

ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ И ЛЕЧЕБНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
Направление 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

Лекция 1. Раздел 1 Технические методы диагностических исследований.

Тема 1: Общие представления о методах диагностических исследований и лечебных воздействий

- 1. Цели и задачи дисциплины**
- 2 Методы диагностических исследований**
- 3. Методы лечебных воздействий**

1. Цели и задачи дисциплины

Стремительное развитие медицинской науки и новые идеи в клинической медицине неразрывно связаны с совершенствованием медицинской техники. В этой связи перед инженерами по биомедицинской технике встают задачи по обслуживанию, эксплуатации и проектированию новой медицинской аппаратуры. Для решения этих задач будущим специалистам необходимо иметь представления о методах диагностических исследований и лечебных воздействий, а также о приборах и приспособлениях, с помощью которых осуществляются данные воздействия.

2 Методы диагностических исследований

Методы диагностических исследований человека подразделяют на **основные и специальные (инструментальные).**

Исторически к наиболее ранним диагностическим методам относятся основные методы врачебного исследования

анамнез,
осмотр больного,
пальпация, перкуссия, аускультация.

Специальные методы предполагают использование **инструментальных средств** - это совокупность приборов, аппаратов, систем, комплексов и приспособлений к ним, в которых реализуются физические и физико-химические методы исследования различных медико-биологических показателей (МБП) и записей физиологических процессов, на основании анализа которых строится диагностическое заключение.

Инструментальные средства называют обобщенным термином «медицинская техника». Большая часть медицинской техники относится к медицинской аппаратуре, которая, в свою очередь, подразделяется на медицинские приборы и медицинские аппараты.

Медицинским прибором принято считать техническое устройство, предназначенное для диагностических или лечебных измерений (медицинский термометр, сфигмоманометр, электрокардиограф и т. д.).

Медицинский аппарат – техническое устройство, позволяющее создавать энергетическое воздействие терапевтического, хирургического или бактерицидного свойства (аппараты УВЧ-терапии, электрохирургии, искусственной почки и т. д.).

Инструментальные методы диагностики могут быть, как *инвазивными*, так и *неинвазивными*.

Инвазивные методы – это методы, основанные на проникновении каких-либо датчиков или агентов в организм обследуемого. Например, введение контрастных веществ в кровь или различные полости организма, (ангиография, гастрофиброскопия, пневмоцефалография, радиационные методы и др.)

Неинвазивные методы – методы, не связанные с проникновением в организм. К ним относятся рентгеновские, электрические, ультразвуковые, оптические, тепловидение.

Выделяют 3 основные группы инструментальных методов исследования организма человека:

1. *Функциональная диагностика* — методы изучения функционирования органов и систем по их различным проявлениям:

электрическим - электрокардиография, электроэнцефалография, электромиография, реография и др.,

звуковым - аускультация, перкуссия, фонокардиография и др.

механическим - сфигмография, плетизмография, измерение артериального давления, скорости кровотока, исследование функций внешнего дыхания и др.

2. *Структурная диагностика* — методы, выявляющие изменения в строении органов и тканей. Это прежде всего, эндоскопия - способ осмотра некоторых внутренних органов при помощи эндоскопа (гастроскопия, бронхоскопия, колоноскопия и т.д.), методы лучевой диагностики - рентгенодиагностика (рентгенология), радионуклидная диагностика, ультразвуковая диагностика, магнитно-резонансная диагностика, медицинская термография (тепловидение), а также методы, использующие постоянное и переменное электромагнитное поле.

3. *Лабораторная диагностика* — методы выявления изменений клеточного и химического состава биожидкостей и других биоматериалов

3. Методы лечебных воздействий

Под лечебным воздействием обычно понимается процедура подведения некоторого внешнего по отношению к организму лечебного фактора с целью получения требуемого лечебного эффекта. При этом лечебный фактор определяется как такой адекватный раздражитель, который непосредственно воздействует на организм, вызывая целенаправленные изменения физиологических и биохимических процессов.

Вся система лечебных методов делится на две группы:

- 1) методов терапевтических воздействий
- 2) хирургических методов лечения.

3.1 Методы терапевтических воздействий (МТВ) связаны с лечебными факторами, воздействие которых на организм не нарушает его целостности, но приводит к направленным изменениям состояния. В роли объектов, воспринимающих воздействия, могут выступать целостный организм, а также его отдельные органы или функциональные системы, биологические ткани и группы клеток.

По типу используемого лечебного воздействия их можно разделить на несколько групп:

- *вещественные*, к которым следует отнести, прежде всего, лекарственные методы, основанные на применении фармакологических препаратов;

- *энергетические*, в которых предусматривается воздействие на пациента физическими факторами и полями естественного (природного) или искусственного происхождения; в частности, эти методы помогают ускорять введение лекарственных препаратов (например, метод лекарственного электрофореза);

- *информационные*, для которых характерно воздействие в виде специально подобранной информации, рассчитываемой на восприятие одним из анализаторов человека; чаще всего для передачи такой информации используют акустические и оптические сигналы.

