



Тема: «Биомедицинские сигналы и методы их обработки»

Авторы:

Марченкова Фаина Юрьевна

Тишков Артем Валерьевич

2013



Содержание

- Сигналы и методы измерений
- Методы обработки
- Спектральный анализ
- САКР – приборно-компьютерный комплекс



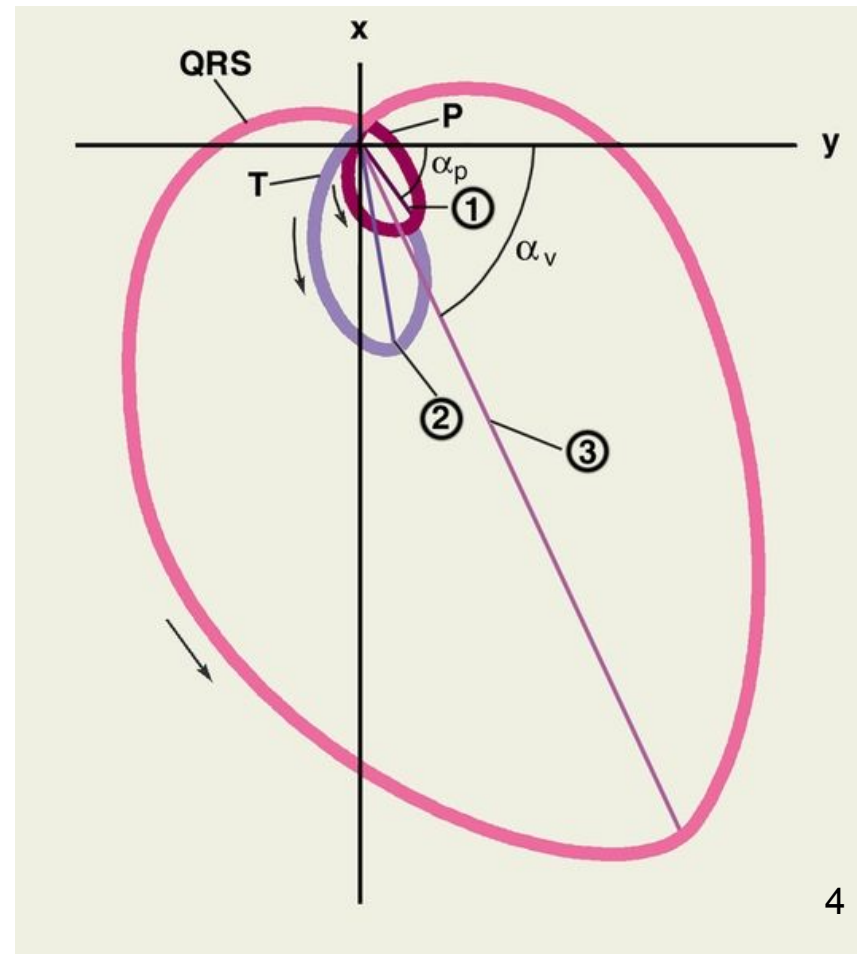
Векторкардиография – определение

- **Векторкардиография** – это метод исследования сердца, основанный на регистрации изменений за сердечный цикл **суммарного вектора электродвижущих сил сердца в проекции на плоскость**
- *Векторкардиографическая кривая* строится по трем осям X, Y и Z (система отведений Франка).

Отведения Франка формируются семью электродами: два из них формируют отведение Y и ставятся на шею и бедро; 4 электрода ставятся на уровне V межреберья, три из них (2, 4, 5) формируют отведение X, седьмой электрод ставится на спину и вместе с электродом 3 формирует отведение Z.

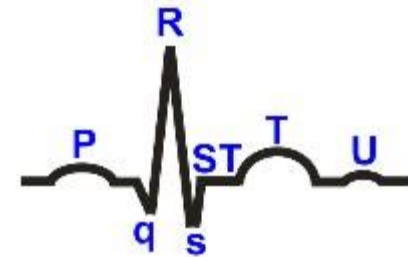
Векторкардиограмма

Петли векторкардиограммы в системе прямоугольных координат (оси x , y), образуемые ходом возбуждения по предсердиям (петля **P-коричневого** цвета) и желудочкам сердца (петля деполяризации желудочков **QRS- красного** цвета, петля реполяризации **T-фиолетового** цвета):
1, 2 и 3 — максимальные векторы петель P, T и QRS;
 α_p и α_v — углы отклонения максимальных векторов от координатной оси y .



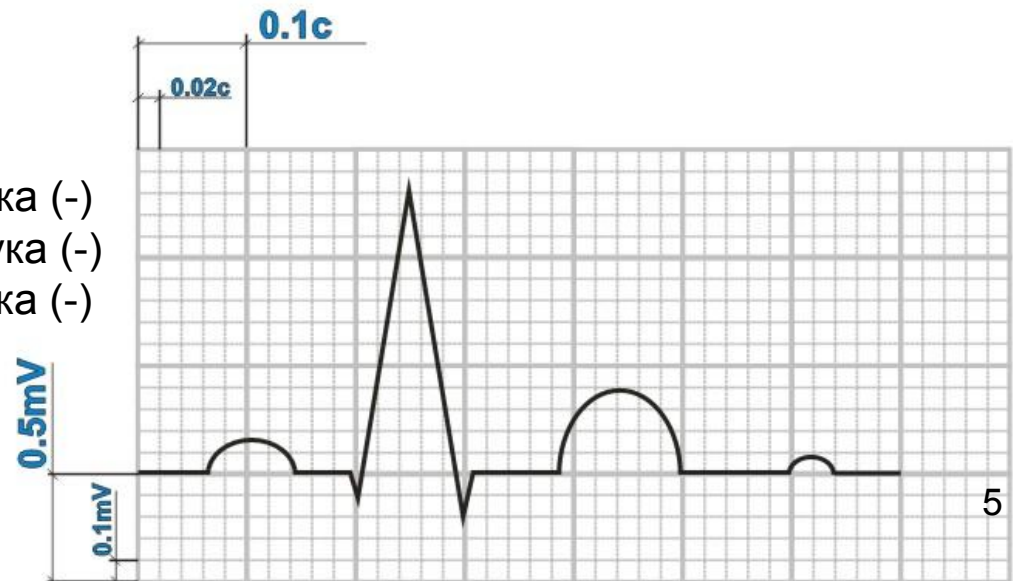
- **Время активации левого и правого желудочков** - период от начала возбуждения желудочков до охвата возбуждением максимального количества их мышечных волокон. Это интервал времени от начала комплекса QRS (от начала зубца Q или R), до перпендикуляра, опущенного из вершины зубца R на изолинию. Время активации левого желудочка определяют в левых грудных отведениях V5, V6 (норма - не более 0,04 с, или 2 клеточки). Время активации правого желудочка определяют в грудных отведениях V1, V2 (норма - не более 0,03 с, или полторы клеточки).
- Зубцы ЭКГ обозначают латинскими буквами. Если амплитуда зубца составляет больше 5 мм - такой зубец обозначается заглавной буквой; если меньше 5 мм - строчной. Как видно из рисунка нормальная кардиограмма состоит из следующих участков:

- [зубец P](#) - предсердный комплекс;
- [интервал PQ](#) - время прохождения возбуждения по предсердиям до миокарда желудочков;
- [комплекс QRS](#) - желудочковый комплекс;
- [зубец q](#) - возбуждение левой половины межжелудочковой перегородки;
- [зубец R](#) - основной зубец ЭКГ, обусловлен возбуждением желудочков;
- [зубец s](#) - конечное возбуждение основания левого желудочка (непостоянный зубец ЭКГ);
- [сегмент ST](#) - соответствует периоду сердечного цикла, когда оба желудочка охвачены возбуждением;
- [зубец T](#) - регистрируется во время реполяризации желудочков;
- [интервал QT](#) - электрическая систола желудочков;
- [зубец u](#) - клиническое происхождение этого зубца точно неизвестно (регистрируется не всегда);
- [сегмент TP](#) - диастола желудочков и предсердий.



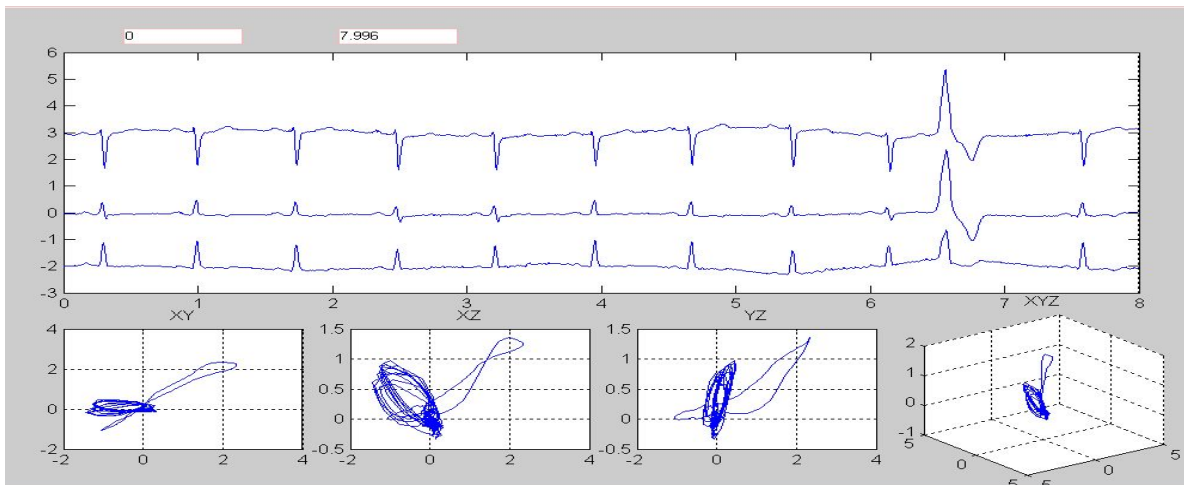
Отведения Эйнтховена

- I отведение: левая рука (+) и правая рука (-)
- II отведение: левая нога (+) и правая рука (-)
- III отведение: левая нога (+) и левая рука (-)



Векторкардиография – пример 1

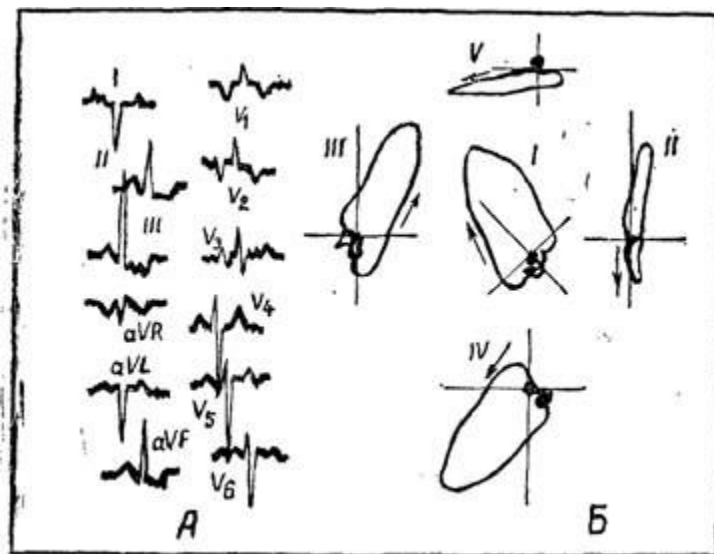
- Записи ЭКГ содержат несколько кардиоциклов фонового (нормального) ритма и один патологический кардиоцикл (желудочковая экстрасистола), который хорошо заметен во всех трех отведениях ЭКГ





Векторкардиография – пример 2

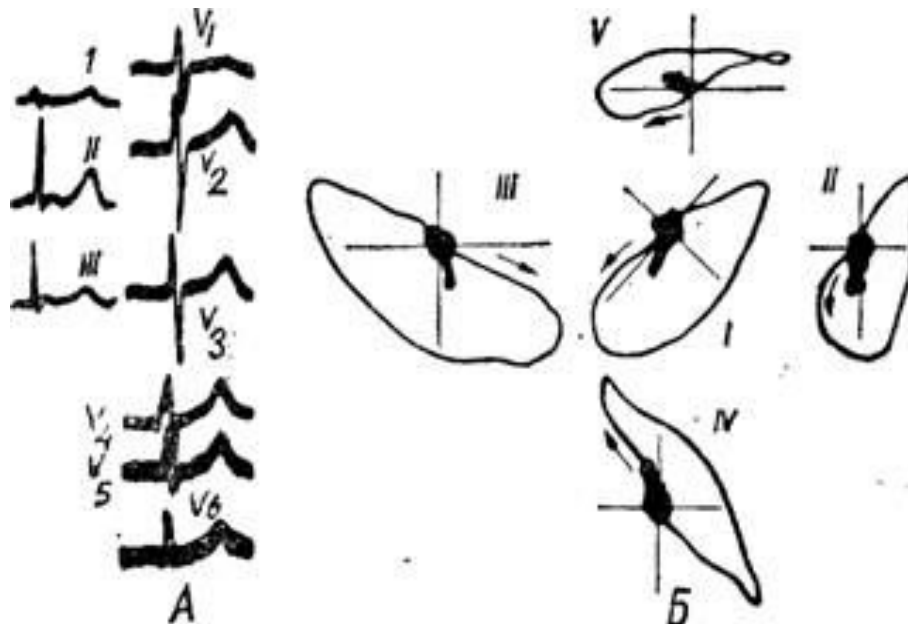
- Для раннего диагностирования митрального стеноза показатели электрокардиограммы не имеют значения, так как иногда она в течение ряда лет остается нормальной.





