

Министерство образования и науки Российской Федерации
Поволжский государственный технологический университет

Кафедра РТиМБС

КАРДИОИНТЕРВАЛОГРАФИЯ

Методические указания к лабораторной работе

Составитель: доцент
 кафедры РТиМБС
 Хафизов Д.Г.

Йошкар-Ола

СОДЕРЖАНИЕ

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	3
1.1. Общие понятия	3
1.2. Морфология ЭКГ	7
1.3. Числовые характеристики КИГ	8
1.4. Статистический анализ СР.....	10
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	14
2.1. Задание к лабораторной работе	14
2.2. Контрольные вопросы	14

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Общие понятия

Анализ кардиограмм традиционно включает, как правило структурные и статистические методы, связанные с выделением зубцов и интервалов и статистические методы, связанные с выделением зубцов и интервалов. Отдельными развивающимися направлениями кардиографических исследований являются холтеровский мониторинг, велоэргометрия и анализ вариабельности сердечного ритма.

Холтеровский мониторинг – длительное мониторирование ЭКГ по Холтеру предполагает многочасовую одноканальную непрерывную запись ЭКГ пациента, находящегося в своих обычных жизненных условиях, и осуществляется портативным носимым регистратором на магнитный носитель. В связи с большой продолжительностью записи ее последующее исследование возможно только вычислительными методами. При этом обычно строится график интервалограммы, определяется число кардиоинтервалов, выходящих за установленные границы длительности, ищутся экстрасистолические сокращения с подсчетом их общего количества и классификацией по форме.

Велоэргометрия представляет исследование динамики сердечной деятельности при дозированной физической нагрузке, осуществляемой при помощи велотренажера. В ходе исследований предъявляют несколько уровней все возрастающей нагрузки в течении одной или нескольких минут каждая с регистрацией ЭКГ и спирометрии. Для каждого уровня нагрузки определяют среднюю частоту сердечных сокращений с средний объем вдыхаемого воздуха. Значения этих показателей сравнивают с нормативными в зависимости от роста, возраста и пола пациента, на основании чего формируется медицинское заключение.

Исследование вариабельности сердечного ритма является быстро развивающимся разделом кардиологии, в котором наиболее полно реализуются возможности вычислительных методов. Это направление во многом инициировано работами известного отечественного исследователя Р.М. Баевского, который

впервые ввел в практику ряд комплексных показателей, характеризующих функционирование различных регуляторных систем организма.

Колебания variability или дисперсии RR-интервалов отражают тонические и физические команды вегетативных нервов на автоматию водителя ритма сердца. Гистографический и спектральный анализ ритма сердца дает возможность количественной и дифференцированной оценки степени напряженности или тонуса симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, их взаимодействия в различных функциональных состояниях, а также деятельности подсистем, управляющих работой различных органов.

Исходными данными для анализа variability сердечного ритма являются продолжительные одноканальные записи ЭКГ (от двух до нескольких десятков минут), выполняемые, как правило, в спокойном расслабленном состоянии. На первом этапе по такой записи программными средствами вычисляются последовательные RR- интервалы и строится график их временной динамики (интервалограмма или ритмограмма), на которую оказывают влияние многие физиологические процессы, происходящие в организме, и в первую очередь – дыхательный ритм.