Методы, основанные на применении физических факторов и полей в качестве энергетических воздействий, имеют специальное название - **физиотерапевтические методы**. Для них характерны следующие достоинства:

- широкий диапазон лечебных методов воздействия;
- мягкие, безболезненные лечебные эффекты;
- возможность неинвазивного лечебного воздействия;
- усиливающее действие большинства лекарственных веществ, вводимых в процессе воздействия физическим полем;
- возможность сокращения сроков лечения.

Как правило, они не вызывают аллергии и лекарственных болезней, при их применении не наблюдается лекарственных зависимостей. Зачастую отсутствуют побочные воздействия на другие органы и ткани, а также отмечается длительный период ремиссии хронических заболеваний.

Возможны комбинации лечебных факторов в виде комплексного воздействия, когда отдельные факторы, дополняя друг друга, обеспечивают оптимальные условия лечения.

Перечисленные достоинства физиотерапевтических методов лечения привели к интенсивному их изучению и разработке терапевтической медицинской техники.

3.2 Хирургические методы лечения (ХМЛ) основаны на активном вмешательстве в функционирование организма, которое связано с разрезанием биоткани и удалением (вырезанием, выжиганием или другими подобными процедурами) зараженной или не функционирующей ее части, а также с

подсоединением к организму иных биологических фрагментов или технических устройств. К последнему варианту относятся, например, трансплантация органов или подключение к организму таких технических устройств как кардиостимулятор, искусственный сосуд, искусственное сердце и т.п. Любые процедуры с применением ХМЛ всегда связаны с нарушением целостности организма, что вызывает в нем значительные перестройки всех внутренних процессов. При этом существенную роль играет целый класс сопутствующих методов и технических средств, обеспечивающих наиболее безопасные и, по возможности, наименее травмирующие режимы операционного вмешательства.

Традиционно в качестве хирургических средств выступали медицинские инструменты – скальпели (изготавливаемые из особо прочных сортов стали), пилы, зажимы, скобки, щипцы и другие инструменты.

В современной медицине наряду с инструментарием применяется операционная техника, включающая новые аппараты, в которых в качестве «режущего органа» используется поток излучения энергии физического поля. Для формирования потока энергии и управления параметрами такого «режущего инструмента» необходимы специальные технические устройства – генераторы физических полей.

Тема 2. Методы функциональной диагностики

- 1. Устройства для аускультации и перкуссии**
- 2. Методы измерения температуры тела человека**
- 3. Физические основы электрографии**
- 4. Физические основы электрокардиографии**
- 5. Электрокардиограмма**
- 6. Электрокардиограф**
- 7. Методы непрерывной регистрации ЭКГ**
- 8. Векторкардиография**
- 9. Фонокардиография**

1. Устройства для аускультации и перкуссии

Приборы для аускультации служат для выслушивания—одного из важнейших клинических методов обследования, который известен с древних времен. С помощью выслушивания звуковых явлений, возникающих в организме, исследуют работу сердца, легких, кишечника, пищевода и суставов.

Выслушивание осуществляют с помощью двух видов приборов: стетоскопов и фонендоскопов.

Стетоскоп - простейший слуховой прибор, введенный в клиническую практику в начале XIX века. Представляет собой трубку длиной 155 мм с двумя раструбами—воронками на концах: малая воронка (звуковая) диаметром около 30 мм; прикладывается к уху, а большой ратруб диаметром 54 мм (слуховая воронка) к телу обследуемого. Воронки соединены каналом

звукопровода диаметром 4,2—4,5 мм. Изготавливают инструмент из дерева твердых пород (бук, береза, клен) или из пластмассы (ударопрочный полистирол или капрон). Внутренняя поверхность канала и воронок должна быть хорошо отделана — отполирована и отлакирована (для дерева) для получения хороших акустических свойств — не искажать и не ослаблять выслушиваемые звуки. Стетоскоп не усиливает звук, а лишь резонирует его с помощью воздушного столба, заключенного между раструбами.

Сегодня классический стетоскоп используется только в отдельных сферах медицины, например, в акушерстве. Наиболее распространенными являются *бинауральные стетоскопы*, которые состоят из звукопринимающей камеры и двух трубок, оливы на концах которых вставляются в уши.

Стетоскопы более удобны для выслушивания *низкочастотных* звуков и применяются для диагностики состояния сердечной мышцы.

Фонендоскоп несколько отличается от стетоскопа: в его звукоулавливающей камере имеется мембрана, которая усиливает выслушиваемые звуки. Через мембрану фонендоскопа проходят, в основном, *высокочастотные звуки* (это легкие, сосуды)

Прибор *стетофонендоскоп* более универсальный: он снабжен стетоскопическим (без мембраны) и фонендоскопическим (с мембраной) наконечниками.

