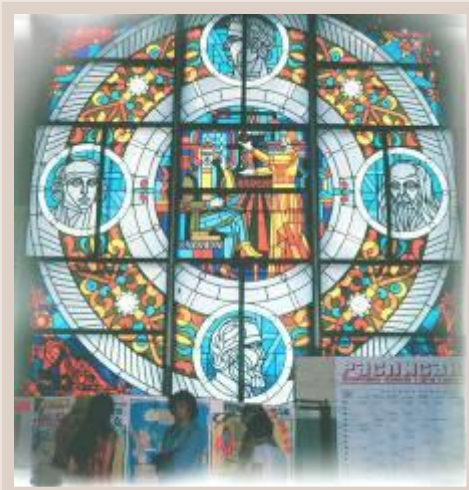


# Novosibirsk State University



# Физические основы диагностики

Проф. Ирина Георгиевна Пальчикова

## Расписание

Лекции

Суббота 10<sup>50</sup> -13<sup>30</sup>

Практические занятия

Понедельник 12<sup>40</sup> -18<sup>00</sup>

измерительный практикум - 8 недель

Учебный семестр 7 февраля – 26 мая ( 16 учебных недель)

# Программа

- ▶ Цель курса: Связать полученные ранее из курса физики знания с существующими методами медицинской диагностики и с принципами работы диагностических приборов.
- ▶ Основное внимание обращается на понимание студентами физических принципов работы приборов и методик и на конкретное техническое воплощение этих принципов. Особое внимание уделяется технике безопасности.
- ▶ Электричество
- ▶ Акустика
- ▶ Молекулярная физика
- ▶ Оптика
- ▶ Оптика и атомная физика
- ▶ Ядерная физика
- ▶ Техника безопасности и окружающая среда

# Основные сведения о курсе

► Содержание дисциплины: лекции – 48 час, лабораторные работы – 28 часа.

► Формы контроля:

Итоговый экзамен, оценка выставляется с учетом результатов текущего контроля.

Текущий контроль: оценки за выполнение домашнего задания (задачи), получение зачёта по каждой из 8-ти лабораторных работ, сдача коллоквиума в середине семестра (после 5-ой лекции).

Контроль посещаемости: 2 пропуска занятий подряд – представить допуск из деканата.

# Учебная литература

- ▶ Подробный список даётся в программе
- ▶ На сайте ФФ представлены копии основных учебных материалов
- ▶ <http://www.phys.nsu.ru/>  
электронная библиотека

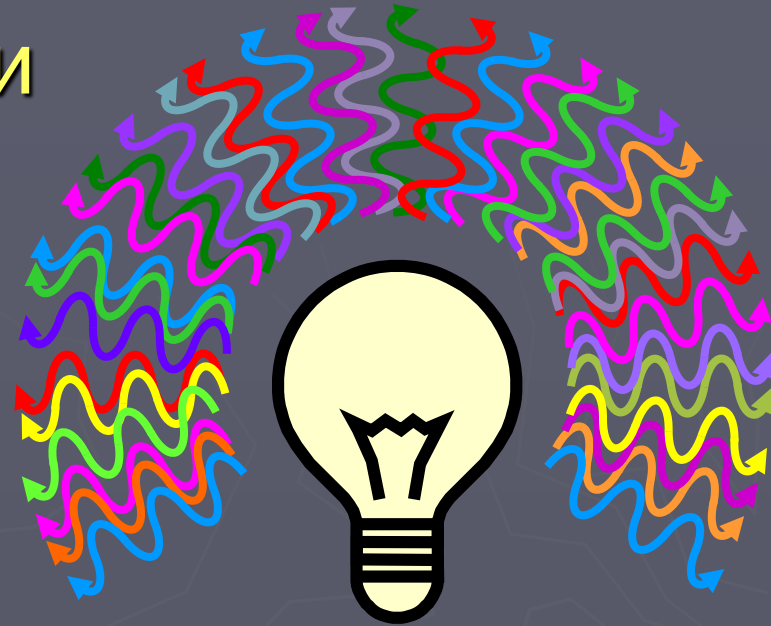
## **И. Герман**

**Физика организма человека. Пер. с англ.: Научное издание / И. Герман – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 992 с. ISBN 978-5-91559-057-0**

Монография на основе курсов лекций в Колумбийском университете не имеет аналогов в мировой литературе по полноте и ясности изложения вопросов биомеханики и биофизики человека. Рассмотрены физические аспекты работы всех систем жизнеобеспечения, зрение и слух, формирование речи. Особое внимание уделено костно-мышечным задачам, сердечно-сосудистой и дыхательной системам, рецепторам вкуса и запаха, регуляции параметров в организме человека.

Незаменимое руководство для студентов и преподавателей биомедицинских специальностей, исследователей и разработчиков медицинских приборов, робототехнических устройств, научных работников в области физики живых систем.

# Содержание 1-ой лекции



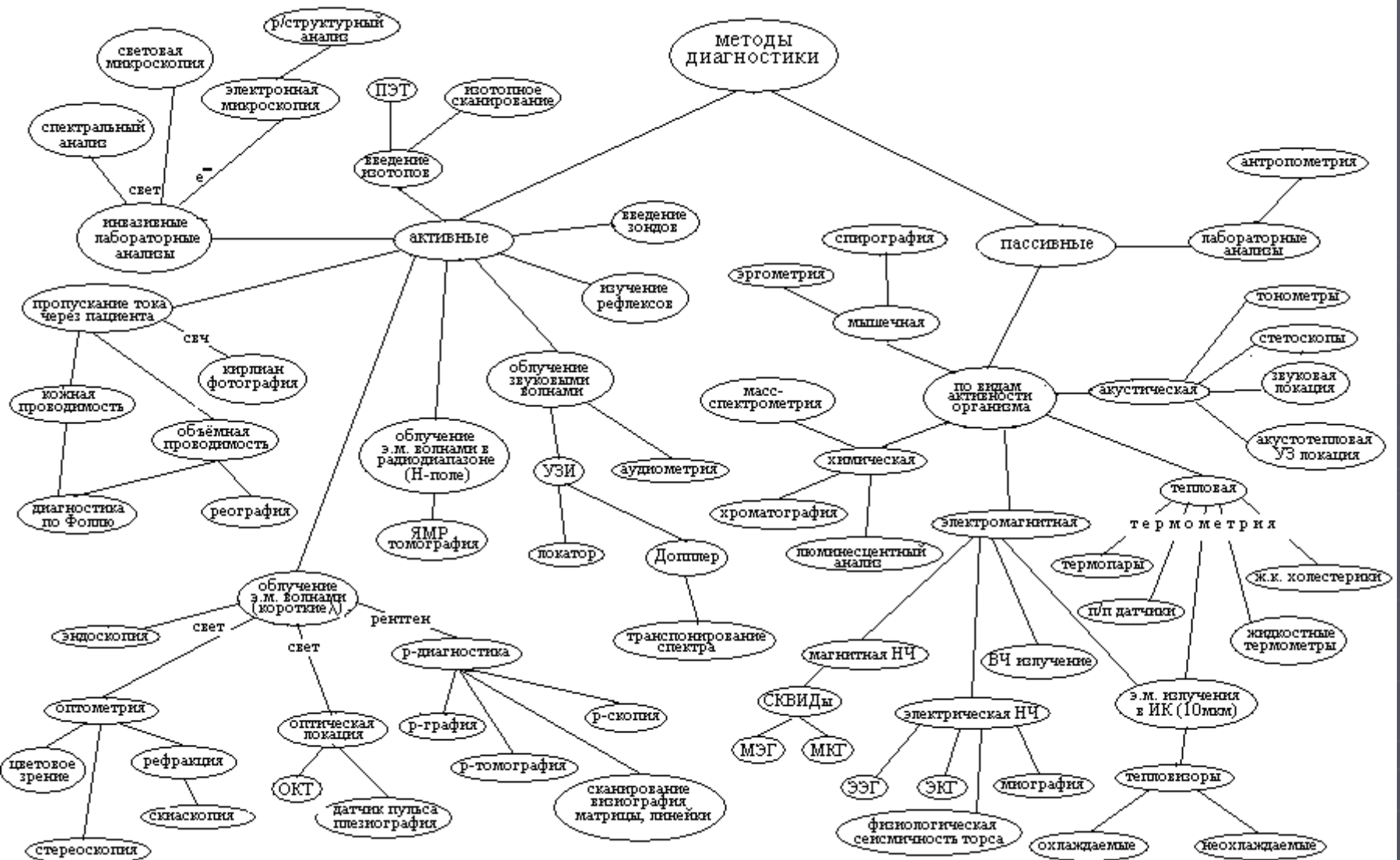
Программа курса

Систематизация методов диагностики

Роль электромагнитных полей в медицинской диагностике

Приборы для усиления и регистрации биоэлектрической активности

# Систематизация методов диагностики



# Приборы для усиления и регистрации биоэлектрической активности



# Электрические явления в живом организме



## Электрический заряд

Квант заряда  
 $q_0 = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$   
 $[q] = \text{кулон (Кл)}$

Закон сохранения  
 $\sum_{i=1}^n q_i = \text{const}$   
В замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов неизменна

Заряды движутся с постоянной скоростью

Постоянное во времени магнитное поле (магнитостатика)

Постоянный электрический ток

Заряды покоятся

Постоянное во времени электрическое поле (электростатика)

Заряды движутся с ускорением

Связанные между собой переменные во времени электрическое и магнитное поля

Переменный электрический ток

## Электростатика

Характеристики электростатического поля

Напряженность  
 $E = \frac{F}{q}$   
 $[E] = \frac{\text{вольт}}{\text{м}} \left( \frac{\text{В}}{\text{м}} \right)$

$\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды

Для вакуума  
 $\epsilon = 1$

Закон Кулона  
 $F = \frac{|q_1||q_2|}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2}$

$\epsilon_0$  электрическая постоянная  
 $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$   
 $[\epsilon_0] = \frac{\text{фарад}}{\text{м}} \left( \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \right)$

Энергия и работа

Потенциал  
 $\phi = \frac{A}{q}$   
 $[\phi] = \text{вольт (В)}$

Энергия поля  
 $W_3 = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} V$

Потенциал точечного заряда  
 $\phi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R}$

Энергия взаимодействия двух зарядов  
 $W_{32} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R}$

Напряженность поля точечного заряда  
 $E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2}$

Связь напряженности и потенциала  
 $E = \frac{U}{d}, U = \Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$

Работа по перемещению заряда  
 $A = q\Delta\phi = qU$

## Электрическая емкость и конденсаторы

Электрическая емкость  
любого проводника

$$C = \frac{q}{\varphi}$$

$$[C] = \text{фарада} [\Phi]$$

## Конденсаторы

Емкость конденсатора

$$C = \frac{q}{U}$$

$q$  - заряд на обкладках  
 $U$  - напряжение  
между обкладками

Емкость плоского  
конденсатора

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

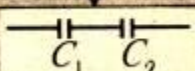
Емкость шара

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R$$

Энергия конденсатора

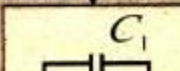
$$W_3 = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

Батареи конденсаторов



Эквивалентная емкость

$$C_3 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$



$$C_3 = C_1 + C_2$$

## Электрический ток

Определение

$$I = \frac{q}{t}$$

$$[I] = \frac{K}{c} = \text{Ампер (A)}$$

## Носители электрического тока

Электроны

Отрицательно  
заряженные  
ионы (анионы)

Положительно  
заряженные  
ионы (катионы)

Псевдо-  
заряды -  
"дырки"

Ток в электролитах

Ток в газах

Ток в полупроводниках

Ток в проводниках

Ток в вакуумных  
устройствах

## Электрический ток в проводниках

Необходимые условия существования тока в электрической цепи

Наличие сторонних электродвижущих сил (ЭДС)  $\varepsilon$   
 $[\varepsilon] = B$

Закон Ома для участка цепи

$$I = \frac{U}{R}$$

$R$  - сопротивление участка  
 $[R] = Ом$

Работа тока

$$A = UI t$$

$$A = I^2 R t$$

$$A = \frac{U^2}{R} t$$

Закон Джоуля-Ленца  
 $Q = A$

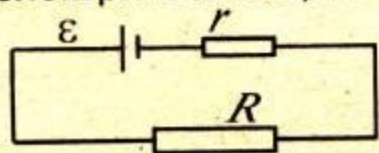
Мощность тока  
 $P = UI$   
 $P = I^2 R$   
 $P = \frac{U^2}{R}$

Коэффициент полезного действия в электрической цепи

$$\eta = \frac{R}{R + r}$$

$$\eta = \frac{U}{\varepsilon}$$

Закон Ома для полной электрической цепи



$$I = \frac{\varepsilon}{r + R}$$

$r$  - внутреннее сопротивление источника ЭДС

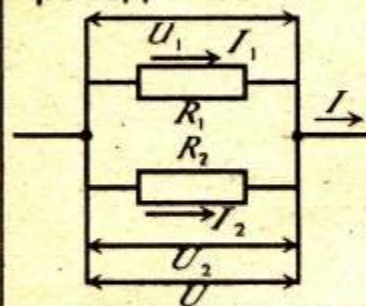
## Электрическое сопротивление

Для проводника длиной  $l$  и сечением  $S$

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$\rho$  - удельное сопротивление  
 $[\rho] = Ом \cdot м$

Параллельное соединение проводников



$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$U = U_1 = U_2$$

$$R_3 = R_1 + R_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

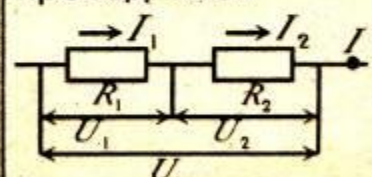
$$I = I_1 = I_2$$

Зависимость сопротивления от температуры  
 $\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$   
 $\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления

$$[\alpha] = \frac{1}{^\circ C}$$

Явление сверхпроводимости при  $\rho = 0$

Последовательное соединение проводников



$$R_3 = R_1 + R_2$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

## Магнитное поле

Характеристики поля

Индукция  

$$B = \frac{M}{IS}$$
 М - момент, действующий на рамку площадью S с током I  
 [B] = тесла (Тл)

Магнитный поток  

$$\Phi = B \cdot S \cos \alpha$$

$$\alpha = (\vec{B}, \vec{n}_S)$$
 [Φ] = вебер (Вб)

Магнитная постоянная  

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}; [\mu_0] = \frac{\text{генри}}{\text{м}} \left( \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \right)$$

Относительная магнитная проницаемость  

$$\mu = \frac{B}{B_0}$$
 B<sub>0</sub> - индукция в вакууме  
 B - индукция в среде

Сила Ампера (сила, действующая на проводник с током)  

$$F = BIl \sin \alpha$$

$$\alpha = (\vec{B}, \vec{I})$$

Сила Лоренца (сила, действующая на движущийся заряд)  

$$F_L = qvB \sin \alpha$$

$$\alpha = (\vec{B}, \vec{v})$$

Энергия магнитного поля  

$$W_m = \frac{B^2}{2\mu_0} V$$

## Классификация сред

$\mu = 1$  вакуум   
 $\mu \leq 1$  диамагнетики   
 $\mu \geq 1$  парамагнетики   
 $\mu \gg 1$  ферромагнетики

## Электромагнитное поле

Закон электромагнитной индукции (связь электрических и магнитных явлений)  

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Э.д.е. индукции в движущихся проводниках  

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = B l v \sin \alpha$$

$$\alpha = (\vec{B}, \vec{v})$$

Э.д.с. индукции во вращающейся рамке  

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = BS\omega \sin \omega t$$

Техническое приложение: генераторы тока

Распространяется в пространстве в виде волн

Характеристики волн

Скорость в вакууме  

$$V = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Векторы  $\vec{B}$  индукции и напряженности  $\vec{E}$  перпендикулярны между собой

$\vec{B} \perp \vec{v}$  и  $\vec{E} \perp \vec{v}$   
 v - вектор скорости

Энергия электромагнитного поля

$$W_3 + W_m = \frac{V}{2} \left( \epsilon \epsilon_0 E^2 + \frac{B^2}{\mu \mu_0} \right)$$

Поток самоиндукции в катушке  

$$\Phi = LI$$
 L - индуктивность катушки  
 [L] = генри (Гн)

Э.д.с. самоиндукции  

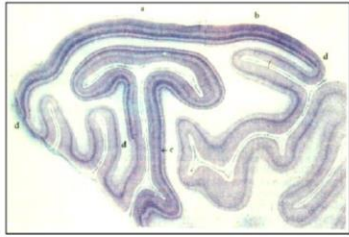
$$\mathcal{E}_L = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Энергия магнитного поля в катушке  

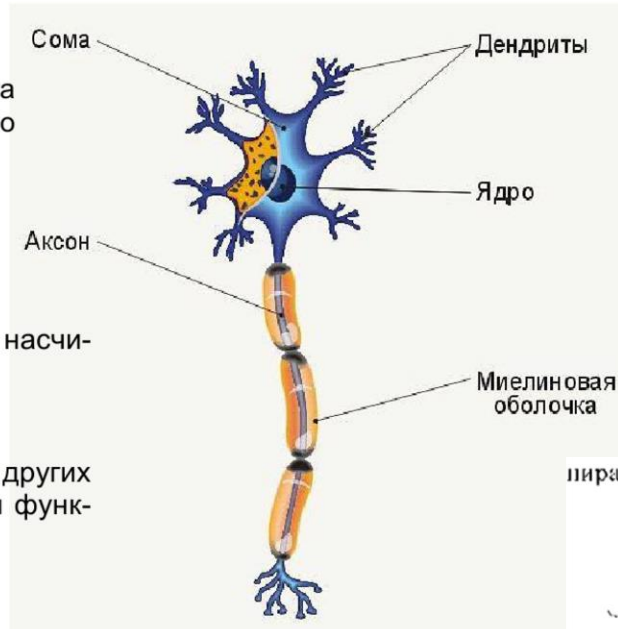
$$W_m = \frac{LI^2}{2}$$

- ▶ Живой организм - совокупность клеток
- ▶ Разделение функций между комплексами клеток – координация взаимодействия – система нервных клеток
- ▶ Центральная и периферическая нервная система совместно обеспечивают приспособление к внешнему миру.
- ▶ Задача периферической части- получение и передача информации извне, а так же передача и исполнение «приказов» центра. ЦНС воспринимает, обрабатывает информацию на основе результатов обработки формирует «приказы», подлежащие исполнению.
- ▶ Функциональное деление: ЦНС и вегетативная система. Вегетативная система обеспечивает равновесие внутреннего состояния и управляет двумя функциями: динамическая связь с внешней средой (симпатический эффект), регенерирование организма (парасимпатический эффект)
- ▶ ЦНС – нервные клетки + отростки (дендриты и аксоны) (мозг содержит ~10 млрд нейронов). Связь между нейронами – синапсы – передают информацию только в одном направлении. Сигнал имеет электро - химическую природу.
- ▶ Раздражаемость живых клеток. Под действием импульса клетки возбуждаются и выполняют ту или иную специфическую функцию. Существует наименьшая интенсивность раздражения, которая возбуждает клетку – порог раздражения.

# Строение нервной ткани



Срез затылочной доли мозга человека. Окрашены только тела нейронов.

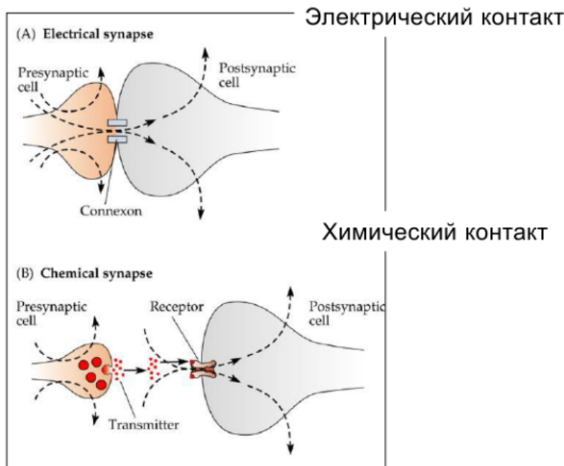


В центральной нервной системе по разным оценкам насчитывается **20-100 млрд. нейронов**.