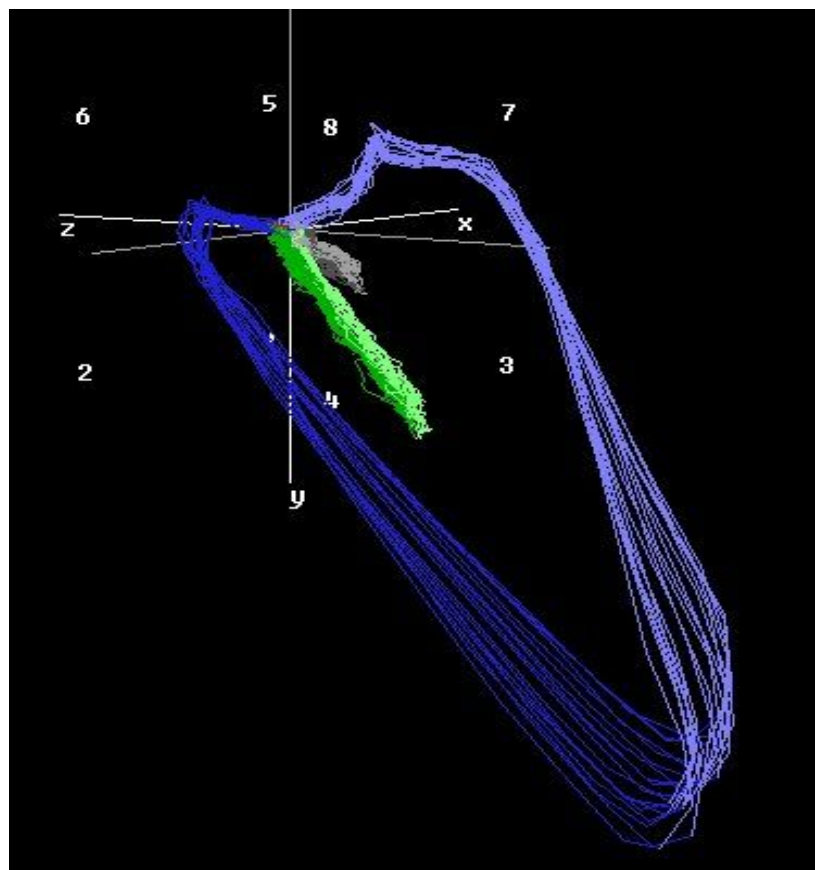
Векторкардиография – пример 3

- При комбинированной гипертрофии желудочков





Современный вид ВКГ



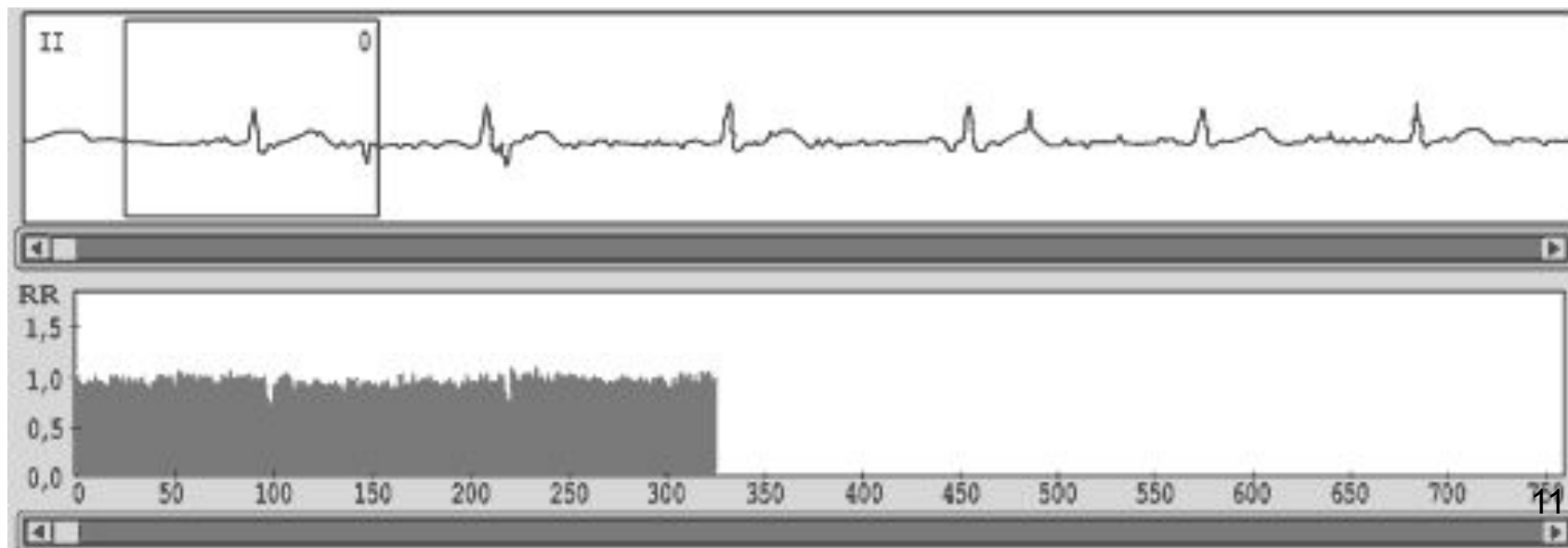
Ритмокардиография

- *Ритмокардиография* – это метод оценки ритма сердца, основанный на графическом представлении последовательности значений длительности кардиоцикла (RR-интервалов). Используются три вида графиков:
 - *ритмограмма*
 - *гистограмма*
 - *скаттерограмма*



Ритмограмма

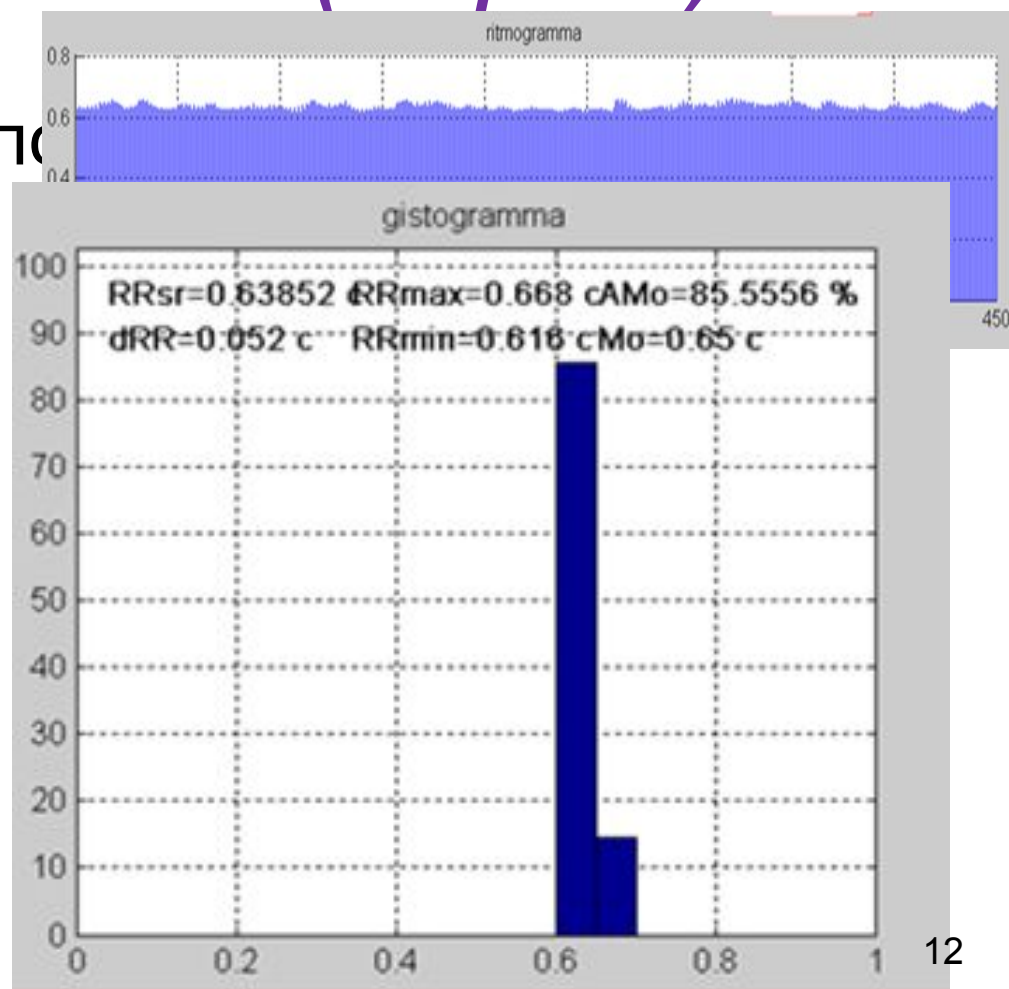
- *ритмограмма* – зависимость значений длительности RR-интервала от порядкового номера цикла измерения;





Гистограмма (норма)

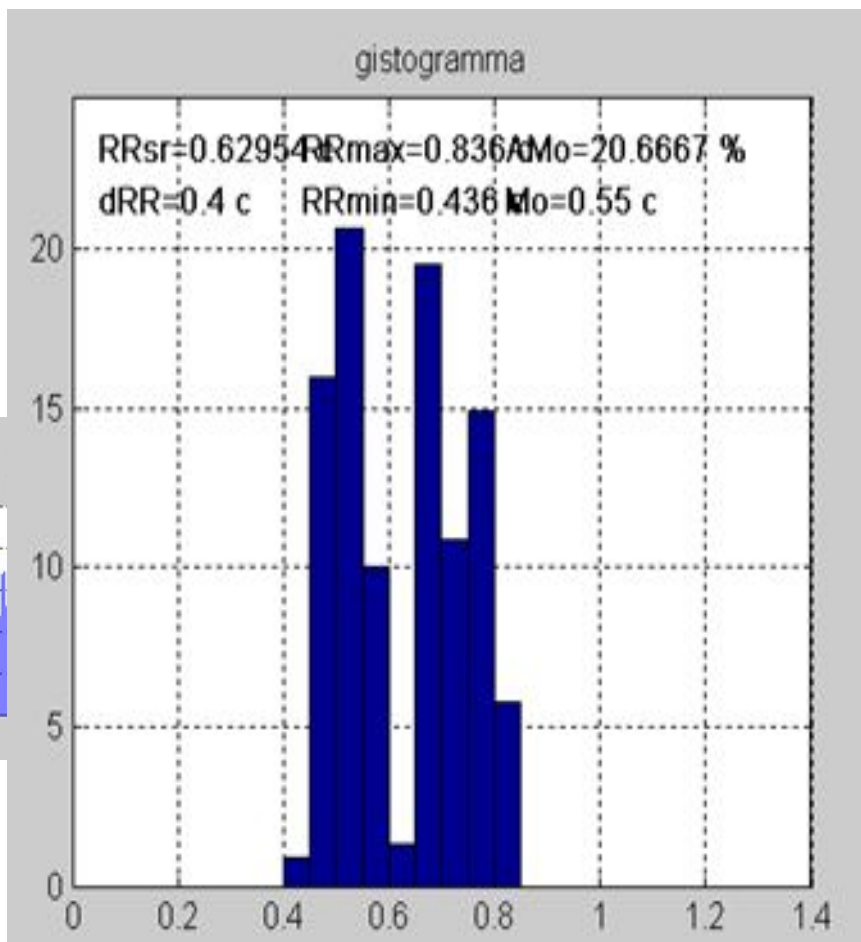
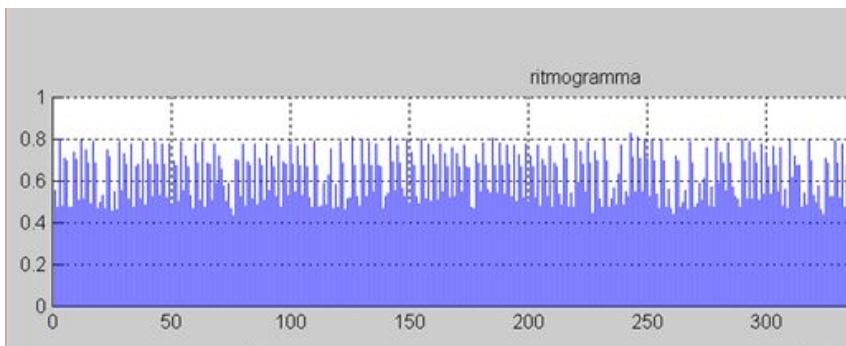
- **гистограмма**— относительное число RR-интервалов, относящихся к различным диапазонам значений их длительности;
- **Пример:**
нормальный ритм