Стетофонендоскоп состоит из головки (5,6): с одной стороны «колокол» (5), а с другой – мембрана (6), звукопроводящей трубки (4), тройника (3), трубок оголовья (2) с оливами (1).

Цифровой стетоскоп – это электронный стетофонендоскоп с функциями фильтрации, записи, передачи, обработки аускультативной картины в виде компьютерных файлов или потока данных.

Для исследования внутренних органов применяют метод *перкуссии*, основанный на принципе резонанса. При выстукивании, в результате создаваемых ударом колебаний, прослушивают различные звуки, в зависимости от степени наполненности воздухом исследуемой области. Органы и ткани, не содержащие воздух, не дают явления резонанса. С помощью этого метода исследуют сердце, легкие и органы грудной полости.

Молоток перкуSSIONный по Захарьину - легкий (масса 50 г), короткий (148 мм) молоток, рукоятка которого выполнена из пластмассы, а ударная часть — из стали. На оконечной части ударника с помощью пластмассовой гайки укреплен боек из твердой резины.

Плессиметр металлический - это изогнутая металлическая пластинка из нержавеющей стали, которую прикладывают к исследуемому участку поверхности тела и наносят удары перкуSSIONным молотком. Ограничивая область перкуSSION, плессиметр облегчает диагностику. Поверхность его должна быть хорошо отполирована.

2. Методы измерения температуры тела человека

Определение температуры тела человека имеет большую диагностическую значимость для интегральной оценки процессов

теплообмена и терморегуляции. У здоровых людей распределение температуры по различным областям поверхности тела достаточно характерно. Воспалительные процессы, опухоли, инфекции приводят к изменению характерного температурного поля.

Термография – это совокупность методов и способов измерения температуры, в том числе и в медицине. Измерение температуры – сравнение степени нагретости исследуемого объекта со стандартной шкалой температур. Для медицинской диагностики используется, как правило, шкала Цельсия.

В качестве методов измерения температуры в медицине и биологии используются два метода – термометрический и пирометрический.

Термометрический метод – измерение температуры объекта путем контактного энергообмена термопреобразователя и исследуемого объекта. Метод основан на температурной зависимости свойств различных веществ, применяемых в качестве термопреобразователя:

- объемное расширение тел при нагревании (спиртовой и ртутный термометры);
- изменение электрического сопротивления металлов и полупроводников (терморезистивные термометры (*электронные*));
- явление возникновения термо-ЭДС (термоэлектрические термометры).

Для поверхностной контактной термометрии используют жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ), оптические свойства которых чувствительны к небольшим изменениям температуры. Помещая ЖКИ-аппликатор на область тела пациента, по изменению цвета получают картину распределения температур. Такая методика дает качественную картину распределения температур.

Пирометрические методы – бесконтактные методы, основанные на измерении температур биологических объектов по их тепловому электромагнитному излучению.

Принцип действия инфракрасного термометра (или пирометра) основан на измерении амплитуды электромагнитного излучения от объекта в инфракрасной части спектра и последующем пересчете измеренного значения в мощность теплового излучения.

Тепловой луч, принятый прибором, фокусируется оптической системой, и затем попадает на датчик температуры (это первичный пирометрический преобразователь), далее на выходе получается электрический сигнал, значение которого пропорционально значению температуры исследуемого объекта. Полученный от датчика сигнал проходит через электронный преобразователь (это вторичный пирометрический преобразователь), и попадает в измерительно-счетное устройство и в нем обрабатывается. Результат вычислений отображается на дисплее в виде цифр.

Инфракрасная термография – это наука использования электронно - оптических устройств для регистрации и измерения излучения и сопоставления его с температурой поверхностей. Современная инфракрасная термография использует электронно-оптические устройства (тепловизоры)

для измерения потока излучения и вычисления температуры поверхности обследуемых объектов.

Медицинские тепловизоры – приборы, использующие пирометрические методы для визуализации тепловых изображений биологических объектов. Термограммы человеческого тела (распределение температуры по его поверхности) содержат очень ценную информацию. Визуализированные температурные поля дают возможность иметь представление о периферийном кровотоке и получать сведения о глубинных процессах, которые протекают в организме. С помощью термографии и применения тепловизора для медицинского обследования возможно внутри организма обнаружить и распознать многие патологические изменения на раннем, доклиническом этапе. Термография при комплексной диагностике болезни дополнительно обеспечивает важнейшую информацию о наличии и тяжести воспалительных процессов и дает возможность дать оценку эффективности консервативного лечения.

3. Физические основы электрографии.

