

Метод анализа вариабельности сердечного ритма

Проблема хронического стресса, когда имеется постоянное повышенное напряжение регуляторных систем, касается практически всего населения, но особенно она важна для отдельных профессиональных групп, в том числе и студентов, труд которых сопряжен с воздействием комплекса стрессорных факторов. Основные показатели обучающегося, оказывающие влияние на его работу (общая подготовка, уровень знаний, скорость восприятия информации, психофизический тип, психофизиологическое состояние, время появления утомления и т.д.), существенно изменяются от одного индивидуума к другому. Контроль функционального (психофизического) состояния (ФС) обучающегося может использоваться для оценки «стоимости» результата обучения при разработке образовательных систем с адаптивной траекторией обучения. Одним из наиболее эффективных методов контроля за функциональным состоянием является метод анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР), который хорошо отражает степень напряжения регуляторных систем организма, возникающую в ответ на любое стрессорное, физическое, эмоциональное, интеллектуальное воздействие.

Основным показанием к применению методов анализа ВСР является наличие вероятных изменений со стороны регуляторных систем организма, в частности изменений вегетативного баланса. Поскольку практически нет таких ФС или заболеваний, в которых бы не участвовали механизмы вегетативной регуляции, то сфера применения метода анализа ВСР довольно обширна. На сегодняшний день, данный метод является, пожалуй, единственным доступным, неинвазивным, достаточно простым и относительно дешевым методом оценки вегетативной регуляции.

Теоретические основы анализа вариабельности сердечного ритма

Деятельность сердечно-сосудистой системы, в частности, ее регуляторных механизмов – результат адаптации организма к большому числу разнообразных факторов внешней среды. Регуляторные системы организма - это постоянно действующий аппарат слежения за состоянием всех систем и органов, их взаимодействием и за соблюдением равновесия между организмом и средой. Активность регуляторных систем зависит от ФС организма. Можно условно различать три уровня активности регуляторных систем: уровень контроля; уровень регуляции; уровень управления.

В обычных условиях, когда регулируемая (контролируемая) система, т.е. организм, работает в нормальном режиме, не испытывая дополнительных нагрузок, регуляторный механизм выполняет лишь контрольные функции, т.е. воспринимает информацию о состоянии регулируемой системы и не вмешивается в ее работу. Если же возникают дополнительные нагрузки, если регулируемой системе требуется увеличить расход энергии

на выполнение своих функций, то механизм регуляции переходит на другой режим работы - он «вмешивается» в процесс управления и корректирует его, помогая регулируемой системе выполнить свои функции. При этом можно говорить о переходе регуляторного механизма на уровень регуляции. В этом случае через соответствующие нервные и гуморальные каналы в регулируемую систему посылаются сигналы управления, обеспечивающие мобилизацию необходимых дополнительных функциональных резервов. Если же собственные резервы регулируемой системы оказываются недостаточными для достижения необходимого эффекта, то механизмы регуляции переходят в режим управления. Здесь их активность значительно возрастает, поскольку к процессу управления необходимо подключить и другие более высокие уровни регуляции, что обеспечивает мобилизацию функциональных резервов других систем. Соответственно трем уровням активности напряжение регуляторных механизмов (их активность) возрастает. Таким образом, по степени напряжения регуляторных механизмов можно судить о функциональных резервах системы кровообращения и об адаптационных возможностях всего организма в целом.

Степень напряжения регуляторных систем – это интегральный ответ организма на весь комплекс воздействующих на него факторов, независимо от того, с чем они связаны.

