

Лекция 3. Сфигмография

Сфигмография – раздел методов контроля состояния человека по наблюдению его пульсовой волны. Сфигмос – по гречески означает – пульс. Автор первого рычажного прибора для регистрации перемещений стенки сосуда, по которому распространяется пульсовая волна – немецкий врач Karl von Vierordt (1855). Он регистрировал форму пульсовой волны на лучезапястной артерии, на сосудах шеи и в области висков и в подмышечных впадин. Значительным шагом явилось изобретение Франком в 1905 году сегментной зеркальной капсулы для регистрации пульса механическим сфигмографом, что позволило заменить рычаг пучком света. Для записи пульсовых волн одновременно в нескольких участках кровеносной системы синхронным образом британский врач James Mackenzie изобрёл прибор полиграф. В современных сфигмографах используются датчики пульсовой волны фотоэлектрического, пьезоэлектрического, тензометрического и емкостного типов. Все они устанавливаются в специальной манжете, охватывающей область расположения сосуда, и являются датчиками перемещений, которые мы изучали в предыдущих разделах данного курса.

Если в качестве датчиков перемещений стенки сосуда используется пьезодатчик, то медики называют этот метод артериальной пьезографией. Это название придумал Gomez, который в 1941 г. применил для регистрации пульсовой волны пьезодатчик. В настоящее время на пятиканальном электрокардиографе одновременно с пульсовой волной сонной и лучевой артерий можно записать баллисто-, фоно- и электрокардиограммы.

Происхождение пульсовой волны. Пульсовая волна – это волна расширения упругого сосуда под действием толчка сердца, выбрасывающего в него кровь. В момент систолы некоторый объем крови поступает в аорту, давление в начальной части ее повышается, стенки растягиваются. Затем волна давления и сопутствующее ее растяжение сосудистой стенки распространяются дальше к периферии и определяются как пульсовая волна. Таким образом, при ритмическом выбрасывании крови сердцем в артериальных сосудах возникают последовательно распространяющиеся пульсовые волны. Пульсовые волны распространяются в сосудах с определенной скоростью, которая, однако, отнюдь не отражает линейной скорости движения крови. Эти процессы в принципе различны. Если мы поставим на участок кожи над сосудом опрокинутую воронку с трубкой, заполненной ртутью, то получим первый демонстрационный сфигмометр, который был продемонстрирован ещё в 1834 году Harrison'ом. Можно было наблюдать колебания высоты столбика ртути в такт с сокращениями сердца.

Если мы посмотрим на датчик в контакте с сосудом, то можем видеть, что он отслеживает вертикальные перемещения стенки сосуда, и этот метод называется прямой сфигмографией. Если датчик регистрирует изменения объёма сосуда, то это будет объёмная сфигмограмма. Для того чтобы зарегистрировать объёмную сфигмограмму, накладывают манжету, охватывающую большой участок сосуда.

В клинике различают центральный и периферический пульсы. Центральный пульс – это снятие аортограмм, пульс подключичной и сонной артерий. Периферический пульс снимается с конечностей. Центральный пульс даёт информацию о работе сердца – о моментах открытия полулунных клапанов аорты, что необходимо для вычисления фаз сердечного цикла. Иначе эта запись называется каротидограмма. Пример центральной сфигмограммы представлен на рисунке.

