



# 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



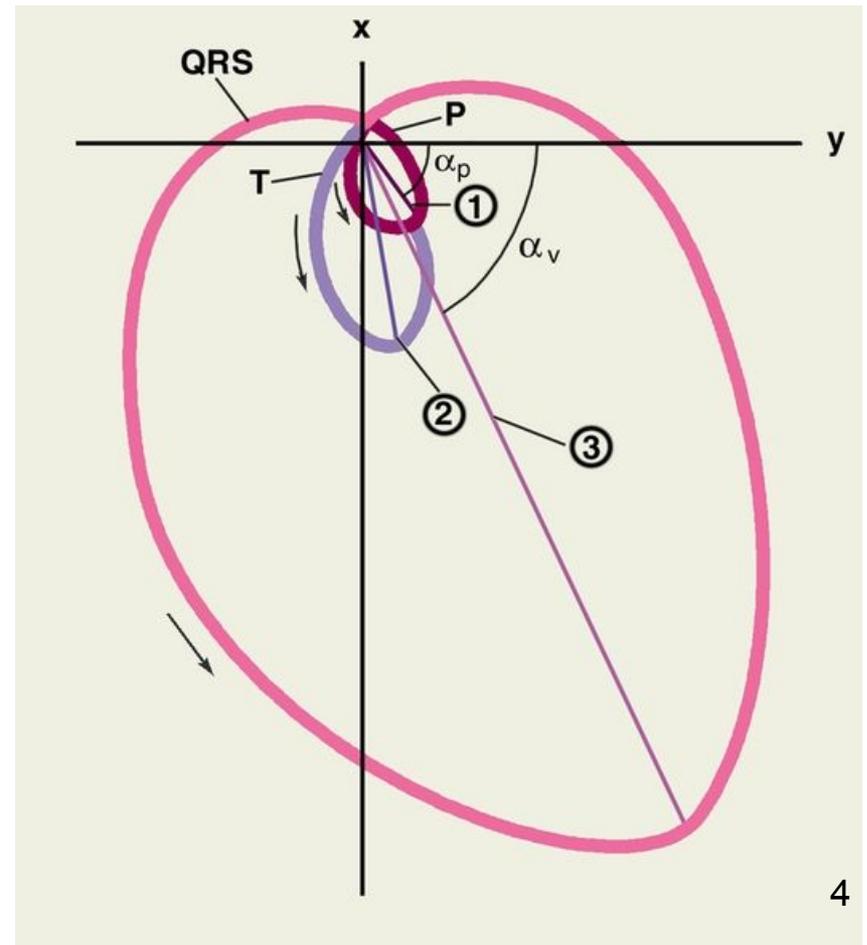
# Векторкардиография – определение

- **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.

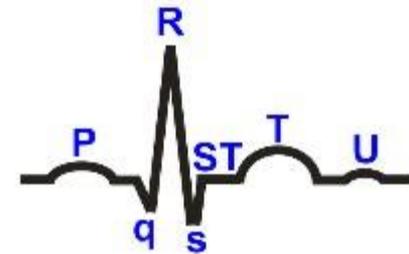
# Векторкардиограмма

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;  
 $\alpha_p$  и  $\alpha_v$  — углы отклонения максимальных векторов от координатной оси  $y$ .



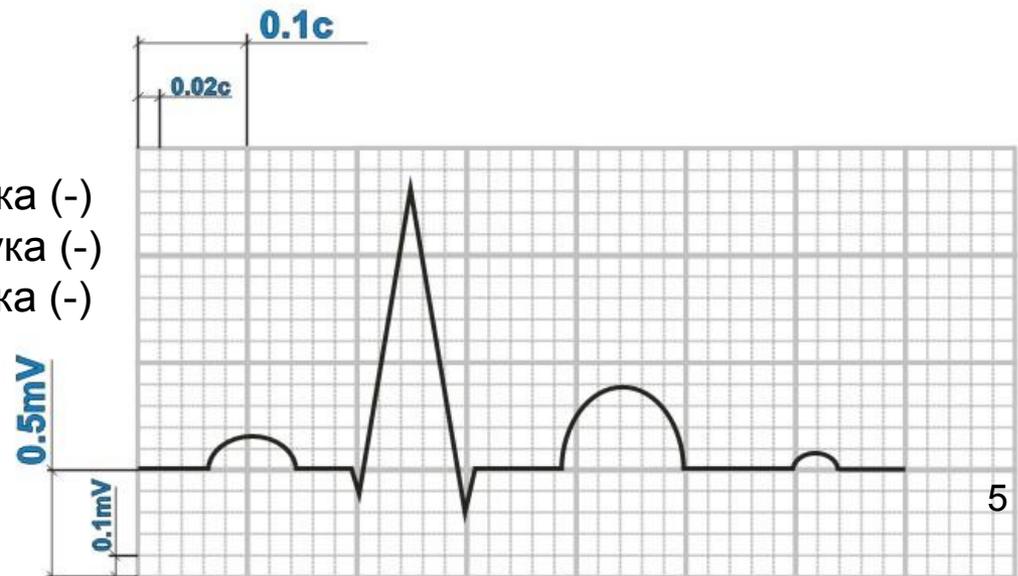
- **Время активации левого и правого желудочков** - период от начала возбуждения желудочков до охвата возбуждением максимального количества их мышечных волокон. Это интервал времени от начала комплекса QRS (от начала зубца Q или R), до перпендикуляра, опущенного из вершины зубца R на изолинию. Время 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.



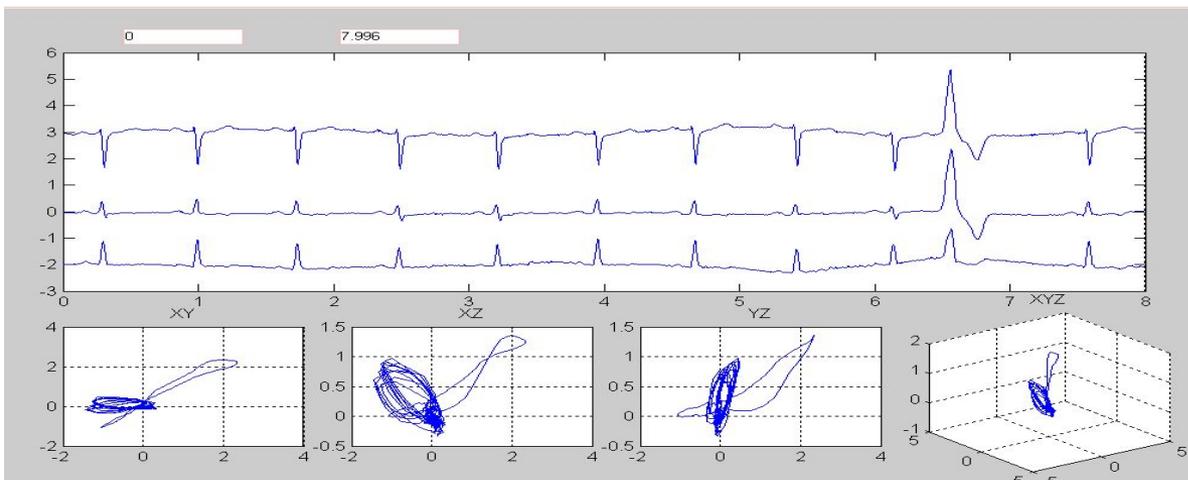
## Отведения Эйнтховена

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



# Векторкардиография – пример 1

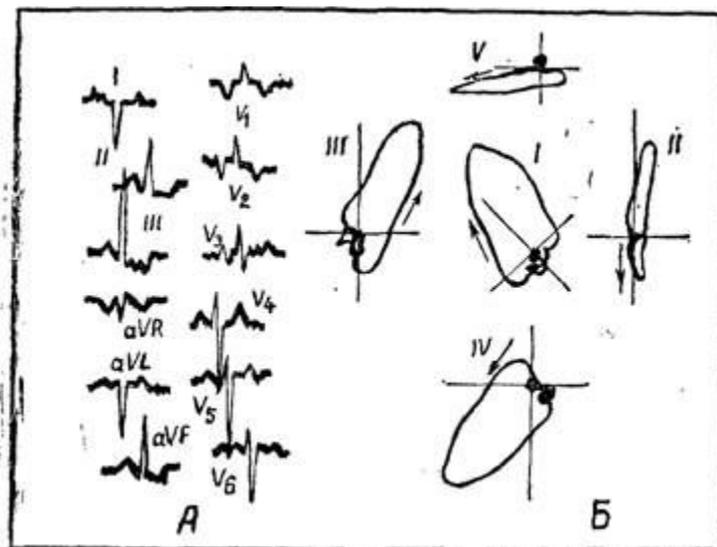
- Записи ЭКГ содержат несколько кардиоциклов фонового (нормального) ритма и один патологический кардиоцикл (желудочковая экстрасистола), который хорошо заметен во всех трех отведениях ЭКГ





# Векторкардиография – пример 2

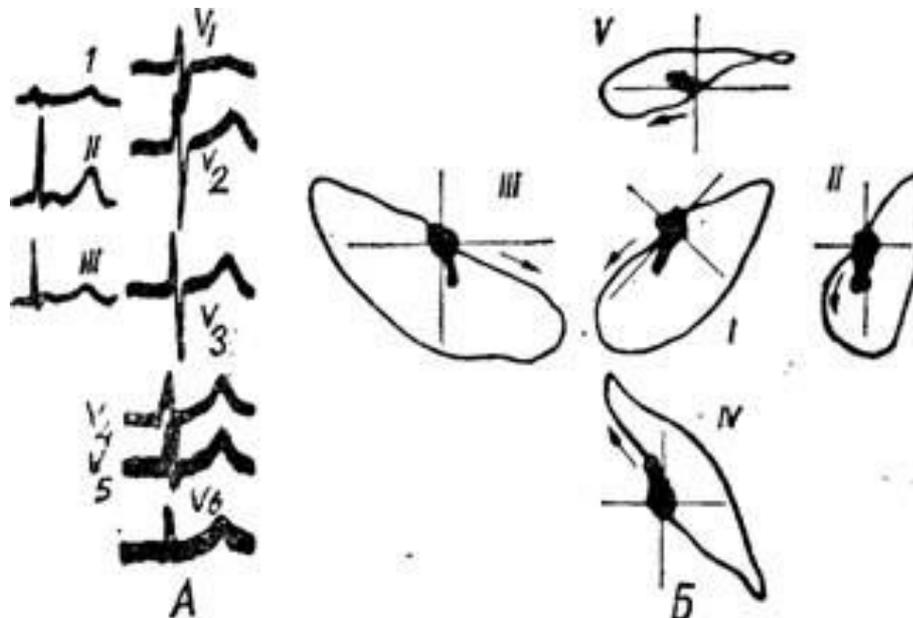
- Для раннего диагностирования митрального стеноза показатели электрокардиограммы не имеют значения, так как иногда она в течение ряда лет остается нормальной.