При функционировании некоторых тканей и органов генерируются электрические поля, в результате на поверхности тела возникают разности электрических потенциалов (биопотенциалов). Регистрация зависимости биопотенциалов, возникающих при функционировании тканей и органов от времени называется электрографией.

Различают следующие виды электрографии:

Электрокардиография (ЭКГ) – регистрация на поверхности тела биопотенциалов, возникающих в результате возбуждения сердечной мышцы;

Электроэнцефалография (ЭЭГ) – регистрация биоэлектрической активности головного мозга;

Электромиография (ЭМГ) – регистрация биоэлектрической активности мышц;

Электрогастрография - регистрация биоэлектрической активности желудка;

Электроокулография - регистрация биоэлектрической активности глаз;

Электронейрография - регистрация биоэлектрической активности нервных волокон.

При измерении электрических параметров биообъектов их соединяют с измерительной схемой с помощью биоэлектрических электродов.

Схема расположения электродов называется **отведением**. Все используемые отведения можно разделить на *биполярные*, или *двухполюсные*, когда оба электрода являются *измерительными* и разность потенциалов регистрируется между двумя точками поверхности тела, и *униполярные* (*однополюсные*). При униполярных отведениях один электрод является измерительным, а другой представляет собой нулевой, индифферентный.

Для того, чтобы понять, как возникают биопотенциалы в живом организме, рассмотрим простейшую систему, состоящую из двух равных по

величине и противоположных по знаку электрических заряда, которая называется **электрический диполь**.

Многие атомы и молекулы представляют собой электрические диполи. Например, молекулы воды. Расстояние между зарядами диполя l есть **плечо диполя**.

Произведение заряда на плечо диполя называется **электрическим дипольным моментом** и обозначается буквой \vec{P} .

$$\vec{P} = \vec{l} \cdot q \quad (1)$$

Дипольный момент является основной характеристикой диполя. Это вектор, направленный от «-» к «+».

Диполь является источником электрического поля, которое имеет силовые линии и эквипотенциальные поверхности.

Центральная эквипотенциальная поверхность представляет собой плоскость, проходящую перпендикулярно плечу диполя через его середину. Все ее точки имеют нулевой потенциал ($\varphi = 0$). Она делит электрическое поле диполя на две половины, точки которых имеют соответственно положительные ($\varphi > 0$) и отрицательные ($\varphi < 0$) потенциалы.

Точки, находящиеся в электрическом поле диполя приобретают электрический потенциал.

Абсолютная величина потенциала зависит от дипольного момента P , диэлектрической проницаемости среды ϵ и от положения данной точки поля относительно диполя.

Допустим, что диполь находится в непроводящей бесконечной среде и некоторая точка A удалена от его центра на расстояние r , причем $r \gg l$. Обозначим через α угол между вектором P и направлением на эту точку. Тогда потенциал, создаваемый диполем в точке A , находящейся на расстоянии $r \gg l$ определяется формулой:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{P \cos \alpha}{r^2} \quad (2)$$

Рассмотрим диполь, помещенный в центр равностороннего треугольника. Линиями от начала и конца вектора P отложены перпендикуляры к каждой из сторон. В результате получены проекции вектора дипольного момента на каждую сторону треугольника P с индексом AB , P с индексом BC , и P с индексом AC .

В этом случае разность потенциалов (или напряжение) между двумя любыми вершинами треугольника прямо пропорциональна проекции дипольного момента на соответствующую сторону. Т.е. можно записать:

$$U_{AB} \sim P_{AB}$$

$$U_{BC} \sim P_{BC}$$

$$U_{AC} \sim P_{AC}$$

Отсюда отношение напряжений между вершинами треугольника равно отношению проекций дипольного момента на соответствующие стороны:

$$U_{AC} : U_{AB} : U_{CB} = P_{AC} : P_{AB} : P_{CB} \quad (3)$$

Сопоставляя величины проекций, можно судить о величине самого вектора и его расположении внутри треугольника.

В вакууме или в среде диэлектрика электрический диполь может сохраняться очень долго.

В проводящей же среде, под действием электрического поля диполя, возникает движение свободных зарядов и диполь нейтрализуется (или экранируется). Для сохранения диполя в проводящей среде необходима электродвижущая сила.

Если в проводящую среду (например, в сосуд с раствором электролита) ввести два электрода, подключенные к источнику постоянного напряжения, то на электродах будут поддерживаться постоянные заряды противоположных знаков, а в среде между электродами возникнет электрический ток. Положительный электрод называют *истоком тока*, а отрицательный - *стоком тока*. Такая двухполюсная система в бесконечной проводящей среде, состоящая из истока и стока, называется **дипольным электрическим генератором** или **токовым диполем**.

Расстояние между истоком и стоком тока называется *плечом токового диполя*.

Электрической характеристикой токового диполя является векторная величина, называемая дипольным моментом (P_T).