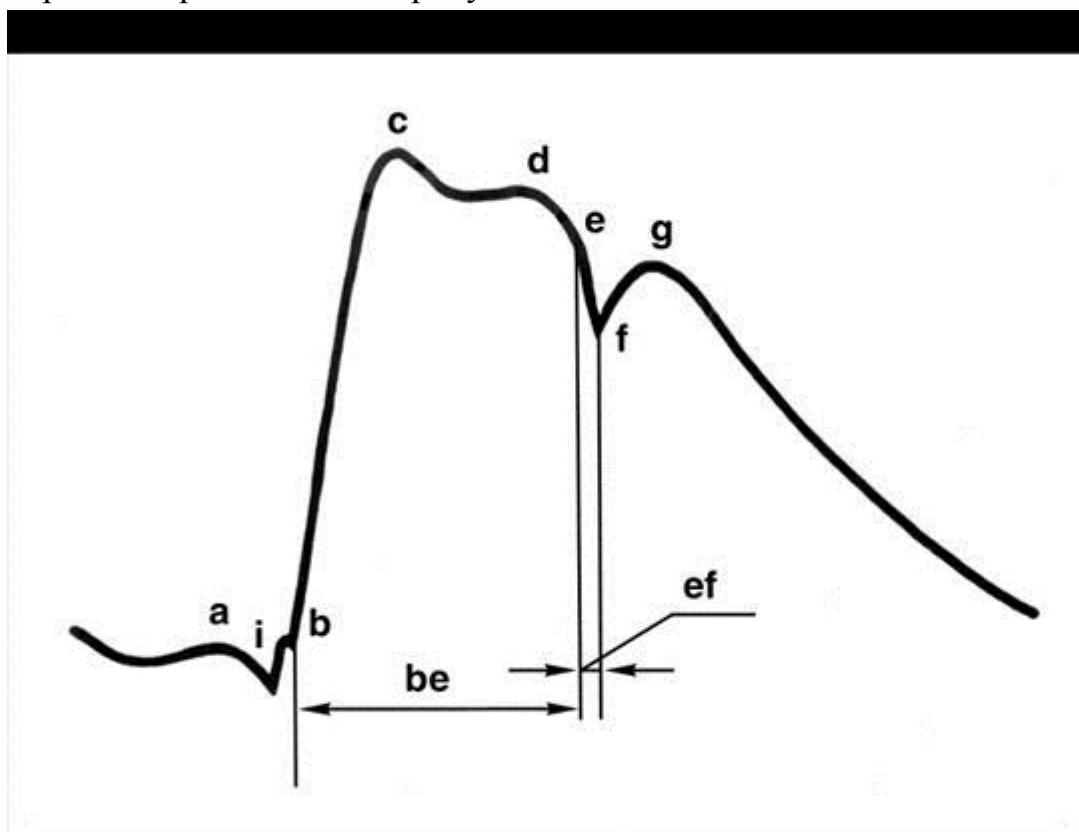


Рис. Волна центрального пульса. а — предсердная волна; восходящая ветвь b—c —называется анакрота, а нисходящая — катакрота, с – ударная волна, d – остаточная или поздняя систолическая волна, f – инцизура, g – дикротическая волна.

Характер анакроты определяется быстротой сокращения сердца. Появление дикротической волны определяется тонусом стенки исследуемой артерии и быстротой оттока крови на периферию.

Для более точного определения особенностей пульсовой волны измеряют дифференциальную сфигмограмму. Пример показан на рисунке. Он типичен для молодых и здоровых. У пожилых часть А переходит в Д без пиков (из-за атеросклероза). Обычно меряют время между пиками. Это уже характеристика здоровья.

Механизм возникновения дикротической волны. Знаменитый древнегреческий врач Гален уподобил этот механизм отскоку молотка от наковальни. Исходя из такой аналогии, Frank (1905) разработал теорию, согласно которой дикротическая волна возникает в результате столкновения пульсовой волны с периферическим препятствием на уровне бифуркации сосудов, а затем возвращается к сердцу и опять отражается. Иными словами, артериальная система действует как резонатор.