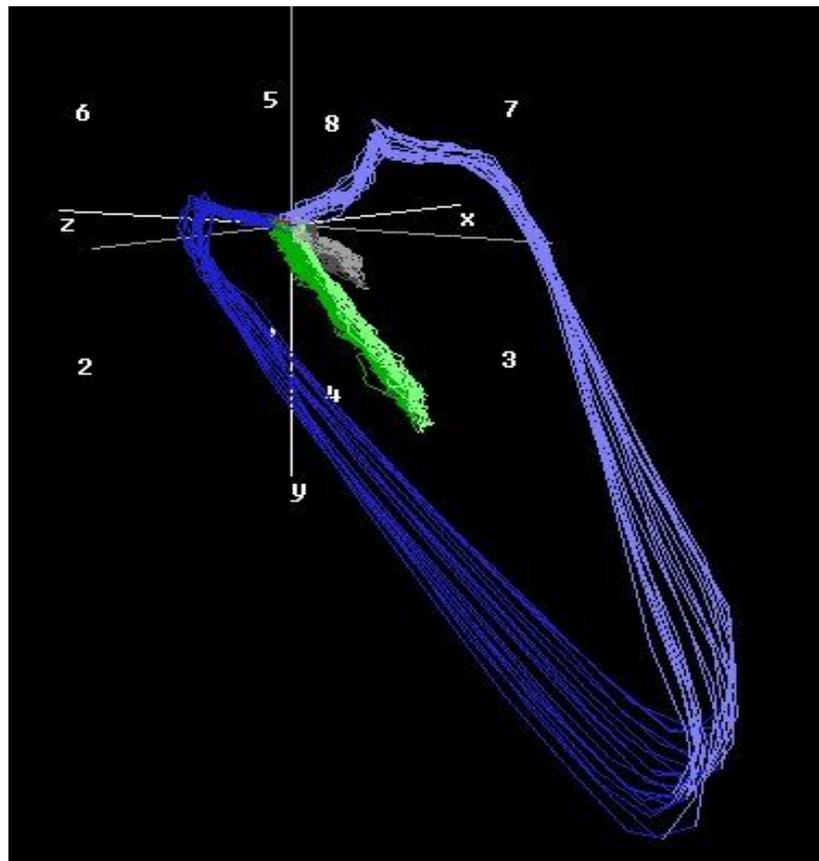
# Векторкардиография – пример 3

- При комбинированной гипертрофии желудочков





# Современный вид ВКГ



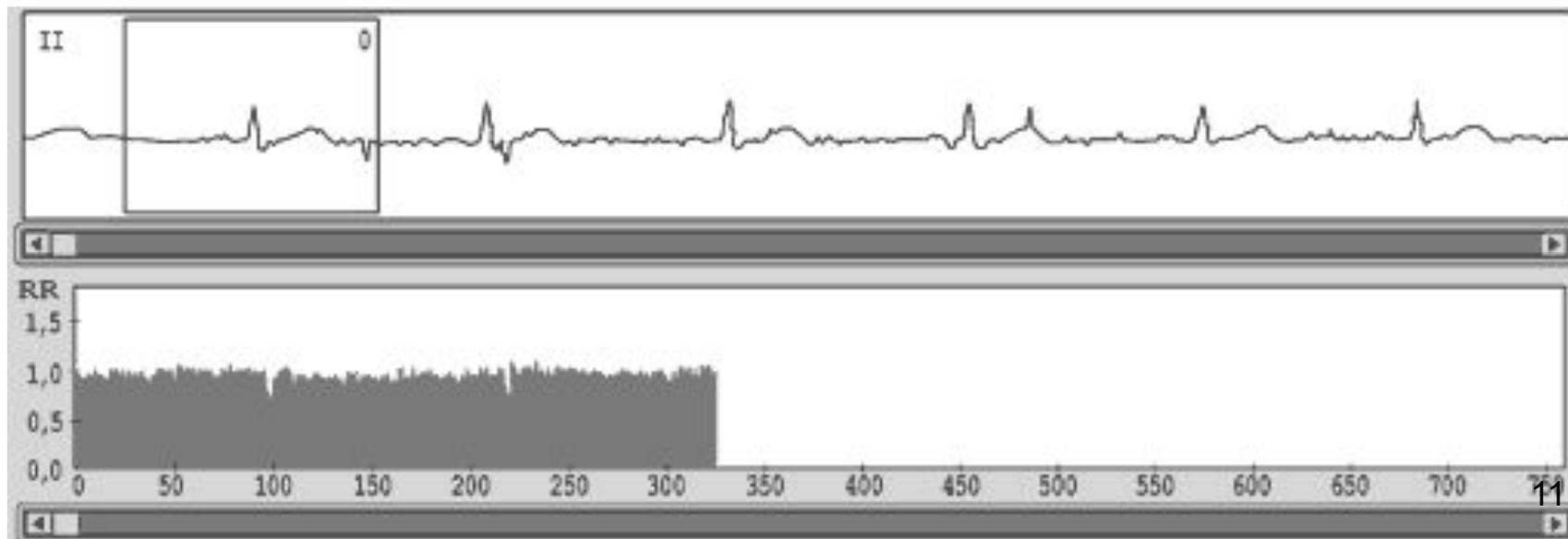
# Ритмокардиография

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



# Ритмограмма

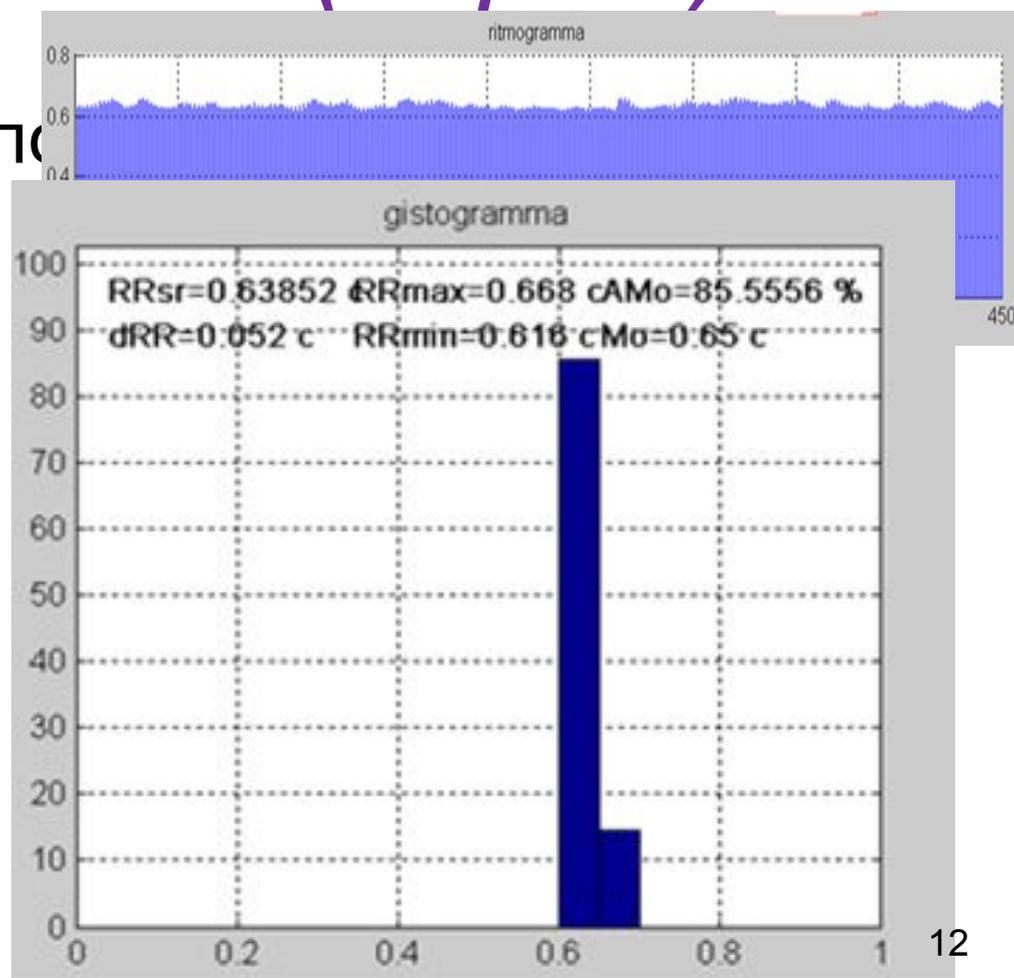
- *ритмограмма* – зависимость значений длительности RR-интервала от порядкового номера цикла измерения;





# Гистограмма (норма)

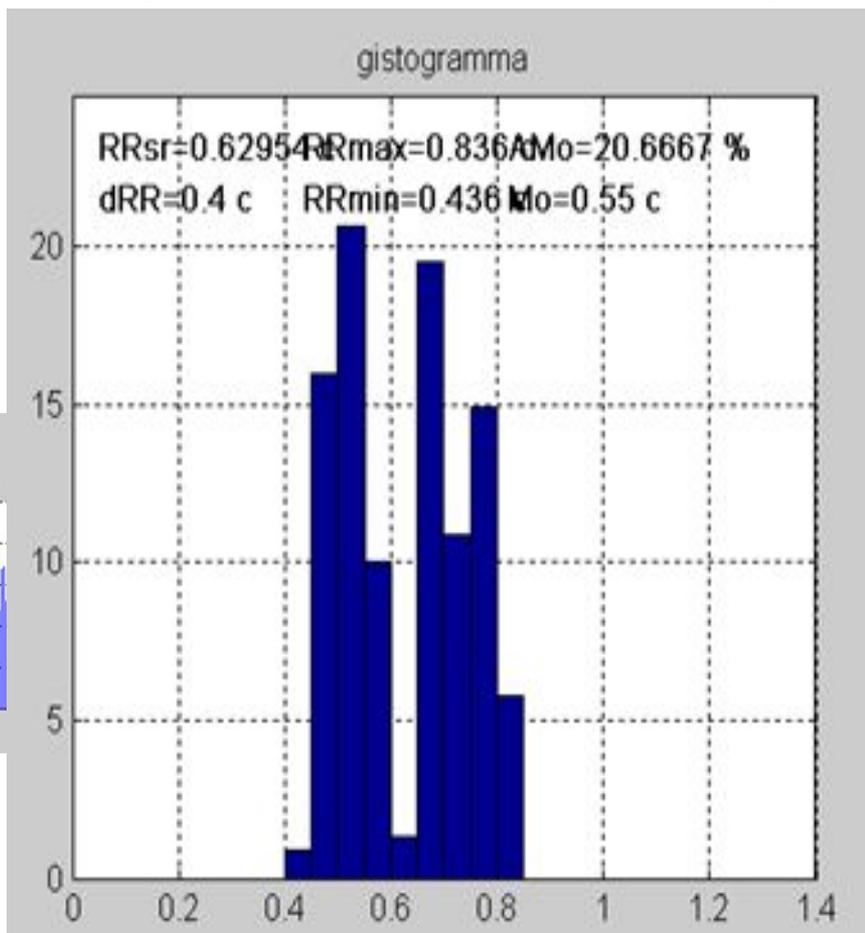
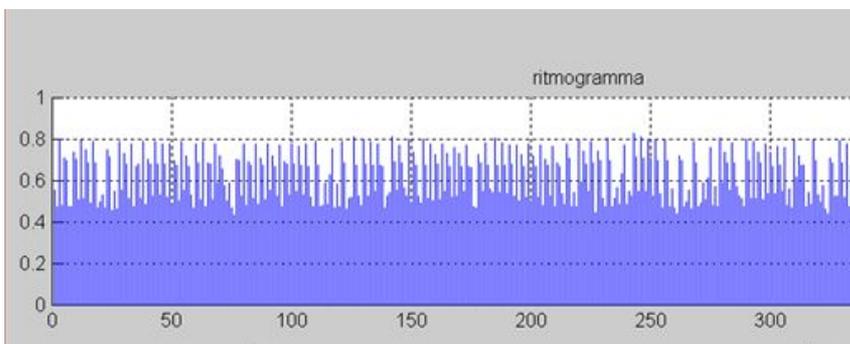
- **гистограмма**— относительное число RR-интервалов, относящихся к различным диапазонам значений их длительности;
- **Пример:**  
нормальный ритм