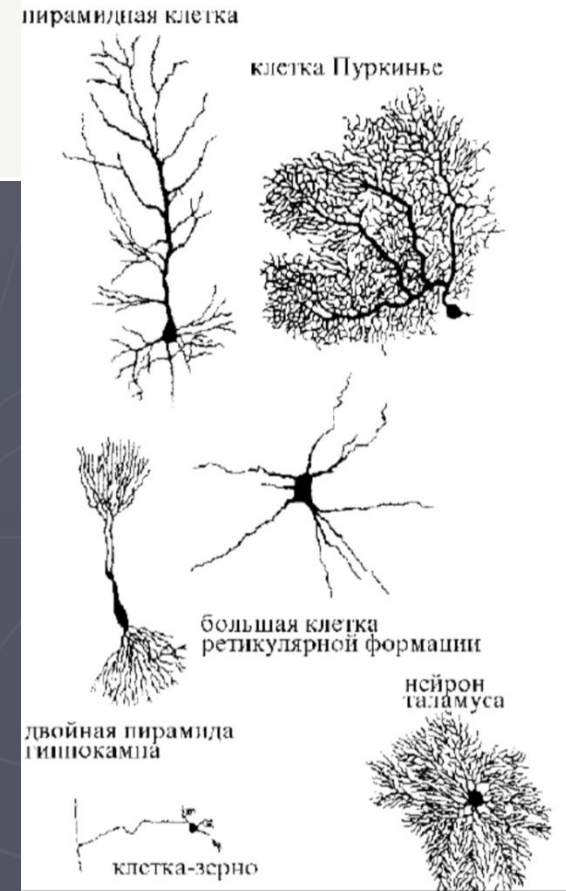
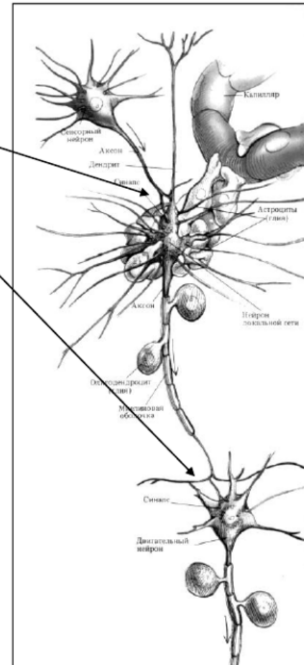
Их работа существенно отличается от работы многих других клеток организма. Нейроны не могут выполнять свои функции в одиночку; они объединены в **цепи** или **сети**.

## Нейроны объединены в сети

Схема фрагмента нейронной сети



контакты (синапсы) между нейронами



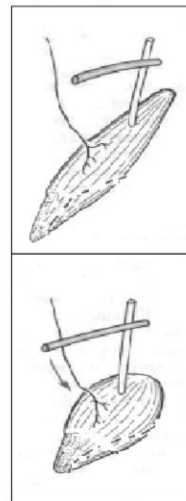
Один нейрон может посылать информацию большому числу других нейронов и также получать информацию от большого числа нейронов (от **1** до **100 000**, в среднем от **10 000**).

В ходе изучения клеток уже давно было подмечено, что о какой бы клетке ни шла речь, на мембране или оболочке, окружающей клетку, можно наблюдать электрические явления. Эти явления первоначально обнаружили при исследовании различных рыб, обладающих электрическим воздействием. Открытие относится к эпохе Римской империи. Сохранились записи о том, что римский лекарь Скрибоний Ларгус своих больных, страдающих сильной головной болью, лечил, прикладывая к их голове электрических скатов. Эти рыбы обитают в Средиземном море и могут создавать электрический импульс напряжением 20...30 В. В конце XVIII в. Гальвани обратил внимание на то, что бедренные мышцы лягушки можно возбуждать электрическим током. А в прошлом веке уже многие, в том числе и Карло Маттеуччи (в 1842 г.), заметили, что при сокращении мышцы по обеим сторонам мембраны мышцы возникает импульс электрического напряжения. Позже многие исследователи (Колликер, Муэллер, Нобили, Дю Буа Реймонд и т. д.) вплотную занимались этим интересным вопросом. Электрическое напряжение удалось измерить даже на мембране растительных клеток.

Биоэлектричество определяет функционирование каждой клетки организма. Например, определяет передачу возбуждения в каждом нейроне. Раздражаемость живых клеток. Под действием импульса клетки возбуждаются и выполняют ту или иную специфическую функцию. Существует наименьшая интенсивность раздражения, которая возбуждает клетку – порог раздражения.

## Открытие «животного электричества»

В 1791 г. **Л. Гальвани** обнаружил, что если к нервно-мышечному препарату лягушки приложить две соединенные между собой пластинки из разнородных металлов, то мышца сокращается. Л. Гальвани объяснял это явление протеканием «**животного электричества**», которое, по его мнению, зарождалось в нервах и запасалось в мышцах.

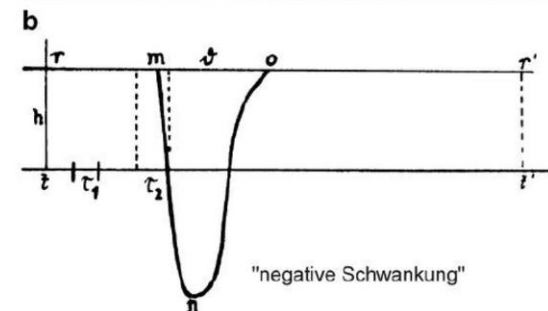
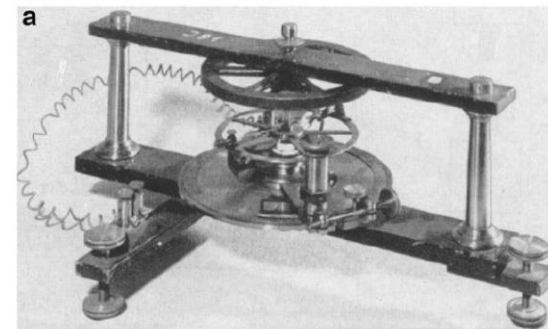


## Первое измерение «животного электричества»



1839-1917

Bernstein J (1868)  
Über den zeitlichen Verlauf der negativen  
Schwankung des Nervenströms.  
Pflügers Arch 1:173–207



# Характерные величины биоэлектрических сигналов

<b>Биоэлектрический сигнал</b>	<b>Характерная амплитуда</b>
Электрокардиограмма (ЭКГ, сердце)	1 мВ
Электроэнцефалограмма (ЭЭГ, волны в мозге)	10–100 мкВ
Электромиограмма (ЭМГ, мышцы)	300 мкВ
Трансмембранный потенциал	100 мВ
Электроокулограмма (ЭОГ, глаз)	500 мкВ

# Электрические свойства тканей

Когда разность потенциалов (напряжение) прикладывается к металлическому проводнику, в нем возникает электрический ток, обусловленный тем, что под действием электрического поля начинается направленное движение электронов. Если же напряжение прикладывается к раствору, содержащему положительные и отрицательные ионы, в растворе возникает электрический ток, обусловленный направленным движением этих ионов. Проводимость  $\sigma$  такого раствора равна сумме проводимостей, обеспечиваемых каждым из участвующих в создании тока ионов. Если концентрация ионов в растворе достаточно низкая, то проводимость, обеспечиваемая каждым видом ионов, пропорциональна концентрации этого иона в растворе, то есть

$$\sigma = \sum_i n_i \Lambda_{0,i}, \quad (12.15),$$

где  $\Lambda_{0,i}$  — коэффициент пропорциональности для данного иона. В таблице 12.2 приведены молярные проводимости ( $\Lambda_{0,i}$ ) для некоторых наиболее распространенных ионов в очень сильно разбавленном растворе, а в таблице 12.3 даны типичные значения концентраций некоторых ионов в крови и в клетках. Для вычисления электрического сопротивления, обусловленного ионами, нужно воспользоваться формулами  $\rho = 1/\sigma$ .

Таблица 12.2. Молярные проводимости ( $\Lambda_{0,i}$ ) для различных ионов при очень сильном (бесконечном) разведении.

Ион	$\Lambda_{0,i}$ (1/Ом · м · моль)
H <sup>+</sup>	34,9
OH <sup>-</sup>	19,8
Na <sup>+</sup>	5,0
Cl <sup>-</sup>	7,6

Таблица 12.3. Концентрации несвязанных ионов в крови и в цитоплазме клеток, (Использованы данные из [597]).

Ион	Концентрация в крови	Концентрация в цитоплазме	Отношение
Na <sup>+</sup>	145 мМ	12 мМ	12:1
K <sup>+</sup>	4 мМ	140 мМ	1:35
H <sup>+</sup>	40 нМ	100 нМ	1:2,5
Mg <sup>2+</sup>	1,5 мМ	0,8 мМ	1,9:1
Ca <sup>2+</sup>	1,8 мМ	100 нМ	18:1
Cl <sup>-</sup>	115 мМ	4 мМ	29:1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	25 мМ	10 мМ	2,5:1

Таблица 12.4. Удельное сопротивление некоторых тканей тела при низких частотах (в Ом · м). (Использованы данные из [567, 573, 586]).

Ткань	Удельное сопротивление
Спинальная жидкость	0,650
Плазма крови	0,7
Цельная кровь	1,6 (P <sub>св</sub> = 45%)
Скелетная мышца	
Продольно	1,25–3,45
Поперечно	6,75–18,0
Печень	7
Легкие	
На вдохе	17,0
На выдохе	8,0
Нервная ткань (в мозге)	
Серое вещество	2,8
Белое вещество	6,8
Жир	20
Кость	>40
Кожа	
Влажная	10 <sup>5</sup>
Сухая	10 <sup>7</sup>

Как и многие материалы, ткани человека проявляют диэлектрические свойства. Однако они обладают и некоторой способностью проводить ток. Т.е. это диэлектрики со слабой проводимостью.

# Проведение по нервам

На рисунке 12.7 показана структура нервной клетки (или нейрона) с ядром, дендритами (по которым поступает информация от окружающих клеток), аксоном, терминалями аксона и синапсами, позволяющими передавать сигнал на другие нейроны. В каждом нерве содержится множество таких аксонов. Безмиелиновые аксоны не имеют окружающей их оболочки, тогда как миелинизированные (миелиновые) аксоны окружены миелиновой оболочкой, которая образуется шванновскими клетками.

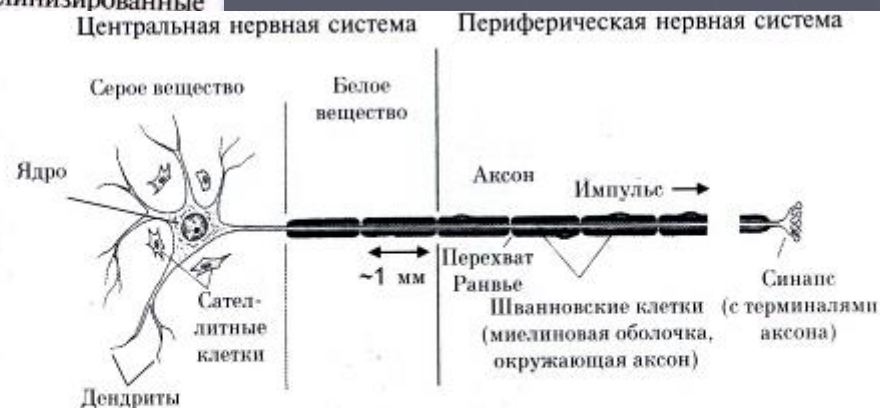


Рис. 12.7. Структура нейрона. (Из [592])

Отметим, что примерно  $2/3$  всех аксонов в нашем организме — безмиелиновые. Их радиус составляет  $0,05\text{--}0,6\ \mu\text{м}$ , а скорость проведения по ним  $u$  (в м/с) вычисляется по формуле  $u = 1,8\sqrt{a}$ , где  $a$  — радиус аксона (осевого цилиндра) в микрометрах. Миелиновые волокна имеют наружный радиус от  $0,5$  до  $10\ \mu\text{м}$ , и скорость проведения возбуждения по ним  $u$  (в м/с) определяется формулой  $u \approx 12(a + b) \approx 17a$ , где  $b$  — толщина миелиновой оболочки (в мкм), а величина  $a + b$  равна наружному радиусу аксона. Расстояние между перехватами Ранье может быть оценено как  $\approx 280a$ .



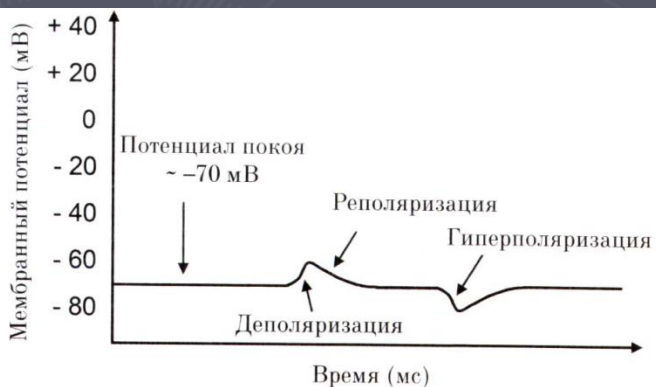
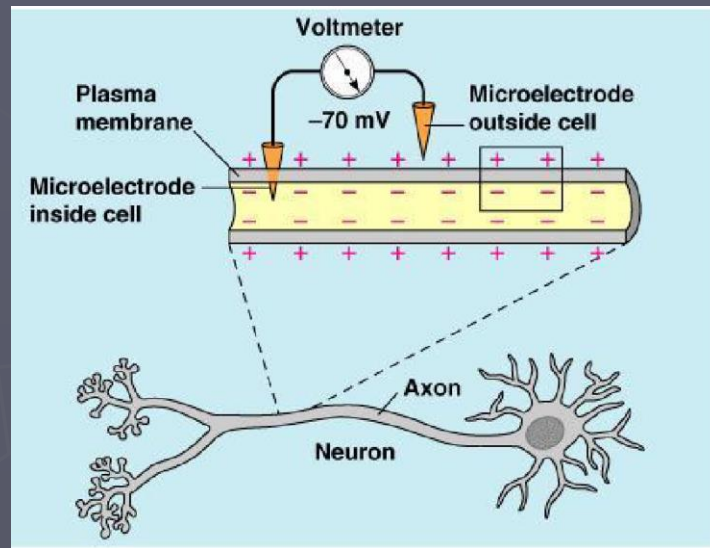
# Задача 1

Рассчитать характерные скорости проведения возбуждения по безмиелиновым и миелиновым волокнам.

# Клеточные мембраны

Потенциал покоя – разность потенциалов между цитоплазмой клетки и окружающей средой

В нейронах и других клетках организма клеточные мембраны разделяют внеклеточное и внутриклеточное пространства. Ионы натрия, калия, хлора, отрицательно заряженные белки и ряд других заряженных частиц находятся как внутри нейронов (внутриклеточный пул), так и во внеклеточной среде. Концентрации этих заряженных частиц таковы, что и внутриклеточная и внеклеточная жидкости электрически нейтральны (то есть число положительно заряженных частиц равно числу отрицательно заряженных частиц). Однако внутренняя сторона клеточной мембраны заряжена отрицательно по отношению к наружной стороне мембраны. Таким образом, на мембране создается потенциал покоя, составляющий примерно  $-70$  мВ (рис. 12.9). Это значит, что если мы примем потенциал внеклеточной жидкости за 0, то внутриклеточная среда будет иметь потенциал, равный  $-70$  мВ. Нам, однако, нет нужды как-либо фиксировать внеклеточный потенциал, поскольку значение имеет только разность потенциалов между внутренней и наружной поверхностью мембраны. Потенциал покоя регистрируется тогда, когда не проявляется какой-либо специфической активности в данном нервном волокне (по нерву не распространяется возбуждение). Такое состояние иногда называют *поляризованным состоянием*.



Мембранный потенциал равный  $-70$  мВ (внутренняя поверхность мембраны заряжена отрицательно относительно наружной поверхности) соответствует поляризованному состоянию. При деполаризации потенциал увеличивается, реполаризация возвращает мембранный потенциал к исходному уровню (к потенциалу покоя), а гиперполяризация означает уменьшение мембранного потенциала.

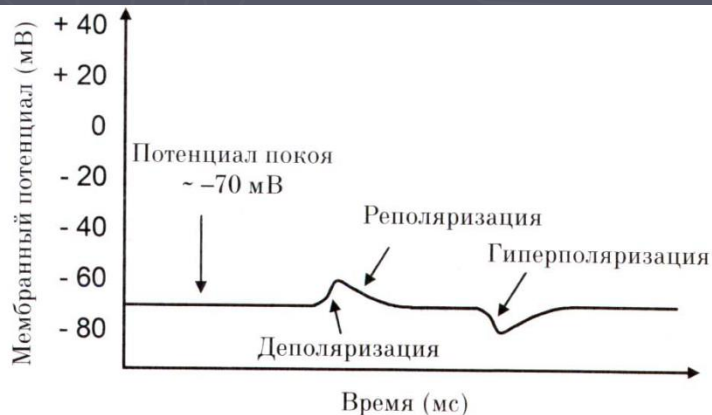
В аксоне	Мембрана	Внеклеточной жидкости	$n_o/n_i$
$[Na^+] = 15$	-	$[Na^+] = 145$	9.7
$[K^+] = 150$	-	$[K^+] = 5$	0.03
	-	$[Прочие^+] = 5$	
$[Cl^-] = 9$	-	$[Cl^-] = 125$	13.9
$[Прочие^-] = 156$	-	$[Прочие^-] = 30$	0.2
$V = -70$ мВ	-	$V = 0$ мВ	
Электрически нейтрально	-	Электрически нейтрально	

Концентрация ионов (в мМ) в типичном аксоне нервной клетки млекопитающих ( $n_i$ ) и во, окружающей эту клетку ( $n_o$ ), а также их отношение ( $n_i/n_o$ ).

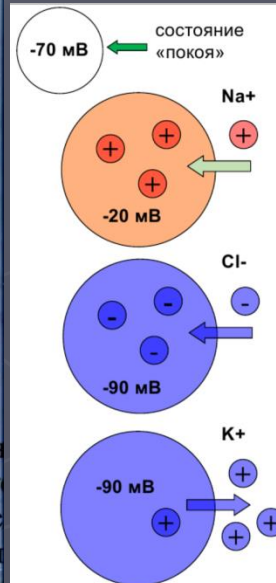
# Проведение по нервам

Несмотря на то, что внутриклеточная и внеклеточная среды электрически нейтральны, концентрация каждого из ионов по обе стороны от мембраны неодинаковы, что видно из рисунка 12.9. Это различие концентраций обязано своим происхождением динамическому равновесию. Когда происходит изменение проницаемости клеточной мембраны для различных ионов, возникает преходящее нарушение равновесия концентраций заряженных частиц по обе стороны мембраны, что приводит к изменению мембранного потенциала. Изменение мембранного потенциала от  $-70$  мВ до  $-60$  мВ, показанное на рисунке 12.10 (то есть увеличение мембранного потенциала) называется *деполяризацией*, а уменьшение

мембранного потенциала от  $-70$  мВ до, скажем,  $-80$  мВ называется *гиперполяризацией*. Деполяризация обуславливается потоком положительно заряженных частиц внутрь клетки или отрицательно заряженных частиц из клетки вовне. Гиперполяризация, напротив, связана с потоком отрицательно заряженных частиц внутрь клетки или положительно заряженных частиц из клетки. Изменения проницаемости мембраны для различных ионов определяется изменением состояния (открыванием или закрыванием) *ионных каналов*.