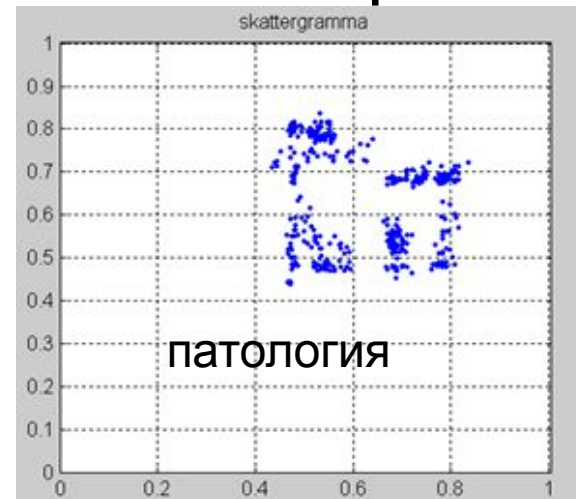
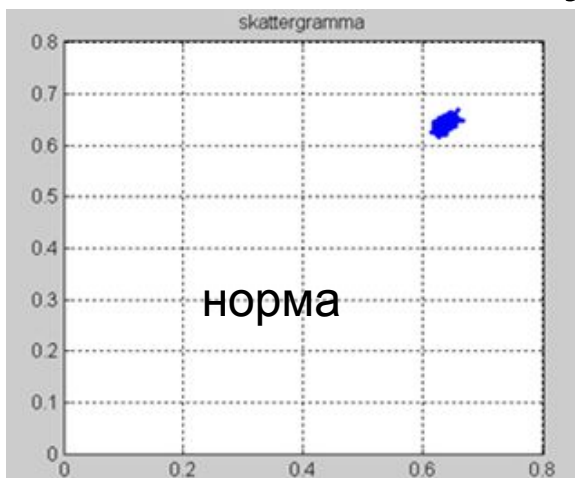
Гистограмма (патология)

- Вариант графиков для желудочковой экстрасистолии



Скаттерограмма

- **Скаттерограмма** – двумерное отображение ритма сердца, которое строится как совокупность точек, координаты каждой из которых на плоскости соответствуют величинам двух смежных RR-интервалов.



Механография. Сфигмография(СфГ)

- **Механография** - группа методов исследования механических проявлений функционирования системы кровообращения.
- **Сфигмография** – регистрация движения артериальной стенки, возникающего под влиянием волны давления крови при каждом сокращении сердца

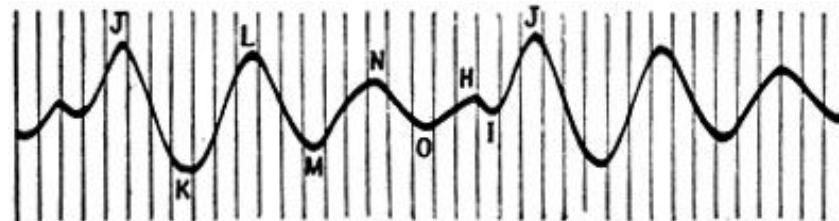
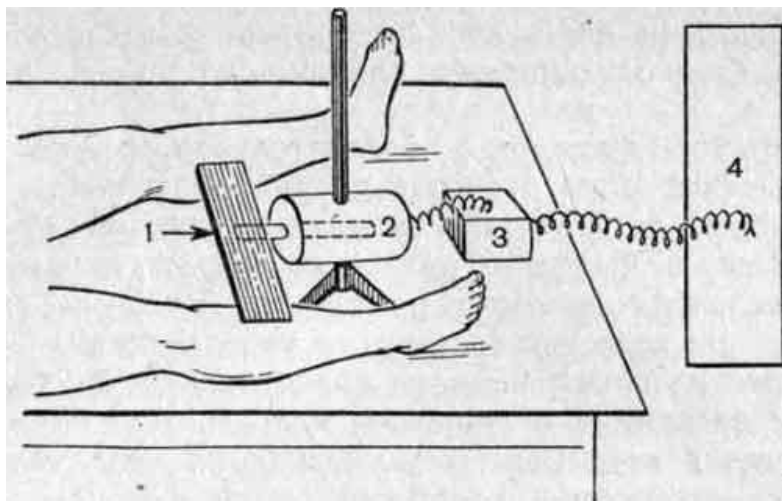


сфигмограммы сонной,
лучевой и бедренной
артерии

Механография.

Баллистокардиография (БКГ)

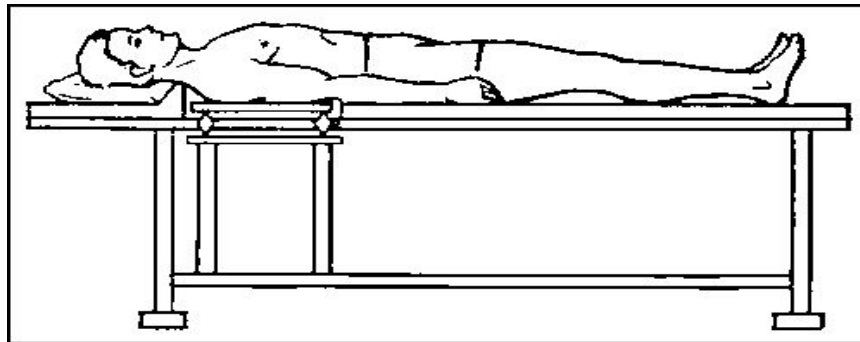
- **Баллистокардиография** – метод регистрации параметров движения тела относительно неподвижной опоры, на которую оно помещается, либо параметров совместного движения подвижной опоры и тела, возникающих за счёт реактивных сил, которые обусловлены механической активностью сердца и пульсирующим распределением масс крови в сосудистой системе



Нормальная
баллистокардиографическая кривая

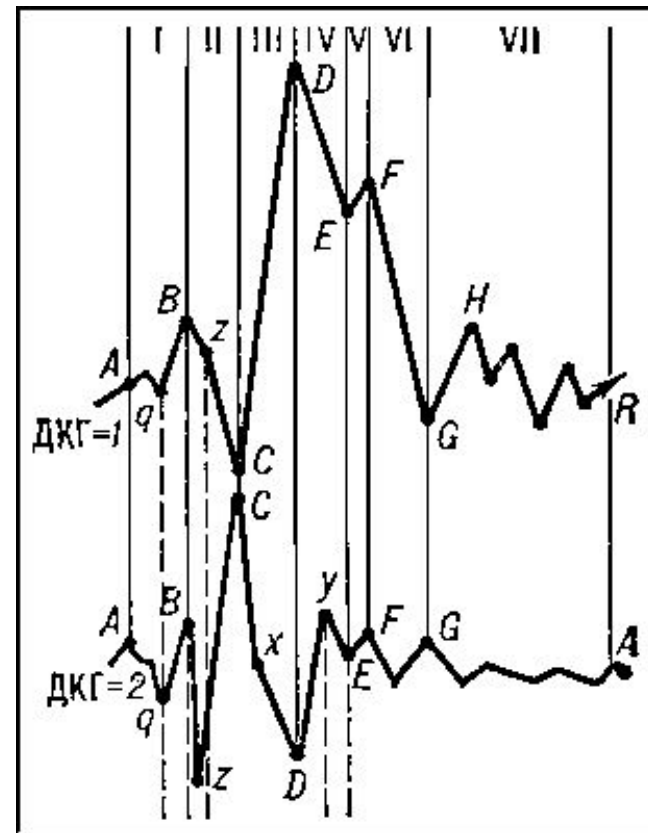
Механография. Динамокардиография (ДКГ)

- **Динамокардиография** ДКГ – регистрация перемещения центра тяжести грудной клетки и ударных компонентов кинематики сердца, вызываемых выбросом крови.
- Общий вид динамокардиографического стола с вмонтированным в него воспринимающим устройством:



Динамокардиография (ДКГ)

- продольная (ДКГ-1)
- поперечная (ДКГ-2)
динамокардиограммы



Механография. Апекскардиография (АКГ)

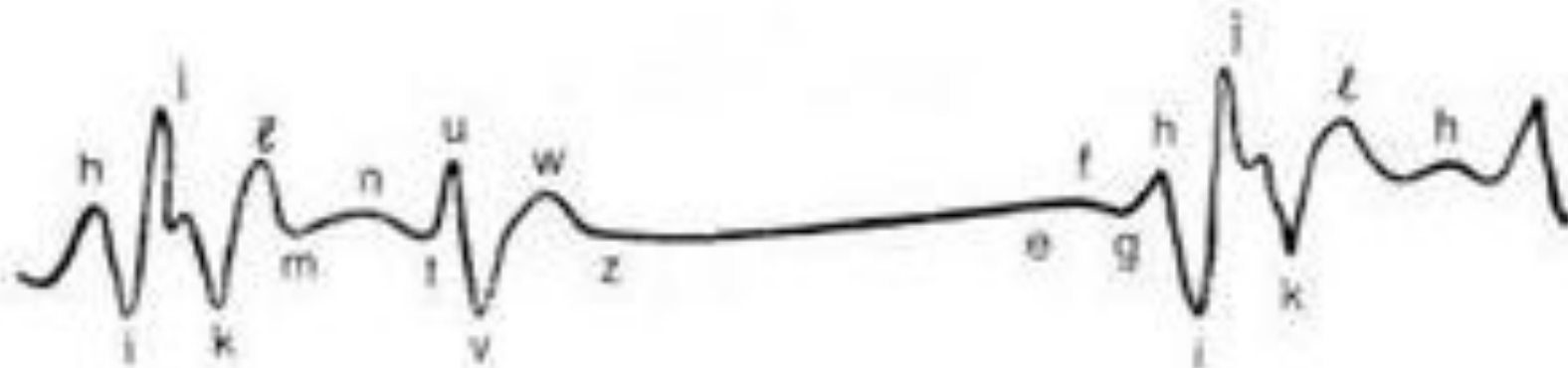
- **Апекскардиография** – регистрация низкочастотных колебаний грудной клетки в области верхушечного толчка, вызванных работой сердца.





Механография. Кинетокардиография (ККГ)

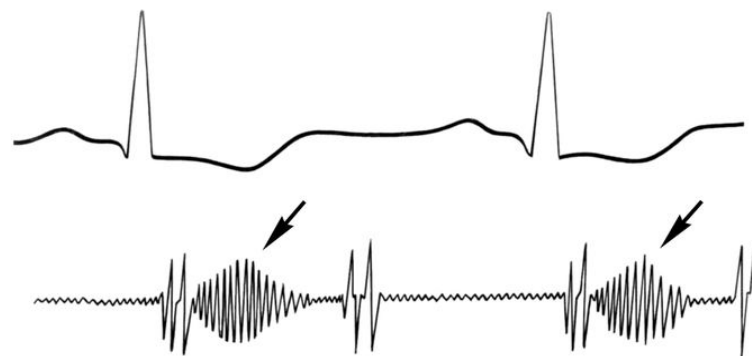
- **Кинетокардиография** ККГ – регистрация инфразвуковых (менее 30 Гц) низкочастотных **вибраций стенок грудной клетки**, обусловленных сердечной деятельностью





Механография. Фонокардиография (ФКГ)

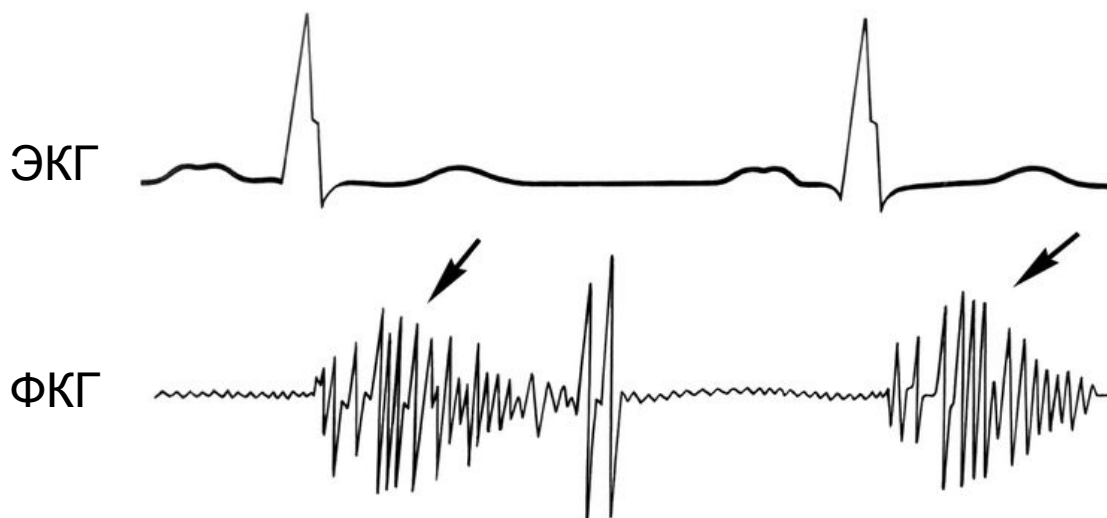
- **Фонокардиография** – регистрация звуков, возникающих при работе сердца