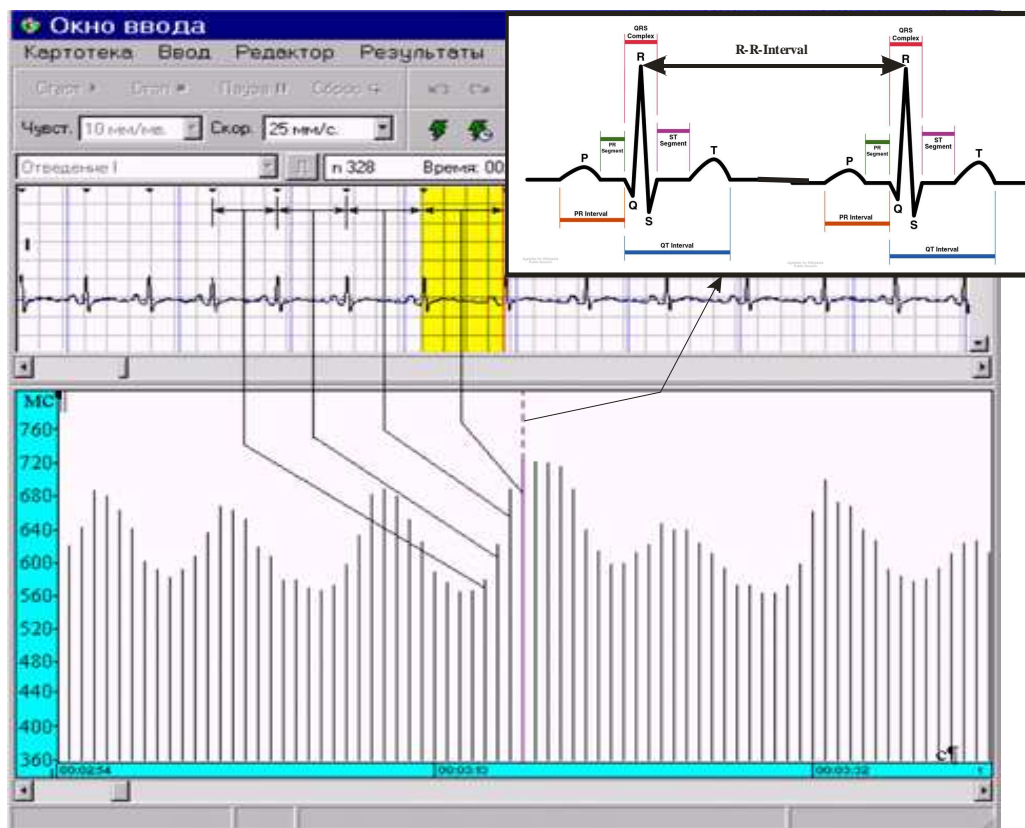
Анализ вариабельности сердечного ритма является методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека и животных, в частности, общей активности регуляторных механизмов, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы. Текущая активность симпатического и парасимпатического отделов является результатом реакции многоконтурной и многоуровневой системы регуляции кровообращения, изменяющей во времени свои параметры для достижения оптимального приспособительного ответа, который отражает адаптационную реакцию целостного организма.

Адаптационные реакции индивидуальны и реализуются у разных лиц с различной степенью участия функциональных систем, которые обладают, в свою очередь, обратной связью, изменяющейся во времени и имеющей переменную функциональную организацию.

Метод анализа ВСР основан на распознавании и измерении временных интервалов между самыми высокoамплитудными зубцами электрокардиограммы (ЭКГ), *R*-зубцами, или *R-R*-интервалы, а также построении динамических рядов кардиоинтервалов и последующего анализа полученных числовых рядов различными математическими методами (рисунок 1). Динамический ряд кардиоинтервалов называют кардиоинтервалограммой (КИГ).

Динамический ряд кардиоинтервалов может быть отнесен к числу стационарных или нестационарных. Стационарными называют случайные процессы, протекающие приблизительно однородно и имеющие вид непрерывных колебаний вокруг некоторого

среднего значения. Стационарные процессы характеризуются эргодичностью, т.е. усреднение по времени соответствует усреднению по множеству реализаций. Иными словами на любом участке времени мы должны получать одни и те же характеристики. Нестационарные (или переходные) процессы имеют определенную тенденцию развития во времени и их характеристики зависят от начала отсчета. Практически в каждой кардиоинтервалограмме содержатся элементы нестационарности (фрактальные компоненты). В дальнейшем КИГ рассматривается как стационарный случайный процесс с соответствующей интерпретацией получаемых в результате ее анализа данных.