Мембранный потенциал равен  $-70$  мВ (внутренняя поверхность мембран заряжена отрицательно относительно наружной поверхности) соответствует поляризованному состоянию. При деполаризации потенциал увеличивается реполаризация возвращает мембранный потенциал к исходному уровню (к потенциалу покоя), а гиперполяризация означает уменьшение мембранного потенциала



## Изменения состояния нейрона

Положительные ионы входят в нейрон. Это приводит к деполаризации (уменьшение поляризации), нейрон возбуждается.

Отрицательные ионы входят в нейрон. Это приводит к гиперполяризации (увеличение поляризации), нейрон тормозится.

Положительные ионы выходят из нейрона. Это приводит к гиперполяризации (увеличение поляризации), нейрон тормозится.

- возбуждение
- торможение

Проницаемость клеточной мембраны и активные процессы приводят к тому, что концентрация ионов по обе стороны мембраны отличается от таковой, которую можно было бы ожидать, рассматривая только процессы диффузии и движение зарядов в электрическом поле. Мембрана клеток обладает высокой проницаемостью для ионов калия ( $K^+$ ) и хлора ( $Cl^-$ ), поэтому эти ионы ведут себя так, как ожидается. В то же время, мембрана практически непроницаема для белков, поэтому они концентрируются внутри клетки, обеспечивая, таким образом, большой отрицательный заряд внутри клетки. Специальный химический механизм обеспечивает активный транспорт через мембрану ионов  $K^+$  и  $Na^+$ . Этот механизм, называемый натриевым насосом (или натрий-калиевой помпой) выводит из клетки три иона  $Na^+$ , транспортируя взамен внутрь клетки два иона  $K^+$ . В результате действия этого насоса внутри клетки поддерживается высокая концентрация ионов  $K^+$  при том, что вне клетки наблюдается высокая концентрация ионов  $Na^+$ .

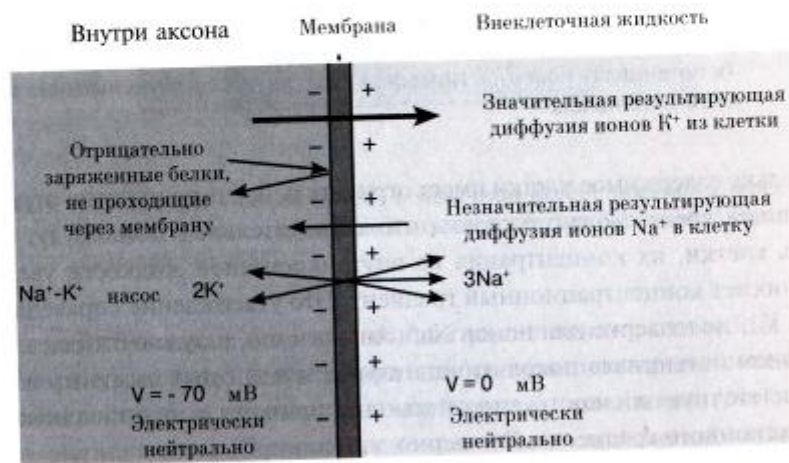


Рис. 12.11. Механизмы перемещения ионов через заряженную клеточную мембрану, которые определяют возникновение мембранного потенциала покоя

Высокая внеклеточная концентрация ионов  $Na^+$  обеспечивается тем, что натриевый насос противостоит действию электростатических сил, пытающихся уравнять концентрацию этого иона внутри и вне клетки (рис. 12.11). Действие этого же натрий-калиевого насоса обеспечивает высокую внутриклеточную концентрацию ионов  $K^+$ . Высокая концентрация ионов хлора ( $Cl^-$ ) вне клетки определяется действием электрических сил, которые не позволяют уравнять концентрацию этого иона внутри и вне клетки. Высокая концентрация отрицательно заряженных белков внутри клетки обусловлена их большими размерами, не позволяющими им проникать через клеточную мембрану.

## Нервный импульс (потенциал действия)

В 1939 г. **А. Ходжкин** и **А. Хаксли** впервые зарегистрировали ПД от гигантского аксона кальмара.

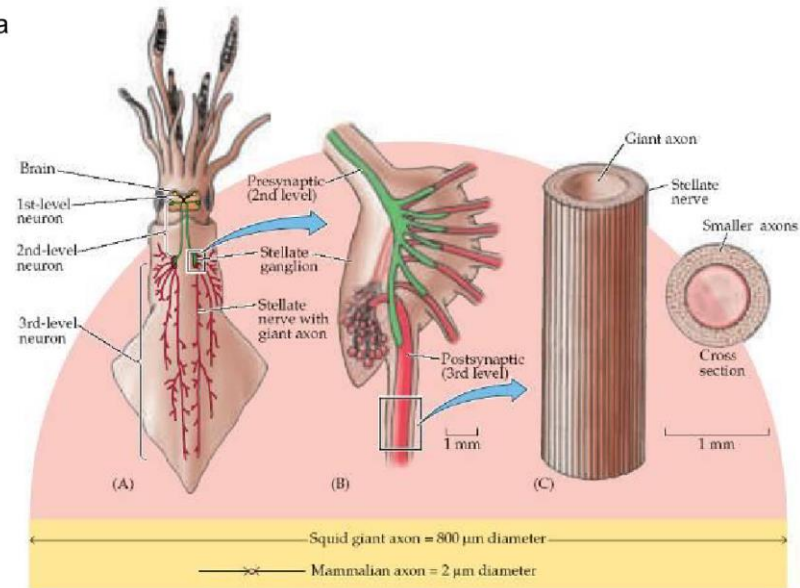
А. Ходжкин (A. Hodgkin, 1949 г.)



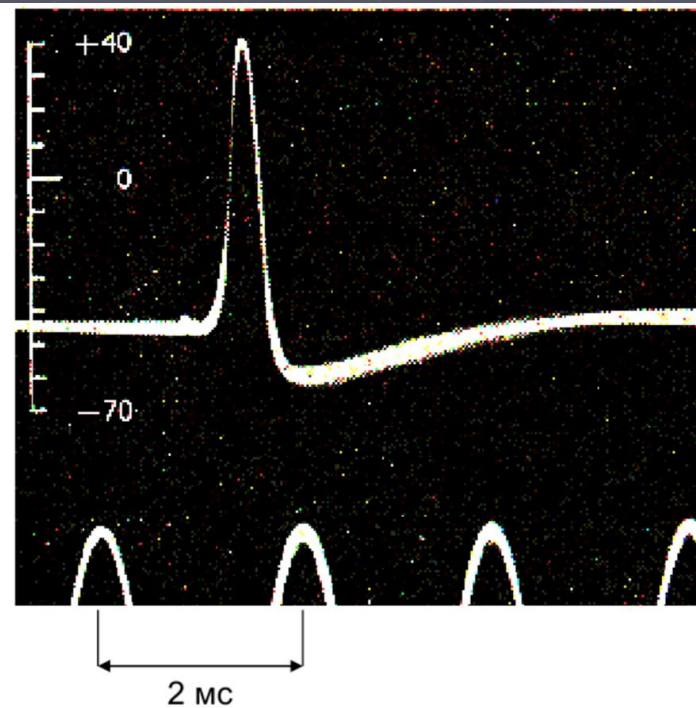
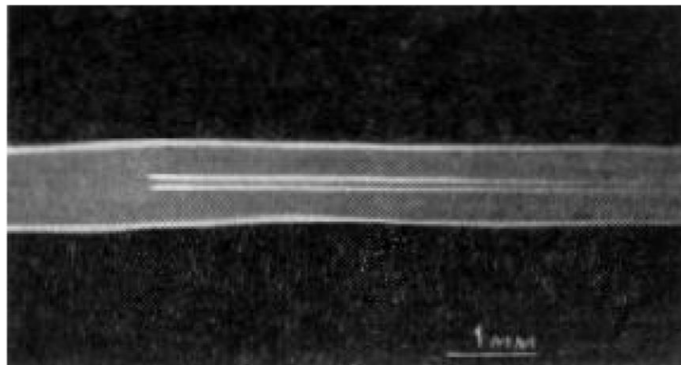
А. Хаксли (A. Huxley, 1974 г.)



## Гигантский аксон кальмара



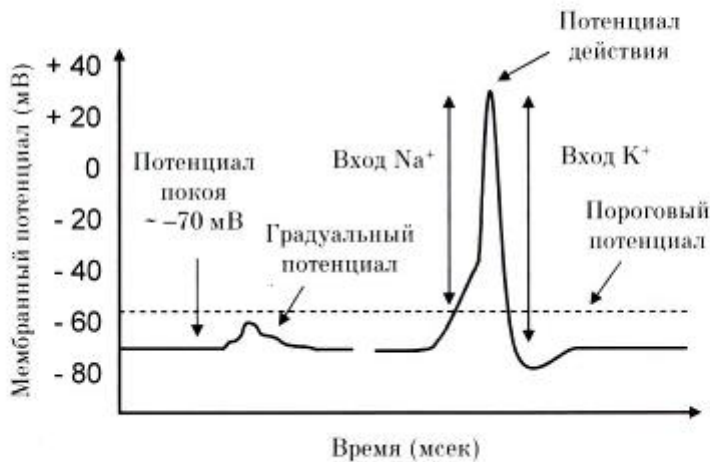
## Аксон с микроэлектродом



# Варианты возбуждения мембраны

Мембрана нервной клетки возбуждается двумя способами, генерируя либо градуальные потенциалы различной амплитуды, либо потенциал действия ПД строго определенной формы

Градуальные потенциалы (рис. 12.14) представляют собой малые изменения (возмущения) мембранного потенциала, которые вызываются различными причинами — нейротрансмиттерами, стимуляцией рецептора (чувствительного окончания аксона), а также спонтанным током утечки через клеточную мембрану.



На рис. 12.14 показана зависимость ПД от времени для одной точки аксона. ПД зависит не только от времени, но и от расстояния ( $x$ ) вдоль аксона. Другими словами, потенциал действия является функцией двух переменных. В математике подобные функции двух переменных применяют для описания прямолинейного распространения волны и процессов диффузии. ПД является типичной волной, распространяющейся без декремента по нервному волокну.

**Рис. 12.14.** Градуальный (подпороговый) потенциал слева и (надпороговый) потенциал действия ПД справа

Для градуального потенциала не существует порога стимуляции. Длительность этих потенциалов варьирует от 5 мсек до нескольких минут. Градуальные потенциалы могут быть либо деполяризационными, либо гиперполяризационными. Последовательно возбужденные градуальные потенциалы алгебраически складываются. Эти потенциалы охватывают лишь небольшой участок аксона и не способны распространяться на большие расстояния из-за их затухания.

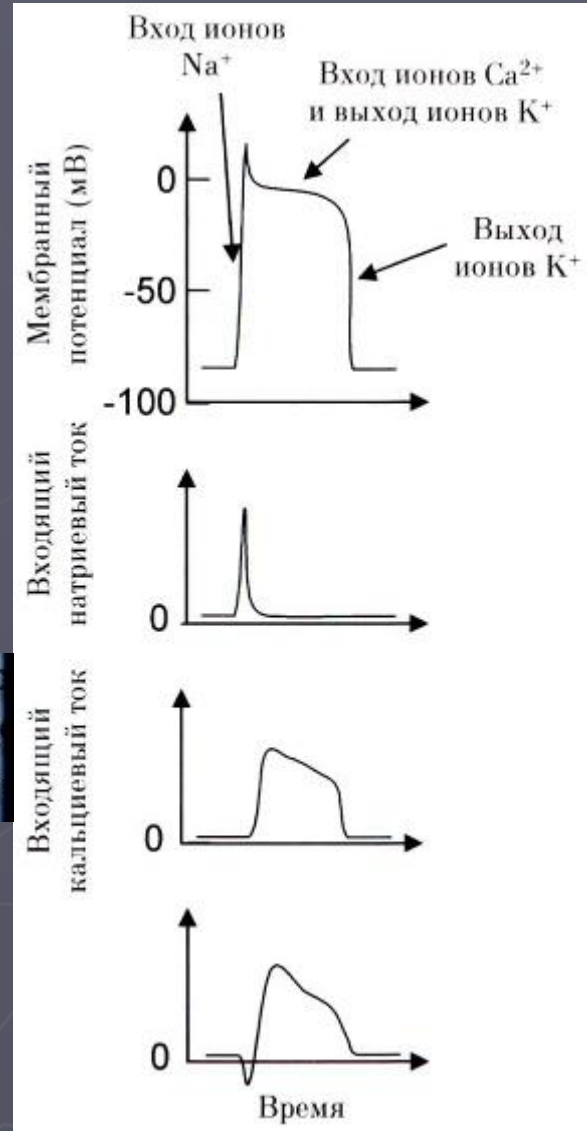
# Варианты возбуждения мембраны

Потенциалы действия ПД качественно отличаются от градуальных потенциалов во всех отношениях (рис. 12.14). ПД начинается с достаточно большого уровня деполяризации (15–20 мВ выше потенциала покоя, равного  $-70$  мВ), так что порог ПД составляет примерно  $-55$  мВ. При этом потенциале в мембране открывается достаточно большое число натриевых каналов, через которые внутрь клетки начинают течь положительно заряженные ионы натрия. В результате деполяризация мембраны усиливается, что приводит к открыванию новых натриевых каналов. Мембрана деполяризуется до равновесного потенциала по натриевым ионам (примерно  $+50$  мВ), после чего в игру вступают калиевые каналы, благодаря которым мембранный потенциал возвращается к потенциалу покоя. Амплитуда ПД составляет  $50$  мВ  $- (-70$  мВ) =  $120$  мВ.

Длительность ПД равна 1–5 мсек. Потенциалы действия не складываются и распространяется по аксону без затухания (без декремента). К этому воп

На рисунке 12.15 показана деполяризация и реполяризация (ПД) кардиоцита (мышечной клетки сердца), а также лежащие в основе этих проце ионные токи.

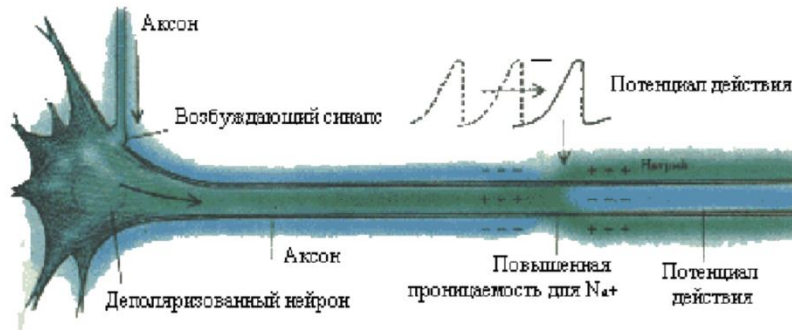
Потенциал действия и ионные токи кардиомиоцита (мышечной кл сердца). Вверху показана форма ПД, а внизу — натриевый, кальци и калиевый токи [585]



# Распространение нервных импульсов

## Немиелинизированные волокна

При активации нейрона возникает электрический импульс (потенциал действия), который распространяется вдоль волокна. Потенциал действия определяется входом внутрь аксона  $\text{Na}^+$  по специальным ионным каналам.



Скорость распространения нервного импульса увеличивается с диаметром нервного волокна (аксона).

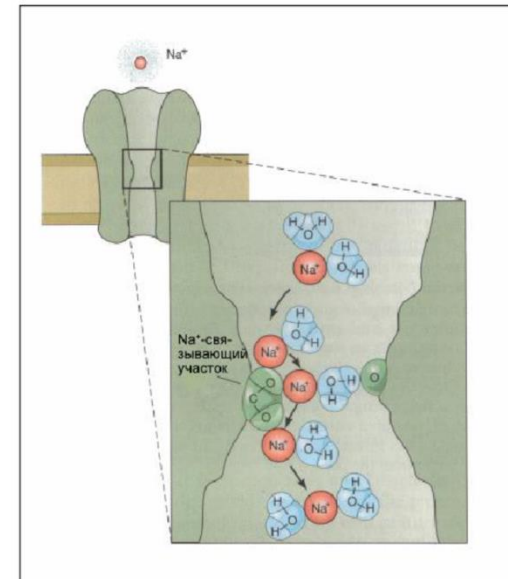
## Проницаемость ионов $\text{Na}^+$ через канал

Канал является именно порой без какого-либо переносчика, т.к. переносчик способен транспортировать ионы со скоростью  $\sim 10^4$ , а скорость диффузии через  $\text{Na}^+$ -канал составляет  $\sim 10^8$ .

В наружном устье ион проходит с гидратной оболочкой.

В области селективного фильтра ион частично или полностью дегидратируется.

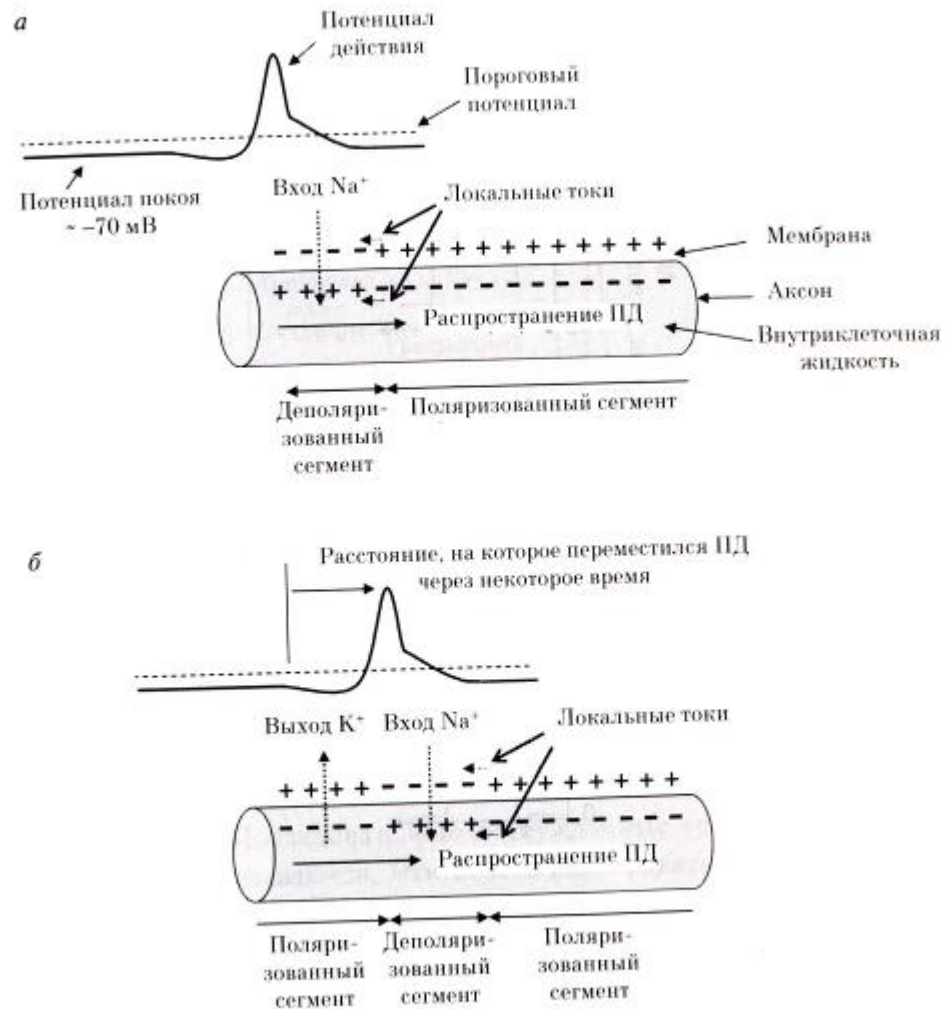
Избирательность каналов к ионам определяется стерическими свойствами селективного фильтра и составом химических групп, обеспечивающих электростатическое взаимодействие канала с данным типом иона.



# Варианты возбуждения мембраны

Форма распространяющегося ПД

для двух последовательных моментов времени. Там же показано направление движения ионов через мембрану в ее возбужденном участке.