Рис. К образованию дикротической волны при отражении от бифуркаций сосудов

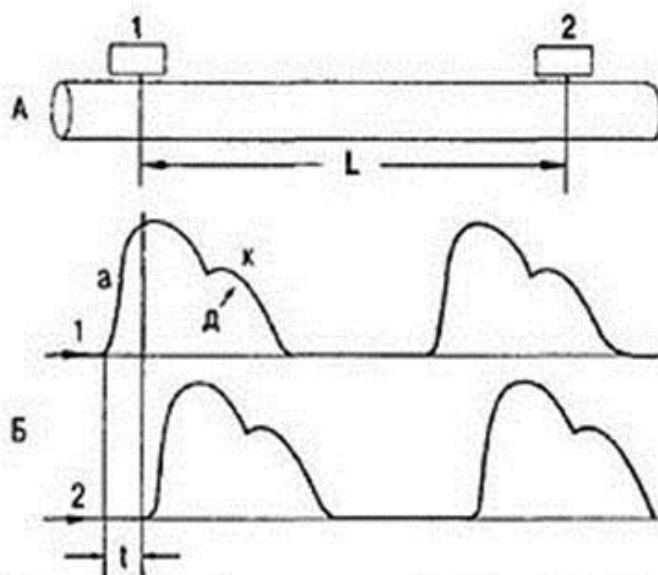
Это доказано в 1939 г. двумя исследователями Hamilton'ом и Dow с помощью зондов, введенных в грудной и брюшной отделы аорты собаки. Методом реографии (при этом записывалось изменение электрического напряжения, возникающего в результате удара пульсовой волны о стенку артериального сосуда) обнаружен механический резонанс. Артериальная система имеет определённую собственную частоту механических колебаний, которая в два раза выше частоты сердечных сокращений. Нарушение этих нормальных для физиологического состояния организма отношений может повлечь за собой увеличение степени периферического сопротивления, что в свою очередь вызовет повышение требований к работе сердца. По мнению Saumont (1971), регуляция режима артериального резонанса осуществляется в основном за счёт функции вазомоторного механизма артериол.

Расшифровка дикротики. Дикротический подъём на катакроте особенно рельефно выражается при пониженном тонусе сосудов. Специалисты

считают, что подъём от возвратного удара тем больше, чем слабее напряжение артерий.

Изменение сфигмограммы при мышечных напряжениях у здоровых людей. Типы применяемых нагрузок – бег на короткие дистанции, переползания, работа на велопробе и другие. Эти нагрузки приводят к понижению вторичных волн на катакроте. После бега на дистанцию 200 метров пульс испытуемого, конечно, выше, главное здесь – это изменение формы катакроты (вследствие расширения кровеносных сосудов), но всё-таки на ней просматривается дикротическая волна. После скоростного бега на расстояние 400 м периферические сосуды расширяются до предела, и на сфигмограмме регистрируется астенический пульс, то-есть пульсовая волна без дикротической волны и вообще без остальных особенностей формы кривой. К изменению формы пульсовой волны, аналогичному изменению под действием физических нагрузок, приводят также сильные эмоции. В литературе описаны случаи регистрации астенического пульса у солистов балета перед выходом на сцену, хотя физические нагрузки им только предстояли.

Зарегистрированные на конечностях сфигмограммы используются для определения скорости распространения пульсовой волны (СРПВ). Это важная характеристика состояния артерий. Её измеряют также с помощью метода реографии. Согласно методу сфигмографии, манжета накладывается на лучезапястную артерию, а на сонную артерию ставится второй датчик для регистрации пульсовой волны. Внизу показан принцип измерения СРПВ.



А – расположение датчиков пульса; Б – сфигмограммы, записанные с помощью проксимально (1) и дистально (2) расположенных датчиков, при прохождении одной и той же волны; L – расстояние между датчиками, t – время распространения пульсовой волны; а – анакрота, к – катакрота, д – дикротический подъем.

Скорость распространения определяется по методу «сдвига фаз» Для определения скорости необходимо знать расстояние между датчиками L и время t , приведенное на рисунке вверху. Тогда скорость получаем простым делением L на время t . Английский физик Юнг предложил формулу

скорости распространения упругой волны по круглой трубе:
$$v = \sqrt{\frac{E \cdot h}{\rho \cdot d}}$$
, где E – модуль упругости материала трубы (иначе называемый модулем Юнга), h – толщина стенки, d – диаметр трубы, ρ – плотность жидкости.