Вверху – ЭКГ, внизу КИГ (по оси координат – длительность кардиоинтервалов в миллисекундах; по оси абсцисс – время регистрации кардиоинтервалов (час, мин, сек)).

Стрелками отмечены элементы КИГ, соответствующие интервалам между R-R-зубцами ЭКГ

Рисунок 1 – Формирование кардиоинтервалограммы (КИГ) при вводе электрокардиографического сигнала

Длительность регистрации сердечного ритма зависит от целей исследования. Продолжительность записей может колебаться от нескольких минут до нескольких часов. Выделяют четыре типа исследований ВСР:

- 1) кратковременные (оперативные или обзорные) записи длительностью 5 минут;
- 2) записи средней длительности до 1-2-х часов;
- 3) многочасовые записи до 8-10 часов;

4) суточные (24-х часовые и более длительные) записи.

Записи длительностью до 1 часа целесообразно проводить применительно к отдельным этапам деятельности, например, во время занятия, при выполнении конкретной задачи. Анализ ВСР в записях от одного до нескольких часов рекомендуется проводить, используя

Независимо от длительности регистрации при анализе данных в качестве базовых выборок рекомендуется использовать 5-минутные сегменты записи для изучения динамики процесса адаптации организма. В отдельных случаях при работе с высокостационарными процессами (эмоциональный стресс, устойчивая фаза физической нагрузки) допустимо использовать и более короткие выборки. При необходимости оценки КИГ при длительном наблюдении целесообразно использовать в каждом стационарном этапе стандартные 5-минутные сегменты записи и результаты анализа этих сегментов соответствующим образом суммировать. Анализ более продолжительных сегментов записи требует специальных методов, так как при их оценке следует учитывать наличие в их составе периодических компонентов, отражающих состояние более высоких уровней регуляции, а также важно обращать особое внимание на устойчивость функционального состояния и на наличие переходных процессов.

Анализ ВСР включает три этапа:

- 1) измерение длительности R-R-интервалов и представление динамических рядов кардиоинтервалов в виде кардиоинтервалограммы (рисунок 1);
- 2) анализ динамических рядов кардиоинтервалов;
- 3) оценку анализа ВСР.

Измерение длительности R-R-интервалов производится аппаратно или программно с точностью до 1 миллисекунды. Проблема распознавания R-зубцов в разных аппаратно-программных комплексах решается по-разному. Представление динамических рядов кардиоинтервалов осуществляется в числовом или графическом виде.

Основная информация о состоянии систем, регулирующих ритм сердца, заключена в «функции разброса» длительностей кардиоинтервалов. При анализе ВСР исследуется так называемая синусовая аритмия, которая отражает сложные процессы взаимодействия различных контуров регуляции сердечного ритма (СР). Наиболее простой является двухконтурная модель регуляции СР. Она основывается на кибернетическом подходе, при котором система управления синусовым узлом представляется в виде двух взаимосвязанных контуров: центрального и автономного, управляющего и управляемого с каналами прямой и обратной связи (рисунок 2). При этом воздействие автономного контура идентифицируется с дыхательной, а центрального с недыхательной аритмией.

Рабочими структурами автономного контура регуляции являются: синусовый узел, блуждающие нервы и их ядра в продолговатом мозгу (контур парасимпатической регуляции). Дыхательная система рассматривается как элемент обратной связи в автономном контуре регуляции СР.