Фонокардиограмма при аортальном стенозе: систолический шум ромбовидной формы (указан стрелками)



Механография. Фонокардиография (ФКГ)



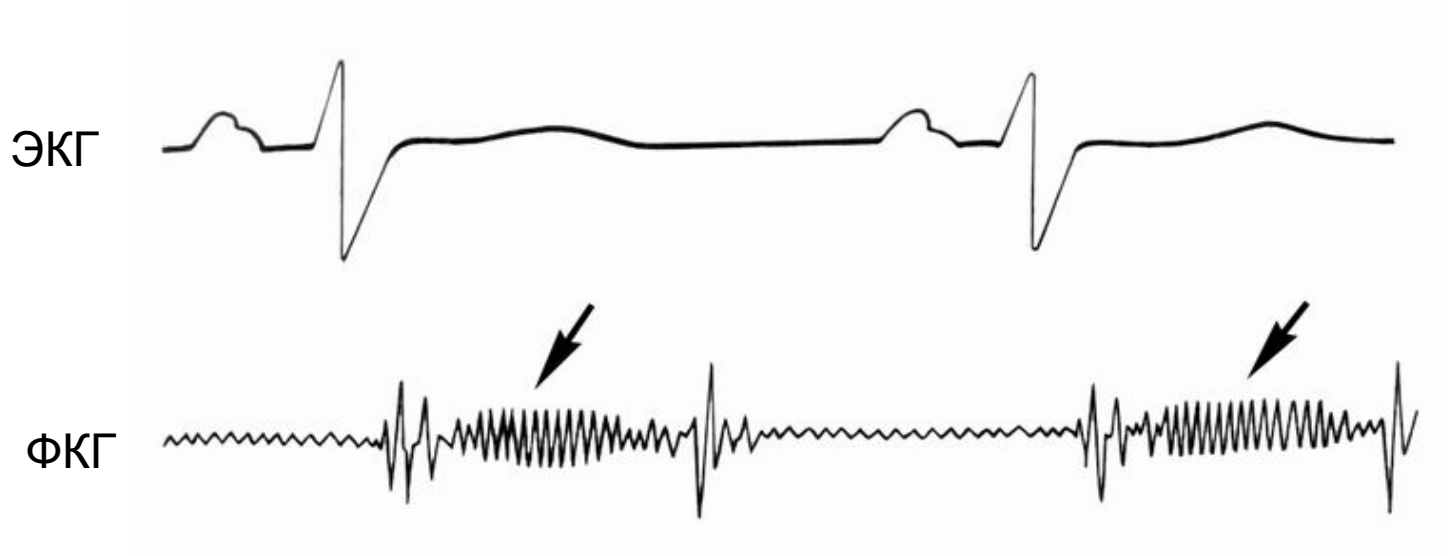
Фонокардиограмма при **органической митральной недостаточности**: I тон ослаблен, сливается с убывающим систолическим шумом



Первый тон составляет сумма звуковых явлений, возникающих в сердце во время систолы. Поэтому он называется систолическим. Он возникает в результате колебаний напряженной мышцы желудочков (мышечный компонент), замкнутых створок двух- и трехстворчатого клапанов (клапанный компонент), стенок аорты и легочной артерии в начальный период поступления в них крови из желудочков (сосудистый компонент), предсердий при их сокращении (предсердный компонент).

Второй тон обусловлен захлопыванием и возникающими при этом колебаниями клапанов аорты и легочной артерии. Его появление совпадает с началом диастолы. Поэтому он называется диастолическим.

Механография. Фонокардиография (ФКГ)

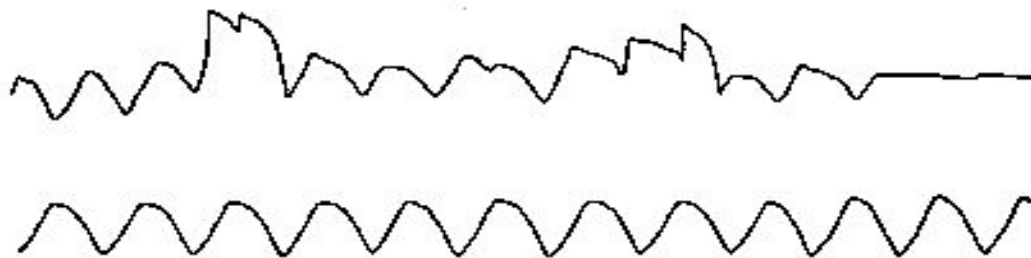


Фонокардиограмма при органической недостаточности трехстворчатого клапана: низкоамплитудный лентовидный систолический шум



Импедансные методы исследования. Пневмография (ПнГ)

- **Пневмография** - это метод исследования **внешнего дыхания**, основанный на графической регистрации **дыхательных движений** по изменению окружности грудной клетки или живота





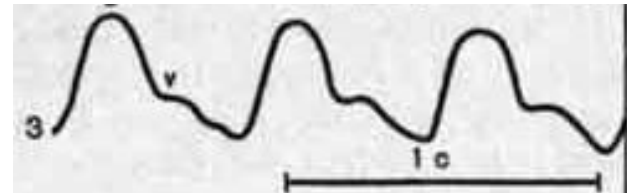
Импедансные методы исследования. Реография (РеГ)

- **Реография** – регистрация колебаний сопротивления живой ткани организма на переменном токе высокой частоты



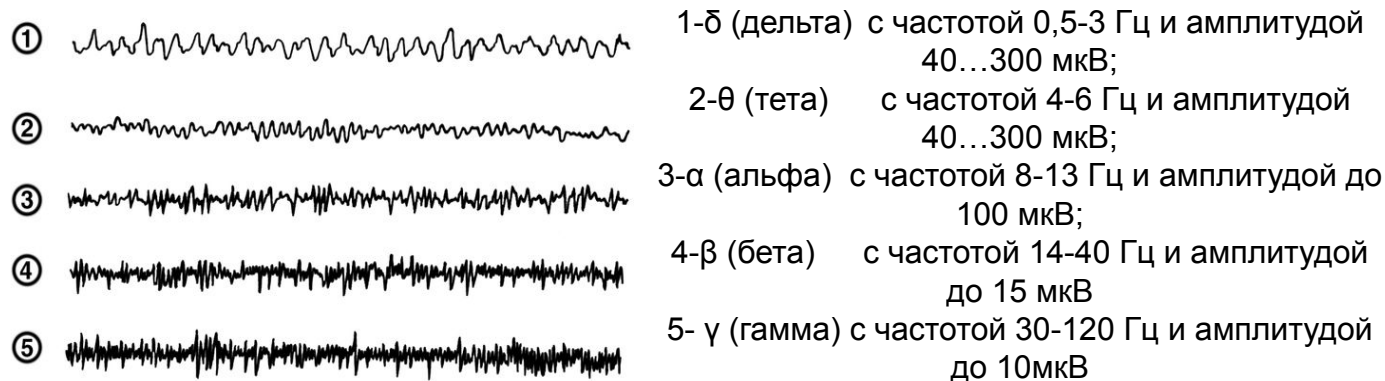
Методы электроёмкостной регистрации

- **Диэлектрография** (ДЭГ) - регистрация процессов жизнедеятельности по изменениям диэлектрической проницаемости пространства между электродами, куда помещён исследуемый организм
- **Электроплетизмография** (ЭПГ) – регистрация **изменения кровенаполнения** органов за счёт изменения емкости внешнего конденсатора, одна из обкладок которого механически связана с исследуемым организмом



Электрографические методы исследования

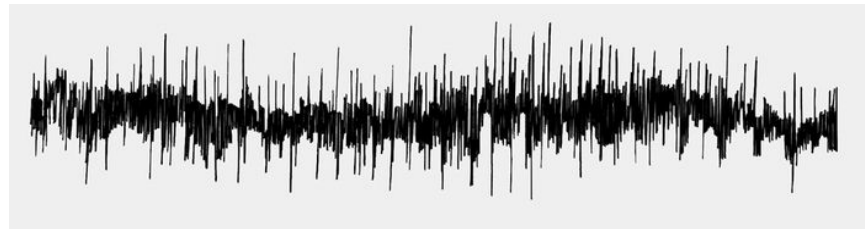
- Электрокардиография ЭКГ
- Электроэнцефалография ЭЭГ – регистрация изменения разности потенциалов с поверхности головы, характеризующих биоэлектрическую активность различных участков мозга



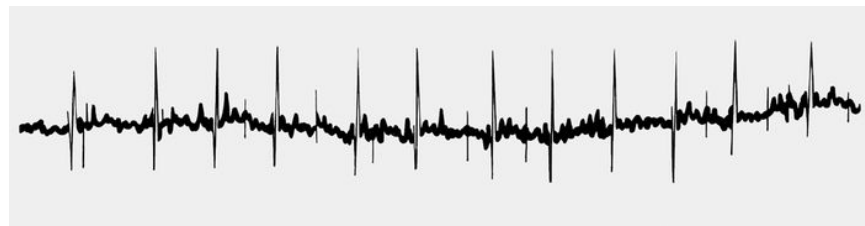
50
МКВ 1с

Электрографические методы исследования. Электромиография (ЭМГ)

- **Электромиография** – регистрация разности потенциалов на поверхности мышцы или внутри её.
- Электромиограмма в норме



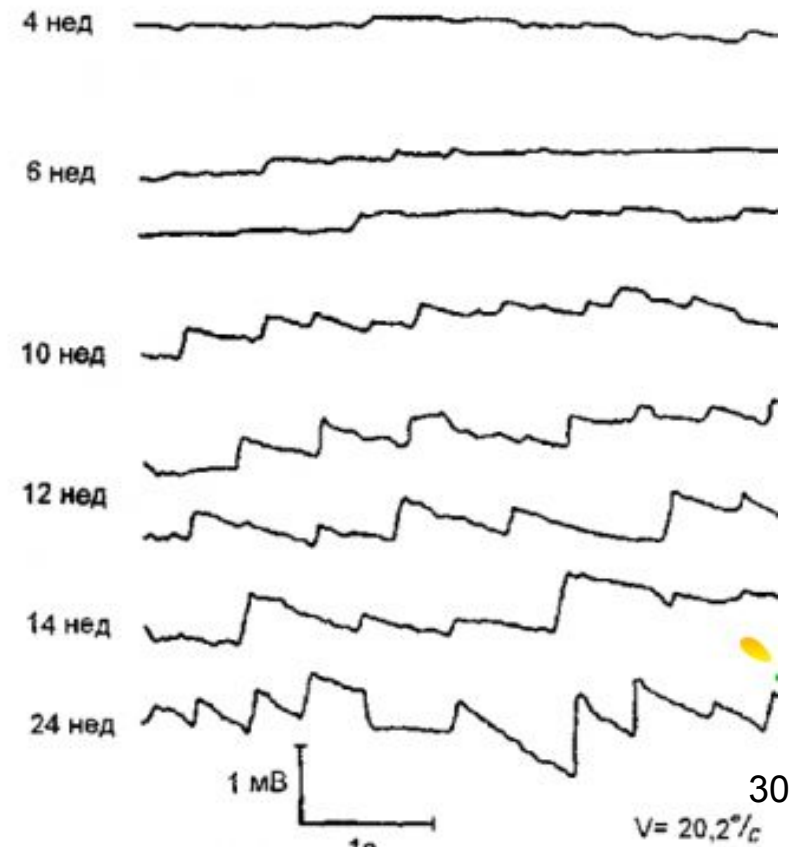
- Электромиограмма при невропатии



Электрографические методы исследования. Электроокулография (ЭОГ)

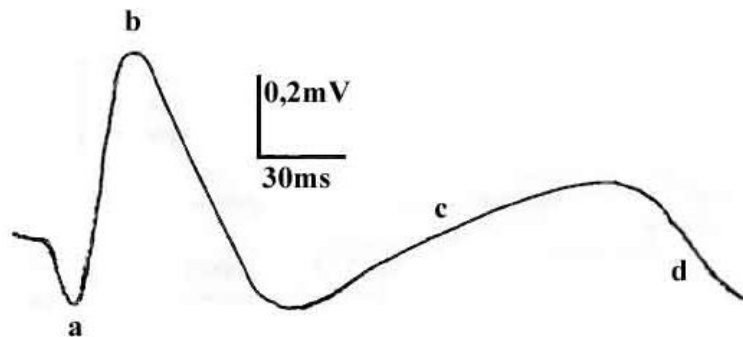
- **Электроокулография** – регистрация разности потенциалов между роговицей и сетчаткой, возникающих при движении глаз.