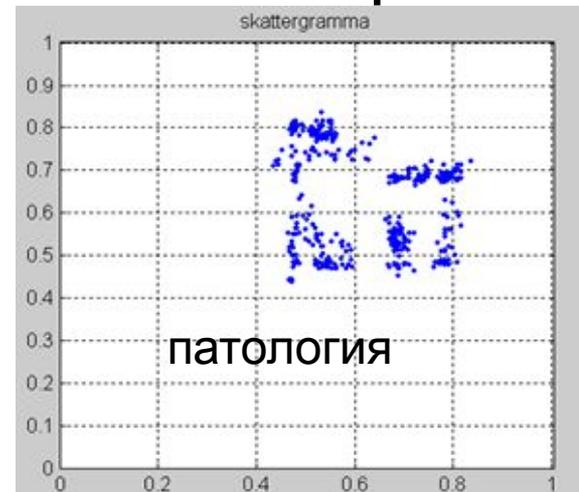
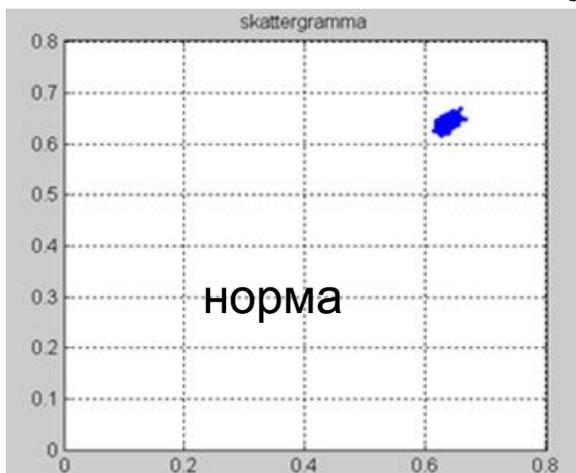
# Гистограмма (патология)

- 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

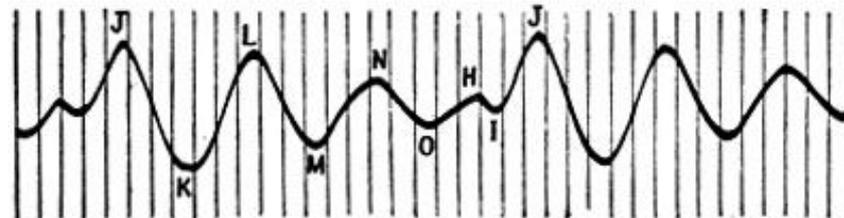
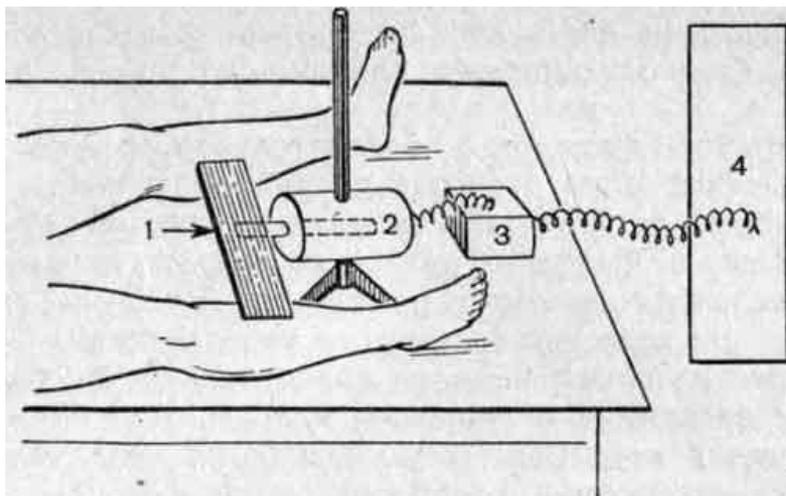


сфигмограммы сонной,  
лучевой и бедренной  
артерии

# Механография.

## Баллистокардиография (БКГ)

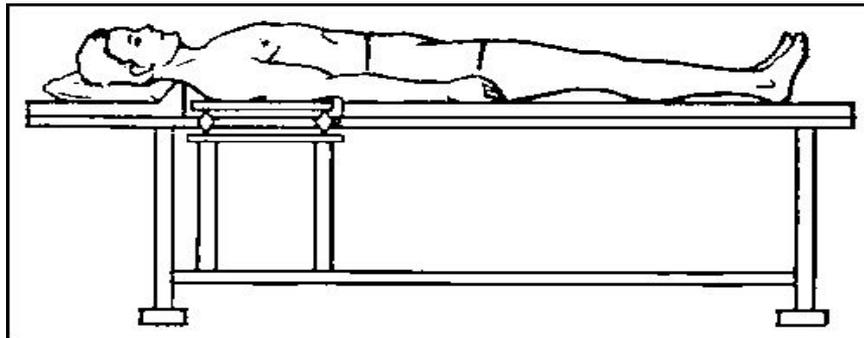
- **Баллистокардиография** – метод регистрации параметров движения тела относительно неподвижной опоры, на которую оно помещается, либо параметров совместного движения подвижной опоры и тела, возникающих за счёт реактивных сил, которые обусловлены механической активностью сердца и пульсирующим распределением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



Нормальная  
баллистокардиографическая кривая

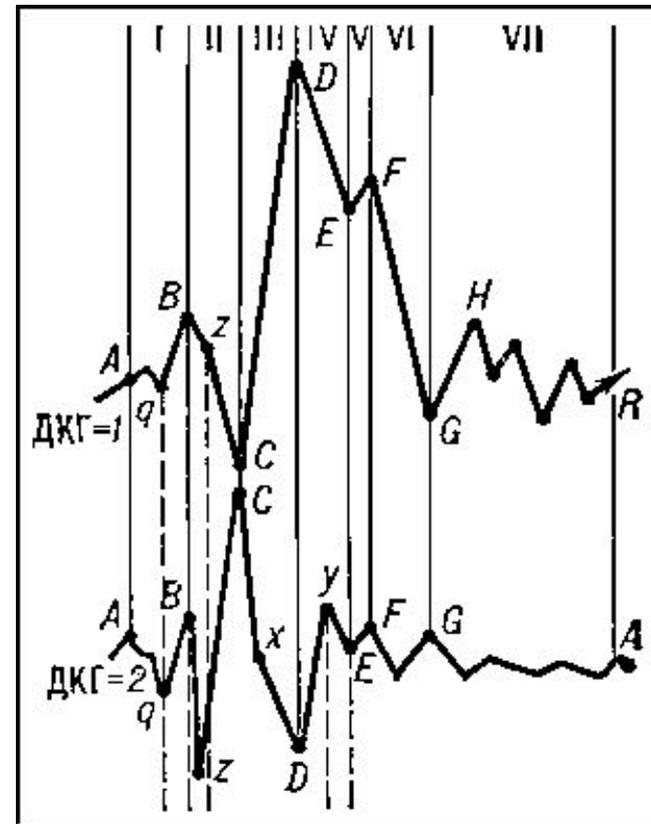
# Механография. Динамокардиография (ДКГ)

- **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)

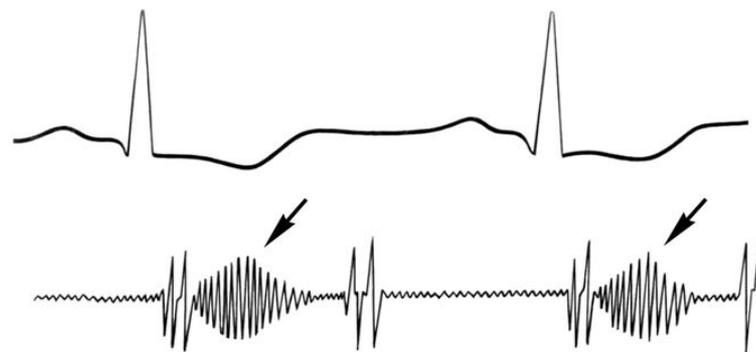
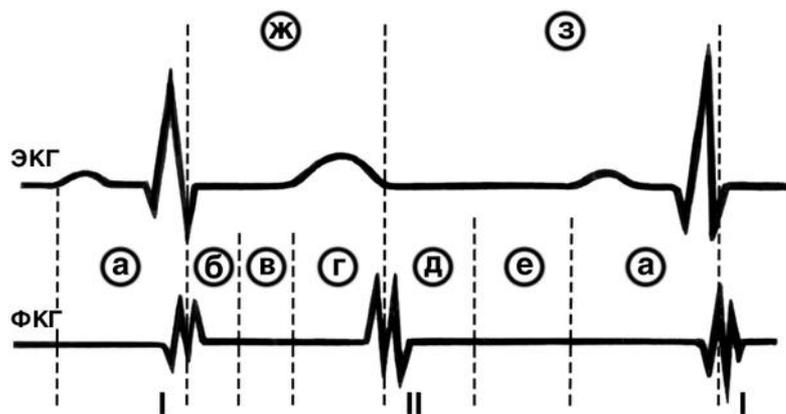
- **Кинетокардиография** ККГ – регистрация инфразвуковых (менее 30 Гц) низкочастотных **вибраций стенок грудной клетки**, обусловленных сердечной деятельностью