Дипольный момент токового диполя - вектор, направленный от стока (-) к истоку (+) и численно равный произведению силы тока I на плечо диполя L :

$$P_T = I \cdot L \quad (7)$$

Потенциал, создаваемый токовым диполем в точке A , удаленной от него на расстояние, значительно превышающее плечо диполя $r \gg L$, равен

$$\varphi_T = \frac{\rho}{4\pi} \cdot \frac{P_T \cos \alpha}{r^2} \quad (8)$$

Здесь ρ - удельное сопротивление среды. Таким образом, между токовым диполем и электрическим диполем существует полная аналогия.

Теория токового диполя применяется для модельного объяснения возникновения потенциалов, регистрируемых при снятии электрокардиограмм.

4 Физические основы электрокардиографии.

Основоположником электрокардиографии является нидерландский физиолог Виллем Эйнтховен, который в 1903 году сконструировал первый электрокардиограф. Это был струнный гальванометр. За это изобретение Эйнтховен получил Нобелевскую премию в 1924 г.

Дипольное представление о сердце лежит в основе *теории отведений Эйнтховена*, согласно которой сердце есть токовый диполь с дипольным моментом P_c .

Токовый диполь поворачивается, изменяет свое положение за время сердечного цикла. В биологической литературе вместо термина «дипольный момент сердца» обычно используются термины «вектор электродвижущей силы сердца», «электрический вектор сердца»

По Эйнтховену сердце располагается в центре равностороннего треугольника, вершинами которого являются: правая рука - левая рука - левая нога. Вершины треугольника равноудалены как друг от друга, так и от центра треугольника. Поэтому разности потенциалов, снятые между этими точками, суть проекции дипольного момента сердца на стороны этого треугольника. Треугольник получил название «*треугольник Эйнтховена*».

Две вершины треугольника, между которыми измеряются разности биопотенциалов, называются *стандартными отведениями*.

Отведение I, буквенное обозначение RL (правая рука - левая рука), отведение II - обозначается RF (правая рука - левая нога), отведение III, обозначается LF (левая рука - левая нога). Им соответствуют разности потенциалов U_I , U_{II} , U_{III} . Стандартные отведения используются для определения величины и направления эквивалентного электрического диполя сердца (вектора P), которым описывается его электрическая активность. Линия электрической оси сердца при пересечении с направлением I-го отведения образует угол α . Величина этого угла определяет направление электрической оси сердца. Стандартные отведения биполярны.

Соотношения между разностью потенциалов на сторонах треугольника (отведениях) могут быть получены как соотношения проекций вектора P на соответствующие стороны треугольника:

$$U_I : U_{II} : U_{III} = P_{CI} : P_{CII} : P_{CIII}$$

Электрический вектор сердца изменяется по величине и направлению за время сердечного цикла, однако начало вектора остается неподвижным.

Таким образом, теория Эйнтховена устанавливает связь между разностью биопотенциалов сердца и разностями потенциалов, регистрируемых в соответствующих отведениях. В результате измерений *регистрируются колебания проекции вектора ЭДС на линию между двумя определенными точками – вершинами треугольника Эйнтховена*.

Рассмотрим электрокардиографические отведения.

Наибольшее распространение при регистрации электрокардиограммы получили 12 отведений: помимо трех стандартных (биполярных или двухполюсных) отведений - I, II, III, применяют девять униполярных (однополюсных) отведений. Для их образования искусственно создается нейтральный электрод. При этом конечности (которые соответствуют

вершинам треугольника Эйнтховена) подключаются через одинаковые резисторы к общей точке, потенциал которой принимается за нулевой. Измерительный электрод можно помещать в любой точке тела, в частности подводить к любой конечности. В результате образуются *усиленные отведения* от конечностей, которые обозначаются **aVR** (усиленное отведение от правой руки), **aVL** (усиленное отведение от левой руки), **aVF** (усиленное отведение от левой ноги). Усиленные однополюсные отведения от конечностей введены в электрокардиографию Гольдбергером. Согласно концепции треугольника Эйнтховена, амплитуда регистрируемых электрических сигналов для этого типа отведений возрастает в 1,5 раза, поэтому они называются усиленными.

Аналогичным образом формируются униполярные грудные отведения по Вильсону. Грудных отведений - шесть, они обозначаются **V₁**, **V₂**,..., **V₆**. Измерительный электрод помещают в шести выбранных определенным образом точках в области грудной клетки, а нейтральный электрод образуется суммированием биопотенциалов конечностей.

Если кисти рук и стопы ног находятся на одной эквипотенциальной окружности, расположенной во *фронтальной* плоскости, то грудные отведения расположены в *горизонтальной* плоскости, т.е. в другой эквипотенциальной окружности.

В стандартную программу электрокардиографических исследований входят все 12 отведений. Для решения специальных задач существует множество других отведений, и их количество может быть разным.