Производится с помощью накожных электродов, накладываемых на область наружного и внутреннего края нижнего века



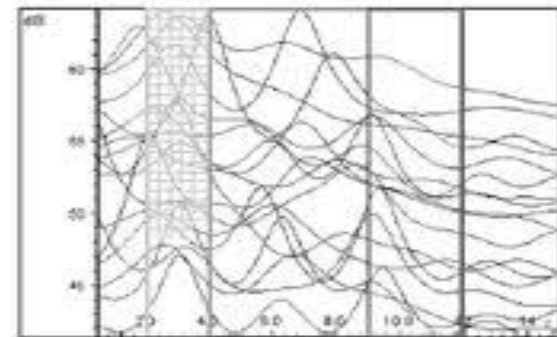
Электрографические методы исследования. Электроретинография (ЭРГ)

- **Электроретинография** – регистрация потенциалов сетчатки глаза в зависимости от условия освещенности, световой и темновой адаптации, действия фармакологических веществ, заболеваний глаза.

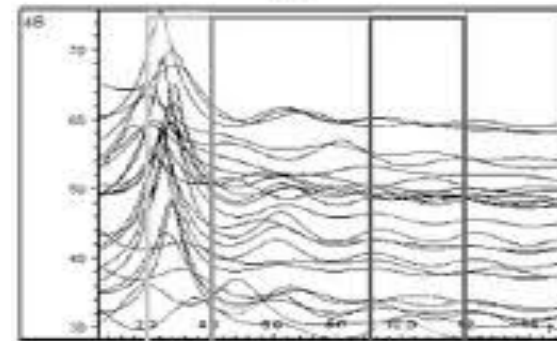


Электрографические методы исследования. Электрогастрография (ЭГГ)

- **Электрогастрография** – регистрация активности ЖКТ



а



Электрографические методы исследования.

Кожно-гальваническая реакция (КГР)

- **Кожно-гальваническая реакция** – биологическая реакция, регистрируемая с поверхности кожи





Фотометрические методы исследования.

Фотоплетизмография (ФПГ)

- **Фотоплетизмография** – регистрация изменений светопроницаемости органа или части тела, вызванных кровенаполнением





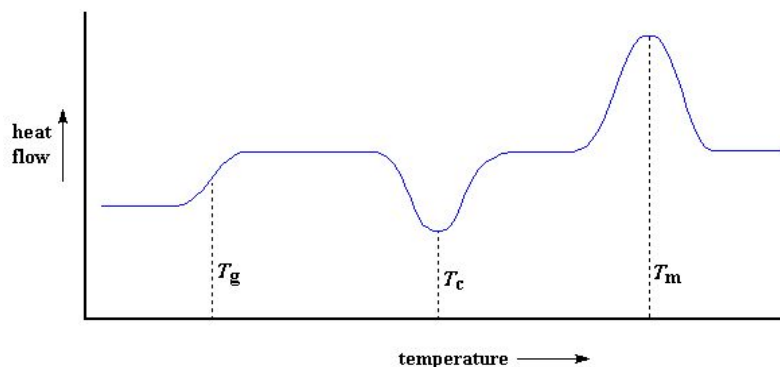
Фотометрические методы исследования

- **Нефелометрия** (графия) (НеМ) – исследование параметров лучистого потока **рассеянного света** вследствие кровенаполнения биологической средой
- **Фотооксигемометрия** (ФОГМ) – измерение **степени насыщения гемоглобина** крови кислородом путём анализа спектральной характеристики рассеянного или пропущенного кровью излучения



Методы исследования теплопродукции и теплообмена

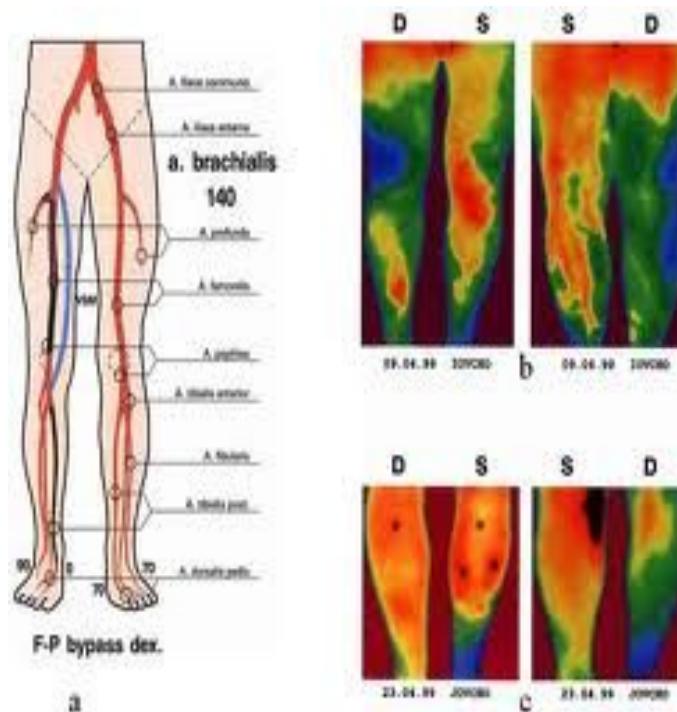
- **Термометрия** ТеМ – группа методов измерения уровня тепловой энергии, скорости и направления потока тепла
- **Калориметрия** КаМ – группа методов измерения количества тепла





Методы исследования теплопродукции и теплообмена

- **Термография** ТеГ – группа методов регистрации температурного поля: распределения потока тепла по поверхности тела.

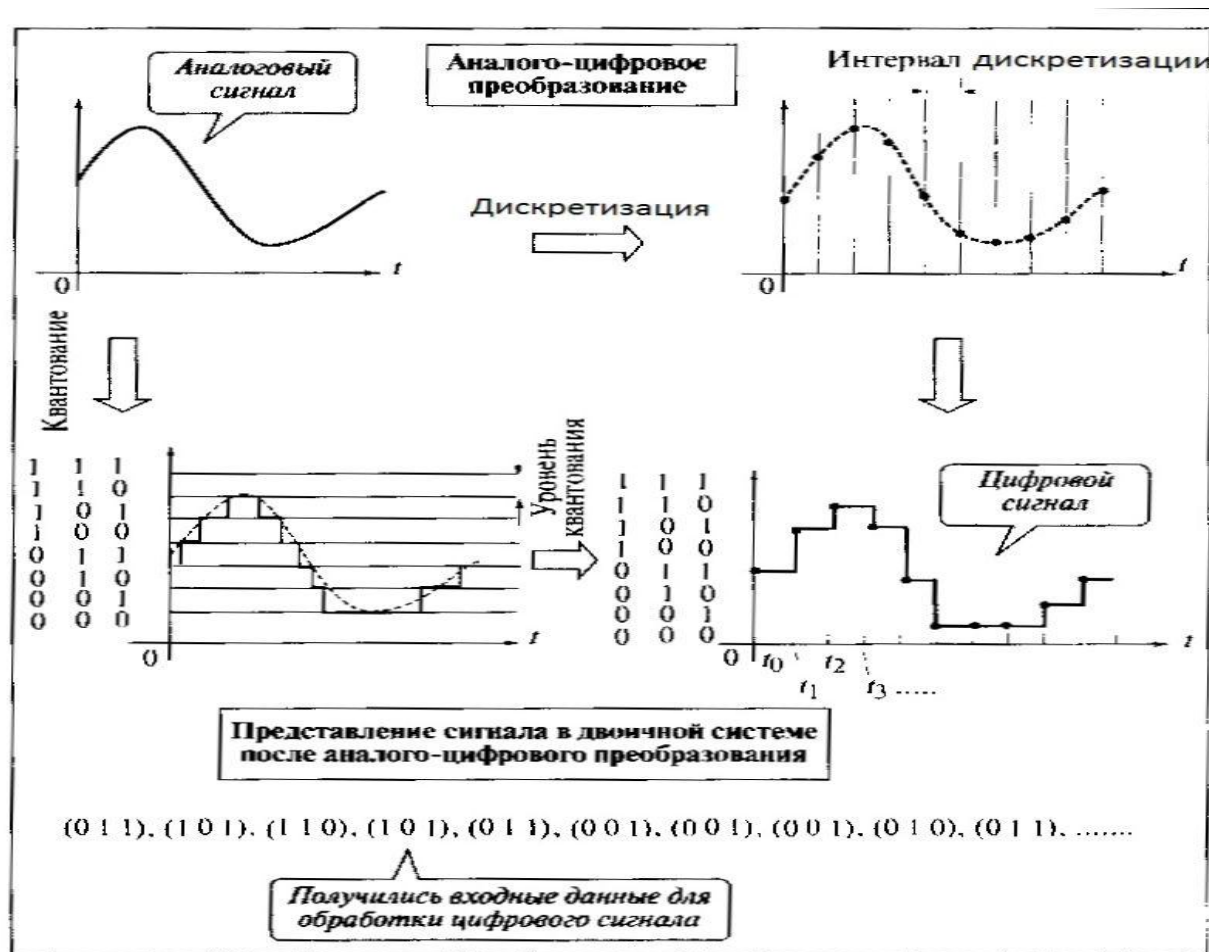




Методы обработки сигналов

- Теорема отсчётов (теорема Котельникова)
- Спектральный Анализ (СА)
 - Амплитудный спектр
 - Спектр мощности
 - Спектральная плотность мощности
- Пример практического задания

Аналого-цифровое преобразование





Теорема отсчётов (теорема Котельникова)

- Определения:
- Что такое частота сигнала? Например, если говорится, что частота сигнала 20Гц, это означает, что полное колебание сигнала происходит в 1/20 секунды (период=1/20с)
- Отсчёт – число, описывающее процесс в определённый момент времени.
- n – порядковый номер отсчёта.
- T – интервал дискретизации (дискретизация – взятие отсчётов по времени).
- Квантование – разделение по амплитуде.
- $f_d = 1/T$ – частота дискретизации [Гц], [рад/с]

Теорема отсчётов (теорема Котельникова)

- Теорема:

При частоте дискретизации

$f_d \geq 2f$ сигнала

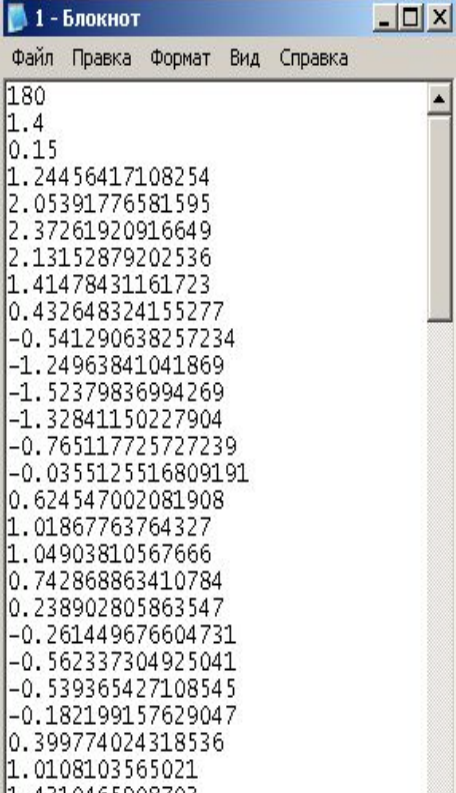
действительный сигнал с ограниченным спектром (от 0 до f сигнала) может быть точно восстановлен по формуле:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) \cdot \frac{\sin[\pi(t - nT)/T]}{\pi(t - nT)/T}$$

- $x(t)$ – восстановленный аналоговый сигнал
- $x(n)$ – отсчёты сигнала, взятого с интервалом дискретизации T

Пример сигнала (ЭКГ) в цифровом виде

- Первое число задает частоту дискретизации.
- Второе число – длительность сигнала.
- Все остальные числа – отсчёты.



```
1 - Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
180
1.4
0.15
1.24456417108254
2.05391776581595
2.37261920916649
2.13152879202536
1.41478431161723
0.432648324155277
-0.541290638257234
-1.24963841041869
-1.52379836994269
-1.32841150227904
-0.765117725727239
-0.0355125516809191
0.624547002081908
1.01867763764327
1.04903810567666
0.742868863410784
0.238902805863547
-0.261449676604731
-0.562337304925041
-0.539365427108545
-0.182199157629047
0.399774024318536
1.0108103565021
1.4210465000702
```

Спектральный анализ (СА). Применение

- СА используется для изучения частотных свойств сигнала, то есть для того, чтобы посмотреть, какие частоты есть в сигнале.