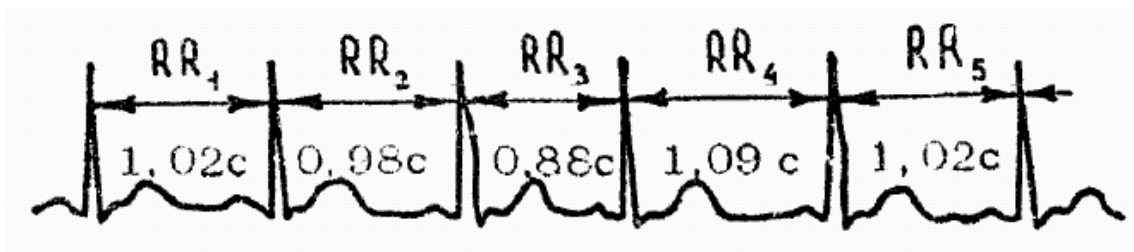
На втором этапе анализа строится гистограмма распределения RR-интервалов с вычислением показателей описательной статистики и ряда комплексных индексов, характеризующих функционирование различных регуляторных систем. Третью часть исследования обычно составляет спектральный анализ RR-интервалов по методу быстрого преобразования Фурье. Исходными данными здесь является последовательность кардиосигналов, выступающая в роль «амплитуд сигнала», причем по временной шкале сами эти «амплитуды» также располагаются друг относительно друга на расстоянии последовательных RR-интервалов. Тем самым исходная временная шкала является неравномерной, что противоречит требованиям спектрального анализа. Поэтому предварительно последовательность RR-интервалов интерполируется с приведени-

ем к равномерному временному шагу между ними, в качестве которого берется обычно половина минимального кардиоинтервала.

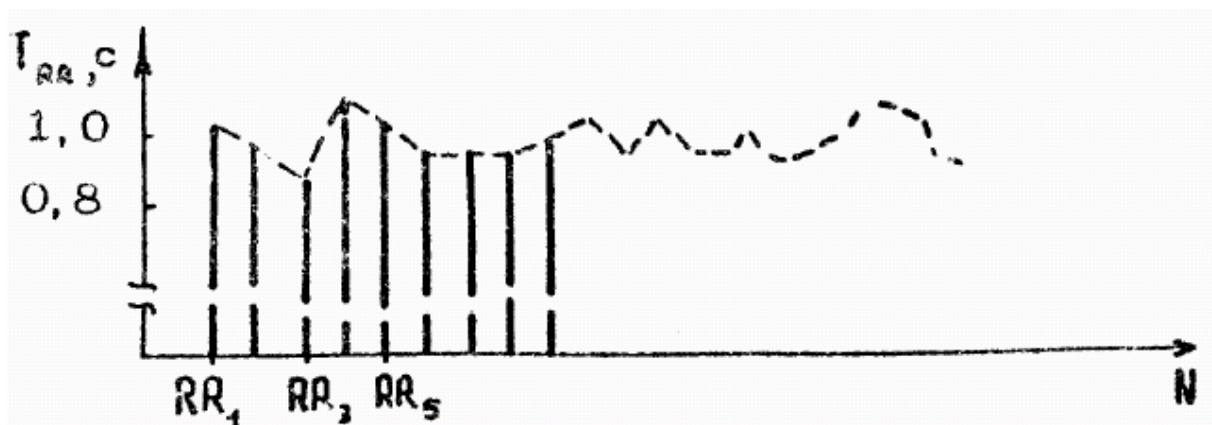
Отдельные области полученного амплитудного спектра представляют мощность вариативности ЧСС, обусловленную влиянием различных регуляторных систем организма. Обычно исследуют области локализации первых спектральных пиков: сосудистодвигательного или васкулярного (до 0,04Гц), вегетативного (0,04-0,15Гц) и дыхательного (0,15-0,4 Гц), для оценки которых вычисляется ряд показателей: средневзвешенная частота и относительная мощность пика (в процентах) к мощности всего спектра, средняя вариация RR, абсолютные мощности среднего и высокочастотного пиков, нормализованные по их суммарной мощности, и отношение мощностей этих пиков.

Кардиоинтервалография (КИГ) является одним из наиболее показательных методов статистической оценки сердечного ритма (СР).