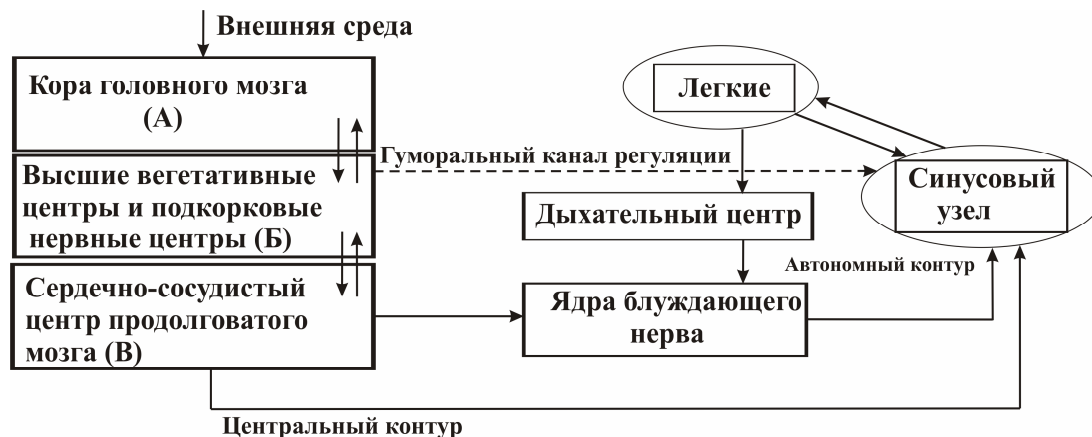


Рисунок 2- Схема двухконтурной модели регуляции сердечного ритма
(по Баевскому Р.М.)

Деятельность центрального контура регуляции, который идентифицируется с симпатoadреналовыми влияниями на СР, связана с недыхательной синусовой аритмией и характеризуется различными медленноволновыми составляющими СР.

Прямая связь между центральным и автономным контурами осуществляется через нервные (в основном симпатические) и гуморальные связи. Обратная связь обеспечивается афферентной импульсацией с барорецепторов сердца и сосудов, хеморецепторов и обширных рецепторных зон различных органов и тканей.

Автономная регуляция в условиях покоя характеризуется наличием выраженной дыхательной аритмией.

Дыхательные волны усиливаются во время сна, когда уменьшаются центральные влияния на автономный контур регуляции. Различные нагрузки на организм, требующие включения в процесс управления СР центрального контура регуляции, ведут к ослаблению дыхательного компонента синусовой аритмии и к усилению ее недыхательного компонента.

Общая закономерность состоит в том, что более высокие уровни управления тормозят активность более низких уровней. При этом амплитуда дыхательных волн СР снижается тем в большей мере, чем активнее включается в процесс управления центральный (управляющий) контур. Поскольку автономный контур - это по существу контур парасимпатической регуляции, то централизация управления означает смещение вегетативного гомеостаза в сторону преобладания симпатической нервной регуляции.

Поэтому ослабление дыхательной аритмии связывают обычно с усилением тонуса симпатического отдела ВНС.

Центральный контур регуляции СР – это сложнейшая многоуровневая система нейрогуморальной регуляции физиологических функций, которая включает в себя многочисленные звенья от подкорковых центров продолговатого мозга до гипоталамо-гипофизарного уровня вегетативной регуляции и коры головного мозга.

Ее структуру можно схематично представить состоящей из трех уровней. Этим уровням соответствуют не столько анатомо-морфологические структуры мозга, сколько определенные функциональные системы или уровни регуляции:

1-й уровень (А) обеспечивает организацию взаимодействия организма с внешней средой (адаптация организма к внешним воздействиям). К нему относится центральная нервная система, включая корковые механизмы регуляции, координирующая функциональную деятельность всех систем организма в соответствии с воздействием факторов внешней среды.

2-й уровень (Б) осуществляет равновесие различных систем организма между собой и обеспечивает межсистемный гомеостаз. Основную роль в этом уровне играют высшие вегетативные центры (в том числе гипоталамо-гипофизарная система), обеспечивающие гормонально-вегетативный гомеостаз.