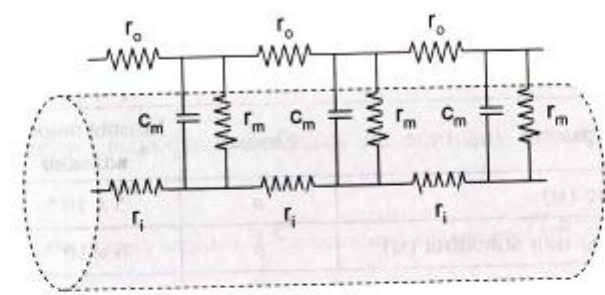


**Рис. 12.16.** Движение ионов через мембрану во время распространения потенциала действия. Показаны два графика зависимости ПД от расстояния вдоль аксона, которые нарисованы для двух моментов времени (ПД на нижней панели «сфотографирован» позднее, чем ПД на верхней панели)

Аксон нервной клетки можно рассматривать как электрический кабель с обычными («пассивными») электрическими характеристиками, рассчитанными на единицу его длины. К этим удельным характеристикам относятся сопротивление аксоплазмы  $r_i$ , сопротивление наружного (внеклеточного) раствора  $r_o$ ,

сопротивление мембраны  $r_m$  и емкость мембраны  $c_m$ . В результате аксон можно представить как серию последовательно соединенных электрических звеньев (рис. 12.17) — точно так же, как в физике моделируют электрический кабель. Оказывается, что кабель с реальными характеристиками аксона нервной клетки является исключительно плохим средством передачи сигналов. Физики сказали бы, что этот кабель характеризуется большой утечкой, очень высоким сопротивлением и т.д. Мы увидим ниже, что потенциал, поданный на конец такого кабеля, затухает вдоль кабеля уже на небольшом расстоянии. В реальном аксоне кроме «пассивных» элементов есть «активные» элементы, выделяющие электрическую энергию, необходимую для передачи ПД без затухания на большие расстояния. Эти элементы можно представить себе как встроенные в мембрану аксона батарейки (подключенные параллельно элементам  $r_i$  и  $c_m$ ), которые включаются и выключаются в строгой последовательности. Вы, наверное, догадались, что такими «батарейками» являются селективные ионные каналы, через которые протекают ионы только определенного вида (рис. 12.20). Чтобы такие «батарейки» работали, концентрации проникающих ионов по обе стороны мембраны должны значительно отличаться, что действительно имеет место в живом организме. Подробнее эти вопросы изложены в работах [569, 581, 582, 586].

# Математическая модель возбудимой мембраны



**Рис. 12.17.** Электрическая схема аксона, разбитого на сегменты, моделирующие распределенные параметры мембраны и окружающие мембрану растворы. Аксоплазма и внеклеточный раствор моделируются цепочкой последовательных сопротивлений (соответственно,  $r_i$  и  $r_o$ ). Электрические свойства кольцевого сегмента мембраны представлены емкостью и сопротивлением этого сегмента (соответственно,  $c_m$  и  $r_m$ ). Все указанные величины вычисляются на основе измеренных удельных значений емкости и сопротивления с учетом геометрических параметров аксона

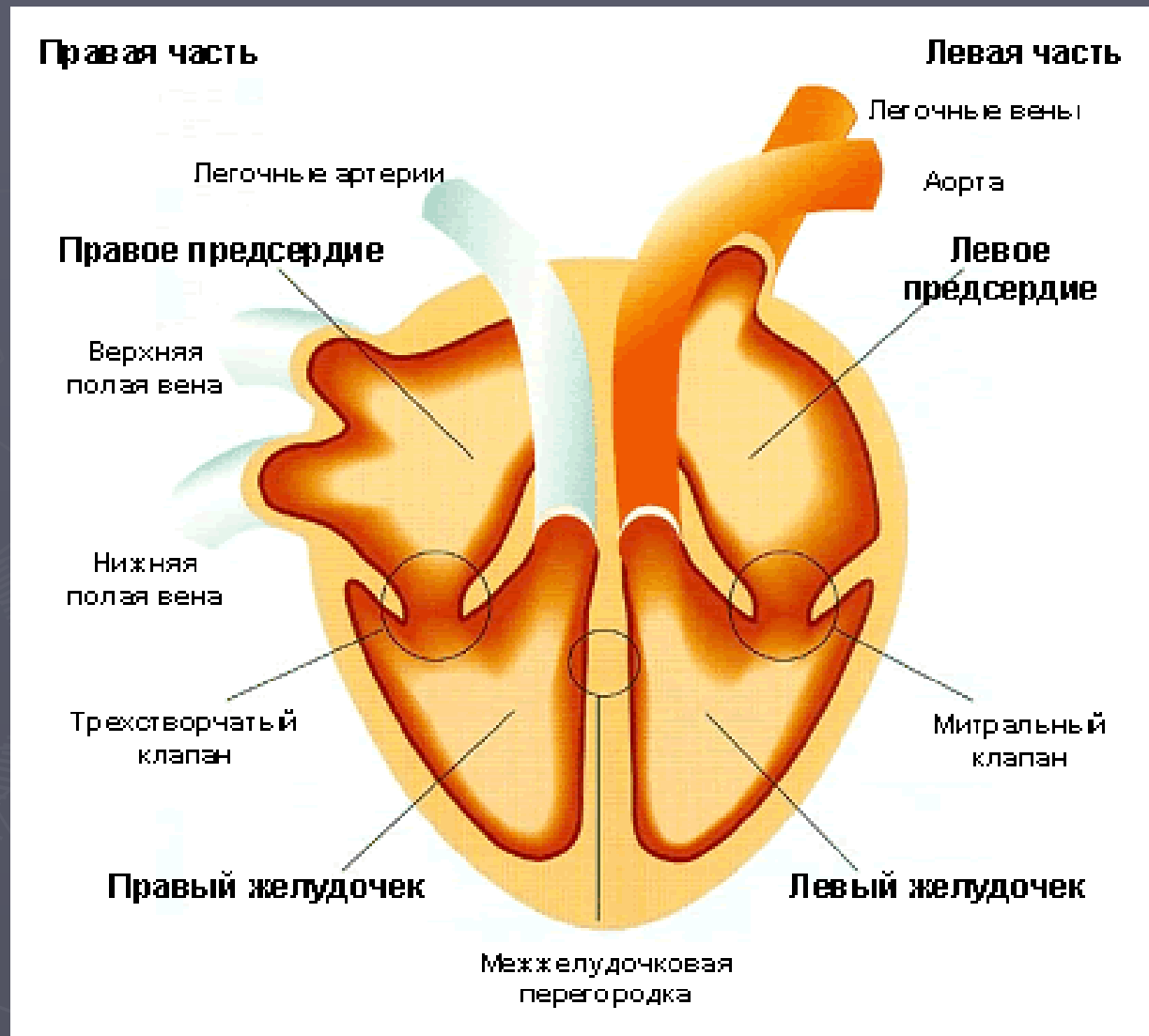
# Скорость проведения ПД по нерву

Через кожу к нерву (например, к локтевому нерву руки) посылают стимулирующий импульс тока, регистрируя сигналы от иннервируемой мышцы. Если переместить место стимуляции вдоль нерва, то изменится задержка электромиографического сигнала от мышцы. Деля величину смещения пары стимулирующих электродов на величину изменения задержки, получаем скорость проведения по двигательным нервным волокнам.



**Рис. 12.22.** Измерения скорости проведения по двигательным (*a*) и сенсорным (*б*) нервным волокнам локтевого нерва, иннервирующего дистальную часть руки и кисть. Внизу показаны регистрируемые ответы (мышечные потенциалы действия) от мышц руки в области наложения отводящих электродов. По приведенным численным значениям скорость проведения по двигательным нервам составляет 62,5 м/сек, а по сенсорным нервам — 58,1 м/сек.

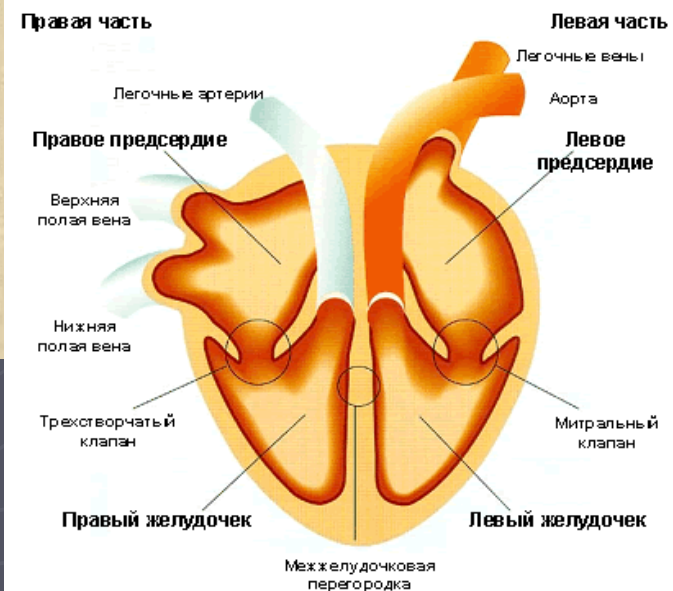
# Электрокардиография



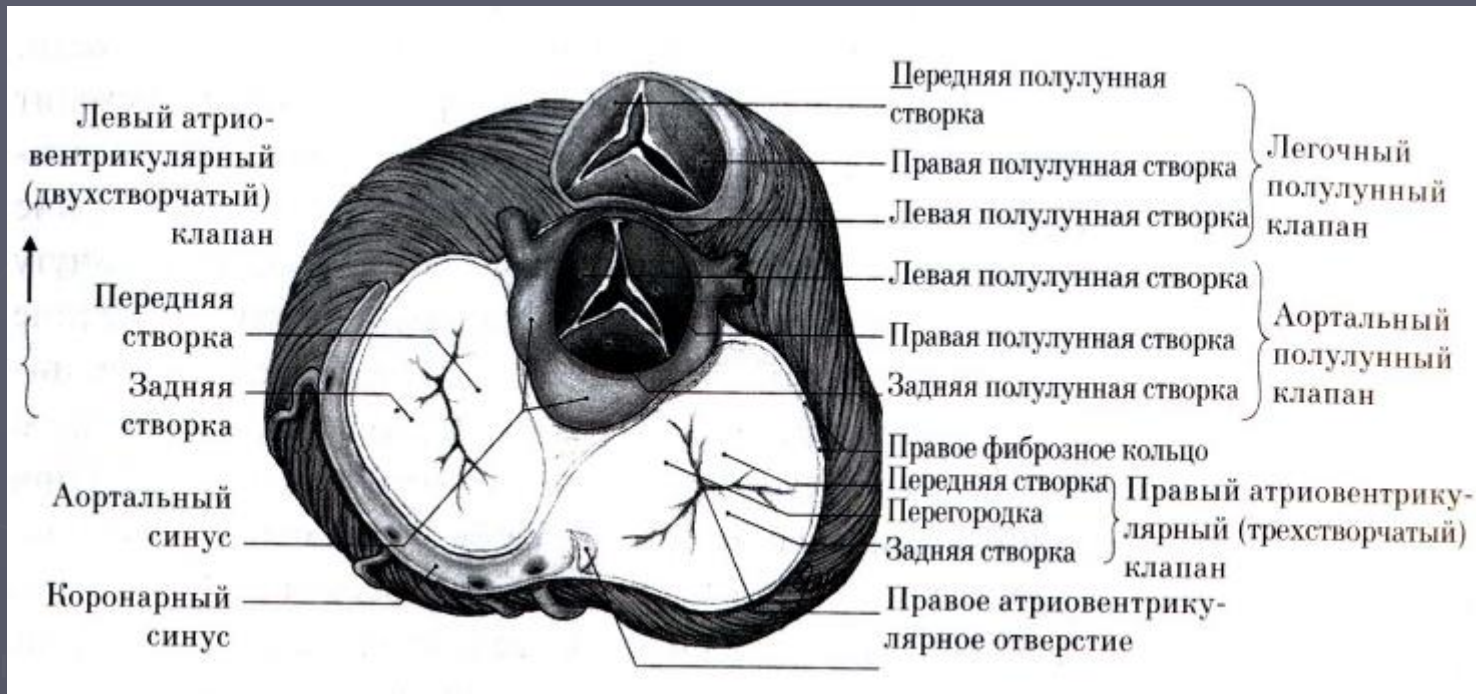
Сердце представляет собой полый мышечный орган, разделенный на четыре камеры: правое и левое предсердия, правый и левый желудочки. Оно расположено в грудной клетке, причем  $\frac{2}{3}$  его в левой части от центральной линии,  $\frac{1}{3}$  в правой. Размер сердца по длинной оси около 15 см, масса около 400 г. В период между ритмическими сокращениями сердце расслабляется (диастола). При диастоле полости сердца приобретают максимальные размеры и наполняются насыщенной кислородом кровью, поступающей из легких, и отработанной кровью из вен тела. За расслаблением следует механическое сокращение (систола). Этот период начинается сокращением предсердий — кровь из предсердий под давлением собирается в желудочках. Потом начинается сжатие желудочков — давление в полостях повышается. При определенном давлении закрываются предсердно-желудочковые клапаны — полостное давление продолжает повышаться. Когда давление в камерах превысит давление в аортах и артериях, открываются аортный и легочный клапан и начинается период изгнания крови. В ходе его в большой и малый (или легочный) круг кровообращения выталкивается 60...70 см<sup>3</sup> крови. После этого начинается расслабление мышечной

ткани камер, давление в камерах падает и клапаны, примыкающие к ним, закрываются. Наступает очередная диастола.

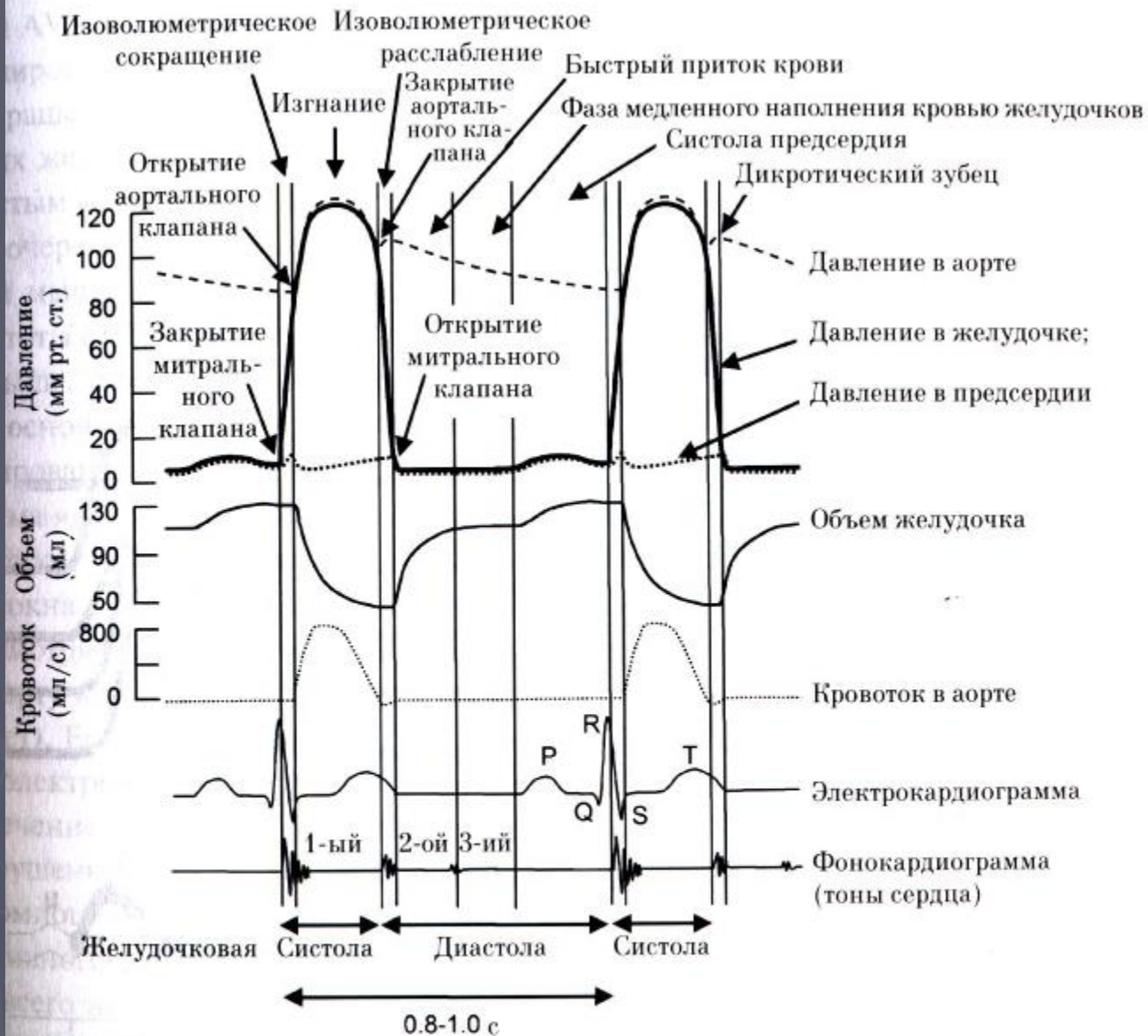
Ритмическим сокращением и расслаблением сердца управляет расположенный в стенке правого предсердия синусный узел. Волна возбуждения, исходящая из этого узла, может распространяться через проводящие возбуждение нервные пучки. За волной возбуждения следует контракционная волна и наступает сокращение предсердий, а затем желудочков. Сам синусный узел, хотя и определяет ритм деятельности сердца, зависит от центральной нервной системы.



# Четыре главных клапана сердца

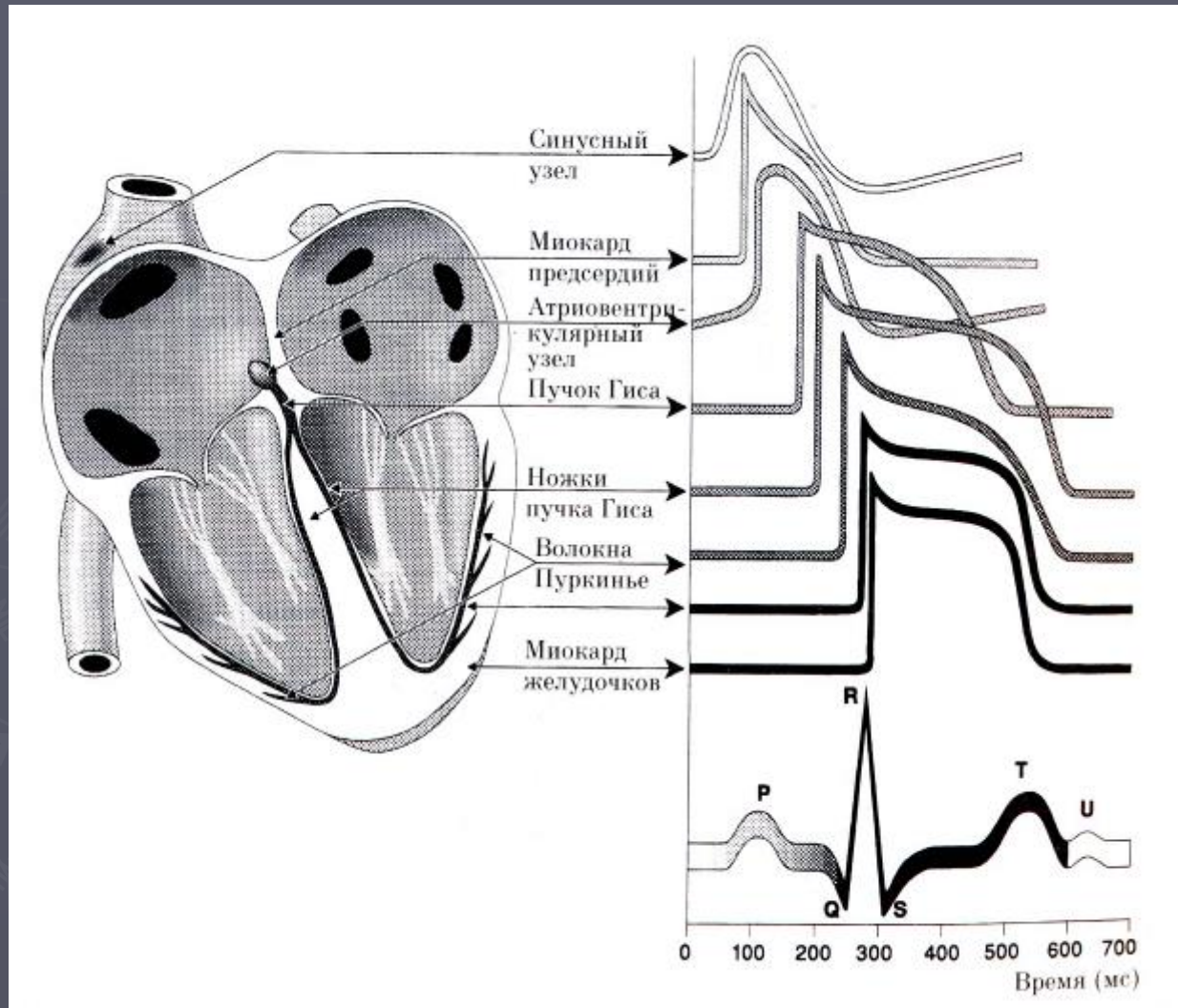


В сердце имеется четыре основных клапана (рис. 8.7). Правый атриовентрикулярный клапан определяет поток крови между правым предсердием (атриум) и правым желудочком (вентрикулум). Этот клапан имеет три створки, и потому часто его называют трехстворчатым (или трикуспидальным). Легочный полулунный клапан управляет кровотоком между правым желудочком и легочным стволом. (Через этот клапан проходит весь поток крови, направляющийся в малый круг кровообращения.) Левый атриовентрикулярный клапан расположен между левым предсердием и левым желудочком. У этого клапана две створки, и поэтому его иногда называют двухстворчатым или бикуспидальным. Однако чаще всего этот клапан называют митральным, поскольку он похож на митру (головной убор высшего духовенства). Аортальный полулунный клапан расположен на выходе из левого желудочка и регулирует кровоток, направляемый из этого желудочка в аорту.