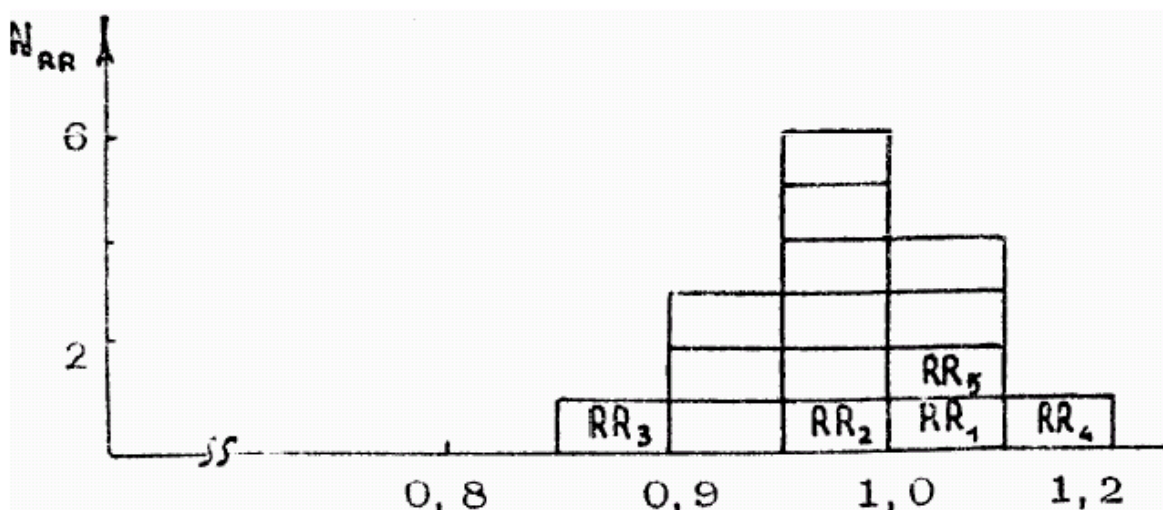
КИГ использует графическое представление данных об измерениях СР при помощи регистрации последовательных кардиоинтервалов. Они измеряются по длительности RR – интервалов электрокардиограммы (ЭКГ) в секундах или миллисекундах ($1\text{ с}=1000\text{ мс}$). Методика КИГ представлена на рис. 1.



а



б



в

Рис. 1. Графики анализа RR-интервального ряда

На первом этапе при регистрации ЭКГ измеряется длительность последовательных RR – интервалов (рис. 1,а). Далее на основе полученных значений строится ритмограмма (рис 1,б), здесь Trr – величина длительности RR – интервала, N – порядковый номер RR – интервала, путем откладывания значения RR – интервала по оси ординат последовательно, согласно их порядковому номеру. Построение гистограммы RR – интервалов осуществляется следующим образом. Отрезок оси длительностей RR – интервалов разбивают на короткие участки (обычно длительностью 0,05 с). Затем по кардиоинтервалограмме для каждого участка подсчитывается количество кардиоинтервалов, длительность которых принадлежит этому участку. Полученное число откладывают на графике в виде столбика (рис 1,в). Форма гистограммы зависит от конкретного физиологического состояния обследуемого человека. Согласно модели регуляции СР по Р.М. Баевскому, при преобладании симпатической регуляции синусового узла отмечается сужение основания гистограммы и смещение ее влево на числовой оси (увеличение пульса и снижение вариабельности СР). При превалировании парасимпатического отдела вегетативной нервной системы основание гистограммы расширяется, высота ее снижается, а сама она смещается вправо.

1.2. Морфология ЭКГ

ЭКГ-запись состоит из зубцов, обозначаемых латинскими буквами P, Q, R, S, T, U, сегментов и интервалов. Амплитуда зубцов измеряется от нулевой линии (изолинии в период «электрической диастолы» на сегменте Т-Р, когда ЭДС сердца равна нулю) в милливольтках, а длительности выражаются в секундах.