3-й уровень (В) обеспечивает внутрисистемный гомеостаз в различных системах организма, в частности в кардиореспираторной системе (систему кровообращения и систему дыхания можно рассматривать как единую функциональную систему). Здесь ведущую роль играют подкорковые нервные центры, в частности вазомоторный центр как часть подкоркового сердечно-сосудистого центра, оказывающего стимулирующее или угнетающее действие на сердце через волокна симпатических нервов.

Недыхательная синусовая аритмия представляет собой колебания СР с периодами выше 6-7 секунд (ниже 0,15 Гц). Медленные (недыхательные) колебания СР коррелируют с аналогичными волнами артериального давления и плетизмограммы. Различают медленные волны 1-го, 2-го и более высоких порядков. Чем длиннее ряд анализируемых кардиоинтервалов, тем больше уровней регуляторного механизма можно исследовать.

Как известно, регуляция СР осуществляется вегетативной, центральной нервной системой, рядом гуморальных и рефлекторных воздействий. Парасимпатическая и симпатическая нервные системы находятся в определенном взаимодействии и под влиянием центральной нервной системы и ряда гуморальных и рефлекторных факторов.

Постоянное воздействие симпатических и парасимпатических влияний происходит на всех уровнях регуляции.

Действительные отношения между двумя отделами ВНС сложны. Их сущность заключается в различной степени активности одного из отделов вегетативной системы при изменении активности другого. Это означает, что реальный СР может временами являться простой суммой симпатической и парасимпатической стимуляции, а временами – симпатическая или парасимпатическая стимуляция может сложно взаимодействовать с исходной парасимпатической или симпатической активностью. Такой тип взаимодействия соответствует принципу «функциональной синергии».

Основные показатели variability сердечного ритма

№	Краткие обозначения	Наименование показателей	Физиологическая интерпретация
1	2	3	4
1.	<i>HR</i>	Частота пульса	Средний уровень функционирования системы кровообращения
2.	<i>SDNN</i>	Стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов	Суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения
3.	<i>RMSSD</i>	Квадратный корень суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов	Активность парасимпатического звена вегетативной регуляции
4.	<i>pNN50</i>	Число пар кардиоинтервалов с разностью более 50 мс в % к общему числу кардиоинтервалов в массиве	Показатель степени преобладания парасимпатического звена регуляции над симпатическим (относительное значение)
5.	<i>CV</i>	Коэффициент вариации полного массива кардиоинтервалов	Нормированный показатель суммарного эффекта регуляции
6.	<i>MxDMn</i> (<i>TINN*</i>)	Разность между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов	Максимальная амплитуда регуляторных влияний
7.	<i>MxRMn</i>	Отношение максимального по длительности кардиоинтервала к минимальному	Относительный диапазон регуляторных влияний
8.	<i>Mo</i>	Мода	Наиболее вероятный уровень функционирования сердечно-сосудистой системы
9.	<i>AMoSD</i>	Амплитуда моды при ширине класса SD	Условный показатель активности симпатического звена регуляции
10.	<i>AMo50</i>	Амплитуда моды при ширине класса 50 мс	Условный показатель активности симпатического звена регуляции
11.	<i>AMo7,8</i>	Амплитуда моды при ширине класса 1/128 с	Условный показатель активности симпатического звена регуляции
12.	<i>SI</i>	Стресс-индекс (индекс напряжения регуляторных систем)	Степень напряжения регуляторных систем (степень преобладания активности центральных механизмов регуляции над автономными)
13.	<i>HF, (%)</i>	Мощность спектра высокочастотного компонента	Относительный уровень активности парасимпатического звена регуляции