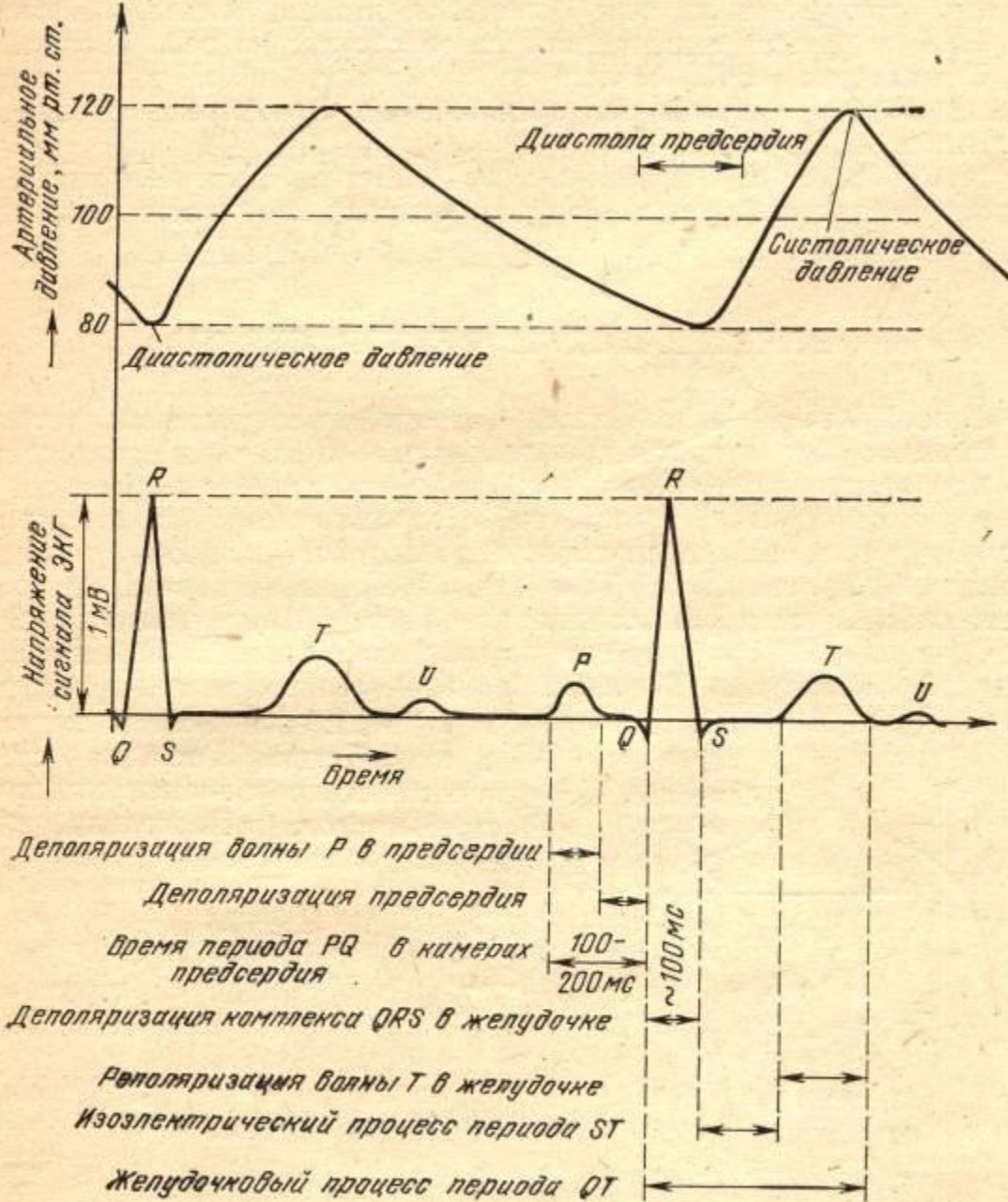
**Рис. 8.5.** Изображенные в зависимости от времени давление в левом желудочке и в левом предсердии, объем левого желудочка, давление и кровоток в аорте, электрокардиограмма и фонокардиограмма (запись звуковых сигналов, называемых тонами сердца). (Диаграмма Уиггера.) На диаграмме также отмечены моменты открывания и закрывания аортального полулунного и митрального клапанов.

Проводящая система сердца с синоатриальным (синусным) и атриовентрикулярным узлами, изображенная вместе электрическими потенциалами в разных частях проводящей системы. Внизу — кривая электрокардиограммы.



Итак, в здоровом сердце существует четкий ритм, и сокращения разных отделов сердца четко скоординированы во времени. Однако при отклонениях в работе проводящей системы возникают различные аритмии (нарушения правильного ритма сокращений), которые могут иметь весьма существенное значение для нормальной работы сердца. При *атриовентрикулярной (AV) блокаде*

происходит повреждение атриовентрикулярного узла (рис. 8.6.). При частично атриовентрикулярной блокаде время проведения в AV узле увеличивается с нормальных 0,16 с до 0,25-0,50 с. При этом происходит выраженное уменьшение частоты сокращения желудочков сердца, так что частоты сокращений предсердий и желудочков начинают относиться не как 1:1 а как 2:1, 3:2 или 3:1. При полной AV блокаде ритмы сокращения предсердий и желудочков вообще не координированы: при частоте сокращений предсердий равной 100 в минуту, частота сокращений желудочков может быть 40 в минуту. При столь редких сокращениях желудочков (брадикардии), человек может испытывать чувство слабости. Частым нарушением ритма является *экстрасистолия*, при которой происходит внеочередное по отношению к нормальному ритму сердца сокращение сердечной мышцы. При *пароксизмальной тахикардии* происходит резкое увеличение частоты сердечных сокращений, которая может возрасти до 150 ударов в минуту и выше. Такое учащение сердечных сокращений может вызвать как нарушение насосной функции сердца, так и другие весьма серьезные нарушения функционирования сердечно-сосудистой системы. Наиболее серьезным нарушением ритма является *фибрилляция желудочков*, то есть возникновение состояния, при котором мышцы желудочков сокращаются «вразнобой» (когда одни мышечные волокна сокращаются, другие остаются в расслабленном состоянии). При этом, несмотря на то, что кардиомиоциты сокращаются, желудочек не изгоняет кровь в аорту или в легочную артерию (насосная функция сердца фактически отсутствует). Если немедленно не осуществить дефибрилляцию (которая производится электрическим разрядом высокого напряжения), то такое нарушение ритма в течение нескольких минут приводит к смерти. Значительно менее серьезным нарушением ритма является *фибрилляция предсердий*. Хотя и в этом случае кардиомиоциты предсердий сокращаются некоординировано, и фактически нет активного нагнетания крови из предсердий в желудочки, кровоток уменьшается всего на 20-30%, поскольку большая часть крови перетекает из предсердий в желудочки пассивно (независимо от систолы предсердий). К аритмиям можно, вообще говоря, отнести и *остановку сердца*, которая требует (как и фибрилляция желудочков) немедленной реанимации.



Хотя сердце электрически нейтрально, и во время сокращений общий заряд сердца равен нулю, однако при каждом сокращении возникает динамическое разделение между положительными и отрицательными зарядами.

Электрокардиограмма (ЭКГ) является равнодействующей изменения напряжений многих млн элементарных мышечных волокон. Типичная кривая выводится как средняя по данным обследования многих пациентов и содержит 6 видов характерных зубцов: P, Q, R, S, T, U. Оценивается: наличие, форма, величина зубцов и интервалы между ними.

Рис. 2. Кривая биопотенциалов, возникающих в процессе действия волокон сердечных мышц при изменении артериального давления (ЭКГ)

### Характеристика и длительность зубцов ЭКГ человека

Обозначение	Характеристика	Диапазон длительности, с	Диапазон амплитуды в I, II и III отведениях, мм
P	отражает деполяризацию предсердий; обычно положительный	0,08–0,12	0,55–1,25
Q	отражает начало деполяризации желудочков, отрицательный, может отсутствовать	–	0,36–0,61
R	главный зубец деполяризации желудочков, положительный (направлен вверх)	см. QRS	5,5–11,5
S	отражает окончание деполяризации, отрицательный, может отсутствовать	–	1,5–1,7
QRS	совокупность зубцов, отражающих деполяризацию желудочков	0,08–0,10	–
T	отражает реполяризацию, у человека положительный (направлен вверх)	колеблется, в среднем 0,28	1,2–3,0

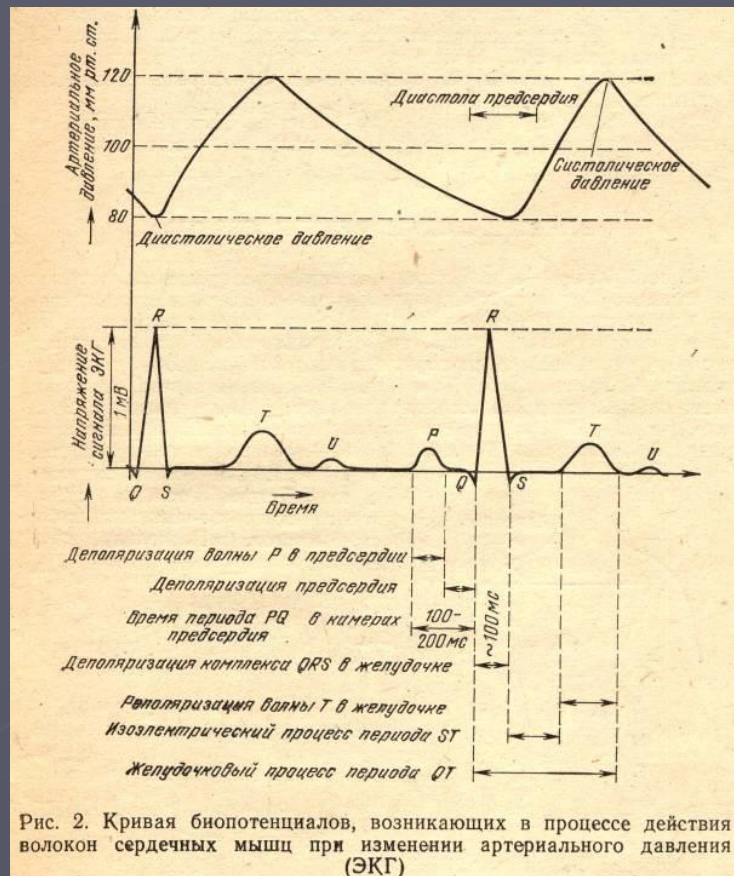


Рис. 2. Кривая биопотенциалов, возникающих в процессе действия волокон сердечных мышц при изменении артериального давления (ЭКГ)

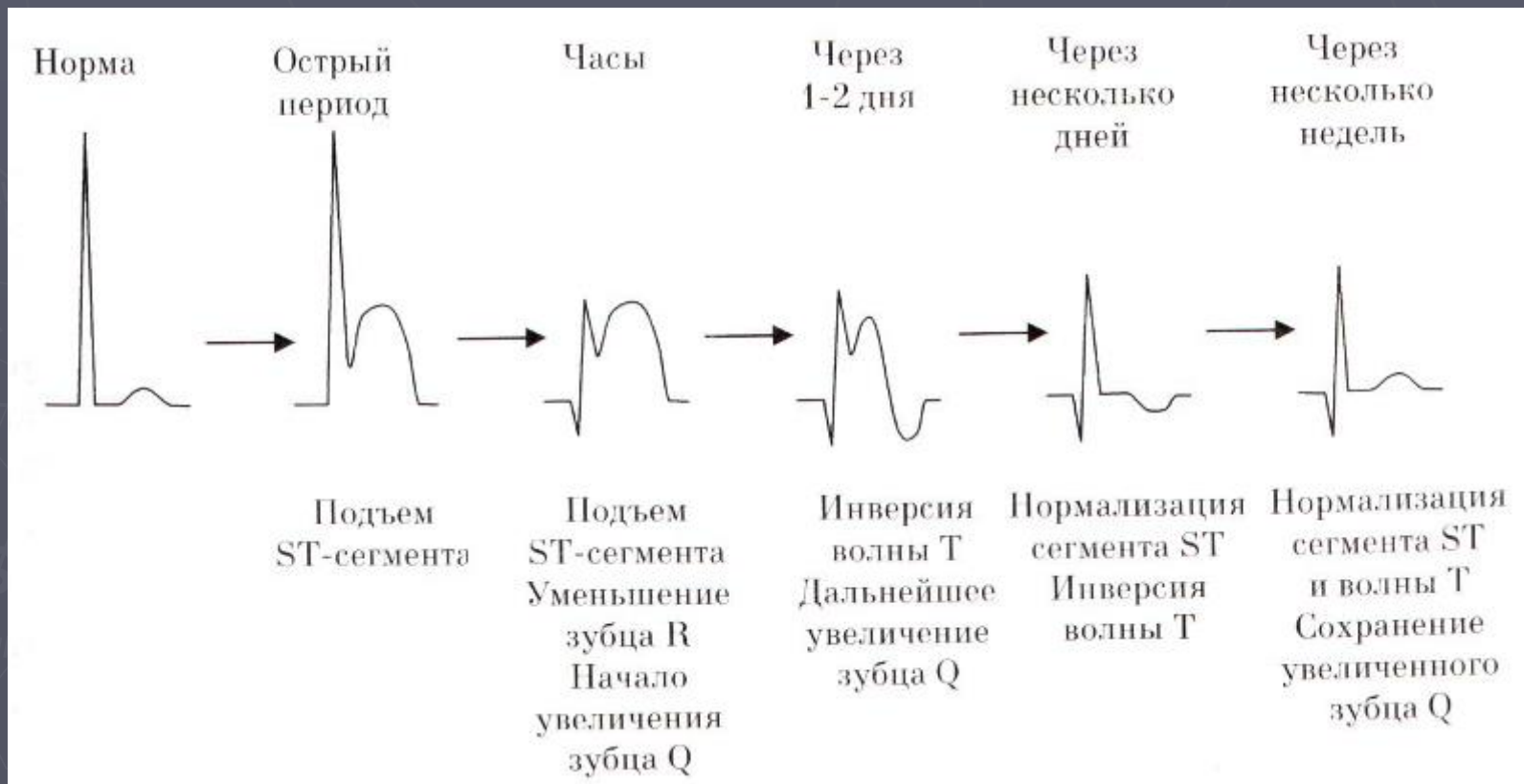
Таблица 2

### Характеристика интервалов ЭКГ человека

Обозначение интервала	Характеристика интервала	Длительность, с
P-R	от начала P до начала R (или Q, если таковой имеется);	0,18–0,20
	от начала R (или Q, если таковой имеется) до конца S (или R, если S отсутствует)	0,08
Q-T	от начала Q до конца T; соответствует деполяризации и реполяризации желудочков	0,38–0,31
S-T	от конца S до начала T	–

# Изменение ЭКГ во время и после острого инфаркта миокарда «с зубцом Q»

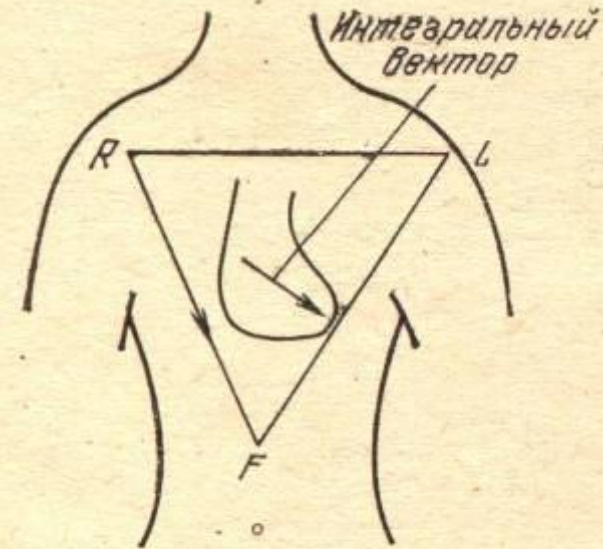
При инфаркте миокарда повреждается часть сердечной мышцы, в результате чего через несколько часов мышечные клетки утрачивают способность к деполяризации и реполяризации (и, разумеется, способность сокращаться и расслабляться). При отсутствии электрических сигналов от определенной области левого желудочка, изменяется ЭКГ.



# Электрический вектор сердца (Интегральный вектор Эйтховена (голландский физиолог))

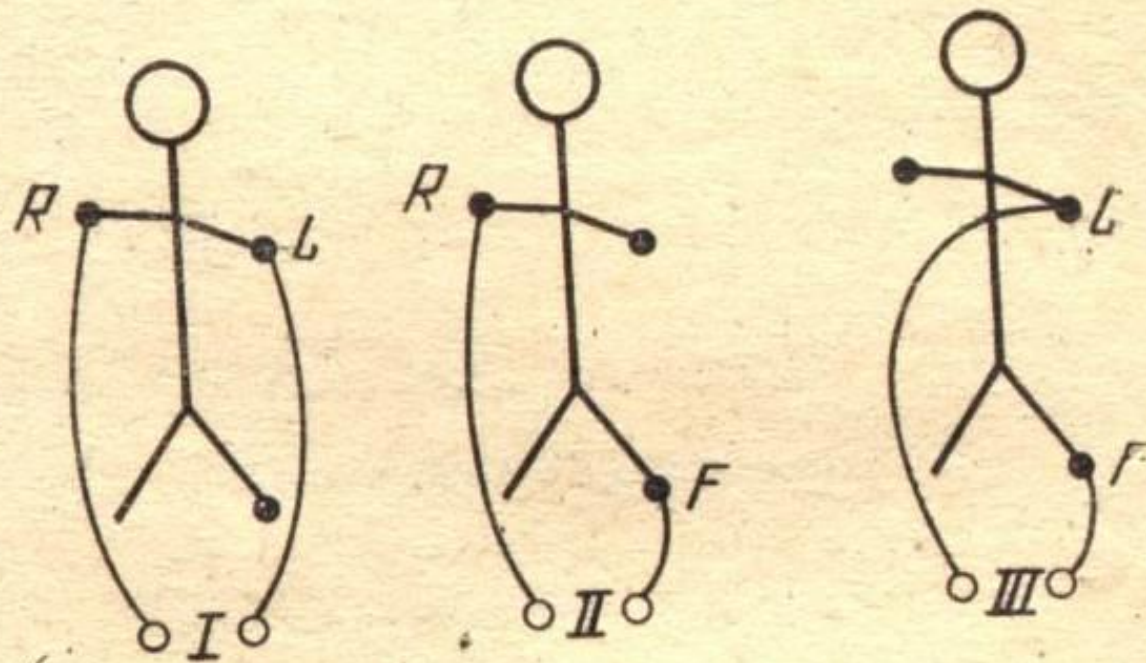
- ▶ Электроды на поверхности тела улавливают векторную равнодействующую элементарных биопотенциалов (от элементарных мышечных волокон) – электрический вектор сердца.
- ▶ Значение и направление эл. вектора меняется в соответствии с тем, как суммируются векторы элементарных биопотенциалов.
- ▶ Под эл. вектором обычно подразумевают векторную равнодействующую зубцов R элементарных мышечных волокон.