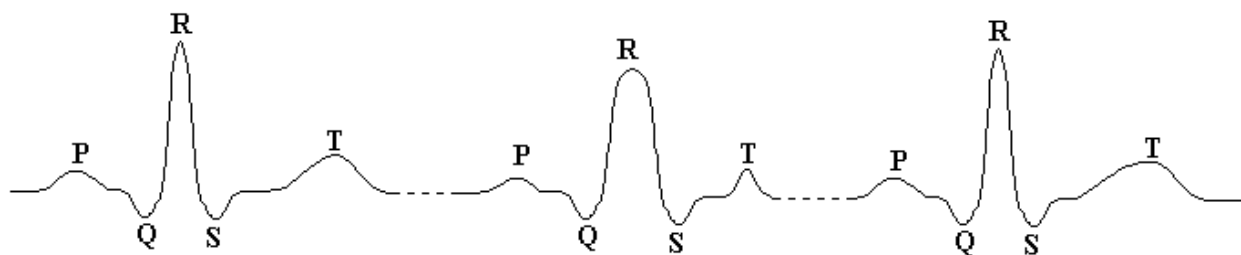


Рис. 2.Схема и структурные компоненты ЭКГ-цикла

Зубец Р отражает возбуждение (деполяризацию) предсердий: в первые 0,02-0,03 с возбуждается только правое предсердие (восходящее колено зубца Р), в следующие 0,02-0,03 с – правое предсердие, межпредсердная перегородка, левое предсердие (вершина зубца Р), в последние 0,02-0,03с – только левое предсердие (нисходящее колено зубца Р). Общая продолжительность зубца Р составляет 0,06 – 0,11 с. Зубец Р может быть положительным, отрицательным, двухфазным, изоэлектричным.

Интервал PQ – время предсердно-желудочковой проводимости, измеряемое от начала зубца Р до начала первого зубца желудочкового комплекса. Он состоит из зубца Р и сегмента PQ, который расположен на нулевой линии и отражает распространение волны возбуждения по проводящей системе. Нормальная продолжительность интервала PQ варьируется от 0,12 до 0,2 с и зависит от частоты сердечных сокращений.

Индекс Макруза – это отношение продолжительности зубца Р к длительности сегмента PQ. В норме индекс Макруза составляет 1,1 – 1,6. Этот индекс помогает в диагностике гипертрофии предсердий.

QRS-комплекс. Зубцы Q, R, S, T составляют желудочковый комплекс. Интервал QRS характеризует распространение возбуждения по миокард желудочков, измеряется от начала зубца Q до конца зубца S, продолжительность его колеблется от 0,06 до 0,1 с. Всякий положительный зубец этого комплекса обозначается как зубец R, за ним следует отрицательный зубец S. Зубец Q-это отрицательный зубец комплекса QRS, предшествующий зубцу R. R и S зубцов может быть несколько.

Зубцы Q и R – непостоянные, поэтому комплекс QRS может быть представлен тремя двумя или одним зубцом.

Сегмент ST – отрезок от конца комплекса QRS до начала зубца T – указывает, что миокард желудочков полностью охвачен возбуждением. Сегмент ST в отведениях от конечностей обычно расположен на изоэлектрической линии. Допустимо смещение ST вниз до 5 мкВ вверх до 10мкВ.

Зубец T соответствует процессам прекращения возбуждения желудочков. Он может быть положительным, отрицательным и двухфазным. По форме зубец T напоминает треугольник с пологим подъемом, закругленной вершиной и крутым спуском.

Интервал QRST, называемый электрической систолой, измеряется от начала зубца Q до конца T. Длительность этого интервала зависит от пола, возраста и частоты сердечных сокращений. Продолжительность QRST не должна отличаться от должной QT (которую вычисляют по формуле Базетта: $QT=K*\sqrt{RR}$, где $K=0,37$ для мужчин, и $K=0,4$ для женщин) более чем на 15%, при нормальной частоте ритма это составляет 0,4 с.