Рассмотрим электрокардиографические электроды.

При двухполюсных отведениях к электрокардиографу подключают два стандартных электрода из трех, которые обозначаются R, L, F.

При однополюсных отведениях подключаются тоже два электрода, при этом один электрод является *дифференциальным, активным*, и помещается в выбранную точку тела. Вторым электродом - *индифференциальным, с нулевым потенциалом*, или точка сравнения. На практике точка с нулевым потенциалом образуется соединением между собой электродов через одинаковые резисторы в 5 кОм, подключенных к соответствующим конечностям.

Для борьбы с помехами при регистрации биопотенциалов используют четвертый электрод N, называемый вспомогательным или нейтральным, который подключается к правой голени. Этот электрод обычно соединяется с корпусом электрокардиографа и заземляется.

5 Электрокардиограмма

Электрокардиограмма - это график изменения во времени разности потенциалов, снимаемой двумя электродами соответствующего отведения за цикл работы сердца. Другими словами, ЭКГ представляет собой кривую токов возбуждения сердечной мышцы.

Электрокардиограмма здоровых людей отличается вариабельностью. Она зависит от возраста, телосложения и многих других факторов. Однако в

норме на ней всегда можно различить определенные **зубцы и интервалы**, отражающие последовательность возбуждения сердечной мышцы (систола). Электрокардиограмма состоит из зубцов (P, Q, R, S, T, U (причем зубец U обнаруживается редко)), интервалов (PQ, ST) и комплексов зубцов (QRS, QRST).

Происхождение основных зубцов, интервалов и сегментов ЭКГ.

Все зубцы рассматривают относительно горизонтальной линии, которая называется базовой линией, или изолинией. Она является не только осью времени, но и осью нулевого потенциала. Высоту зубцов на ЭКГ измеряют по вертикали и выражают *в милливольтах*. Ширину зубцов и продолжительность интервалов измеряют по горизонтали и выражают *в секундах*.

Зубец P - отражает процесс деполяризации предсердий. Зубец P состоит наполовину из возбуждения правого предсердия (что соответствует восходящей части зубца) и возбуждения левого предсердия (что соответствует нисходящей части зубца).

Интервал PQ включает в себя *возбуждение предсердий* и прохождение импульса по предсердножелудочковому соединению

Зубцы комплекса QRS отражают процесс *деполяризации желудочков*: Сначала, в течение 0,03 с возбуждается межжелудочковая перегородка (зубец Q), затем, в течение 0,05 с, возбуждается верхушка сердца и прилегающие к ней области (зубец R), в последнюю очередь возбуждается основание сердца в течение 0,02 с (зубец S). По числу комплексов QRS в минуту определяют частоту сердечных сокращений (ЧСС).

Интервал R-R характеризует продолжительность полного сердечного цикла - систолы и диастолы. Регулярность сердечных сокращений оценивается при сравнении продолжительности интервалов R-R между последовательно зарегистрированными сердечными циклами. Ритм считается правильным (или регулярным), если продолжительность измеренных R-R интервалов практически одинакова и разброс полученных величин не превышает 10% от средней продолжительности интервалов R-R.

Сегмент ST и зубец T - отражают процессы *реполяризации желудочков*.

6. Электрокардиограф

Электрокардиографические исследования производятся с помощью прибора, который называется электрокардиограф. Это прибор, предназначенный для регистрации разности электрических потенциалов (биопотенциалов) сердца.

Типовая блок-схема электрокардиографа включает в себя 6 блоков.

Электрокардиограф работает от электросети, а также может работать автономно от батареи. Для обеспечения питания от сети имеется *блок питания* (4). Он состоит из выпрямителя или аккумуляторов.

Блок 1 - это электроды. К каждому электроду присоединяют провод кабеля отведений, маркированный определенным цветом.

R	Красный	правая рука
L	Желтый	левая рука

F Зеленый левая нога
N Черный правая нога (заземление)

Грудные электроды - белые, с дополнительной маркировкой:

C1 Белый / Красный
C2 Белый / Желтый
C3 Белый / Зеленый
C4 Белый / Коричневый
C5 Белый / Черный
C6 Белый / Фиолетовый

Для улучшения контакта электродов с кожей в местах наложения электродов необходимо предварительно обезжирить кожу и покрыть ее электропроводящим гелем.

Кабель отведений присоединяется к *Блоку 2 - переключателю отведений*. Это механическая система выбора нужного отведения. Она позволяет записывать (считывать) необходимые биопотенциалы сердца без перемещения электродов.

Биоэлектрические сигналы (достаточно слабые - в пределах от 0,01 до 0,5 мВ) поступают далее на *вход усилителя - Блок 3*. Электрокардиограф имеет три степени усиления. Стандартное усиление, при котором обычно записывают ЭКГ, — это когда электрический импульс от сердца напряжением 1 милливольт (мВ) записывается на ленте в виде зубца высотой 10 мм. Реже используются другие степени усиления, когда 1 мВ равен 5 или 20 мм.