# Электрический вектор сердца (интегральный вектор Эйнтховена)



Расположение интегрального вектора в треугольнике Эйнтховена

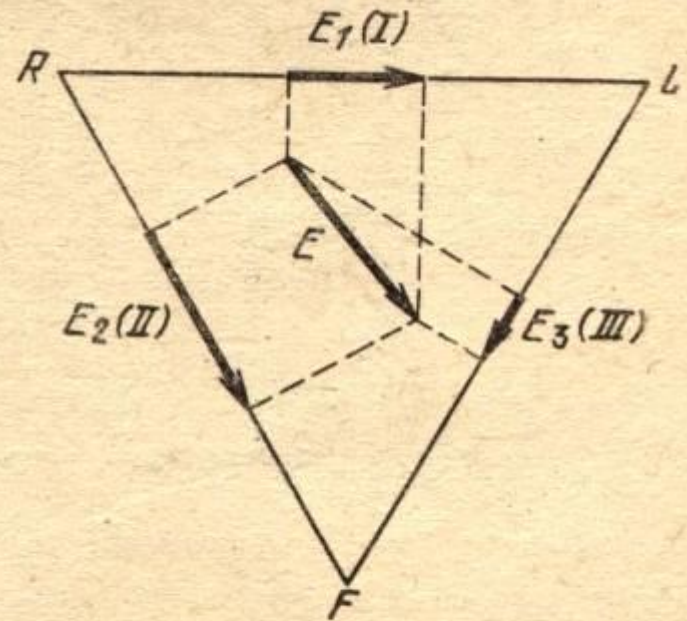
Как правило, биопотенциалы сердца измеряют не на поверхности сердца, а на поверхности тела, поскольку сердце работает как генератор, помещенный в проводящей среде, который создает вокруг себя электрическое силовое поле. Это силовое поле можно определить на поверхности тела и измерить электрическое напряжение между отдельными точками. Ясно, что амплитуды напряжений, замеряемых на поверхности тела, меньше напряжений непосредственно на поверхности сердца: ток, образующийся на поверхности сердца, затухает, преодолевая сопротивление окружающей среды. Наибольшая амплитуда напряжения получается в направлении электрического вектора. При нормальном расположении сердца электрический вектор обычно направлен от правого плеча к левому бедру. Можно ожидать, что в этом направлении мы получим и наибольшую амплитуду напряжения.



### Три вида стандартных отведений по Эйнтховену

Для характеристики электрического вектора Эйнтховен предложил три отведения (рис. 4): I — между правой и левой рукой; II — между правой рукой и левой ногой (максимальная амплитуда); III — между левой рукой и левой ногой.

Опытным путем Эйнтховен пришел к выводу, подтвердив его теоретическими рассуждениями, о том, что сигналы в этих трех отведениях зависимы и, зная два из них, можно высчитать третье. Ученый показал, что амплитуды напряжений, полученных в трех отведениях, не что иное, как проекции электрического вектора сердца на стороны равностороннего треугольника. Вершины треугольника расположены у левого плеча, у правого плеча и у пупка, а интегральный вектор — в центре тяжести треугольника. Отдельные ко



Векторные амплитуды, полученные при отведениях по Эйнтховену, можно рассматривать как проекции интегрального вектора на стороны треугольника Эйнтховена

**Компоненты вектора определяются по формулам**

$$E_1 = E \cos \alpha, \quad E_2 = E \cos (60^\circ - \alpha), \quad E_3 = E \cos (120^\circ - \alpha),$$

где  $\alpha$  — угол между электрическим вектором сердца и горизонтальной линией. Из формул следует, что

$$E_1 + E_3 = E_2.$$

## Задача 2

Согласно модели Эйнтховена сердце подобно электрическому диполю.

Электрический момент сердца-диполя периодически изменяется как по величине, так и по направлению. Биопотенциалы (электрокардиограмма) регистрируется между вершинами условно равностороннего треугольника, который образуется двумя руками и одной ногой. Какой вид имели бы ЭКГ, снятые в трёх возможных отведениях, если бы электрический момент сердца равномерно вращался во фронтальной плоскости. (Построить 3 графика ЭКГ зависимости  $\varphi$ .) Какой вид имели бы ЭКГ, снятые в трёх возможных отведениях, если бы величина электрического момента сердца-диполя изменялась по гармоническому закону во фронтальной плоскости, сохраняя ориентацию в пространстве, параллельно одной из сторон треугольника Эйнтховена. Построить графики.

Формулы для справки по задаче 7: (А.Н.Ремизов, Н.Х.Исакова. Сборник задач по физике для медицинских институтов. №12.13. )

$$p = \sum_i q_i r_i$$

$$\varphi = \frac{p \cos \alpha}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

$$\varphi_B - \varphi_A = \frac{p \cos \alpha \sin(\gamma/2)}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

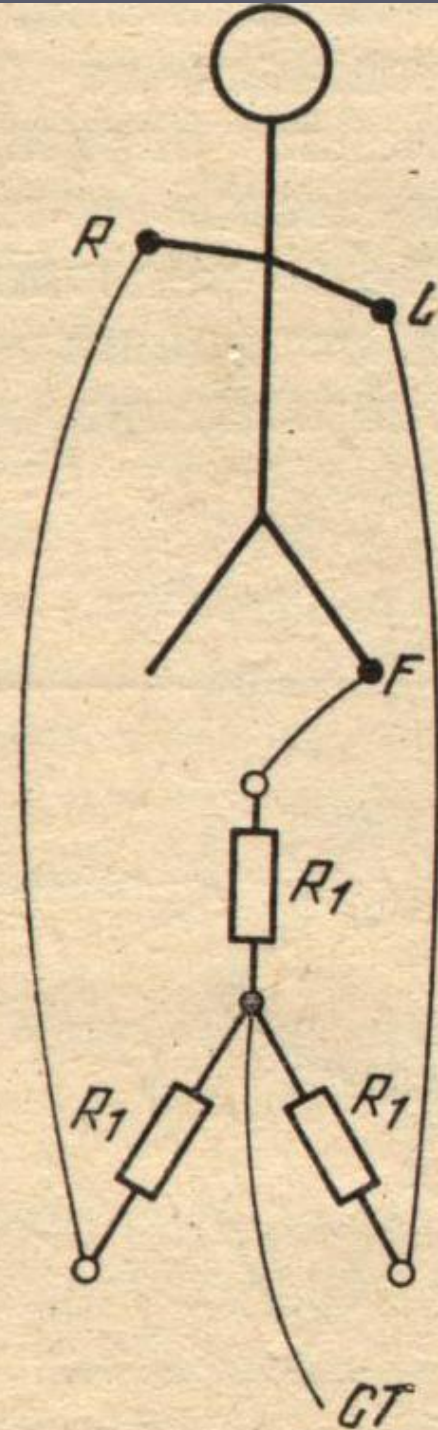
# Расположение электродов при снятии ЭКГ

Отведения по Эйнтховену осуществляют с помощью электродов, размещенных на конечностях. Поскольку электроды располагают вдали от сердца, то практически безразлично, на какую часть конечности они накладываются. Поэтому для большего удобства их размещают чаще всего у запястья и вблизи щиколотки.

Часто бывает, что ЭКГ, записанная с участков тела, расположенных вдали от сердца, не характеризует достаточно надежно изменения, происшедшие в электрическом состоянии сердца. В таких случаях принято использовать места для отведения вблизи сердца, например на грудной клетке. Ученый Нэб (Nehb) предложил систему отведений вблизи сердца, которую можно охарактеризовать треугольником Нэба. Вершины этого треугольника расположены у второго ребра правой части груди, у вершины сердца и на левой задней подмышечной линии на уровне пятого межреберья. Этот треугольник дает информацию о компонентах интегрального вектора не только в вертикальной, но и в горизонтальной плоскости. Поэтому по ЭКГ, записанной при отведениях Нэба, можно определять нарушения в задней стенке сердца.

# Отведения по Вильсону

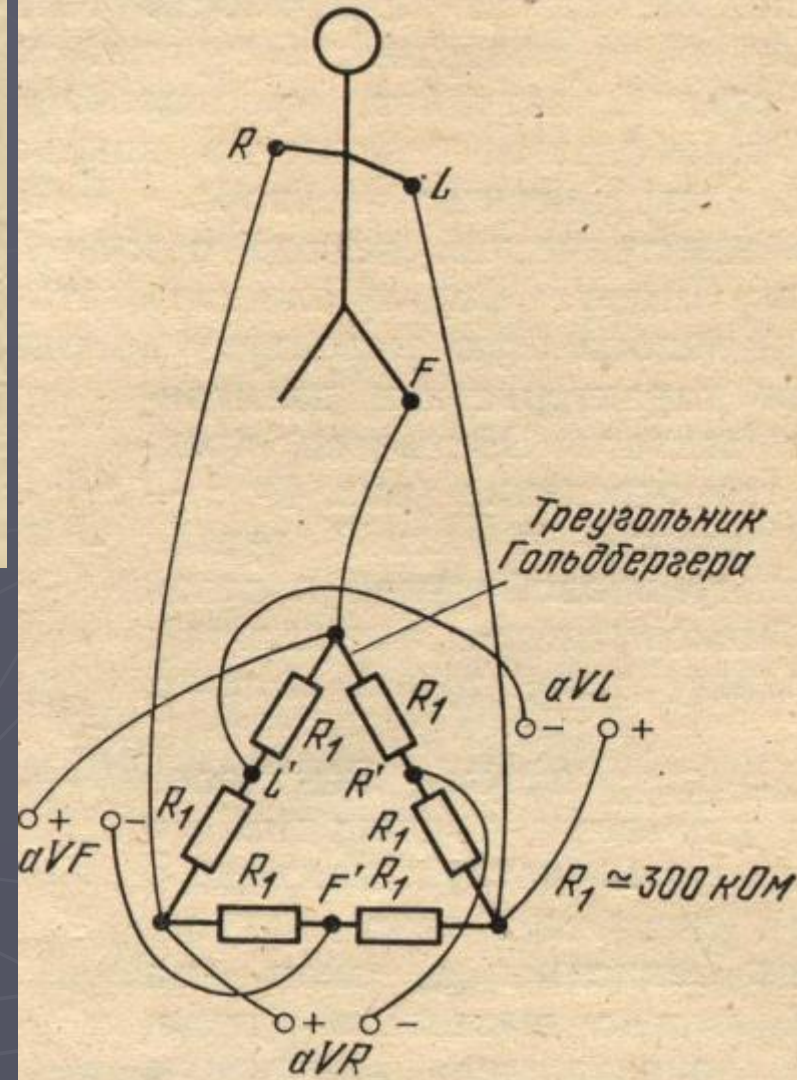
Среди отведений, устанавливаемых вблизи сердца, часто применяется система отведений Вильсона. В отличие от отведений Нээба фиксируются не биопотенциалы между какими-либо двумя точками из шести расположенных на грудной клетке (т. е. биполярно), а изменение напряжения в каждой точке относительно какой-либо нейтральной опорной точки или индифферентного электрода. Поэтому такой метод отведений называют униполярным или однополюсным. Индифферентный электрод, по предложению Вильсона, образуют соединяя отведения от левой руки, правой руки и левой ноги через большие сопротивления (рис. 6). В этом отведении, которое обозначают буквами *CT*, напряжение практически не зависит от деятельности сердца, поэтому его уверенно можно использовать в качестве опорного. Униполярное напряжение можно получить не только вблизи сердца, т. е. на грудной клетке, но и на конечностях. Униполярные отведения на конечностях: *VR* — между правой рукой и точкой *CT*; *VL* — между левой рукой и точкой *CT*; *VF* — между левой ногой и точкой *CT*.



# Отведения по Гольдбергеру

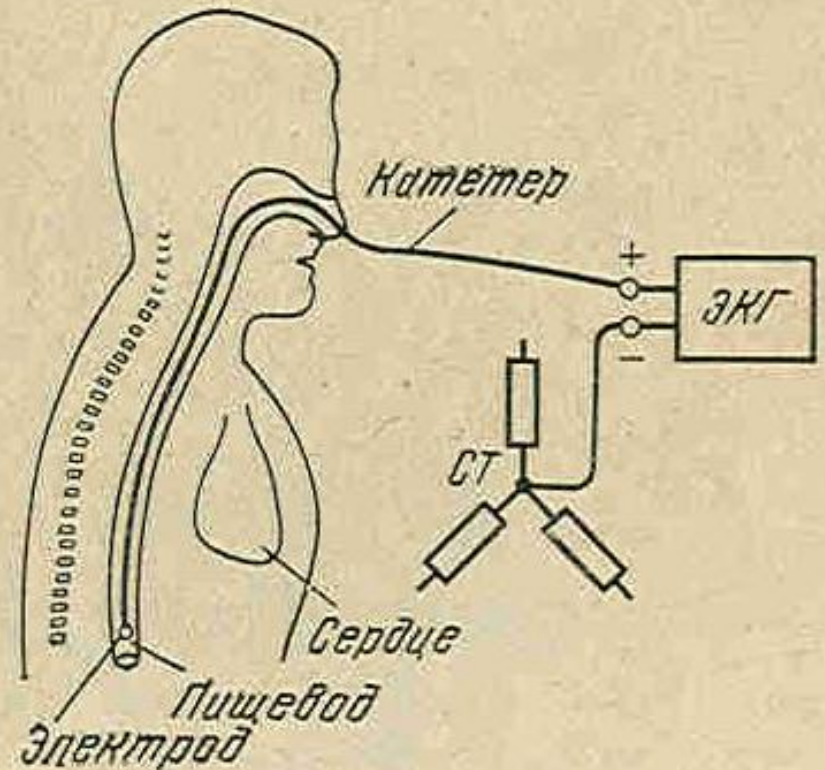
Чаще применяется метод отведений от конечностей, называемый методом Гольдбергера (рис. 7). Три отведения Гольдбергера

обозначаются следующим образом:  $aVR$  — между правой рукой и точкой  $R$ ;  $aVL$  — между левой рукой и точкой  $L$ ;  $aVF$  — между левой ногой и точкой  $F$ . При отведениях Гольдбергера амплитуда ЭКГ возрастает в полтора раза. Ее обозначают буквой  $a$  (augmented — увеличенный).



# Однополюсное пищеводное отведение

Указанные отведения отражали проекции интегрального вектора на вертикальной (фронтальной) и на горизонтальной плоскостях. Но могут понадобиться и проекции интегральных векторов на вертикальную (сагиттальную) плоскость. Для этого применяются однополюсные пищеводные отведения, при которых активный электрод опускается в пищевод (рис. 8). Индифферентный электрод образуется соединением электродов, наложенных на конечности.



Однополюсное пищеводное отведение

Индифферентный электрод образуется соединением электродов, наложенных на конечности.

# Электрокардиографы

- ▶ Переносные (запись ЭКГ на месте нахождения больного) и стационарные (более сложная диагностика, наличие многих каналов).
- ▶ Одноканальные и многоканальные

Очевидно, что переносный электрокардиограф, отвечающий изложенным выше требованиям, должен иметь особые качества:

- возможность работать от автономных источников питания (батареи или аккумулятора);
- малая масса (у современных аппаратов 3...4 кг);
- возможность работать длительное время без перезарядки аккумуляторов, при этом важно найти целесообразное соотношение между массой и мощностью батарей;
- необходимость выдерживать механическое воздействие (тряску, удары).



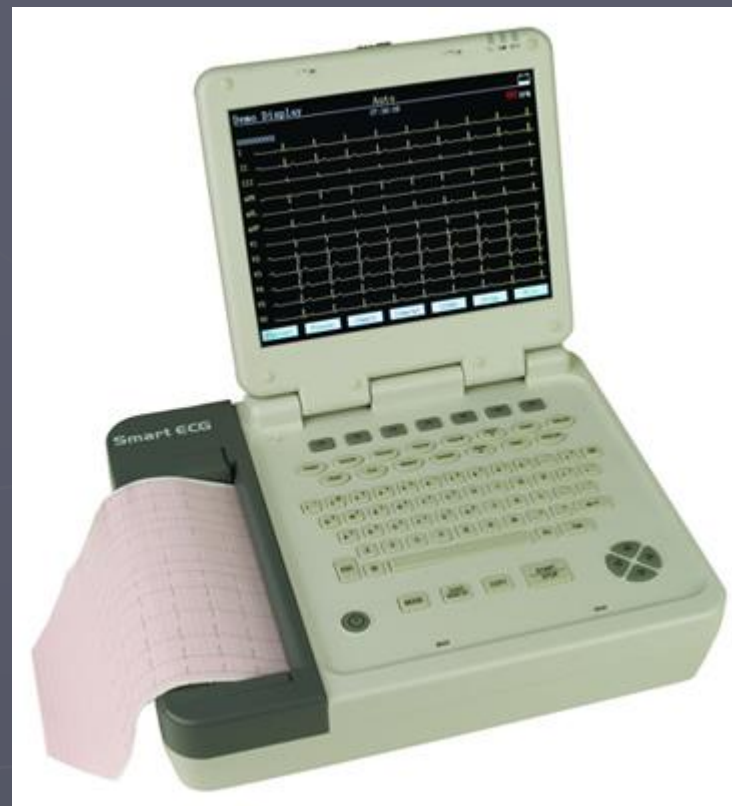
## Электрокардиограф ECG-1003

Портативный цифровой  
трехканальный электрокардиограф.  
Современный дизайн, элегантный  
внешний вид. Простое и удобное  
управление с пленочной клавиатуры.  
Сохранение ЭКГ в памяти  
электрокардиографа. Автоматическая  
интерпретация измерений.  
Встроенный аккумулятор,  
автоматическое переключение  
источника питания.  
Встроенный термопринтер. Передача  
данных на ПК

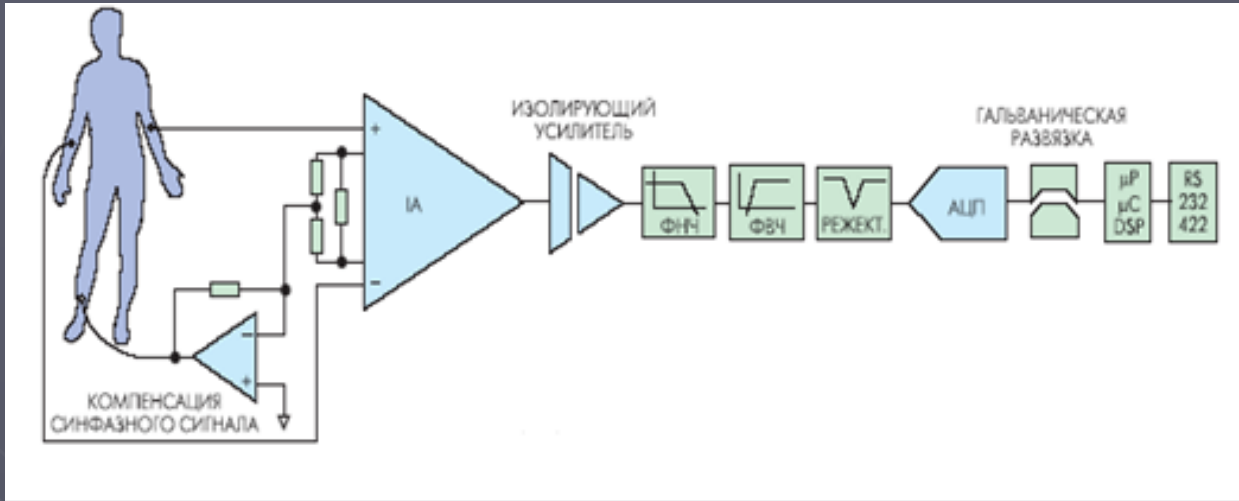


## Электрокардиограф ECG-1012 Expert

Современный удобный кардиограф экспертного класса в формате ноутбука. Для использования в стационарах или на выезде. Цветной сенсорный экран диагональю 12 дюймов. Вывод предварительного диагноза, автоматическая интерпретация измерений.