U-зубец. Иногда за зубцом T через 0,02-0,04 с. после его окончания следует зубец U: он непостоянен, мал. После зубца T или U до зубца P следующего сердечного цикла идет горизонтальная линия, называемая сегментом TP и соответствующая диастоле сердца.

1.3. Числовые характеристики КИГ

Числовые характеристики КИГ включают следующие показатели.

Мода (M_o) – наиболее часто встречающееся значение длительности кардиоинтервалов в гистограмме. M_o указывает на наиболее вероятный уровень функционирования синусового узла. При симметричном распределении величина M_o совпадает с математическим ожиданием M .

Амплитуда мода (A_{mo}) – показатель, равный числу RR – интервалов, попавших в отрезок числовой оси, соответствующий моде. Лучше всего нормировать этот показатель, указывая долю RR -интервалов, соответствующих моде, от всей оси выборки. Как правило, A_{mo} выражается в этих случаях в процентах. Принято считать, что данный показатель отражает стабилизационный эффект централизации управления СР и зависит в основном от симпатических влияний.

Вариационный размах Δx - показатель, отражающий степень вариабельности величин RR – интервалов (ширину основания гистограммы). Вычисляется по формуле

$$\Delta x = X_{\max} - X_{\min}, \quad (1)$$

где $X_{\max}$ - значения величин максимального диапазона гистограммы, $X_{\min}$ - минимального.

Принято считать, что показатель отражает суммарный эффект регуляции СР вегетативной нервной системой, указывая на максимальную амплитуду колебаний RR -интервалов. При преобладании дыхательных изменений СР он демонстрирует состояние парасимпатического отдела нервной системы. В ряде случаев при большой амплитуде медленных волн вариационный размах будет больше зависеть от состояния подкорковых нервных центров.

Вторичные показатели, получаемые при гистографическом анализе, включает индекс вегетативного равновесия (ИВР), вегетативный показатель ритма (ВПР), показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР), индекс напряжения регуляторных систем (ИН).

Индекс вегетативного равновесия указывает на соотношение между активностью симпатического и парасимпатического отделов нервной системы и рассчитывается по формуле

$$\text{ИВР} = A_{mo} / \Delta x. \quad (2)$$

Показатель адекватности процессов регуляции демонстрирует соответствие между активностью симпатического отдела нервной системы и ведущим уровнем функционирования синусового узла. Сопоставляя ПАПР с частотой пульса, можно судить об избыточности или недостаточности централизации управления СР. Показатель вычисляется по формуле

$$\text{ПАПР} = A_{\text{мо}} / M_{\text{о}}. \quad (3)$$

Вегетативный показатель ритма позволяет оценивать вегетативный баланс с точки зрения активности автономного контура регуляции. Расчет показателя производится по формуле

$$\text{ВПР} = 1 / M_{\text{о}} \Delta x. \quad (4)$$

Индекс напряжения регуляторных систем свидетельствует о степени централизации управления СР и вычисляется по формуле

$$\text{ИН} = A_{\text{мо}} / 2 \Delta x M_{\text{о}}. \quad (5)$$

Увеличение симпатического тонуса приводит к приросту $A_{\text{мо}}$ и уменьшению $M_{\text{о}}$ и Δx и, следовательно, нарастанию ИН. Усиление парасимпатических влияний, наоборот, ведет к уменьшению $A_{\text{мо}}$, увеличению величины $M_{\text{о}}$ и, следовательно, ИН. У здоровых людей в состоянии физического и психического покоя значения ИН составляют 80-140.

1.4. Статистический анализ СР

При статистическом анализе рассматривают последовательные кардиоинтервалы как ряд величин, производят расчет их статистических характеристик, но без наглядного гистографического отображения.

К статистическим показателям относятся математическое ожидание M , среднеквадратическое отклонение σ , коэффициент вариации V , коэффициент асимметрии As , эксцесс Ex .