Далее сигнал поступает на *регистрирующее устройство - Блок 5*, которое преобразует электрические сигналы в механические колебания пера самописца.

Обычно во всех современных электрокардиографах используется тепловая запись. При этом используется специальная бумага (термобумага), которая имеет черную основу или черный слой, покрытый тонким слоем легкоплавкого светлого вещества. Перо представляет собой металлическую трубку, во внутренней полости которой размещен нагреватель (спираль), питаемый от электрически регулируемого источника напряжения.

Электрокардиограф позволяет записывать ЭКГ со скоростью движения ленты 50, 25, 12,5 мм/сек.

Блок 6 – дополнительное устройство. Его основные узлы:

-отметчик времени, устройство, делающее отметки времени в виде штрихов на бумажной ленте ЭКГ. Это дает развёртку ЭКГ во времени.

-калибратор напряжения, предназначен для проверки и настройки усилителя. При нажатии кнопки калибратора на вход усилителя подается прямоугольный эталонный импульс 1 мВ (контрольный милливольт).

По числу одновременно проводимых записей электрокардиографы бывают:

1. одноканальные, в которых ведется запись только от одного отведения;
2. многоканальные (3, 6 и 12 каналов и более). Формат печати может быть разный -не совпадать с количеством синхронно регистрируемых отведений.

7. Методы непрерывной регистрации ЭКГ

7.1 Электрокардиомониторы

В некоторых ситуациях необходима непрерывная регистрация ЭКГ и частоты сердечных сокращений (ЧСС) пациента. Например, при применении общего наркоза анестезиолог следит по ЭКГ за состоянием пациента на операционном столе и во время выхода из наркоза; наблюдение в течение нескольких дней за ЭКГ и ЧСС пациента, перенесшего инфаркт миокарда, позволяет вовремя обнаружить угрожающие жизни аритмии; во время родов изменение ЧСС плода является ранним индикатором недомогания плода.

В этих и других случаях, когда требуется непрерывная регистрация ЭКГ, применяются кардиомонитор или кардиоскоп. Сигнал снимается с пары электродов, обычно расположенных на груди.

Сигнал ЭКГ используется для определения ЧСС. Текущее значение ЧСС отображается на дисплее. Система также подаёт сигнал тревоги, когда значение ЧСС становится выше или ниже установленного порога.

Кардиомонитор можно принести в палату к пациенту, но в большинстве больниц существуют специализированные отделения интенсивной терапии, где мониторы объединены в единую систему. У постели каждого пациента находится кардиоскоп и кардиотахометр, отображающий значение ЧСС и дающий при необходимости сигнал тревоги. Индивидуальные мониторы подключены к центральной станции, расположенной на посту медсестры. Центральная станция отображает ЭКГ и ЧСС всех пациентов, а также имеет сигналы тревоги, дублирующие сигналы прикроватных мониторов.

Самописец или принтер также находится на центральной станции. Его можно активировать как с центральной станции, так и дистанционно через прикроватные мониторы.

7.2 Холтеровское суточное мониторирование ЭКГ

Для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний часто применяются носимые мониторы. Носимый монитор ЭКГ называется также холтеровским монитором. Метод суточного наблюдения за сердцем разработал американский учёный биофизик Норман Холтер.

Холтеровский кардиомониторинг осуществляется посредством небольшого портативного аппарата - записывающего устройства небольшого размера и весом 90-300 г, к которому прилагается программное обеспечение, устанавливаемое в персональный компьютер. Записывающее устройство должно обеспечить непрерывную запись ЭКГ в течение суток или большего промежутка времени в двух или более синхронизированных отведениях в условиях естественной активности пациента.

Непосредственный контакт регистратора с телом пациента осуществляется с помощью электродов. Лучше всего использовать одноразовые электроды. Наилучшую проводимость имеют электроды, изготовленные из хлорида серебра, в которых металлический центр

контактирует с поверхностью тела через насыщенную электропроводным гелем губку. Диаметр контакта электрода с телом для взрослого человека должен составлять не менее 1 см, а диаметр клейкого круга крепления – не менее 5 см (следует учитывать, что для детей и взрослых электроды выпускаются разной величины).

Для ХМ ЭКГ применяются двухполюсные отведения, состоящие из двух электродов, один из которых – активный, воспринимающий (+), другой – пассивный (-). Кроме нескольких пар регистрирующих электродов, при мониторинговании всегда используется еще один, «нулевой» электрод для обеспечения более качественной записи и максимального увеличения амплитуды комплексов за счет уравнивания потенциалов между регистратором и телом пациента. Количество отведений, используемых при мониторинговании ЭКГ, зависит от технических возможностей устройства и цели обследования.