# Механография. Фонокардиография (ФКГ)

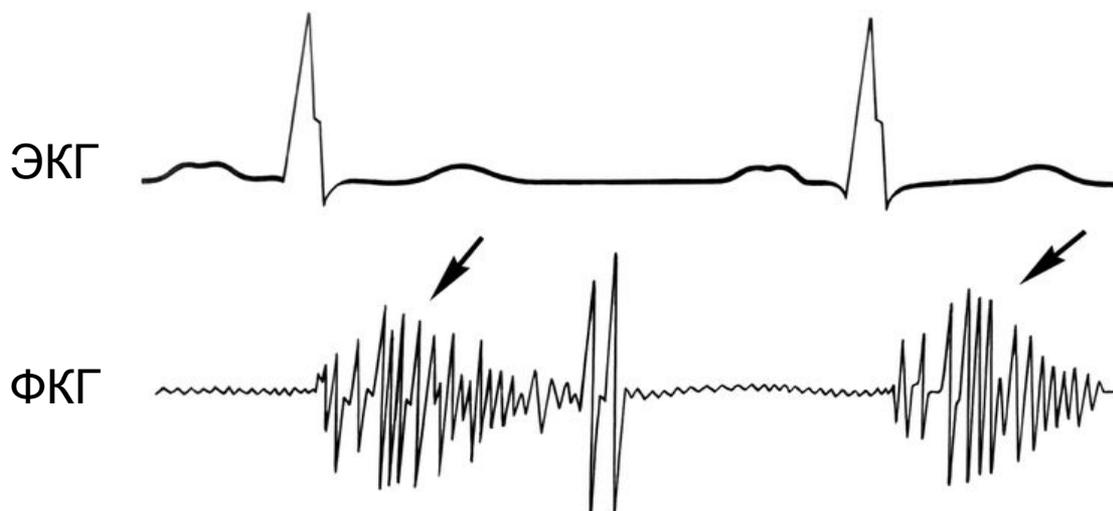
- **Фонокардиография** – регистрация звуков, возникающих при работе сердца



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



# Механография. Фонокардиография (ФКГ)



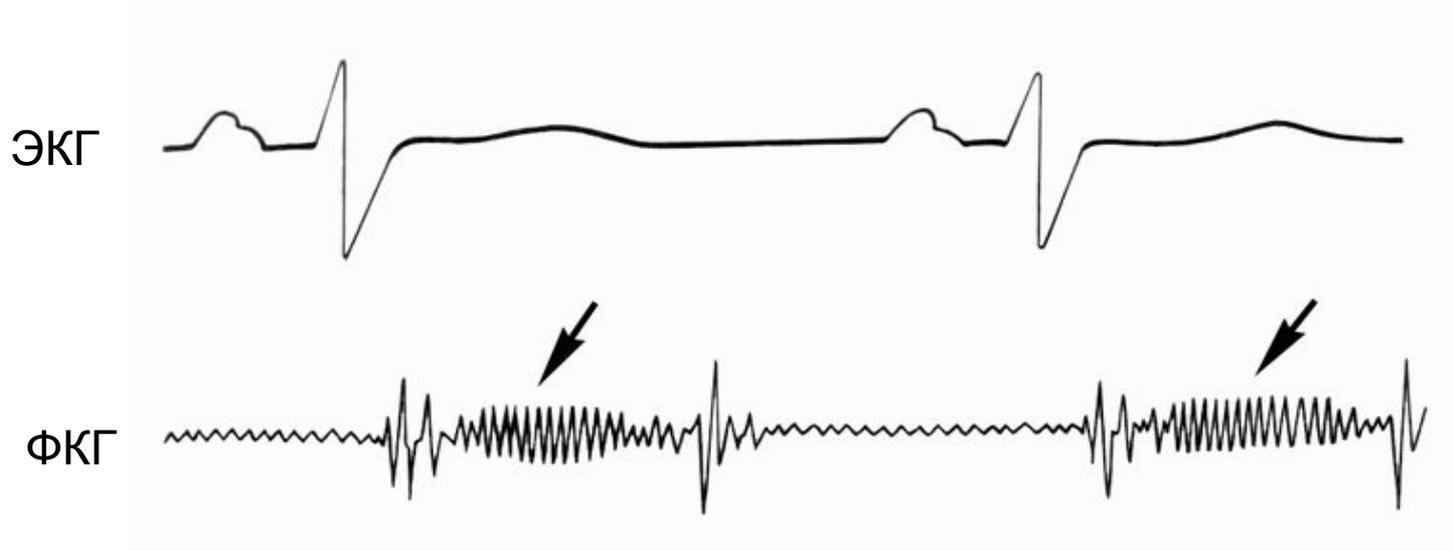
Фонокардиограмма при **органической митральной недостаточности**: I тон ослаблен, сливается с убывающим систолическим шумом



**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)

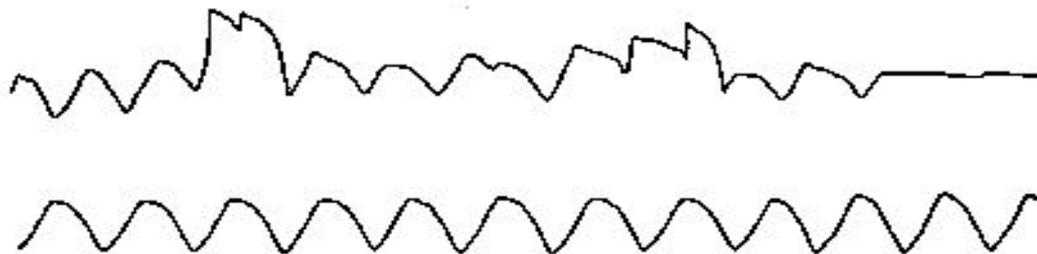


Фонокардиограмма при органической недостаточности трехстворчатого клапана: низкоамплитудный лентовидный систолический шум



## *Импедансные методы исследования. Пневмография (ПнГ)*

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





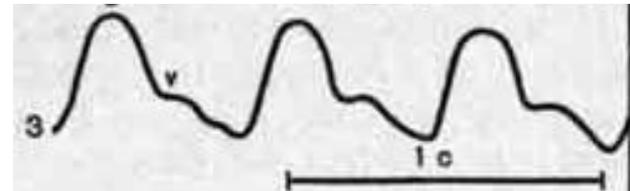
## *Импедансные методы исследования. Реография (РеГ)*

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



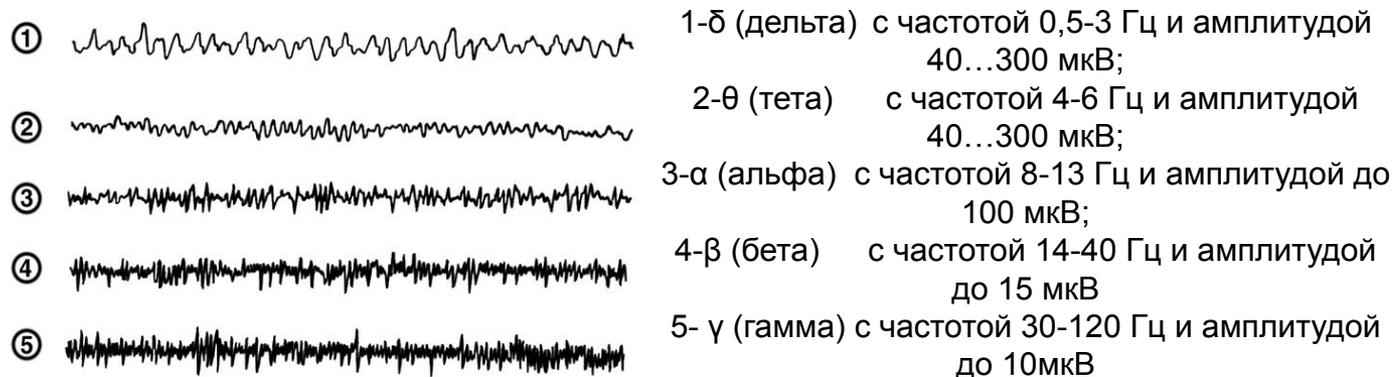
## Методы электроёмкостной регистрации

- **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



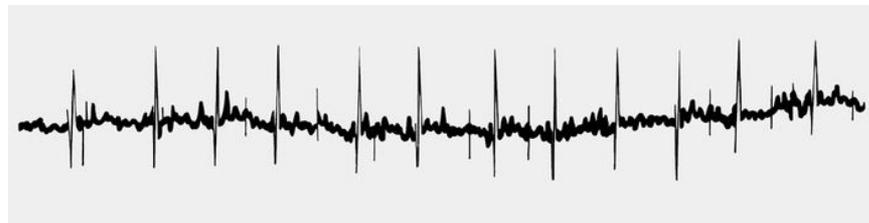
50  
МКВ 1с

## Электрографические методы исследования. Электромиография (ЭМГ)

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



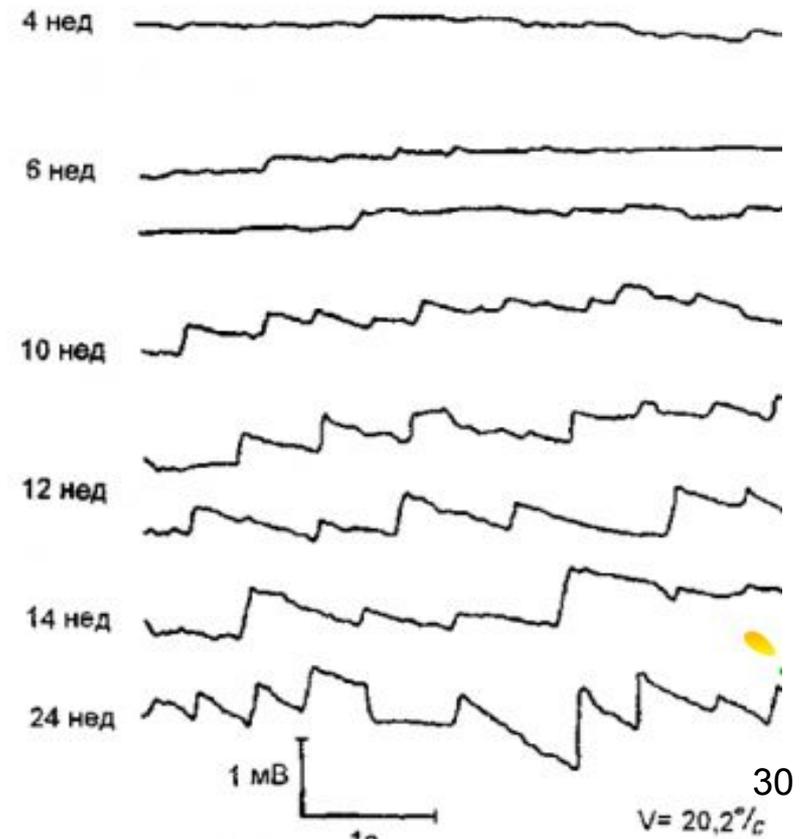
- Электромиограмма при невропатии



# Электрографические методы исследования. Электроокулография (ЭОГ)

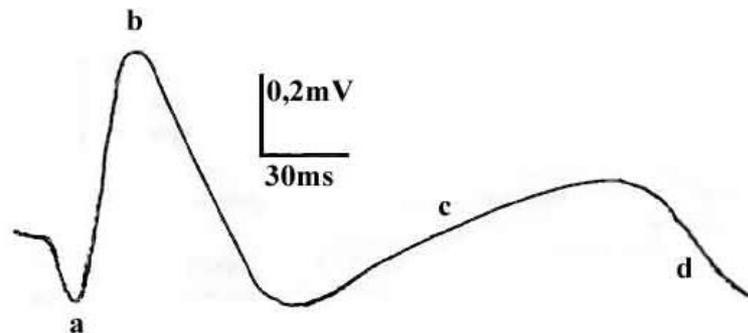
- **Электроокулография** – регистрация разности потенциалов между роговицей и сетчаткой, возникающих при движении глаз.