Математическое ожидание – величина, обратная средней частоте пульса (HR) или частоте сердечных сокращений (ЧСС) за 1 мин:

$$M = 60 / \text{HR} \text{ (с)}. \quad (6)$$

При анализе последовательности RR интервального ряда M вычисляется по формуле

$$M = \sum_{i=1}^N RR_i / N \quad (7)$$

или

$$M = \frac{\sum_{i=1}^N n_i X_i}{\sum_{i=1}^N n_i}, \quad (8)$$

где X - значение i -го интервала гистограммы, n - число попаданий в этот интервал. Соответственно, $HR=60/M$ (уд/мин).

Величины HR и ЧСС совпадают, но разница между ними состоит в том, что первая величина определяется при исследовании пульсации артерий, а вторая – при исследовании работы сердца.

Принято считать, что математическое ожидание M отражает конечный результат регуляторных влияний на сердце и систему кровообращения в целом. Оно обладает наименьшей изменчивостью среди всех показателей СР, так как является одним из наиболее гомеостатируемых параметров организма.

Среднеквадратичное отклонение динамического ряда RR-интервалов вычисляется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(RR_i - M)^2}{(N-1)}}. \quad (9)$$

Среднеквадратическое отклонение является одним из основных показателей variability СР. Характеризуя состояние механизмов регуляции, оно указывает на суммарный эффект влияния на синусовый узел симпатических и парасимпатических влияний. Уменьшение показателя свидетельствует о смещении вегетативного гомеостаза в сторону преобладания симпатического отдела вегетативной нервной системы, а увеличение – в сторону парасимпатического.

Коэффициент вариации V – представляет собой показатель, который получается при нормировании среднеквадратического отклонения по частоте пульса.

Показатели асимметрии As и эксцесса Ex определяют степень отличия случайного процесса -последовательности RR-интервалов -от так называемого нормального.

Коэффициент асимметрии As вычисляется по следующей формуле:

$$As = \frac{\sum_{i=1}^N n(RR_i - M)^3}{\sigma^3 \sum_{i=1}^N n}. \quad (10)$$

Коэффициент эксцесса Ex вычисляется по формуле

$$Ex = \frac{\sum_{i=1}^N n(RR_i - M)^4}{\sigma^4 \sum_{i=1}^N n}. \quad (11)$$

Указанные показатели variability CP, как и многие другие, обладают определенными недостатками, связанными с тем, что они должны применяться в условиях стабильного или квазистабильного состояния. Формально они могут быть вычислены и для нестационарных условий, при наличии трендов и т.п. Однако при этом существенно увеличиваются трудности в интерпретации этих показателей. Статистический и гистографический анализ CP имеет существенные недостатки. Так, эти методики не позволяют получить информацию о волновой структуре ритмограммы и охарактеризовать их динамические свойства при переходных процессах. В значительной мере такую оценку позволяют провести методы исследования корреляционной ритмографии автокорреляционного и спектрального анализа ритмограмм.

Корреляционная ритмография (скаттерография, двумерная гистография) - это отображение динамики CP в виде точек на прямоугольной системе координат. Проекция каждой точки на ось ординат представляет собой длительность последнего RR-интервала (RR1), а проекция на ось абсцисс – предшествующего (RR).

Графики полученных таким образом точек называются скаттерограммой (от англ. scatter - рассеивать, разбрасывать), автокорреляционным облаком, двумерной гистограммой или корреляционной ритмограммой (рис. 3).