Практическое применение:

- анализ ритмов ЭЭГ
- анализ variability сердечного ритма
- ЭКГ картирование

Преобразование Фурье

- Для получения спектра сигналов применяется преобразование Фурье. Суть – переход из временной области в частотную и наоборот.
- Прямое преобразование Фурье

- Обратное преобразование Фурье

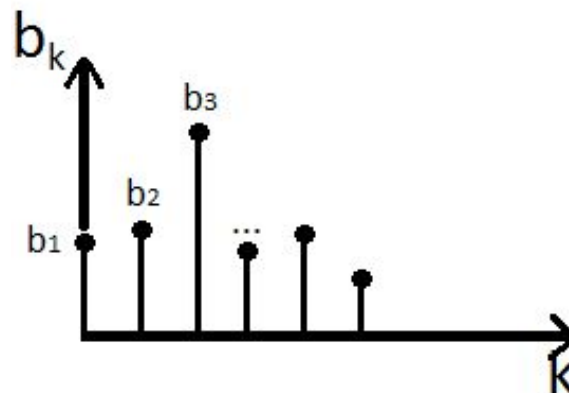
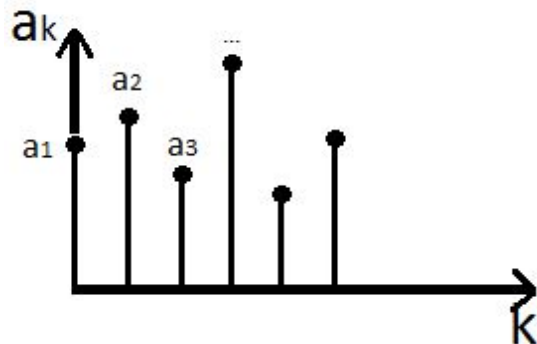
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$
$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega$$

Преобразование Фурье

- Также применяются ряды Фурье
- Главный принцип которых - любой бесконечный сигнал можно представить в виде суммы синусоид:

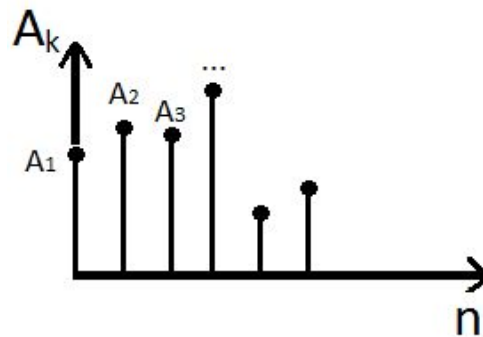
$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cdot \cos 2\pi k f_1 t + b_k \cdot \sin 2\pi k f_1 t]$$

a_k, b_k – коэффициенты – компоненты вектора, длина которого соответствует амплитуде



Преобразование Фурье

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$$



$$x_k = A_k \cdot \sin(2\pi f_k t - \varphi_k)$$

$$\varphi_k = \arctg b_k/a_k$$



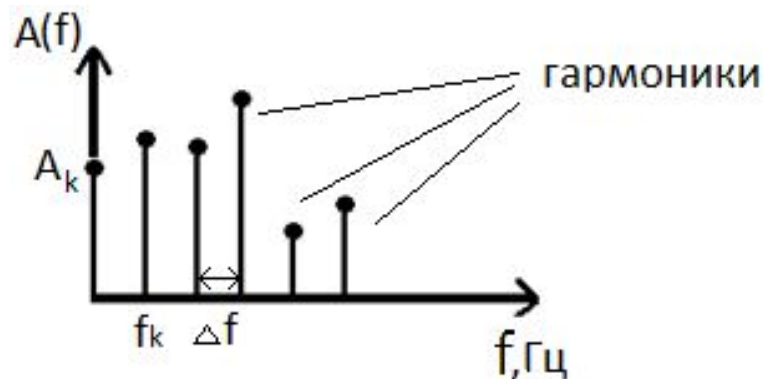
Виды спектров

В результате спектрального анализа можно получить три графика:

- Амплитудный спектр
- Спектр мощности
- Спектральная плотность мощности

Амплитудный спектр

- Амплитудный спектр показывает, из каких синусоид состоит сигнал.

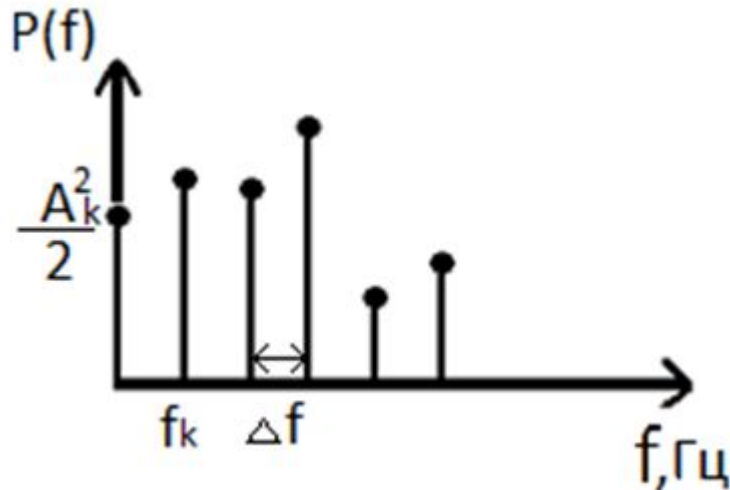


$$f_k = k \cdot \frac{f_0}{N} = k \cdot \Delta f, \quad k=1,2,3,\dots$$

$$x(t) = \sum_k A_k \cdot \sin(2\pi f_k t)$$

Спектр мощности

- Спектр мощности показывает, какую мощность имеет каждая частотная составляющая. Суммарная мощность –



$$P = \frac{A^2}{2} \approx \frac{U^2}{R} = I^2 R$$

$$P(k) = \frac{A^2(k)}{2} \quad ; \quad f_k = k \cdot \frac{f_0}{N} = k \cdot \Delta f$$

Спектральная плотность мощности

- Спектральная плотность мощности более удобная форма графика спектра мощности. В отличие от спектра мощности, спектральная плотность мощности не зависит от количества точек в сигнале (график нормирован по частоте)

$$p(k) = \frac{P(k)}{\Delta f} \quad \Delta f = \frac{f_0}{N}$$



Предобработка сигнала. Удаление линейного тренда

1. Удаляется постоянная составляющая сигнала (линейный тренд): $x = x - \text{mean}(x)$



Предобработка сигнала. Искусственное повторение участка сигнала

2. Сигнал необходимо сделать бесконечным, путём дополнения его им же

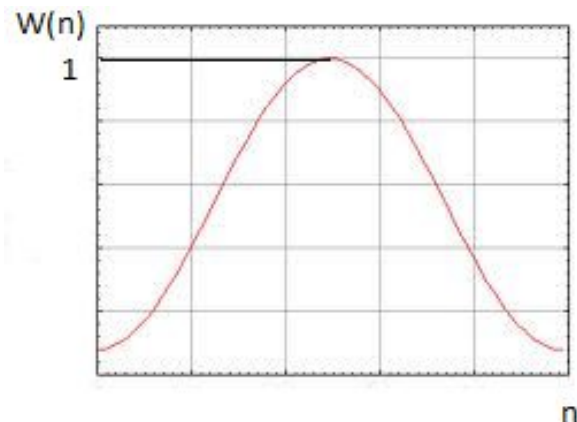


Для того, чтобы избавиться от этого скачка применяют специальные окна

Предобработка сигнала. Окно Хэмминга

3. Применить окно Хемминга

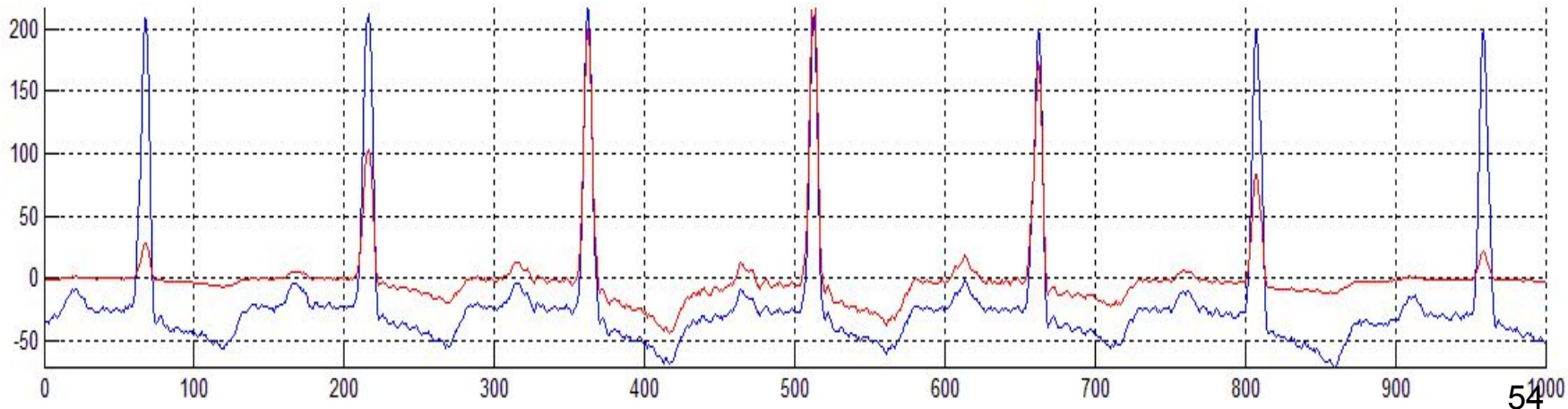
Окно Хемминга описывается следующим выражением:
 $0,54+0,46 \cdot \cos[2\pi \cdot t(n)]$





«Подготовленный сигнал»

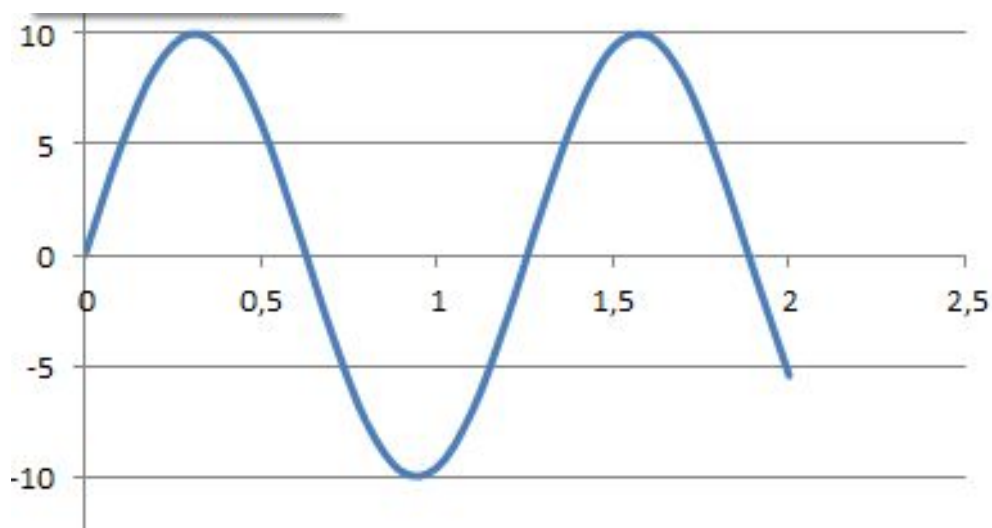
- Накладывая (умножая) окно Хемминга на сигнал, мы получаем сигнал, у которого края сходятся к нулю, тем самым убирая скачок.