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



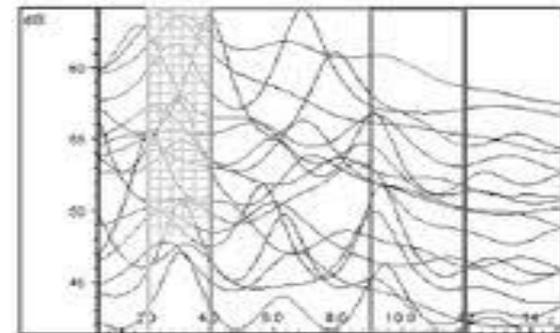
## Электрографические методы исследования. Электроретинография (ЭРГ)

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

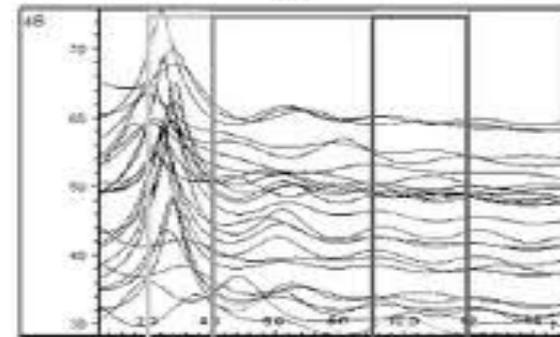


## Электрографические методы исследования. Электрогастрография (ЭГГ)

- **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





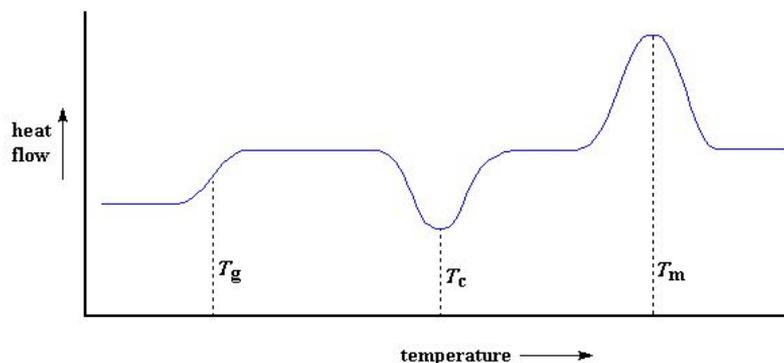
## *Фотометрические методы исследования*

- **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

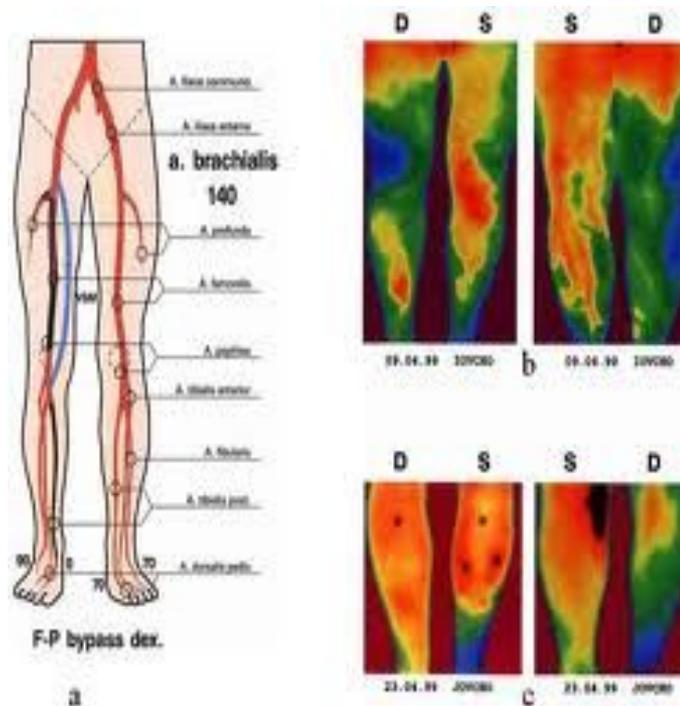
- **Термометрия** ТеМ – группа методов измерения уровня тепловой энергии, скорости и направления потока тепла
- **Калориметрия** КаМ – группа методов измерения количества тепла





# Методы исследования теплопродукции и теплообмена

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

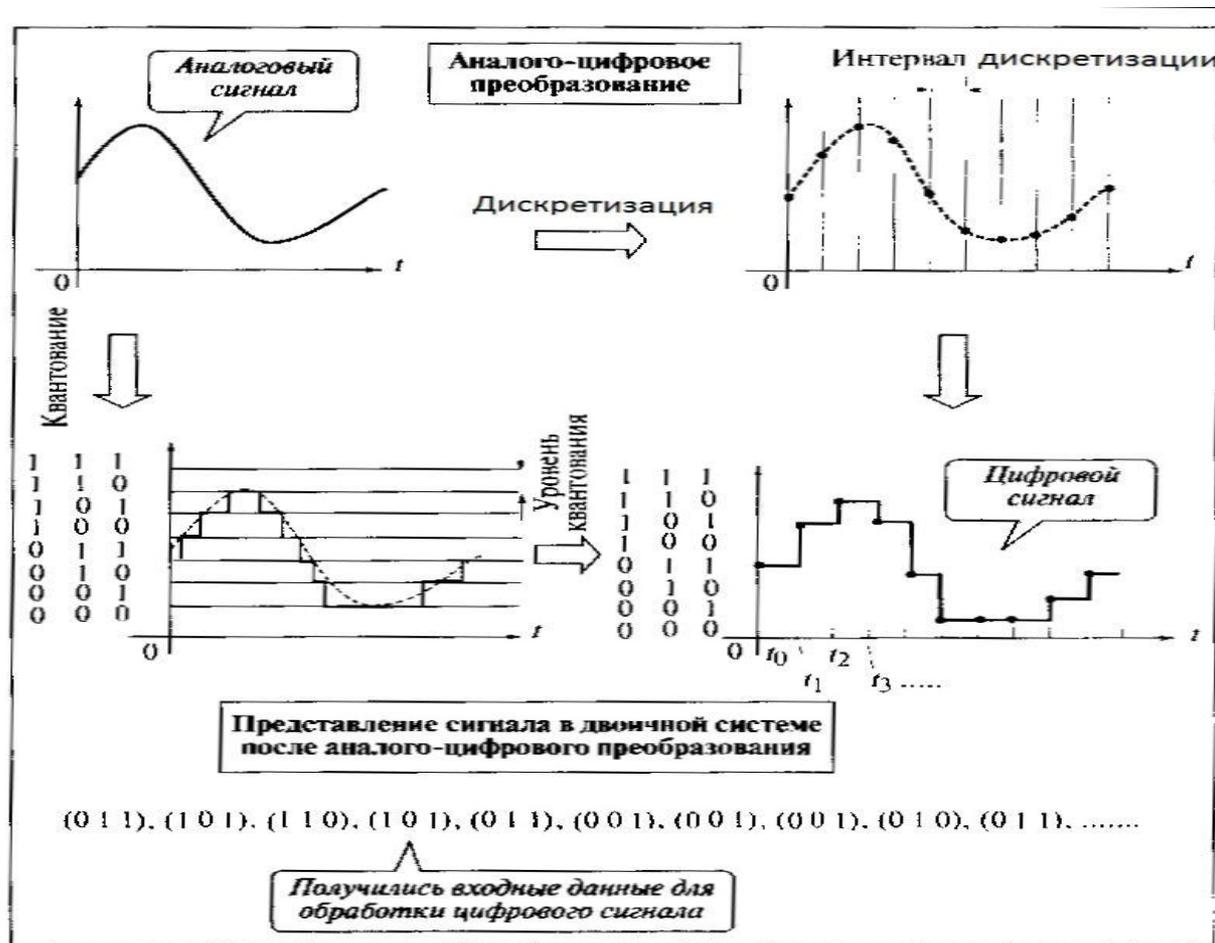




# Методы обработки сигналов

- 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

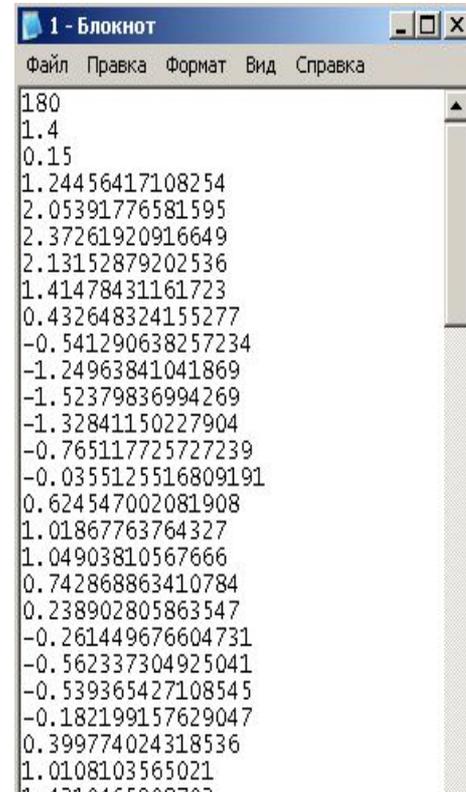
действительный сигнал с ограниченным спектром (от 0 до  $f$  сигнала) может быть точно восстановлен по формуле:

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

- $x(t)$  – 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.



