяет получить максимум информации о микроциркуляторном русле из-за интенсивного капиллярного кровотока в области кончиков пальцев. К тому же использовать дистальную фалангу пальца удобно как врачу, так и пациенту.

Форма фотоплетизмограммы та же, что и в методе механической плетизмографии, т.е. имеет три порядка волн.

В клинической практике фотоплетизмография чаще всего применяется для наблюдения пульсовых волн - изменений объема участка тела, обусловленных толчковыми притоками крови в фазе систолы (сокращения мышц сердца и повышения артериального давления).

## **7. Методы измерения давления крови**

### **7.1 Характеристики артериального давления крови**

**Кровяное давление** – гидродинамическое давление крови в сосудах, обусловленное работой сердца и сопротивлением стенок сосудов.

Различают внутрисердечное,  
артериальное,  
капиллярное

и венозное кровяное давление.

Единицы измерения:

миллиметры водяного столба (в венах), обозначения: русское - *мм вод. ст.*, международное - *mm H<sub>2</sub>O*.

либо миллиметры ртутного столба (в других сосудах и в сердце) - *мм рт. ст.*

Соотношение следующее:  $1 \text{ мм вод. ст.} = 7,3556 \cdot 10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$

Наиболее распространено измерение *артериального давления* (АД) в большом круге кровообращения.

В специализированных отделениях измеряют кровяное давление в полостях сердца, аорте, в легочном стволе, иногда в сосудах портальной системы (системы кровоснабжения брюшных органов).

В условиях стационара при необходимости измеряют давление в венах - локтевой или других периферических. Для оценки некоторых важных параметров системной гемодинамики измеряют центральное венозное давление — давление в верхней и нижней полых венах.

Различие в единицах измерения связано с тем, что давление крови в венах намного меньше, чем в сердце и артериях:

При сокращении сердечной мышцы давление крови в левом желудочке доходит до 140 – 150 мм. рт. ст. Под таким давлением кровь поступает в аорту.

В аорте давление её уже несколько ниже – 130-140 мм. рт. ст. И чем дальше движется кровь, тем ниже и ниже становится давление.

В артериях оно составляет 120 - 130 мм. рт. ст.

особенно резко оно падает в мелких артериях и артериолах – до 60- 70 мм. рт ст.,

а в капиллярах – до 30- 40 мм.

В мелких венах давление крови 10-20 мм рт ст,

а в крупных венах оно становится отрицательным, то есть ниже атмосферного давления почти на 5 мм. рт. ст.

*Уровень АД* является одним из основных показателей гемодинамики, отражающей кровоснабжение жизненно важных органов. В артериях, как и в сердце, кровяное давление *значительно колеблется* в зависимости от фазы сердечного цикла.

В начале систолы, т.е в период сокращения сердечных мышц, во время которого кровь выталкивается в легочную артерию и аорту, давление быстро повышается.

Затем в период диастолы, когда происходит расширение полостей сердца, давление плавно уменьшается, но оставаясь достаточно высоким до следующей систолы.

Характеристики артериального давления крови:

Пик давления, (максимум) регистрируемый во время систолы, называют систолическим артериальным давлением (Pc), т. е. давление в момент максимального подъема пульсовой волны.

минимальное значение давления во время покоя сердца — диастолическим (Pd)., когда имеет место спад пульсовой волны.

Разницу между систолическим и диастолическим давлением называют пульсовым давлением (Рп).

Среднее артериальное давление (Рср.) — это давление, вычисленное путём интегрирования во времени кривой пульсового колебания давления. Для центральных артерий его ориентировочно вычисляют по формуле:

$$P_{\text{ср.}} = P_{\text{д.}} + 1/3 P_{\text{п.}}$$

## 7.2 Методы прямых измерений давления крови.

Измерение давления в полостях сердца и центральных сосудах возможно только прямым методом. Измеряемыми величинами являются мгновенное давление в полостях, среднее давление и другие показатели, которые определяются с помощью регистрирующих или показывающих манометров.

Инвазивный метод измерения АД впервые применил английский естествоиспытатель Стивен Гейлз в 1731 г. Он измерил артериальное давление у лошади, введя стеклянную трубку прямо в артерию. Столбик крови в трубке поднялся ровно на восемь футов и три дюйма (это примерно 2,5 м) выше уровня левого желудочка сердца лошади.

Само собой разумеется, что методика измерения артериального давления, предложенная Стивеном Гейлзом, не могла быть использована в медицинской практике и вызвала только научный интерес. Должно было пройти около 100 лет, чтобы эксперимент нашел применение в практической медицине.

Жан Л.М. Пуазейль (Jean L. Poiseuille, 1799-1869) в 1828 г. впервые применил ртутный манометр для прямого измерения давления крови в артерии животного.

В настоящее время прямая манометрия осуществляется следующим образом.

Непосредственно в сосуд или полость сердца вводят катетер, заполненный изотоническим раствором и передающий давление на внешний измерительный прибор либо зонд с измерительным преобразователем на вводимом конце.

Прямое измерение кровяного давления осуществляется практически в любых участках сердечно-сосудистой системы и служит базовым методом для проверки результатов непрямых измерений кровяного давления. В настоящее время прямая манометрия компьютеризирована и автоматизирована.

Прямое измерение артериального давления у человека проводится в тех случаях, когда необходимо постоянное и длительное наблюдение за уровнем кровяного давления с целью своевременного обнаружения его опасных изменений (в блоках реанимации, во время некоторых хирургических операций).