# Структурная схема типичного одноканального электрокардиографа



Устройство предполагается использовать совместно с персональным компьютером. В данной сигнальной цепочке все виды фильтрации сигнала осуществляются с помощью аналоговой техники, тогда как микропроцессор, микроконтроллер или процессор DSP используется только для целей коммуникации, управления.

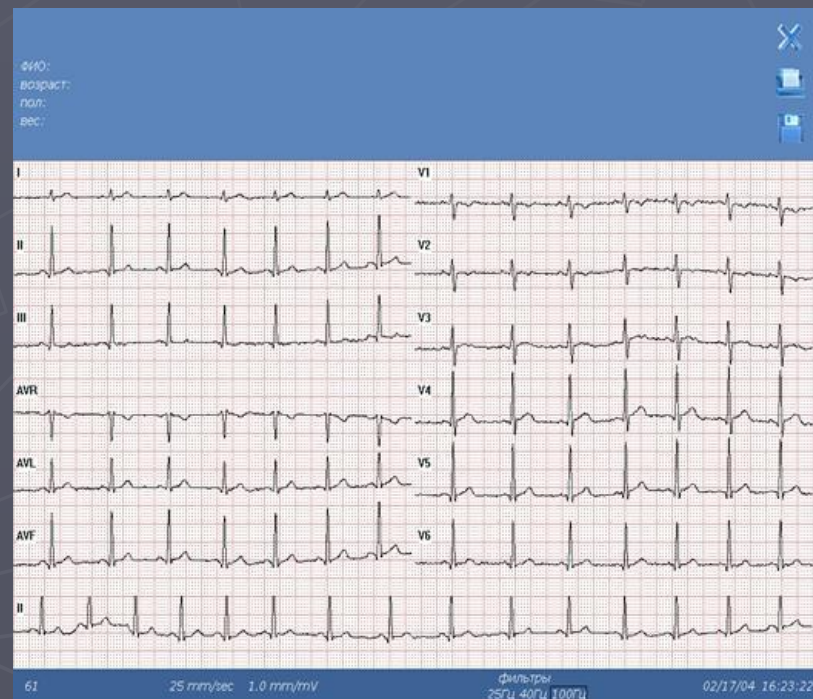


Макетный образец

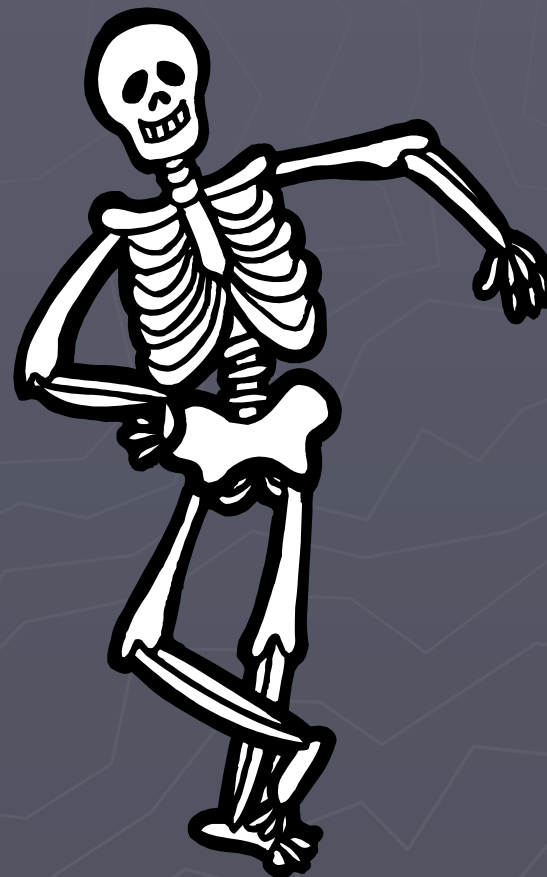
# Методы анализа сигнала ЭКГ

Существуют большое разнообразие метрических методов анализа ЭКГ. К таким методам можно отнести:

- ▶ анализ амплитудных характеристик сигнала,
- ▶ анализ первой производной сигнала и ее экстремумов по пороговым правилам,
- ▶ анализ вспомогательных зависимостей типа "функции формы",
- ▶ эталонные формы.



Продолжим?



# Электроэнцефалография

Исследования йенского психиатра Ганса Бергера в 20-е годы в области изучения биопотенциалов мозга имели точно такое же значение как и работы Эйнтховена на рубеже веков, открывшие новую эпоху в области электрокардиографии. Еще в 1875 г. Кетон заметил, что при деятельности мозга наблюдаются электрические явления. Почти одновременно с ним Данилевский говорил о влиянии звуковых импульсов на электрические явления в мозгу. И тем не менее именно Бергер открыл взаимосвязь явлений, нашел зависимость между деятельностью мозга и электрическими эффектами в нем, разработал методы применения электроэнцефалографии в области диагностики. Кривая, полученная и записанная от неповрежденного головного мозга, названа им электроэнцефалограммой (ЭЭГ).

Электроэнцефалография занимается регистрацией и оценкой биопотенциалов, возникающих при возбуждении мозговых клеток. Поскольку ЭЭГ представляет собой равнодействующую биопотенциалов многих миллиардов нервных клеток, образующих нервную систему, то оценка далеко не так проста. Чем больше отведений, с помощью которых получают ЭЭГ, тем полнее может быть оценка при сопоставлении многих кривых. Для этого применяют многоканальные (8-, 12-, 16- и даже 32-канальные) аппараты. Результат обследования будет еще более надежным, если сигналы, полученные от многих различных отведений, проанализирует ЭВМ.

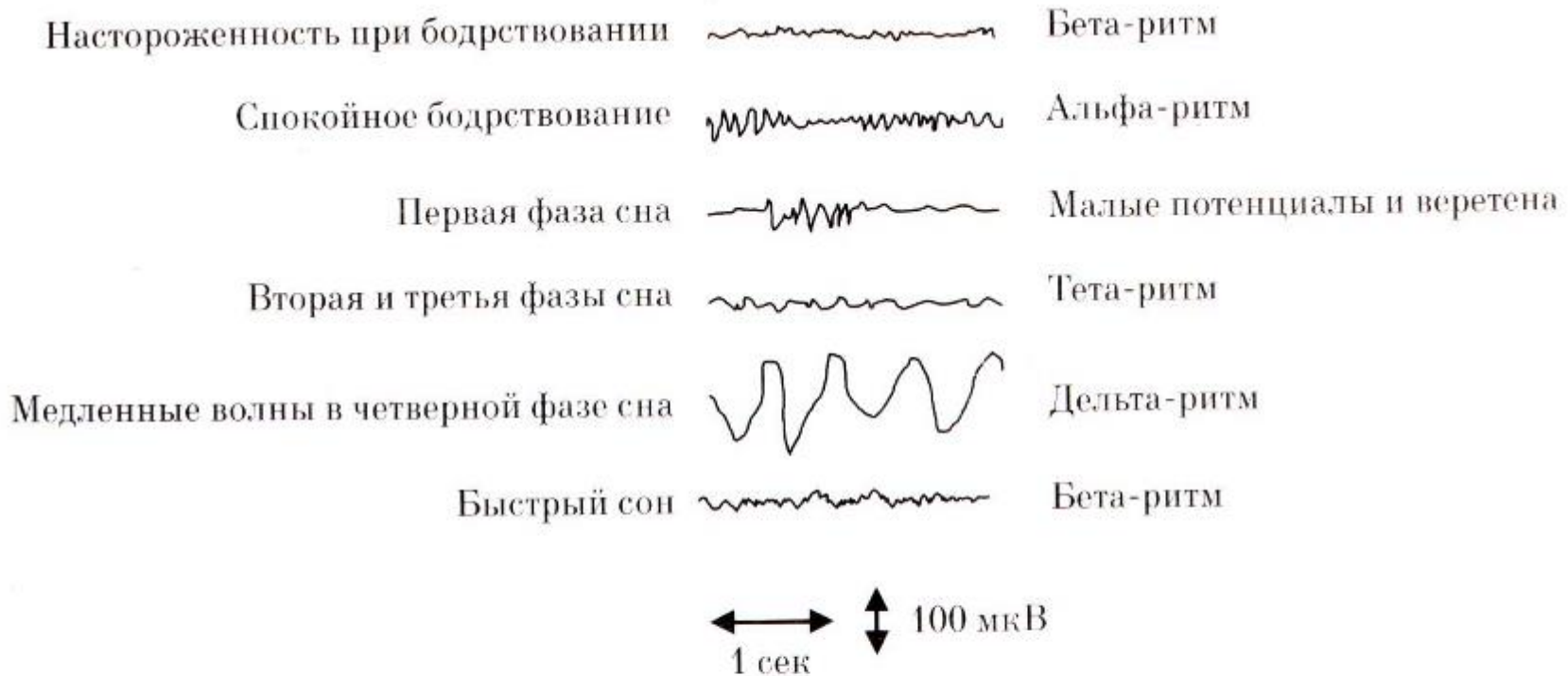
# Вид электроэнцефалограммы

Еще Бергер подметил, что ЭЭГ состоит из волн с различной амплитудой и частотой. Если пациент спокойно лежит с расслабленными мышцами в среде без раздражений с закрытыми глазами, но не спит, то в ЭЭГ доминирует синусообразная волна, особенно в кривой активного напряжения, отведенной от заднего и бокового участков черепа. Ее называют альфа-ритмом. Характерный диапазон ее частот 7,5...13 Гц и размах от пика до пика (амплитуда) составляет 50 мкВ. У отдельных пациентов амплитуда может быть в два раза больше, хотя примерно у 10% людей альфа-ритм вообще не наблюдается. Этот ритм исчезает тотчас же, как только пациент откроет глаза. Это явление называют альфаторможением. Вместо исчезающего альфа-ритма появляются более частые беспорядочные волны, занимающие более широкий спектр частот. Альфа-ритм является наиболее характерным признаком ЭЭГ здорового человека, но у многих молодых людей его вообще нет, и это отнюдь не свидетельствует о болезни или об отсутствии восприимчивости организма.

Другая характерная волна ЭЭГ — бета-ритм. Он наблюдается главным образом в сигналах, отведенных от лобовой части черепа. Бета-ритм имеет более высокую частоту, чем альфа-ритм, но меньшую амплитуду и менее правильную форму кривой. Он проявляется не постоянно, а примерно через секундные отрезки времени. Каждый такой период называют бета-веретенном.

С виска пациента можно отвести тета-волну, смешанную с альфа- и бета-ритмами. Полоса частот этого ритма ниже, чем у альфа-ритма. Различают еще гамма- и дельта-волны. Они появляются, как правило, в патологических случаях.

# Электрические сигналы мозга



**Рис. 12.39.** Характерные ритмы ЭЭГ, наблюдаемые в различных стадиях сна и бодрствования. Фаза быстрого сна характеризуется быстрыми движениями глаз (Rapid Eye Movement = REM) [580, 593]

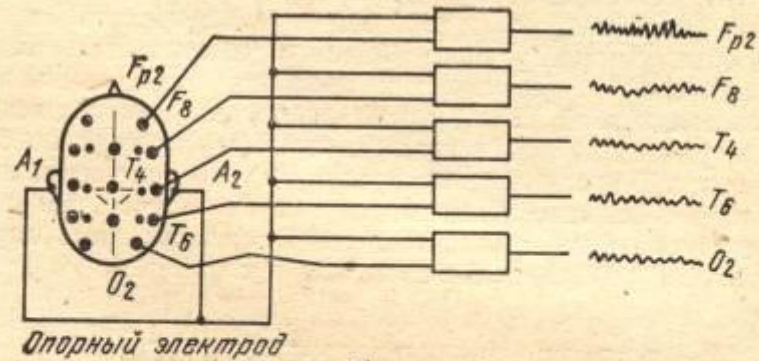
# Применения электроэнцефалографии (ЭЭГ)

- ▶ Ранняя диагностика эпилепсии
- ▶ Определение наличия и расположения очаговых процессов в мозгу (опухолей, кровоизлияний). Наличие опухоли – «электрическое молчание» сдавленных тканей. Изменение биопотенциалов – токсическое воздействие.
- ▶ ЭЭГ отражает обеспечение мозга кислородом. Контроль состояния пациента во время операций.
- ▶ Решение вопроса о наступлении биологической смерти (в ЭЭГ - «электрическое молчание»).
- ▶ Оценка глубины сна. Засыпание: исчезает альфа-ритм, кривая имеет меньшую амплитуду и более вытянута. Увеличение глубины сна: на кривой появляются бета - веретёна. Торможение наступает не одновременно на отдельных участках. Глубокий сон: бета – веретёна пропадают, появляются беспорядочные волны (тета и дельта).
- ▶ Наблюдение за способностью человека концентрировать внимание. Пилоты операторы опасных систем – опасность сна.

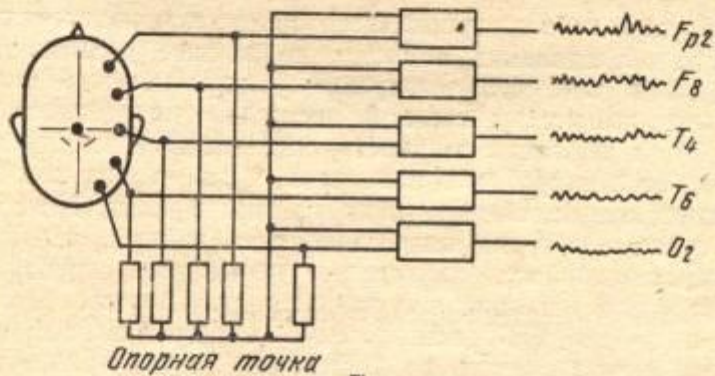
# Электроды для снятия ЭЭГ

Самым важным для правильного проведения электроэнцефалографического обследования является правильное размещение электродов. Дело в том, что электроэнцефалографический сигнал зачастую имеет амплитуду всего в несколько микровольт (в среднем 50 мкВ), а мозговая жидкость, находящаяся между мозговыми клетками и электродами, и толстая кость черепа как переходное сопротивление ослабляют электрический эффект. Поэтому форму и материал электрода надо подбирать такими, чтобы обеспечивалось по возможности наименьшее переходное сопротивление и не возникало поляризационного напряжения. При соответствующей конструкции и способе расположения электродов сопротивление между ними можно снизить до 1...2 кОм. Обычно применяют электроды из серебра или хлористого серебра в форме кнопки. Электроды крепятся к коже головы с помощью резиновых бинтов или электродных шлемов, причем место контакта тщательно обезжиривается. Волосы, как правило, раздвигают и только в редких случаях выстригают. Переходное сопротивление между электродом и кожей можно уменьшить, применяя специальную электродную пасту. Поскольку провода к электродам могут воспринимать существенные электрические помехи, следует предъявлять повышенные требования и к входной ступени усилителя. Если входные сопротивления в двух ответвлениях дифференциального усилителя не равны, то даже высокий коэффициент усиления его не гарантирует качественных измерений. Следовательно, при установке электродов надо стремиться не только к обеспечению небольших переходных сопротивлений, но и к их равенству. Поэтому у большинства аппаратов ЭЭГ имеется устройство, измеряющее сопротивление электродов.

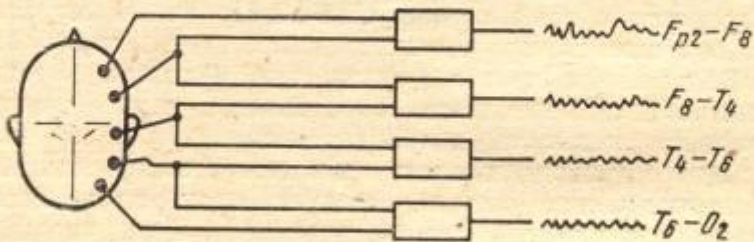
# Способы отведения



а)



б)



в)

Униполярное (однополюсное) отведение – регистрируется напряжение в отдельных точках относительно общей опорной. (например, соединение двух ушных электродов) Сложность – колебания напряжения в опорной точке.

Разновидность опорной точки – соединения всех точек отведения через суммирующие напряжения (рис. б). Выявление патологической активности в виде острой волны в одном отведении.

Биполярное отведение – разность потенциалов между парами точек отведения. Локализация отдельных вспышек активности. Определение положения очага малозаметной локализованной активности.

Три способа отведений в электроэнцефалографии:

а – униполярный с опорной точкой; б – униполярный с опорной точкой, образованной соединением всех отведений; в – биполярный

# Особенности электроэнцефалографов



Принципиальная схема прибора аналогична схеме электрокардиографа. Однако поскольку сигналы ЭЭГ почти на два порядка слабее, то усиление электроэнцефалографа должно быть большим. Для регистрации и накопления сигналов используется память компьютера.

**Компьютерный электроэнцефалограф последнего поколения Eras** предназначен для снятия, обработки и анализа ЭЭГ и полиграфических данных, предоставляя все преимущества и возможности современных безбумажных энцефалографов и полиграфических систем.

**Основные возможности:**

Запись 29/40/44/64/128 каналов ЭЭГ

Программное обеспечение Schwarzer-Harmonie для Windows XP

Запись цифрового видео-ЭЭГ с высокой точностью синхронизации (опция)

Мощная база данных SQL для эффективного управления всеми данными, ведения архива и сохранения на современные носители

Сетевые возможности

Экспертный уровень программного обеспечения (спектральный анализ, картирование и др.)