Пример практического задания

- Если сигнал имеет вид $x(t)=10 \cdot \sin(2\pi \cdot 5t)$

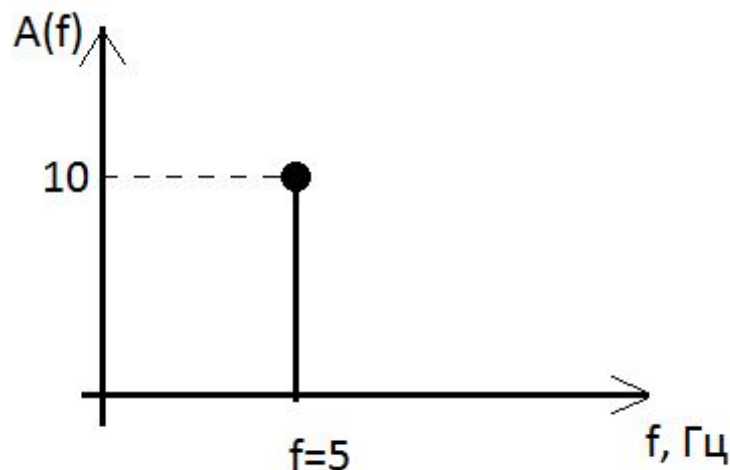




Пример практического задания

Амплитудный спектр

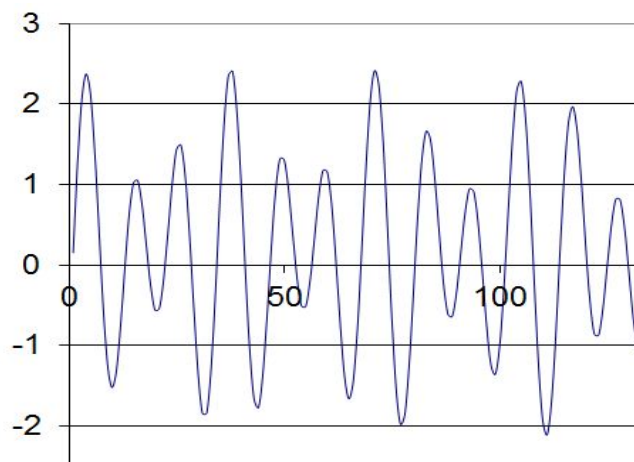
- То на амплитудном спектре в идеале будет одна гармоника, амплитуда которой будет равна 10, а частота 5 Гц.





Пример практического задания

- Если сигнал представляет собой сумму двух синусоид:
- $x(t) = A_1 \cdot \sin(2\pi \cdot f_1 \cdot t) + A_2 \cdot \sin(2\pi \cdot f_2 \cdot t)$

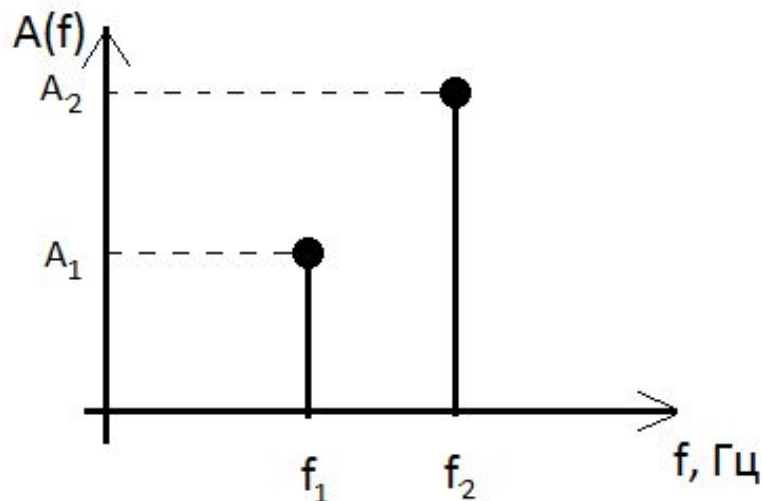




Пример практического задания

Амплитудный спектр

- То идеальный амплитудный спектр будет выглядеть следующим образом:

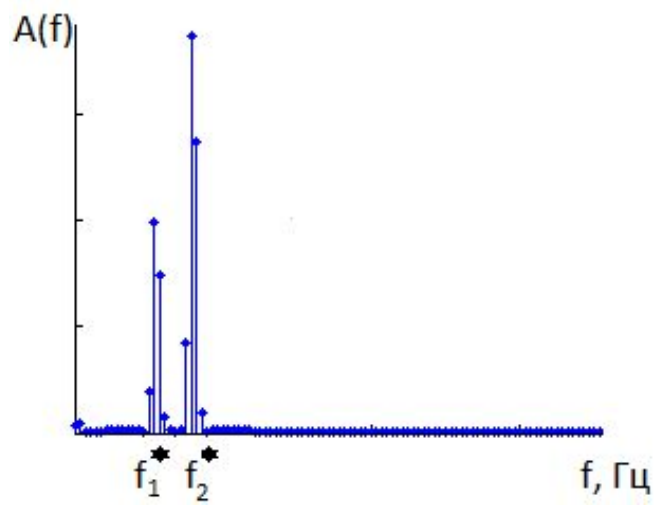




Пример практического задания

Амплитудный спектр

- Но так как для спектрального анализа мы вносим некоторые изменения в сигнал, то в действительности получается следующая картина:

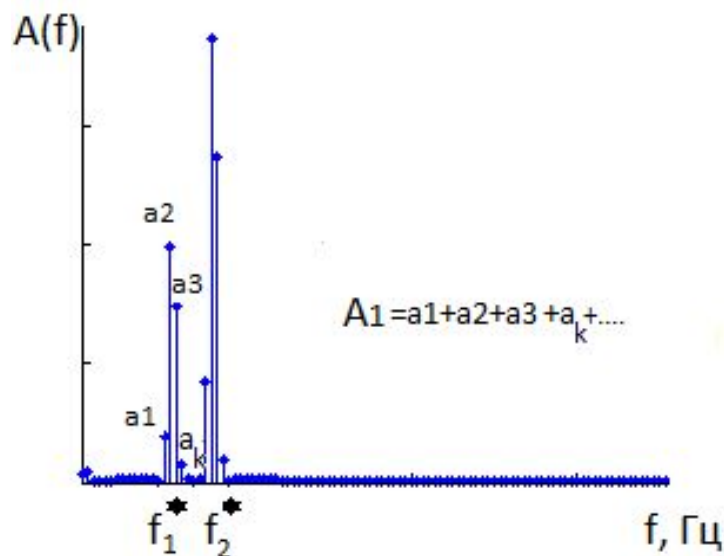




Пример практического задания

Амплитудный спектр

Получилось так, что две гармоники «распались» на несколько. Это называется **спектральная утечка**.



САКР. Назначение

- **Спироартериокардиоритмограф** - это программно-аппаратный комплекс для непрерывной синхронной записи электрокардиограммы (ЭКГ), артериального давления (АД), и показателей внешнего дыхания.
- Разработан САКР для оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы организма. Гемодинамические показатели анализируются по вариабельности АД, ритма сердца и дыхания обследуемого человека, регистрируемые непрерывно по показателям кровотока в артериях пальца, по записи сигнала ЭКГ и определении объемной скорости вдыхаемого и выдыхаемого воздуха.

Показатели сердечной деятельности, оцениваемые прибором САКР

- Амплитудно-временные показатели сердечного комплекса
- Ударный объем крови (рассчитывается по амплитудно-временным показателям сердечного комплекса)
- Минутный объем кровообращения (рассчитывается по УО и ЧСС)
- Состояние вегетативных систем, регулирующих сердечную деятельность (по спектральным показателям вариабельности сердечного ритма)

Показатели сосудистой системы, оцениваемые прибором САКР

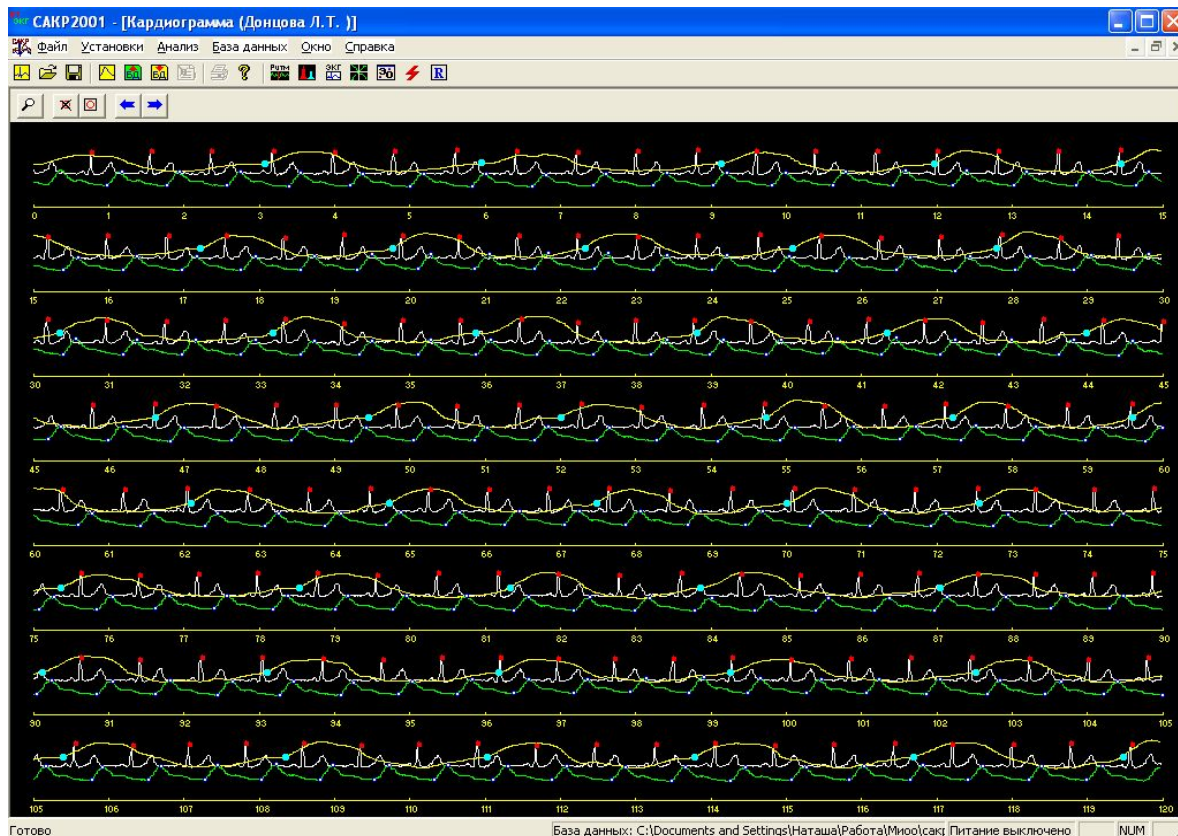
- Состояние вегетативных систем, регулирующих периферическое артериальное давление (по спектральным показателям variability периферического артериального давления)
- Сопряжение в деятельности сердечной и сосудистой систем (по величине чувствительности барорефлекса)
- Периферическое артериальное давление

Показатели дыхательной системы, оцениваемые прибором САКР

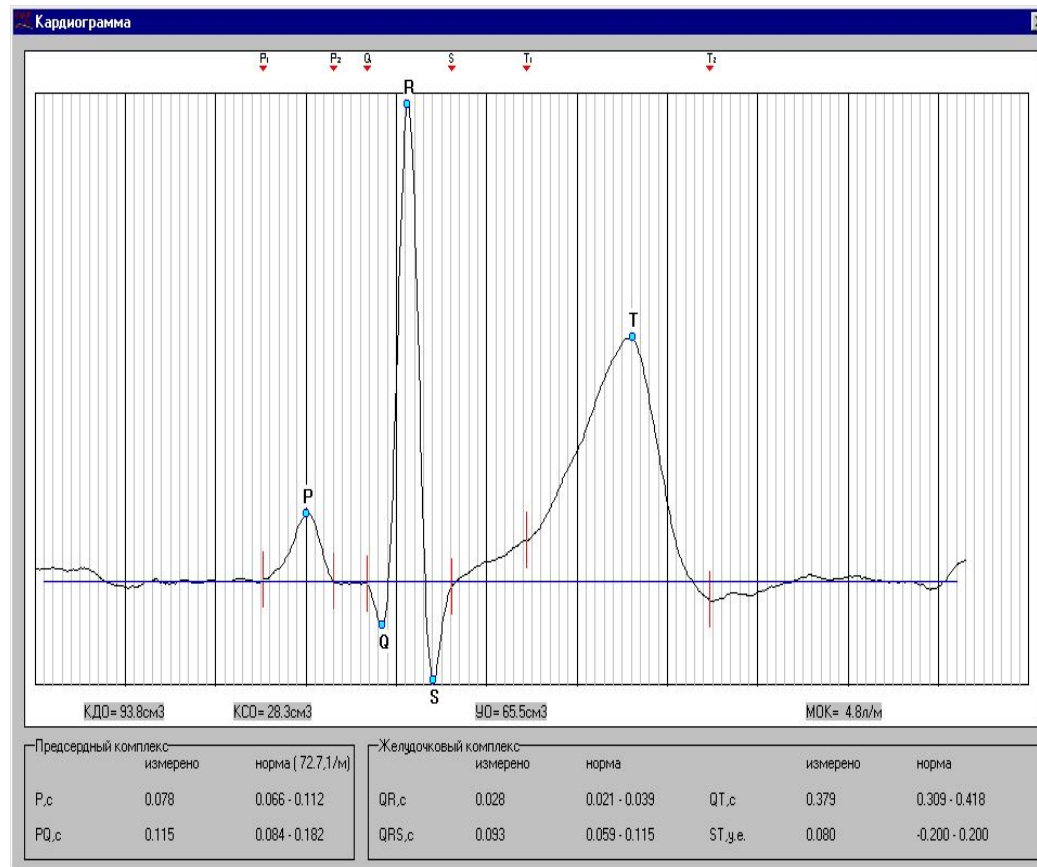
- Дыхательный объем в спокойном состоянии
- Жизненная емкость легких
- Индекс Тиффно (характеристика бронхиальной проводимости)