The image shows a screenshot of a Notepad window titled "1 - Блокнот". The window contains a list of numerical values representing digital ECG data. The values are: 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, and 1.4210465000702.

```
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

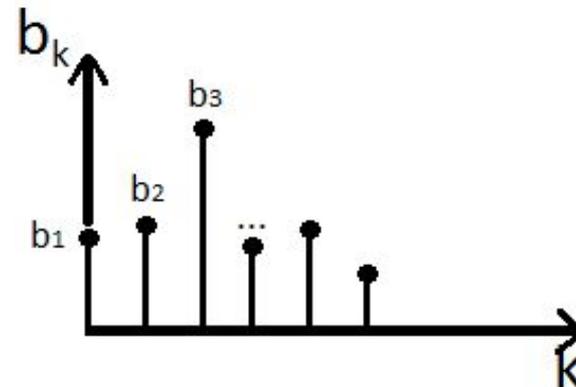
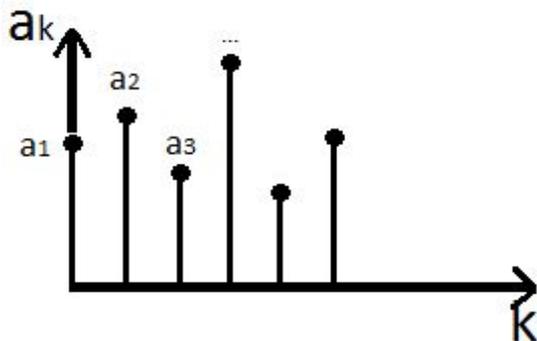
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$
$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega$$

# Преобразование Фурье

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

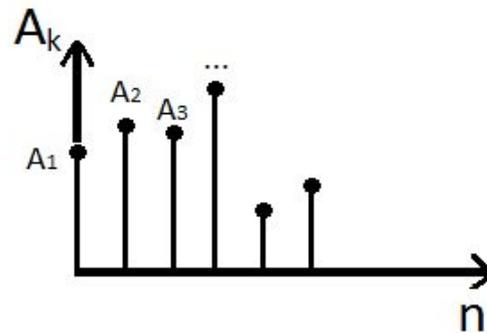
$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cdot \cos 2\pi k f_1 t + b_k \cdot \sin 2\pi k f_1 t]$$

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



# Преобразование Фурье

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



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

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



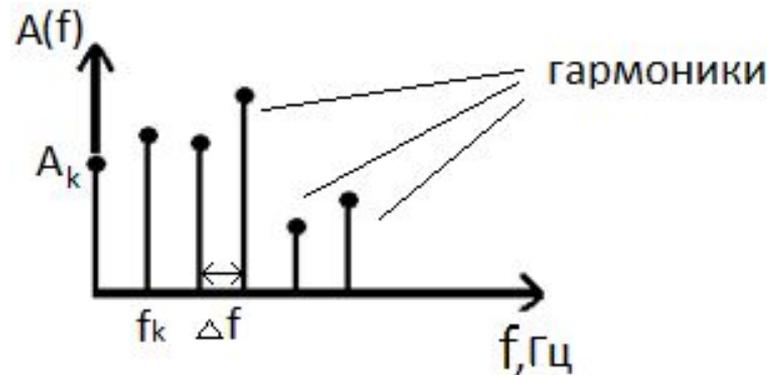
# Виды спектров

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.

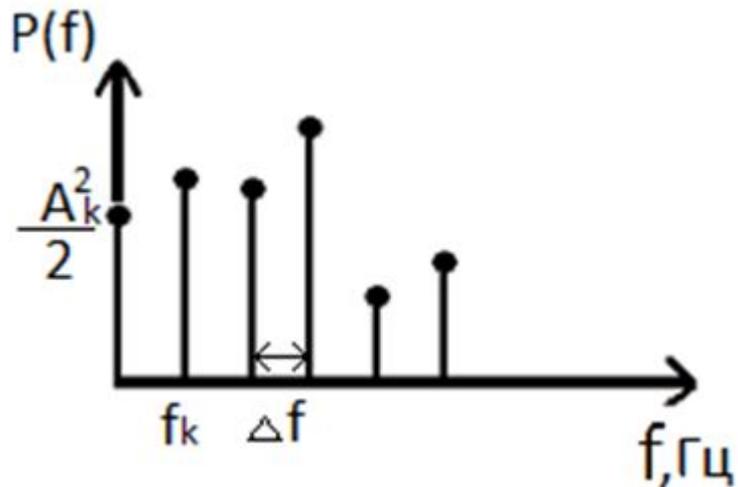


$$f_k = k \cdot \frac{f_0}{N} = k \cdot \Delta f, \quad k=1,2,3,\dots$$

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

# 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

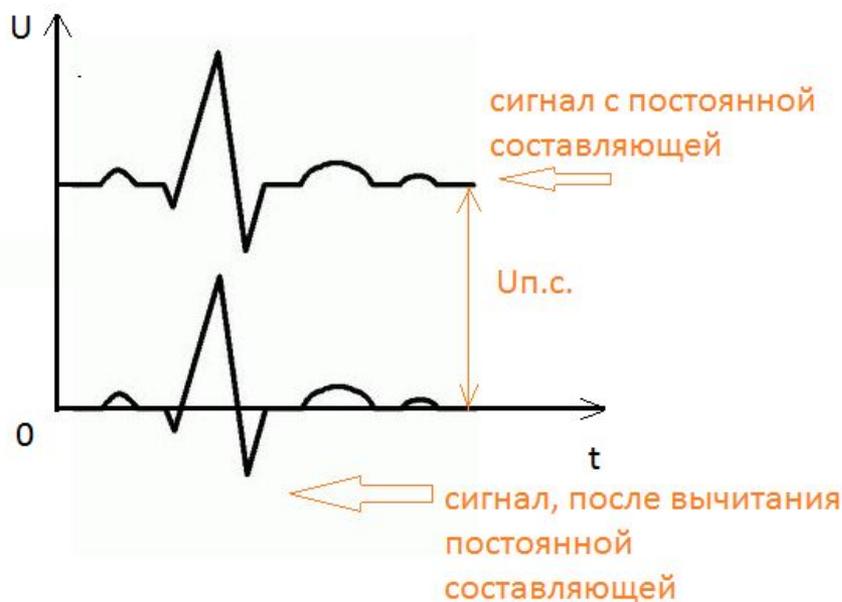