При равенстве соседних RR-интервалов соответствующие им точки лежат на прямой, идущей по биссектрисе угла, образованного абсциссой и ординатой. В случае увеличения последующего RR-интервала точка располагается над биссектрисой, а при уменьшении - под ней. Изменения СР приводят к разбросу точек. По корреляционной ритмограмме можно определить M (центр совокупности точек), x (расстояние между наиболее удаленными точками по оси абсцисс или ординат). Чем медленнее период колебаний длительностей RR-интервалов, тем более вытянут эллипс вдоль биссектрисы. Поэтому одним из способов описания корреляционного облака является расчет отношения величин продольной его оси (a) и поперечной (b): a/b . Чем больше выражена медленная периодика, тем больше величина отношения a/b . С учетом величин M , a/b можно вычислить индекс функционального состояния (ИФС) по формуле

$$\text{ИФС} = M * a/b. \quad (12)$$

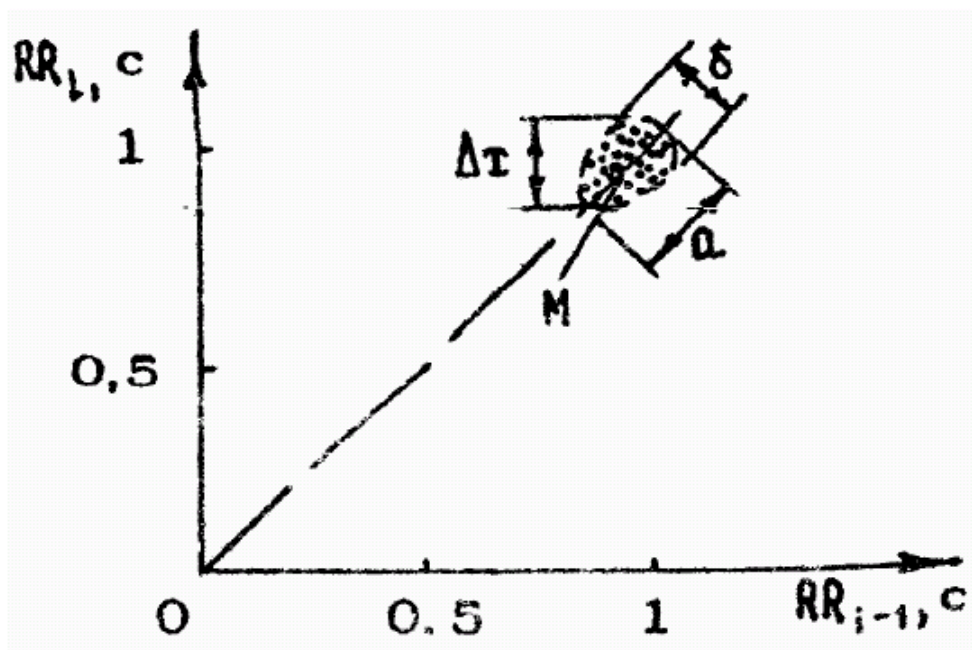


Рис. 3. Скаттерограмма

Величина показателя тем выше, чем меньше напряжение регуляторных механизмов.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Задание к лабораторной работе

1. Взять у преподавателя запись кардиосигнала в соответствии с заданным вариантом.
2. Аддитивно наложить шум с нормальным законом распределения (параметры шума выбираются самостоятельно).
3. Определить положение R-зубцов на кардиограмме.
4. Вычислить длительности RR-интервалов с учетом заданной частоты дискретизации сигнала.
5. Построить ритмограмму и гистограмму RR-интервалов.
6. Рассчитать все числовые характеристики.
7. Провести статистический анализ и построить скаттерограмму, определить индекс функционального состояния.
8. Сделать выводы.

№ Вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Частота дискретизации	400	300	500	200	100	600	500	400	300	200	100	200
№ Вар	13	14	15	16	17	18	19	20				
Частота дискретизации	100	500	500	600	300	400	400	500				

2.2. Контрольные вопросы

1. Дайте понятие терминам: Холтеровский мониторинг, Велоэргометрия, Кардиоинтервалография.
2. В чем заключается статистический анализ сердечного ритма?
3. Как строится ритмограмма?
4. Морфология ЭКГ?
5. Перечислите основные характеристики кардиоинтервалограммы.
6. Как строится скаттерограмма и что по ней определяют?
7. Что отражает математическое ожидание RR-интервального ряда?