САКР. Представление данных

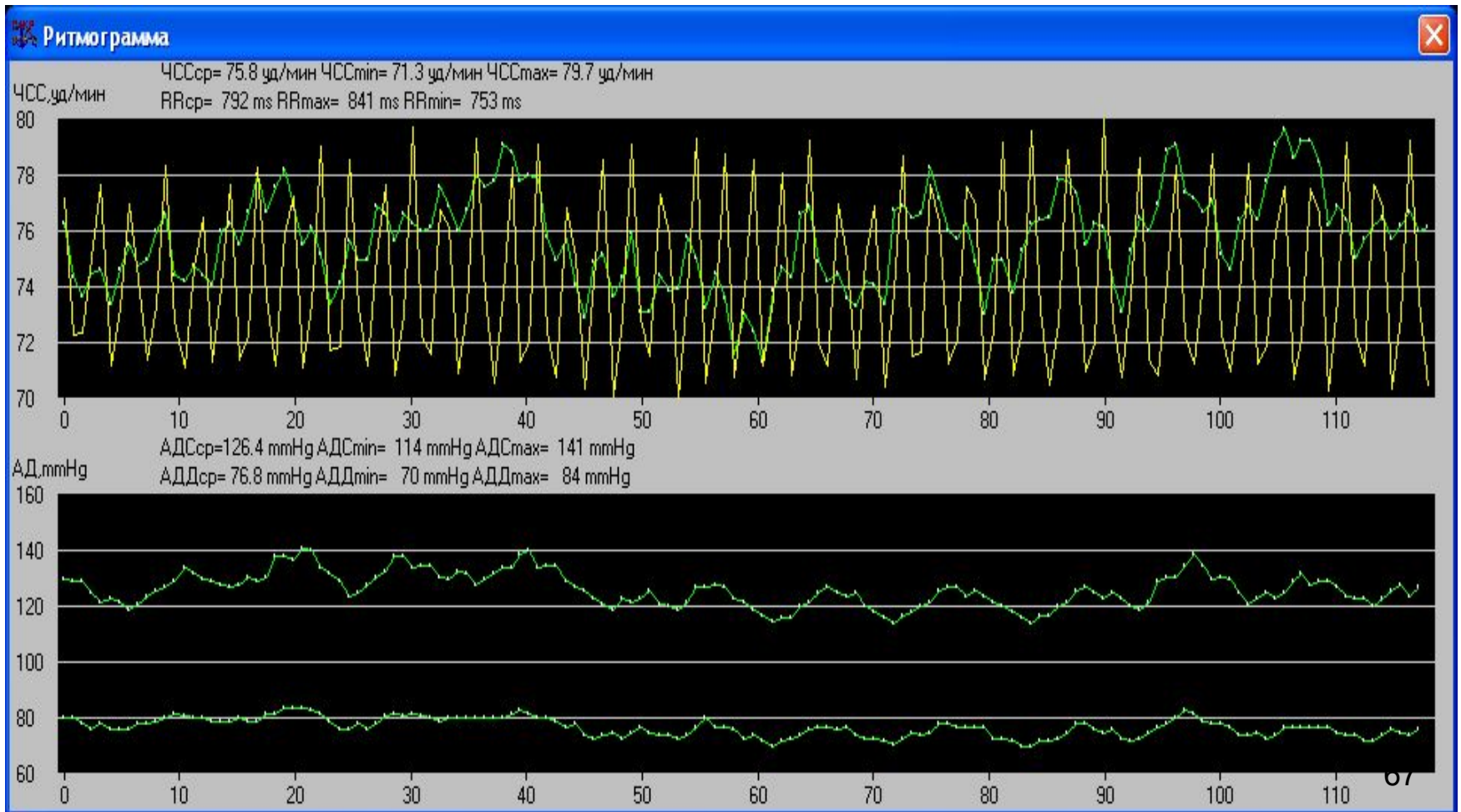
- *Пример одновременной регистрации электрокардиограммы, пульсовой волны артериального давления и фаз дыхания*



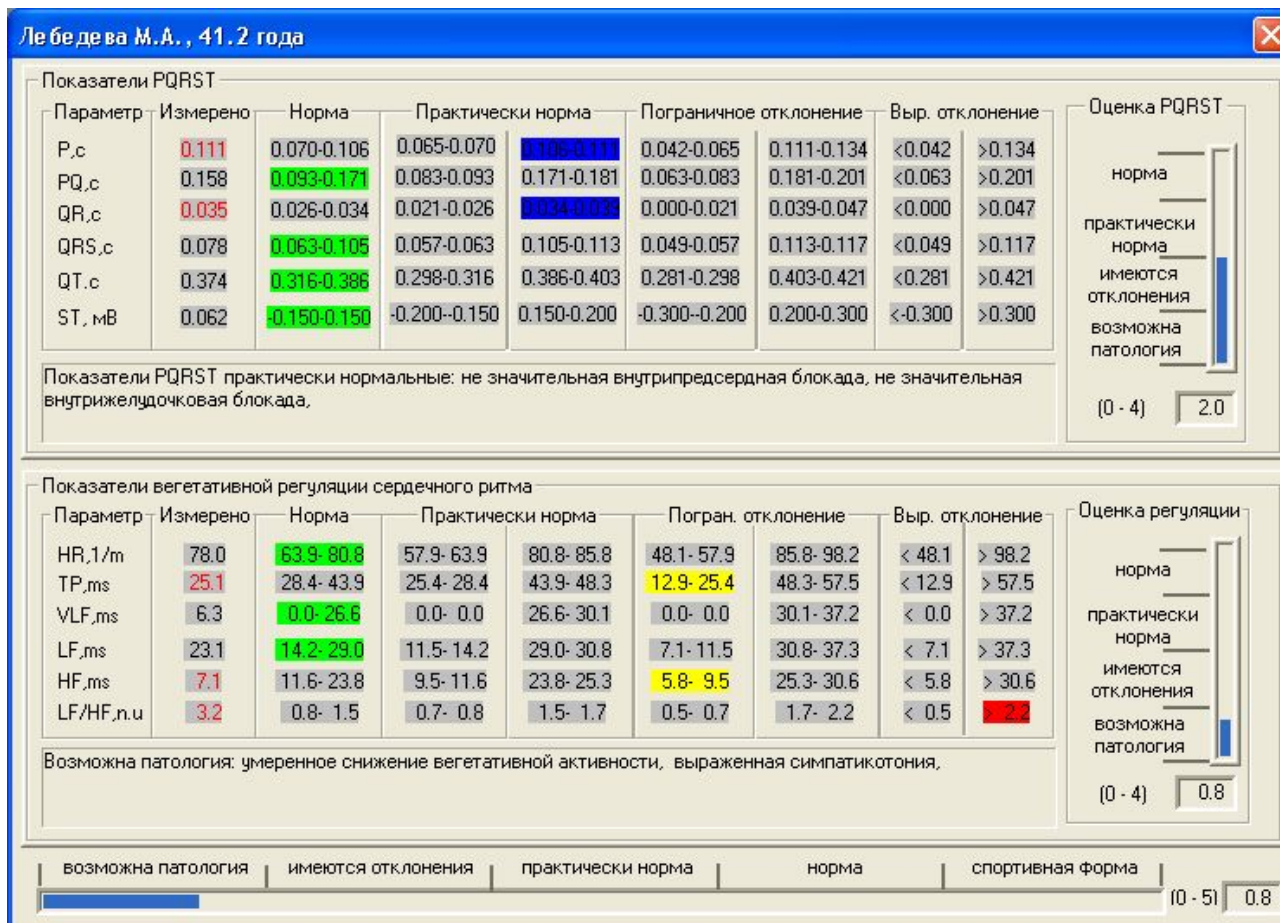
САКР. Усредненный сердечный комплекс



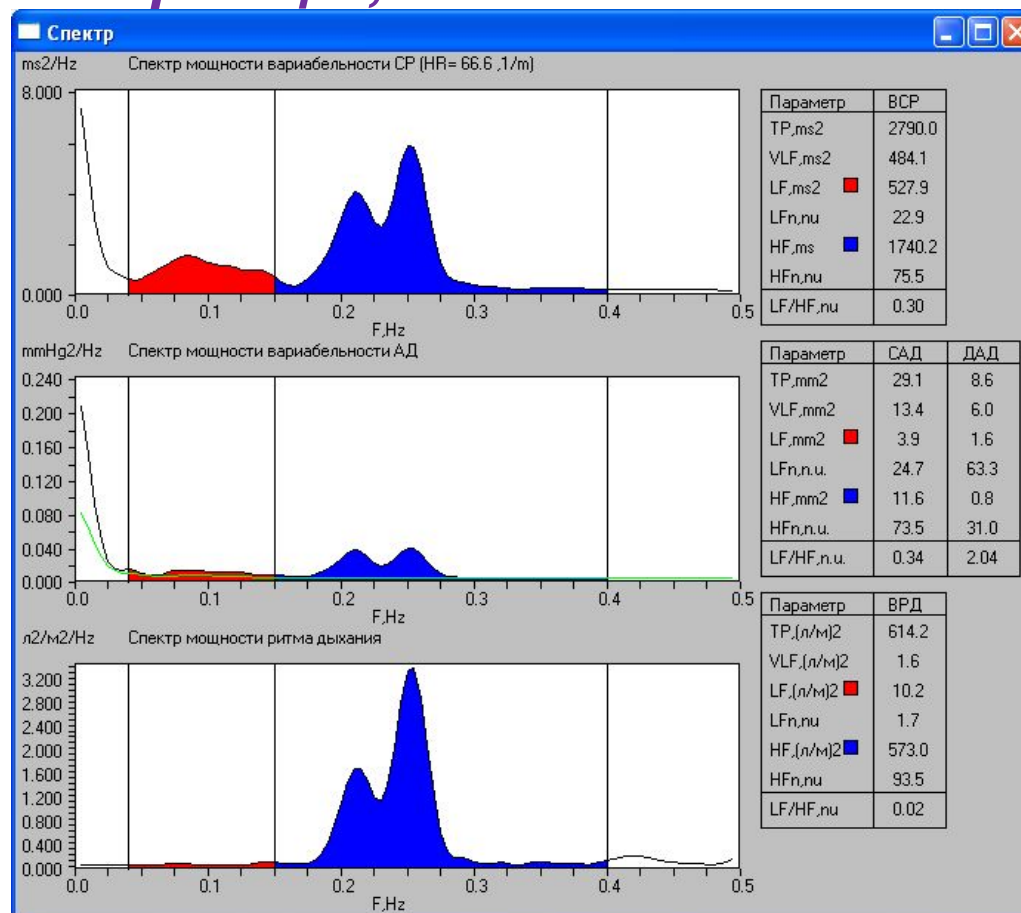
САКР. Ритмограмма



САКР. Оценка состояния ССС



САКР. Спектральный анализ ритмов сердца, давления и дыхания



САКР. Спектральный анализ ритмов сердца, давления и дыхания

- Спектра мощности variability сердечного ритма диапазон низких частот показывает работу симпатической системы, высоких частот - парасимпатического отдела. Используются эти оценки для:
- Оценки риска внезапной смерти после перенесённого острого инфаркта миокарда
- Прогнозирование развития сахарного диабета
- Функциональная диагностика состояния ССС

Задание, которое будет выполняться на практике

- Открыть файл ЭКГ своего варианта (путь к файлу)
- Просмотреть запись и оценить правильность постановки меток. Если метки поставлены не в нужном месте или отсутствуют – исправить.
- После завершения редактирования записи просмотреть усреднённый сердечный комплекс .

Задание, которое будет выполняться на практике

- После завершения редактирования записи открыть ритмограмму и просмотрите основные показатели, вычисляемые в программе и оцените их
- Объяснить, что такое ритмограмма и как она строится

Задание, которое будет выполняться на практике

- Открыть спектральный анализ ритмов сердца, давления и дыхания.
- Записать значения площади под кривой для LF(низкая частота) и HF(высокая частота) для спектра мощности variability CP.
- Открыть экспресс оценку ЭКГ и выписать те параметры(объяснив их), которые имеют отклонения от нормы.



Ссылки на литературу

- Р.М. Рангайян «Анализ биомедицинских сигналов Практический подход» / Пер. с англ. под ред. А. П. Немирко. 2007.
- А.Б. Сергиенко «Цифровая обработка сигналов». Изд. Питер. 2002
- Юкио Сато «Обработка сигналов. Первое знакомство». 1999