Измерение *венозного* давления также осуществляют прямым методом. Прибор для измерения венозного кровяного давления состоит из сообщающихся между собой системы капельного внутривенного вливания

жидкости, манометрической трубки и резинового шланга с инъекционной иглой на конце. Из системы капельного вливания постоянно поступает жидкость в измерительную магистраль и из нее в вену. Применяют также электронные манометры.

**Достоинства прямых методов:** возможность одновременного отбора через катетер проб крови для биохимических анализов и введения в кровеносное русло необходимых лекарственных средств и индикаторов.

**Основным недостатком** прямых измерений является необходимость проведения в кровяное русло элементов измерительного устройства, что по сути является хирургической операцией и выполняется только в условиях стационара.

### **7.3 Косвенные (неинвазивные) методы измерения давления крови.**

Наиболее распространенными являются следующие методы:

пальпаторный (метод Рива-Роччи),

аускультативный (по Короткову)

и осциллометрический методы.

Все три метода относятся к компрессионным, т.к. они основаны на принципе уравнивания давления внутри сосуда известным внешним давлением.

#### **Пальпаторный метод**

В 1896 г. итальянский исследователь Рива-Роччи предложил метод неинвазивного измерения артериального давления с помощью ртутного сфигмоманометра. Метод Рива-Роччи был предельно прост. В велосипедную шину, опоясывающую верхнюю треть плеча и соединенную с ртутным манометром, резиновой грушей, нагнетался воздух до прекращения пульса. Затем из шины давление постепенно стравливалось. Первые появления пульсации соответствовали *систолическому давлению*.

**Аускультативный метод** разработан русским хирургом Н.С.Коротковым в 1905 году. Для измерения давления предусмотрен очень простой прибор, состоящий из манометра, манжеты с грушей и фонендоскопа. Метод основан на полном пережатии манжетой плечевой артерии и выслушивании тонов, возникающих при медленном выпуске воздуха из манжеты.

В манжете создается кровяное давление выше предполагаемого систолического (верхнего) и при медленном (1-5 мм ртутного столба в секунду) выпуске воздуха из манжеты регистрируются показатели артериального давления крови в момент появления и исчезновения тонов Короткова. Показатели на манометре при появлении тонов означают *верхнее (систолическое)* кровяное давление, при исчезновении - *нижнее (диастолическое)*.

К преимуществам метода относится тот факт, что метод Короткова признан официальным эталоном неинвазивного измерения артериального

давления для диагностических целей и при проведении верификации автоматических измерителей артериального давления. Также для метода Короткова характерна высокая устойчивость к движениям руки.

К недостаткам метода Короткова можно отнести зависимость от индивидуальных особенностей человека, производящего измерение (хорошее зрение, слух, координация системы "руки-зрение-слух"). Метод Короткова чувствителен к шумам в помещении, точности расположения головки фонендоскопа относительно артерии. Для измерения давления по методу Короткова требуется непосредственный контакт манжеты и головки фонендоскопа с кожей пациента.

### **Осциллометрический метод**

При измерении давления осциллометрическим методом используются электронные приборы. Этот метод основан на регистрации пульсаций давления воздуха, возникающих в приборе при прохождении крови через сдавленный участок артерии.

Снижение давления в окклюзионной манжете осуществляется ступенчато, причем скорость и величина стравливания определяется алгоритмом прибора. На каждой ступени анализируется амплитуда пульсаций давления в манжете.

Наиболее резкое увеличение амплитуды пульсаций соответствует систолическому АД, максимальные пульсации – среднему давлению, резкое ослабление пульсаций – диастолическому АД.

К преимуществам метода можно отнести то, что этот метод не зависит от индивидуальных особенностей человека, производящего измерения.

**Аппаратура.** *Тонометр (сфигмоманометр)* - это прибор для неинвазивного измерения артериального давления.

### **Ртутные тонометры**

Ртутные тонометры или сфигмоманометры используются сейчас крайне редко. Они не идеальны с точки зрения экологической безопасности производства и применения.

### **Механические (анероидные) тонометры**

Анероидные тонометры полностью безопасны, они состоят из манжеты на плечо, фонендоскопа и груши для нагнетания воздуха.

Регуляторы сброса давления и плавного стравливания воздуха обычно представляют собой клавишу, кнопку или винт, в зависимости от модели и от фирмы-производителя.

### **Автоматические тонометры**

Есть два типа автоматических тонометров. Тонометры первого типа измеряют артериальное давление на стадии декомпрессии, тонометры второго типа производят измерения на стадии накачки воздуха. Преимуществом второго типа тонометров является то, что они обеспечивают более быстрое и точное измерение артериального давления, поскольку исключается возможность чрезмерного пережатия сосудов, артерия не травмируется до начала измерений.

Автоматические тонометры снабжены компрессором, при помощи которого в манжете достигается необходимое давление.

### **Полуавтоматические тонометры**

Полуавтоматические тонометры отличаются от автоматических наличием груши для нагнетания воздуха в манжету. Измерение давления осуществляется автоматически.

Влияние человеческого фактора, как в автоматических, так и в полуавтоматических тонометрах полностью исключается. Тем самым минимизирована погрешность результата.

В автоматических и полуавтоматических приборах реализуется осциллометрическая методика измерения АД.