Во время процедуры холтеровского мониторингования ЭКГ больные обязательно ведут запись всех событий и ощущений, которые имели место во время монтирования с точным указанием времени.

После исследования портативное устройство снимается, данные с помощью специального кабеля или инфракрасного порта (или иным способом) «перебрасываются» на компьютер, где происходит воспроизведение, обработка и интерпретация зарегистрированной ЭКГ. Однако даже самые современные компьютерные программы, анализирующие данные записи ЭКГ никогда не заменят квалифицированного специалиста.

8. Метод векторкардиографии

Электрический вектор сердца за один сердечный цикл описывает сложную замкнутую пространственную кривую. Проекция этой пространственной кривой на каждую из трех координатных плоскостей (фронтальную, сагиттальную и горизонтальную) имеет форму тройной петли (с витками P, QRS, T). Регистрация этих петель производится в методе векторкардиографии (ВКГ).

В основе метода лежит принцип получения пространственной фигуры, являющейся графическим изображением изменений величины и направления электродвижущей силы в течение всего сердечного цикла.

Метод позволяет определить изменение величины и направления электрического поля сердца в течение сердечного цикла, т.е. изучается *динамика проекции вектора ЭДС сердца на плоскость*.

В клинике его применяют для диагностики очаговых поражений миокарда, гипертрофии желудочков сердца (особенно в ранних стадиях) и нарушений ритма.

Исследования проводят в положении пациента на спине, накладывая электроды на поверхность грудной клетки.

Аналоговый векторкардиограф обычно реализуется на базе специализированного аналогового электронного осциллографа. Полученная разность потенциалов регистрируется на экране электронно-лучевой трубки.

В компьютерном электрокардиографе имеются специальные программы для формирования проекций вектор-ЭКГ.

9. Фонокардиография

Фонокардиография – метод исследования и диагностики нарушений деятельности сердца и его клапанного аппарата, основанный на регистрации и анализе звуков, возникающих при сокращении и расслаблении сердца.

При работе сердца в его камерах и магистральных сосудах периодически возникает перепад давления (градиент давления), что способствует открытию и закрытию клапанов сердца. Работа клапанов, напряжение мышечных структур и магистральных сосудов в период изгнания крови из желудочков создают соответствующие колебания, которые аускультативно воспринимаются как *тоны*.

Звуки сердца характеризуются частотой и силой. Частота звука определяется количеством колебаний в единицу времени. Сила звука определяется количеством энергии, проходящей за единицу времени через единицу площади, перпендикулярной направлению распространения звука.

Звуки делятся на *тоны* и *шумы*.

Тоны - это звуки одной частоты, которые называются чистыми тонами или состоящие из нескольких частот, которые называются сложными тонами.

Шумы образованы колебаниями разной частоты. В норме шумы у здорового человека обычно не выслушиваются. В некоторых случаях из-за особенностей организма могут выслушиваться функциональные шумы.

Открытие клапанов сердца сопровождается появлением низкочастотных колебаний, которые наше ухо не воспринимает, но при закрытии клапанов всегда возникают колебания высокой частоты, что мы выслушиваем в виде тонов сердца.

Фонокардиограф - это аппарат, регистрирующий звуковые процессы в сердце. Поскольку комплексное ФКГ+ЭКГ исследование носит более информативный характер, современная промышленность выпускает комбинированные приборы - *фоноэлектрокардиографы* (ФЭКГ).

Одной из наиболее важных частей ФЭКГ является микрофон, чувствительность которого определяет собственно чувствительность всего исследования. Микрофон преобразует звуковую энергию в электрические сигналы.

Вначале производят запись ЭКГ в стандартных, а при необходимости также в однополюсных отведениях от конечностей, что позволяет выбрать отведение ЭКГ, в котором четко выражены основные зубцы, а затем производят синхронную запись ФКГ+ЭКГ. При этом микрофоны крепятся к грудной клетке в местах лучшего улавливания звуков

Кривая записи звуков называется *фонокардиограммой*. Нормальная фонокардиограмма у взрослых в подавляющем большинстве случаев представлена только двумя основными тонами сердца — **систолическим I тоном** (им начинается акустическая систола сердца) и **диастолическим II тоном**, начало которого соответствует окончанию систолы и началу диастолы.

Длительность акустической систолы (интервал между началами I и II тонов) зависит от частоты сердечных сокращений;

Первый тон образован звуком закрытия двустворчатого (митрального) и трёхстворчатого (трикуспидального) клапанов и в меньшей мере звуком сокращающихся желудочков, а иногда и предсердий.

Второй тон вызван звуком закрытия полулунных клапанов аорты (аортального) и легочной артерии (пульмонального) в начале фазы диастолы желудочков.

Реже регистрируются непостоянные диастолические III и IV тоны (между II и I тонами).