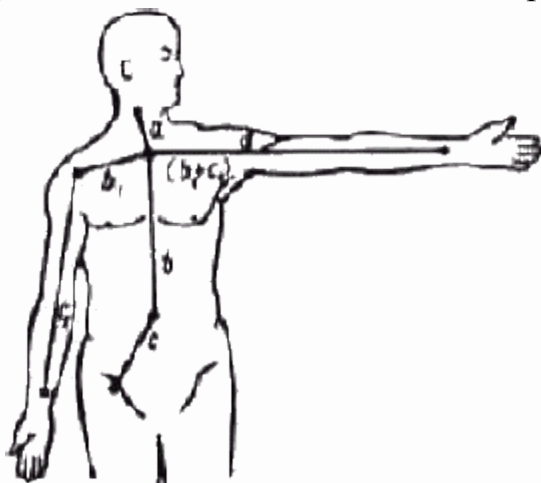


Рис. Места расположения сфигмографических датчиков при определении СРПВ.

У материала кровеносных сосудов значения $E \sim 10^6 \text{ Н/м}^2$, плотность крови практически равна $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$, и поскольку у сосудов большего диаметра толщина стенок пропорционально больше, отношение $h/d \sim 0,1/$. Поэтому скорость волны по заполненному кровью сосуду составляет примерно 10 м/с. У человека с возрастом и при заболеваниях, сопровождающихся увеличением модуля упругости E (гипертония, атеросклероз) скорость распространения пульсовой волны возрастает, иногда в 2 – 4 раза по сравнению с нормой.

Приборы и датчики для измерения пульсовой волны

В 1962 году И.М. Каевицер разработал датчик для измерения пульса с дифференцированием на основе индукционного генераторного преобразователя. Датчик устанавливается в манжете. В манжете создаётся небольшое избыточное давление, чтобы прижать капсулу датчика к артерии (см. рис.). Пульсаторные удары в артерии вызывают в пневматической манжете колебания воздуха, которые передаются воспринимающей мембране. Эти колебания индуцируют в катушках ток, изменяющийся

пропорционально скорости движения мембраны. Сигналы записываются на электрокардиографе. На этом приборе регистрируется кривая пульса и дифференциальная кривая, которая пропорциональна скорости. На многоканальном приборе может одновременно со сфигмограммой быть записана электрокардиограмма.

В пьезоэлектрическом датчике для регистрации перемещений стенки артерии при распространении по ней пульсовой волны используется деформация пьезокристалла. В контакте со стенкой сосуда находится подвижный стержене́к, который называется пелот. При его пульсационных движениях пьезокристалл деформируется, и на его стенках появляется разность потенциалов. Это и есть сфигмографический сигнал. Воспроизводимая им кривая пульсовой волны имеет характерную более заострённую форму, чем объёмная сфигмограмма, полученная датчиком Каевицера. Её называют пьезограммой. У пьезограммы крутой передний фронт (который, напомним, называется анакротой) и сильно заостренные вершины основной и дикротической волн.

Датчик В.В. Сычёва – это ёмкостной датчик перемещений, приспособленный для регистрации изменений давления в манжете, охватывающей область кровеносного сосуда (см. рис.). С помощью груши в объёме манжеты создаётся избыточное давление ~ 30 мм рт. ст. Пульсации сосуда приводя к периодическим изменениям давления в манжете. Благодаря этому гибкий электрод датчика перемещается и меняет зазор между электродами, а следовательно, и ёмкость датчика в такт с пульсовой волной. Иногда пространство в манжете заполняется жидкостью, которая передаёт движения стенки сосуда гибкому электроду. Частотная характеристика датчика имеет рабочую полосу частот 0 – 200 Гц.