Фотостимулятор (опция)

Модульная структура: подбор системы в соответствии с требованиями диагноста, и добавление, при необходимости, дополнительных модулей

Качественная оцифровка ЭЭГ и полиграфических каналов в предЪусилительной коробке



**Анализ данных:**

- Автоматический анализ
- Свободно конфигурируемые цветные маркеры событий
- Представление ЭЭГ в нескольких окнах, пролистывание полной записи с различными установками параметров
- Просмотр с различными скоростями, быстрое измерение времени и амплитуд
- Функция видео-зума, а также сохранение выделенного фрагмента
- Определяемые пользователем установки и опции

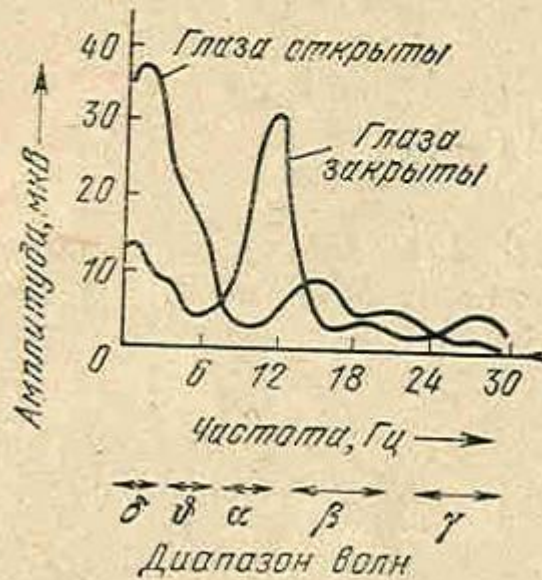
# Технические характеристики Eras

<b>Основной блок:</b> Кол-во входов: Входное сопротивление Помехи Ослабление синфазного сигнала	29/40/44/64/128 100Мом < 1.5 Vpp (фильтр 70 Гц) > 100 dB (100.000 : 1) at 50 Hz
<b>Получение данных:</b> Чувствительность: Фильтр высоких частот: Фильтр низких частот Постоянная времени Режекторный фильтр: Калибровочный сигнал Амплитуда сигнала:	10-1000 мВ/div. (13 steps) 15-30-70-300-350 Гц 0.005-50 Гц (13 steps) 0.003-32 s (13 steps) 50 Гц 10 Hz sine wave or 0.33 Hz square wave 10-50-100 мВ
<b>Оцифровка сигнала</b>	Разрядность АЦП: 16 бит Частота амплитудно-импульсной модуляции: 125-250-500-1000 Гц
<b>Другие параметры:</b> Напряжение сети: Потребляемая мощность Изолирующий трансформатор Габариты Вес с трансформатором, без монитора Вес тележки Безопасность пациента	230 В~ ±10%, 50 Гц 200 ВА (без монитора) 230 В ~ ±10%, 50 Гц, 420 ВА 72.5 x 88 x 64 см 20 кг 50 кг Класс защиты I, тип CF согласно IEC 60601-1

# Анализ электроэнцефалограммы

ЭЭГ сама по себе является более сложной кривой, чем ЭКГ, не говоря уже о том, что она требует больше отведений, а регистрация сигналов длится дольше. Оценка на глаз здесь оставляет желать лучшего, поэтому понятно стремление специалистов сделать анализ ЭЭГ более удобным и точным. Различные анализаторы (в которых могут применяться анализ спектра, интегрирование, дифференцирование, образование перекрестной и автокорреляции, определение средних значений и т. д.) дают возможность получать на основании ЭЭГ все более ценную информацию. Например, рис. 13 ясно показывает различие между спектрами ЭЭГ, снятых у пациен-

тов с открытыми и закрытыми глазами: при закрытых глазах спектр сдвигается в сторону более высоких частот.



Спектры ЭЭГ при открытых и закрытых глазах

ЭЭГ, полученная при регистрации спонтанной биоэлектрической активности, подчас не дает характерной картины. Поэтому в электроэнцефалографии нередко применяют искусственное раздражение и оценивают отклик на него. Так, например, под действием световой стимуляции изменяется активность мозга. Характерные изменения наблюдаются и при звуковом воздействии. Следовательно, приборы для создания светового и звукового раздражения являются важными средствами электроэнцефалографического анализа.

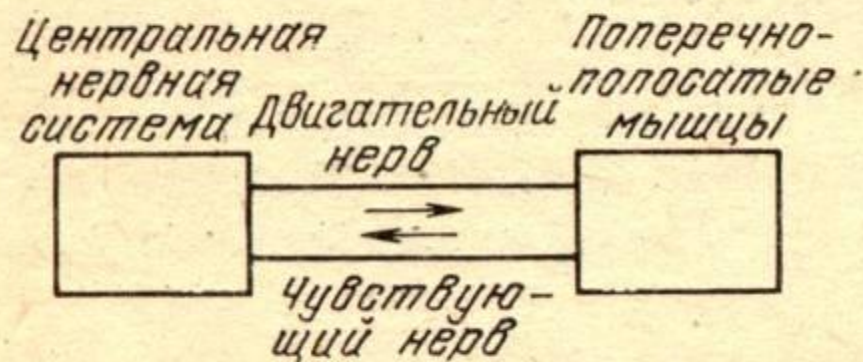


# Электромиография (ЭМГ)

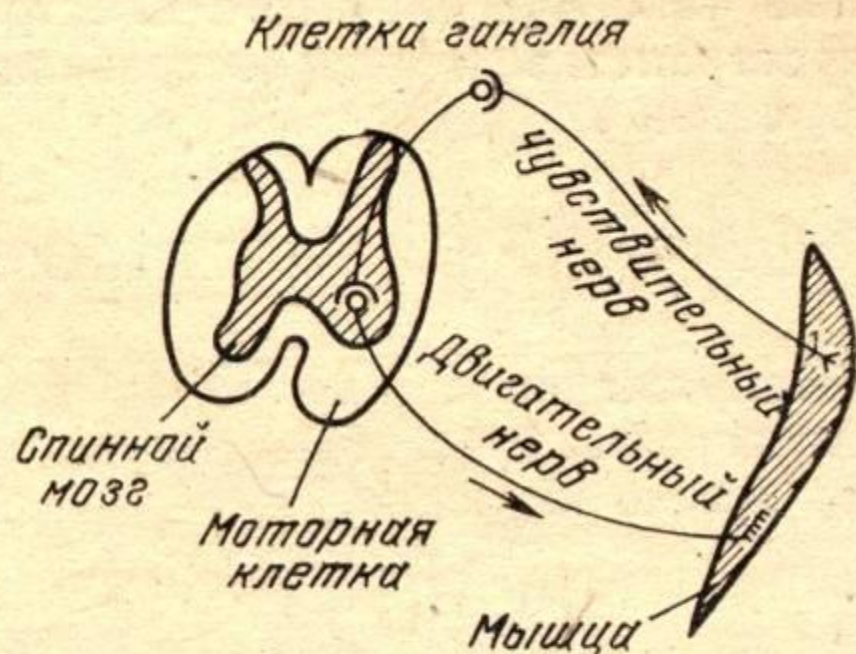
Электромиография занимается регистрацией и исследованием биопотенциалов, возникающих при работе скелетных мышц (не следует смешивать с простой миографией, при которой количественно и качественно изучают механическое сокращение мышц). Рассматриваемый метод имеет большое значение в диагностике различных болезней периферических двигательных нейронов и мышц, а также при контроле эффективности применяемого лечения. Электромиография приобретает все более важное значение в клинической практике, особенно в неврологии, нейрохирургии, терапии, ортопедии, акушерстве, спортивной медицине и т. д.

Мышцами управляет центральная нервная система с помощью замкнутой цепи регулирования (рис. 14). Приказы центральной нервной системы по двигательным нервам передаются к исполняющему органу — мышцам. Обратный сигнал о состоянии мышц в данный момент (об интенсивности сокращения) направляется по чувствительным нервам от окончания этих нервов, расположенных в мышцах. Эта обратная связь позволяет человеку напрягать или расслаблять мышцу в той мере, в какой это необходимо. Таким образом, нам удастся координированно и планомерно выполнять движения, сопровождаемые сложной мышечной деятельностью. (Поэтому невропатолог может делать важные выводы на основе простого эксперимента: с закрытыми глазами и вытянутыми руками пациент должен найти указательным пальцем правой руки кончик того же пальца на левой руке. Если кончики пальцев встретились недостаточно точно, то в цепи обратной связи что-то не в порядке).

Возбуждение двигательных комплексов сопровождается возникновением биопотенциалов. Амплитуда этого напряжения может колебаться в пределах от 10 мкВ до нескольких милливольт. Чтобы регистрировать его точную форму, прибор должен воспринимать сигналы с частотами 1...15 000 Гц.



а)



б)

Схема замкнутой цепи регулирования двигательного аппарата

# Электроды для электромиографии

Мышцы, как правило, располагаются глубоко под кожным покровом, поэтому возникающие в них биопотенциалы необходимо улавливать с помощью электродов, а затем вводить их в усилительно-регистрающую систему. Наиболее просты поверхностные электроды, которые крепятся резиновыми бинтами на обезжиренной поверхности кожи. Если необходимо получить сигналы с большей амплитудой или если врача интересует совместная деятельность нескольких групп мышц, то полезнее использовать игольчатые электроды (существует несколько видов). Центральная платиновая игла концентрического игольчатого электрода соприкасается с исследуемым мышечным волокном, а оплетка электрода предназначена для экранирования. Таким электродом можно осуществлять униполярное отведение. В качестве индифферентного электрода чаще всего применяют поверхностный электрод, расположенный неподалеку от места введения игольчатого.

В биполярном электроде есть два платиновых провода, изолированных один от другого и от внешней оплетки. С помощью такого электрода можно наблюдать биполярные биопотенциалы даже единичного нервного волокна. Игольчатые электроды очень малого размера применяют для записи электромиограммы (ЭМГ) мышц лица и глаза. Для специальных исследований делают даже такие мультиэлектроды, в металлической трубке которых с внешним диаметром 1,5 мм расположены 14 изолированных друг от друга и от защитной оболочки платиновых проводов, причем они размещены по стенкам трубки на равном расстоянии один от другого. С помощью такого игольчатого электрода можно определять положение в пространстве и распространение очага в мышцах, работающих ненормально.



Одноразовые  
инъекционные иглы



Одноразовые  
монополярные иглы  
с проводами



Концентрические иглы  
со съемным проводом



Комплект  
одноразовых электродов



Одноразовые  
электроды с  
проводами



Одноразовые  
монополярные иглы



Съемные провода



для одноразовых игл

# Электромиограф Cadwell Sierra Wave

Программируемый ручной стимулятор и тест-контроллер StimTroller™

- 2- или 4-канальный усилитель
- Программируемый ножной переключатель
- Протоколы ЭМГ
  - буфер просмотра с аудио сигналом (до 10 минут)
  - неограниченный буфер сохраненных сигналов
  - программируемый подсчет мышечных единиц
  - сохранение стоп-кадров ЭМГ в отчетах
- Анализ отдельной моторной единицы (SMUA)
- Скорость проведения по нервным волокнам (моторным, сенсорным, смешанным, немиелинизированным)
- F-волна/H-рефлекс (режим маркеров)
- F-волна (режим курсоров)
- AnatomyVIEW™
- Билатеральная асимметрия (NCV, F, H, ВП)
- DataAV™
- Мигательный рефлекс
- Повторная стимуляция
- Соматосенсорные ВП (верхние, нижние конечности, кожный ответ)
- Симпатический кожный ответ
- R-R интервалы (вариабельность ЧСС)
- Программируемый список исследований
- Автоматическое сравнение данных (автоматическое сравнение с нормой и создание заключений по NCV, F, H и ЭМГ)
- Предоставление суммарных данных в табличной форме
- QuickReport™ – генератор отчетов на базе MS Word
- Анализ ВП (добавление, удаление, усреднение, множественное усреднение, инверсия)
- Конверсия ЭМГ в видео и аудио файлы
- Экспорт ASCII (все протоколы тестов)
- Встроенная калибровка
- Многопользовательский интерфейс



Sierra Wave with laptop and two channel amplifier. Also available with a four channel amplifier.

**Четырехканальный полнофункциональный электромиограф «Синапсис»** по всем своим прикладным и техническим характеристикам превосходит либо не уступает известным российским и большинству зарубежных аналогов. Среди основных преимуществ можно выделить следующие:

питание от интерфейса USB компьютера или ноутбука, что позволяет использовать электромиограф в любых условиях, даже там, где нет источника 220 В;

использование 24-х битного АЦП, что позволяет различать компоненты сигнала в диапазоне амплитуд от 0,1 мкВ до 200 мВ;

полоса пропускания от 0 до 10 000 Гц при частоте дискретизации 40 000 отсчетов в секунду по каждому каналу, что является важнейшим показателем высококачественной регистрации электромиограммы;

32 разряда данных на каждый цифровой отсчет – соответствие последним техническим достижениям микропроцессорной техники;

контроль качества наложения электродов в реальном времени;

полное цифровое управление всеми параметрами прибора;

небольшие габариты;

встроенные блоки управления всеми видами стимуляции;

широкий спектр медицинских методик, позволяющих выполнить как стандартный, так и углубленный электромиографический анализ, зарегистрировать вызванные потенциалы всех модальностей, а также провести ряд **стоматологических исследований**, необходимых для изучения биоэлектрической активности мышц и нервов лица.



# Стимулированная ЭМГ

К электромиографу обычно придается стимуляторная приставка. Дело в том, что врач стремится обследовать мышцы не только в состоянии покоя и произвольного движения, но и их реакцию на искусственное электрическое раздражение. Поэтому он подает на исследуемую мышцу такой электрический импульс (как правило, прямоугольный с амплитудой около 100 В и длительностью 0,1...0,5 мс), который обеспечивает возбуждение всего двигательного комплекса. В результате все мышечные волокна сокращаются одновременно и биопотенциалы возбужденных волокон тоже проявляются одновременно. Следовательно, мы получаем более кратковременные (примерно 10 мс) изменения напряжения, которые имеют более четкую форму.

Отличается от полученной без стимуляции, но позволяет определить ряд параметров проводимости нервов.

На основании ЭМГ можно определить скорость проводимости нерва. Так, например, скорость проводимости одного из нервов ноги определяют, стимулируя нерв за коленом или у щиколотки, а электроды размещают на стопе. По расстоянию между двумя кривыми реакций на двухлучевом осциллографе, зная временное разрешение прибора, нетрудно определить время распространения раздражения между коленом и щиколоткой. Замерив расстояние между двумя точками раздражения, определим скорость распространения импульса.

Аналогично можно определить и скорость проведения возбуждения по чувствительному нерву. Здесь стимуляция подается в одну точку и активное напряжение отводится электродами, расположенными в точках на известном расстоянии одна от другой. С помощью многоканального осциллографа можно определить время распространения волны возбуждения, а зная расстояние, и скорость. Скорость распространения для разных мышц различна: у здорового человека  $40\text{--}60$  м/с, у больного  $10$  м/с.

Если нас интересует длительность рефракторной фазы мышц, то можно применять двойные раздражения, причем интервал между ними выбирают с таким расчетом, чтобы возбужденная мышца воспринимала двойной импульс как отдельные раздражения. Если же второй импульс слишком быстро следует за первым, то мышца находится еще в рефракторном состоянии и на новое возбуждение не реагирует. Критический интервал между импульсами для большинства мышц  $60\text{--}200$  мс. Соответствующую частоту называют критической, она, как правило, равна  $5\text{--}15$  Гц.

Электромиографы обычно бывают двухканальные, т. е. они дают возможность одновременно делать запись сигналов двух отведений. В этом есть необходимость, например, при определении скорости распространения импульса; но и в других случаях может понадобиться исследование синхронности двух ЭМГ. Делают 3- и 4-канальные приборы, но в основном для научно-исследовательских задач. В последнее время для чисто клинических целей используют одноканальный электромиоскоп. Такой аппарат необходим главным образом тогда, когда нужно решить, в какой мере повреждение мышцы или нерва нарушило нормальную деятельность органа, каково поражение или успешно ли было терапевтическое вмешательство.

# Регистрация сигналов в электромиографии

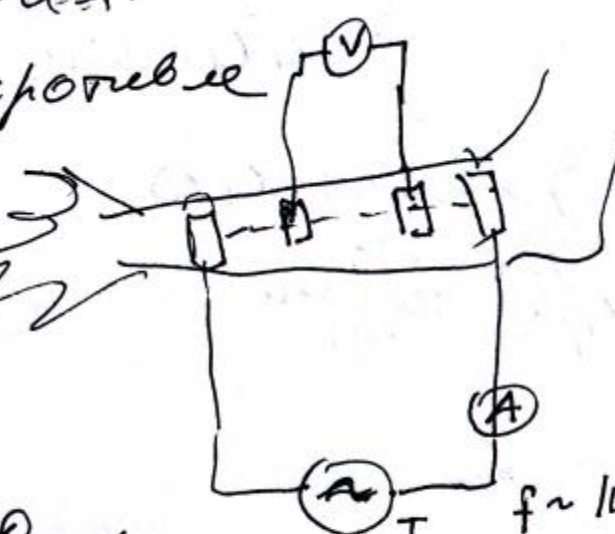
- ▶ Регистрация в виде файла с выводом на монитор.
- ▶ Фоторегистрация
- ▶ Запоминающие осциллоскопы
- ▶ Регистрация на бумаге

12

# Реография -

исследование коротких  
 (олигомерных)  
 тканей в области  
 (зависит от  
 кровеносности).  
 Например  
 спазм судорог  
 рудификация

$$R = \frac{U}{I}$$



$f \sim 100 \text{ кГц}$   
 $U \sim 10 \text{ В}$   
 примерное  
 напряжение  
 $I \sim 1 \text{ мА}$   
 $1 \text{ мА} < f < 1 \text{ МГц}$   
 см. п.



идеал  
 охле  
 ток сего  
 $R$  контакты  
 на  
 уаппах  
 сего пает  
 сего

**Мéтод Фóлля** (нем. *Elektroakupunktur nach Voll*, EAV) — метод экспресс-диагностики в альтернативной (нетрадиционной) медицине, называемый иногда *электропунктурным*, использующий для постановки диагноза результаты измерения электрического сопротивления кожи на пальцах рук и ног.

С точки зрения современной доказательной медицины, у него отсутствуют диагностические возможности и устойчивые результаты клинических исследований. Не имея научных основ, он не признаётся научным сообществом.

Метод разработан в Германии доктором Рейнольдом Фоллем в 1958 году. По существу, является комбинацией акупунктуры и применения гальванометра для измерения кожно-гальванических реакций. Многочисленные исследования, проведенные в этой области, позволили установить, что функциональное состояние органов и тканевых систем может отображаться в виде определенных изменений электрических параметров связанных с ними биологически активных точек.

Исходя из результатов этих исследований, появился электроakupunkturный метод обследования, позволяющий выявить функциональное состояние всех органов и систем человека в их взаимосвязи и различных патологических состояниях. Кроме того, такую диагностику можно использовать и для прогноза заболеваний. Это особенно обнадеживает тех, кто не по одному разу прошел по замкнутому кругу: объективные данные обследования на болезнь не указывают, а человек болен.

Во время обследования по методу Фолля врач с помощью специальных аппаратов производит замеры проводимости электрического тока в биологически активных точках, расположенных на руках и ногах пациента. Безусловно удобным обследование по методу Р. Фолля делают следующие факторы:

- диагностика является безболезненной, электропунктурной;
- проводится без нарушения кожных покровов;
- обследование с большой достоверностью фиксирует отклонения в работе всех органов и систем организма, в т. ч. на самых ранних стадиях;
- не только констатирует факт уже имеющихся болезней, а выявляет заболевания на стадии формирования, а также, предрасположенность к ним (в т. ч. к онкологии)
- диагностика безвредна, не имеет противопоказаний, проводится не только взрослым, но и детям от 1 года.

В США использование метода для диагностики или терапии запрещено, а попытки импорта электропунктурных устройств преследуются по закону



Спасибо за внимание

- ▶ Живой организм - совокупность клеток
- ▶ Разделение функций между комплексами клеток – координация взаимодействия – система нервных клеток
- ▶ Центральная и периферическая нервная система совместно обеспечивают приспособление к внешнему миру.
- ▶ Задача периферической части- получение и передача информации извне, а так же передача и исполнение «приказов» центра. ЦНС воспринимает, обрабатывает информацию на основе результатов обработки формирует «приказы», подлежащие исполнению.
- ▶ Функциональное деление: ЦНС и вегетативная система. Вегетативная система обеспечивает равновесие внутреннего состояния и управляет двумя функциями: динамическая связь с внешней средой (симпатический эффект), регенерирование организма (парасимпатический эффект)
- ▶ ЦНС – нервные клетки + отростки (дендриты и аксоны) (мозг содержит ~10 млрд нейронов). Связь между нейронами – синапсы – передают информацию только в одном направлении. Сигнал имеет электро - химическую природу.
- ▶ Раздражаемость живых клеток. Под действием импульса клетки возбуждаются и выполняют ту или иную специфическую функцию. Существует наименьшая интенсивность раздражения, которая возбуждает клетку – порог раздражения.