- Спектральная плотность мощности более удобная форма графика спектра мощности. В отличие от спектра мощности, спектральная плотность мощности не зависит от количества точек в сигнале (график нормирован по частоте)

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



# 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

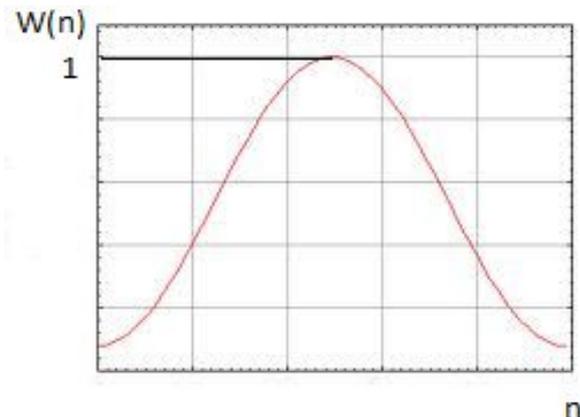


Для того, чтобы избавиться от этого скачка применяют специальные окна

# Предобработка сигнала. Окно Хэмминга

## 3. Применить окно Хемминга

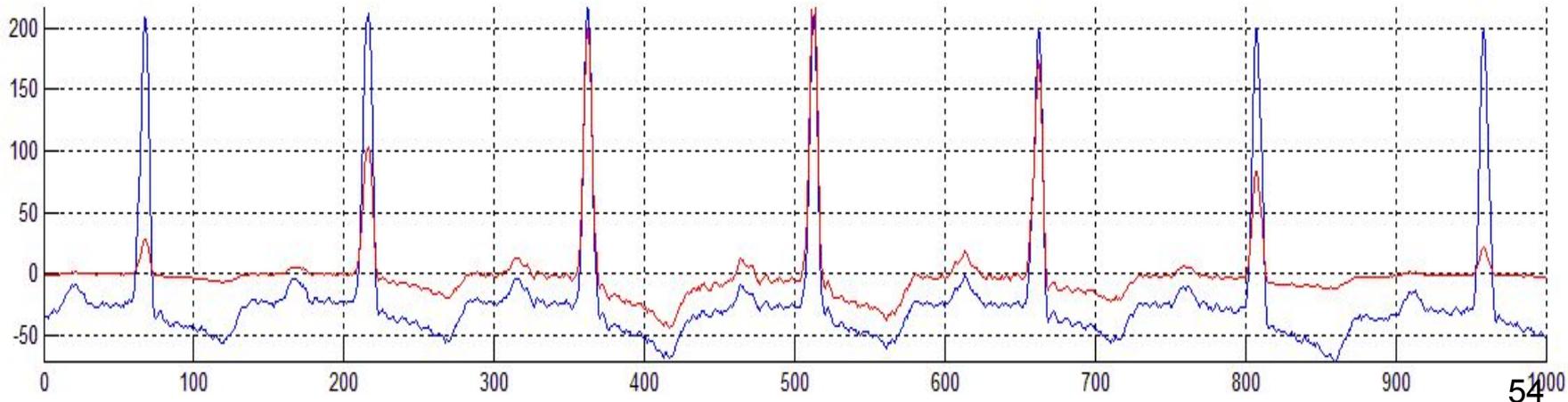
Окно Хемминга описывается следующим выражением:  
 $0,54+0,46 \cdot \cos[2\pi \cdot t(n)]$





## «Подготовленный сигнал»

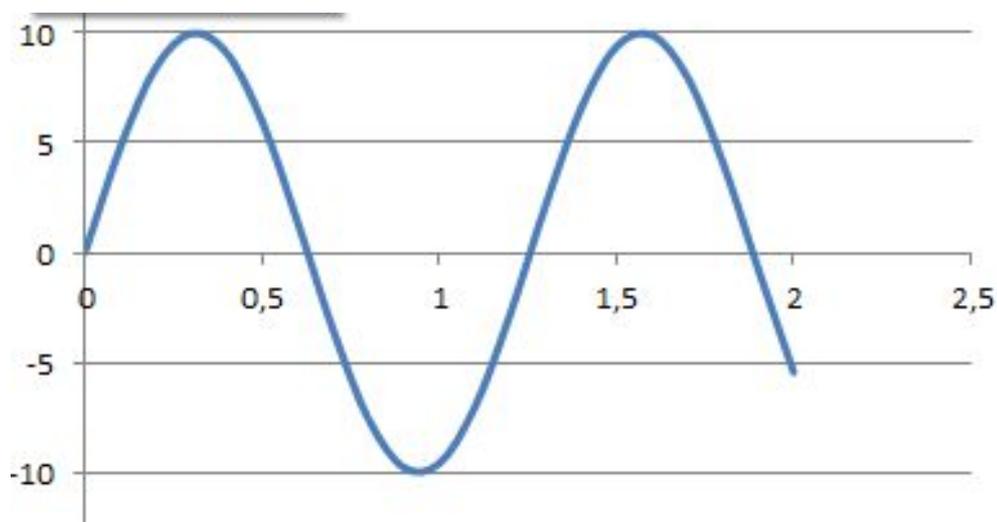
- Накладывая (умножая) окно Хемминга на сигнал, мы получаем сигнал, у которого края сходятся к нулю, тем самым убирая скачок.





## Пример практического задания

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

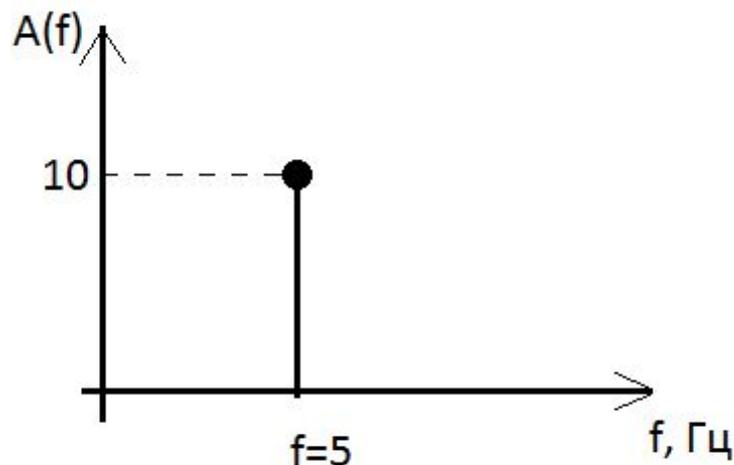




# Пример практического задания

## Амплитудный спектр

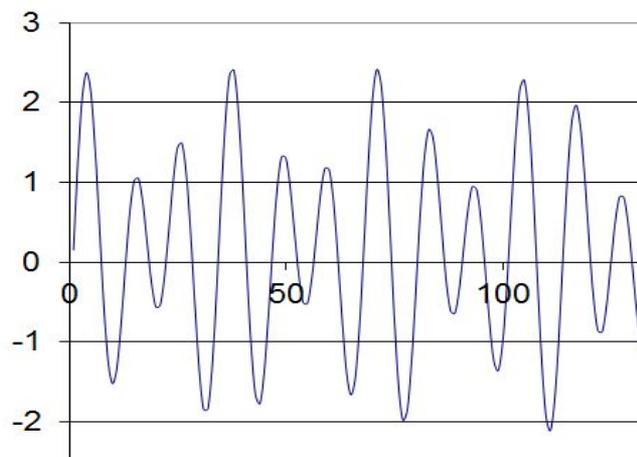
- То на амплитудном спектре в идеале будет одна гармоника, амплитуда которой будет равна 10, а частота 5 Гц.





# Пример практического задания

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

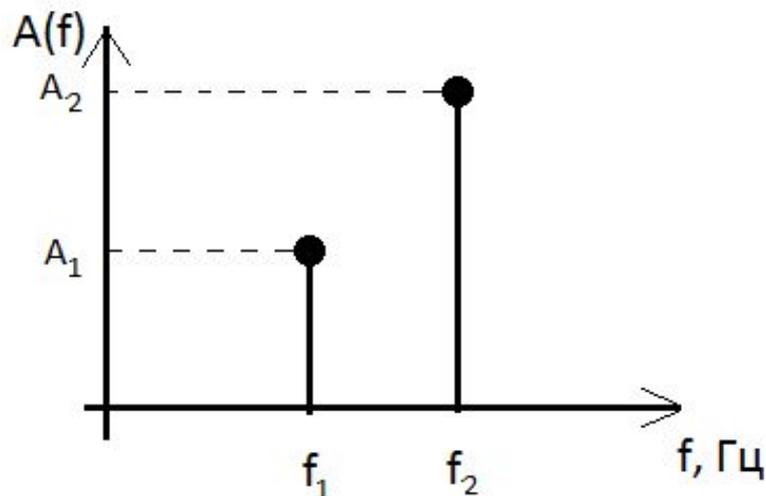




# Пример практического задания

## Амплитудный спектр

- То идеальный амплитудный спектр будет выглядеть следующим образом:

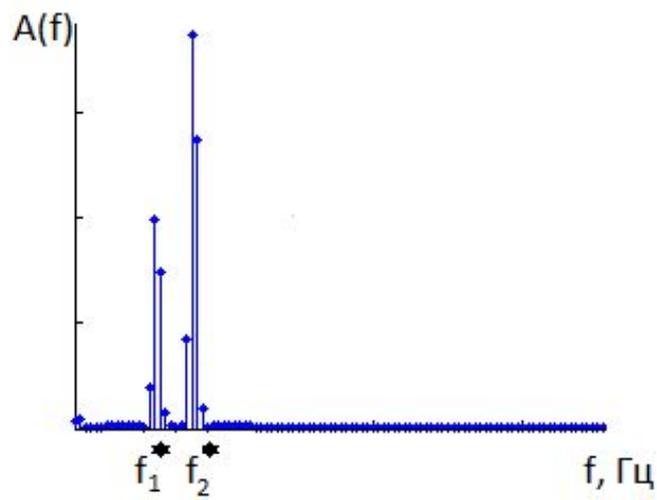




# Пример практического задания

## Амплитудный спектр

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

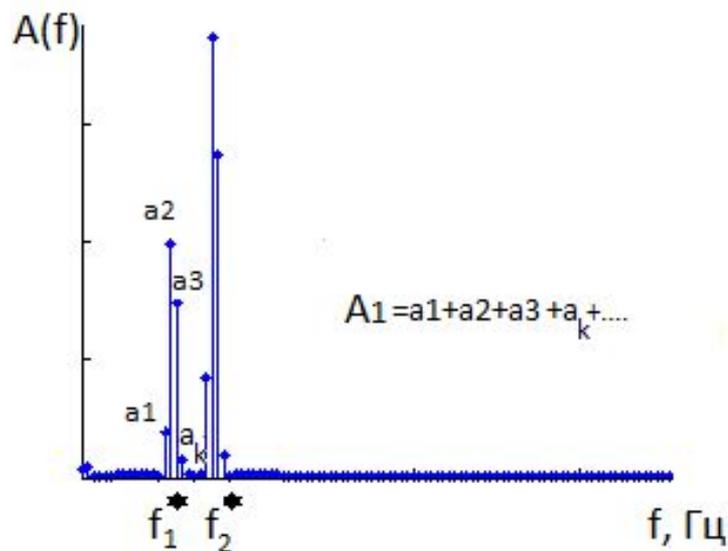




# Пример практического задания

## 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 variability 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*

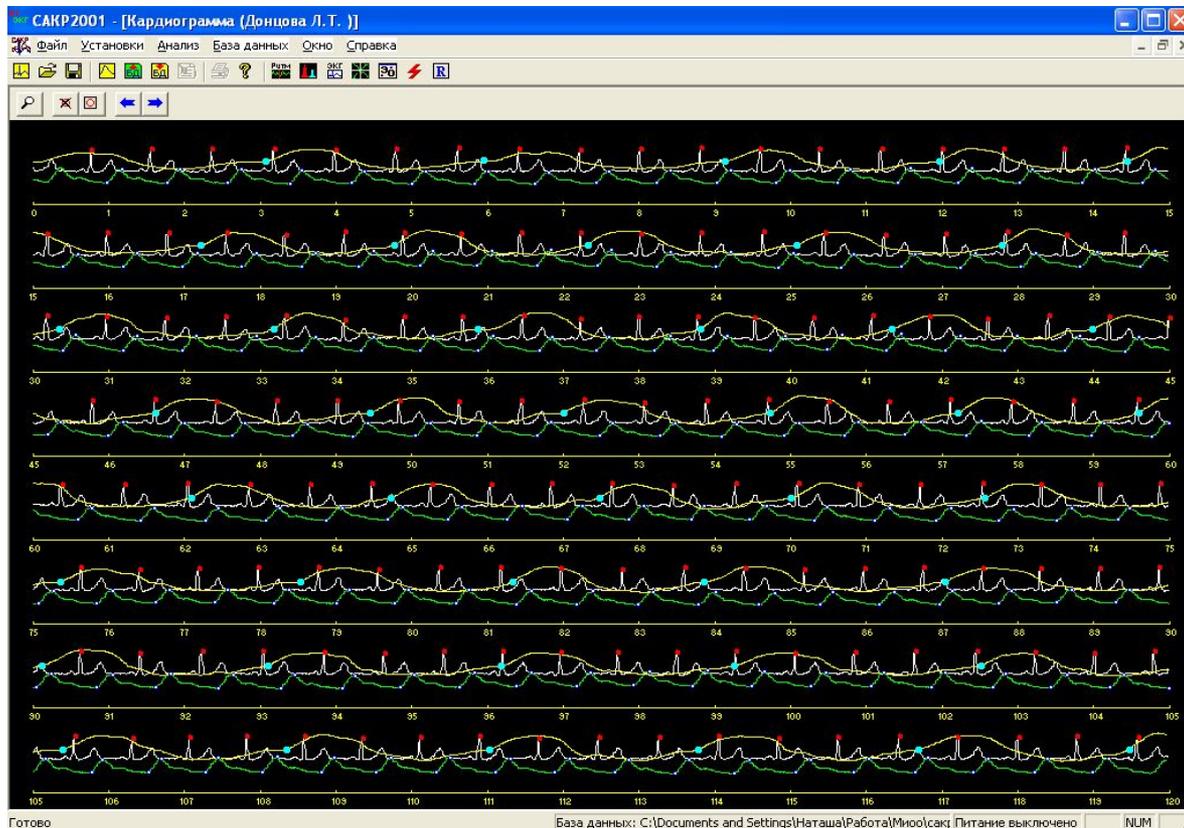
- Состояние вегетативных систем, регулирующих периферическое артериальное давление (по спектральным показателям variability периферического артериального давления)
- Сопряжение в деятельности сердечной и сосудистой систем (по величине чувствительности барорефлекса)
- Периферическое артериальное давление

## *Показатели дыхательной системы, оцениваемые прибором САКР*

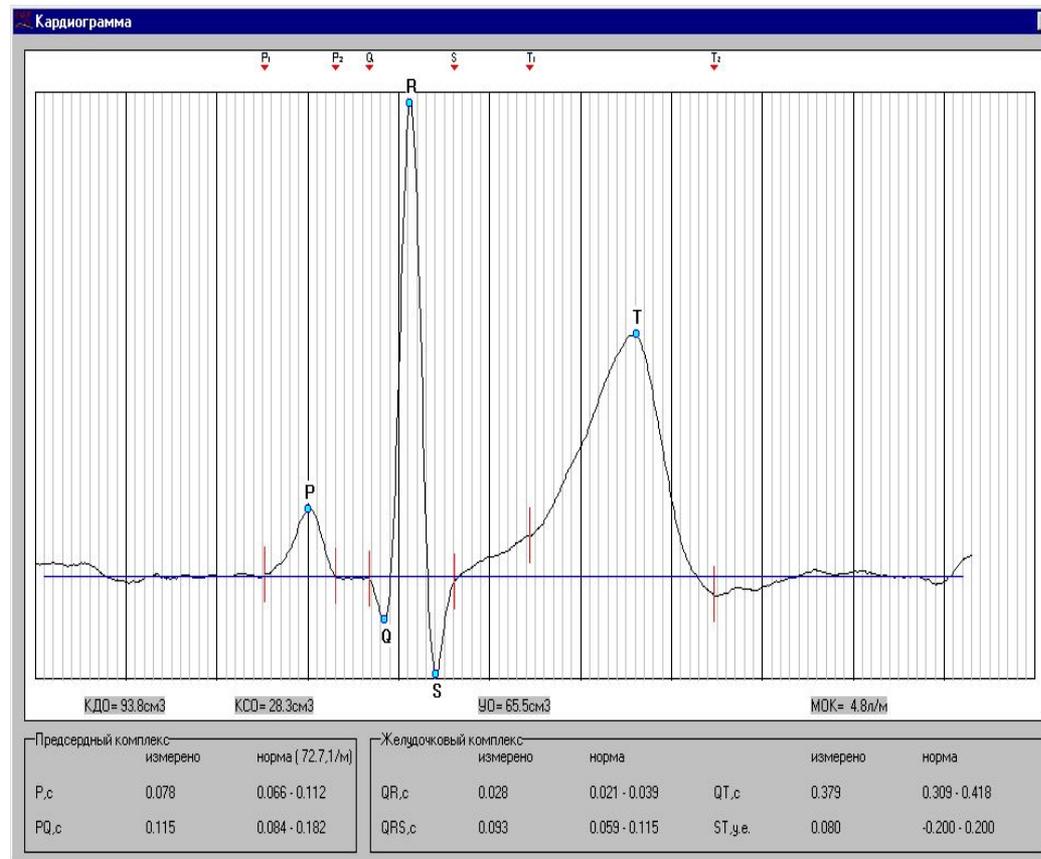
- Дыхательный объем в спокойном состоянии
- Жизненная емкость легких
- Индекс Тиффно (характеристика бронхиальной проводимости)

# САКР. Представление данных

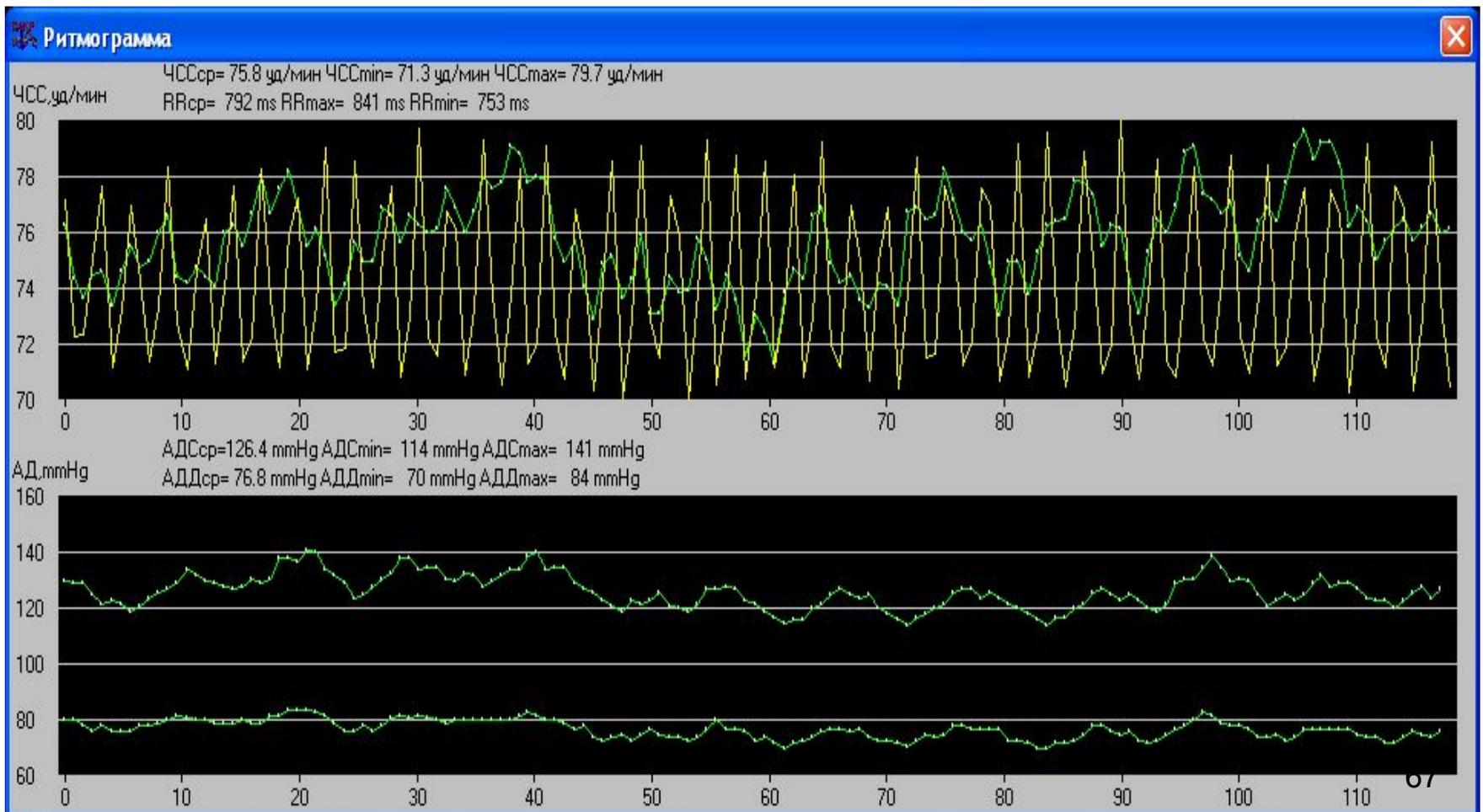
- *Пример одновременной регистрации электрокардиограммы, пульсовой волны артериального давления и фаз дыхания*



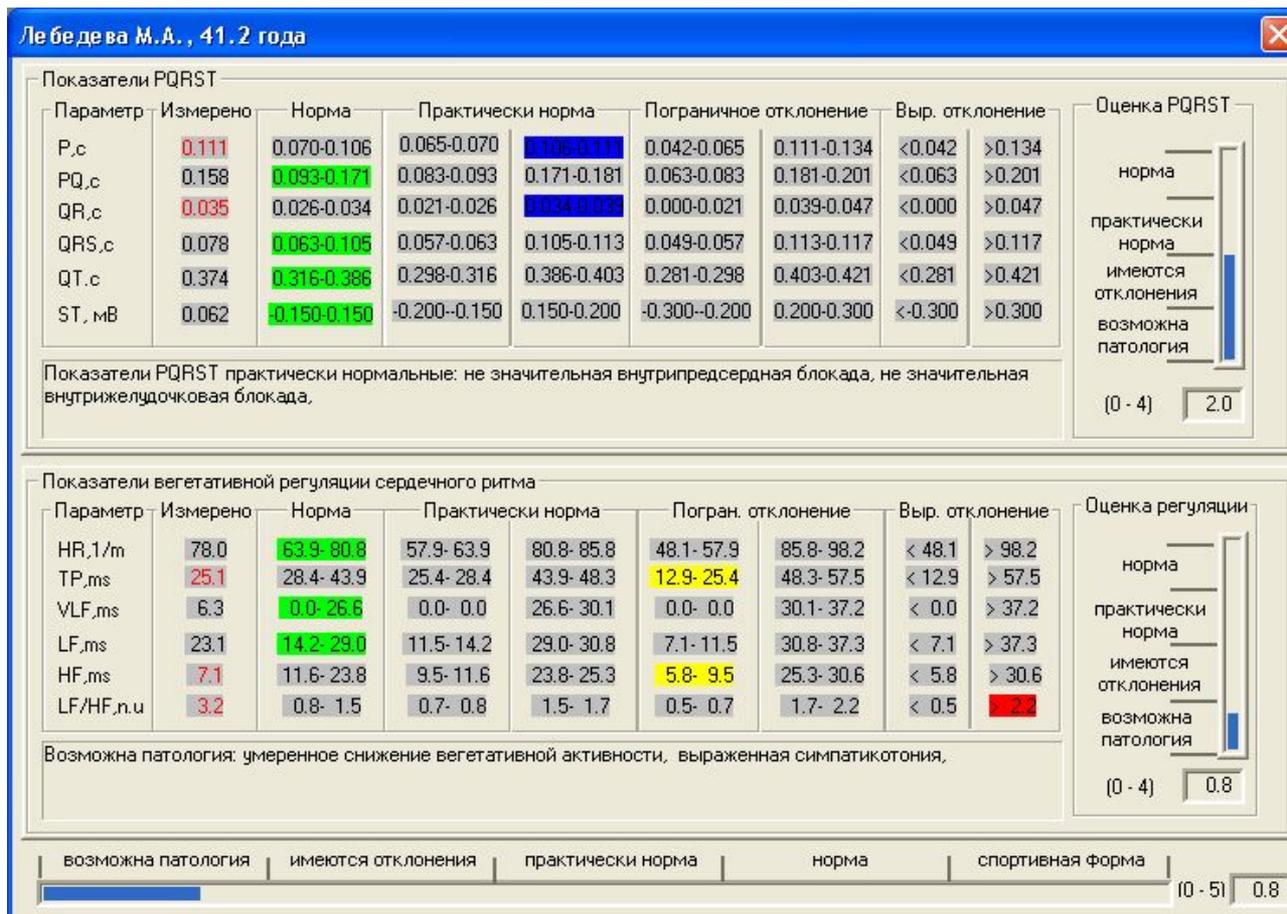
# САКР. Усредненный сердечный комплекс



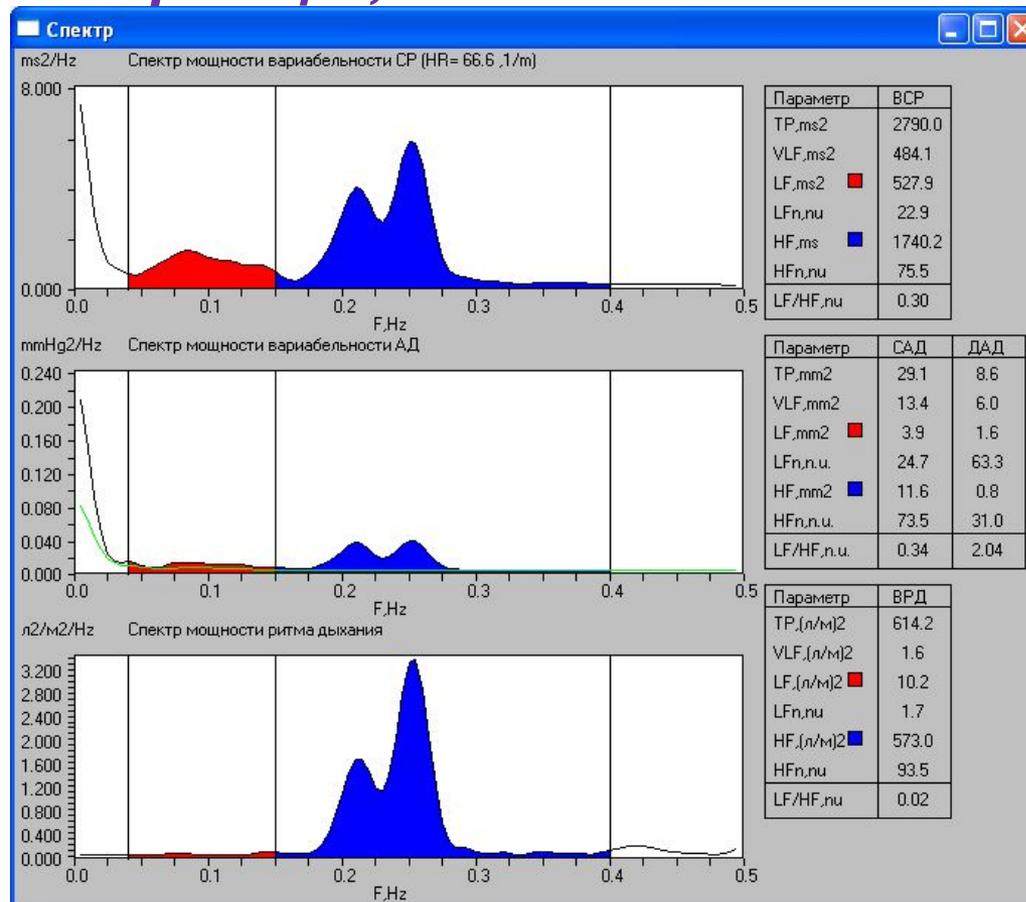
# САКР. Ритмограмма



# 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 вариабельности СР.
- 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