		вариабельности в % от суммарной мощности колебаний	
14.	<i>LF, (%)</i>	Мощность спектра низкочастотного компонента вариабельности в % от суммарной мощности колебаний	Относительный уровень активности вазомоторного центра
15.	<i>VLF, (%)</i>	Мощность спектра сверхнизкочастотного компонента вариабельности в % от суммарной мощности колебаний	Относительный уровень активности симпатического звена регуляции
16.	<i>CCI</i>	Значение первого коэффициента автокорреляционной функции	Степень активности автономного контура регуляции
17.	<i>CC0</i>	Число сдвигов автокорреляционной функции до получения значения коэффициента корреляции меньше нуля	Степень активности центрального контура регуляции
18.	<i>NArr</i>	Число аритмичных сокращений	Абсолютное число аритмичных сокращений за 5 минут
19.	<i>TP</i>	Суммарная мощность спектра ВСР	Суммарный уровень активности регуляторных систем
20.	<i>HFmx</i>	Максимум мощности спектра высокочастотного компонента вариабельности в $мс^2$	Максимальный уровень активности парасимпатического звена регуляции
21.	<i>LFmx</i>	Максимум мощности спектра низкочастотного компонента вариабельности в $мс^2$	Максимальный уровень активности вазомоторного центра
22.	<i>VLFmx</i>	Максимум мощности спектра сверхнизкочастотного компонента вариабельности в $мс^2$	Максимальный уровень активности симпатического звена регуляции
23.	<i>ULFmx</i>	Максимум мощности спектра ультранизкочастотного компонента вариабельности в $мс^2$	Максимальный уровень активности субкортикальных уровней регуляции (высших вегетативных центров)
24.	<i>HFt</i>	Доминирующий период высокочастотного компонента спектра ВСР	Средний период дыхательного цикла
25.	<i>LFt</i>	Доминирующий период низкочастотного компонента спектра ВСР	Среднее время барорефлекторной реакции
26.	<i>VLFt</i>	Доминирующий период сверхнизкочастотного компонента спектра ВСР	Средний период рефлекторного ответа сердечно-сосудистого подкоркового центра
27.	<i>ULFt</i>	Доминирующий период ультранизкочастотного компонента спектра ВСР	Средний период времени нейрорефлекторного ответа субкортикальных уровней регуляции (высших вегетативных центров)
28.	<i>LF/HF</i>	Отношение значений низкочастотного и высокочастотного компонента ВСР	Соотношение уровней активности центрального и автономного контуров регуляции
29.	<i>VLF/HF</i>	Отношение значений сверхнизкочастотного и высокочастотного компонентов	Соотношение уровней активности центрального и автономного контуров регуляции

		BCP	
30.	<i>IC</i>	Индекс централизации	Степень централизации управления ритмом сердца
31.	<i>IARS</i>	Показатель (индекс) активности регуляторных систем - ПАРС	Показатель активности регуляторных систем

Аппаратно-программный комплекс «Варикард 2.51»

В настоящее время в России и за рубежом разработано значительно число приборов и аппаратов для анализа ВСР. В России разработано и выпускается различными фирмами и предприятиями значительно число приборов и аппаратов для анализа ВСР. В соответствии с решением Комиссии по диагностическим приборам и аппаратам Комитета по новой медицинской технике Минздрава России (протокол №4 от 11 апреля 2000 г.) для анализа ВСР и измерения уровня напряженности регуляторных систем было рекомендовано использовать следующие приборы: компьютерные системы «Вита-Ритм», «ВНС-Ритм», «ВНС-Вита», «ВНС-Спектр», компьютерный электрокардиограф «Карди», электрокардиографический комплекс «МКА 01», аппаратно-программные комплексы АПК-РКГ и «Варикард», комплекс суточного мониторирования ЭКГ «Кардиотехника». Все указанные комплексы работают совместно с компьютером и обеспечивают формирование динамических рядов кардиоинтервалов с частотой дискретизации ЭКГ-сигнала до 1000 Гц и выше. Точность измерения интервалов +/-1 мс.

Наиболее приемлемым, с технической и экономической точек зрения, является аппаратно-программный комплекс «Варикард 2.51», разработанный Институтом внедрения новых медицинских технологий «Рамена». Комплекс «Варикард 2.51» работает под управлением IBM-совместимого персонального компьютера и предназначен для анализа ВСР в различных областях прикладной физиологии, профилактической медицины и клинической практики. Он обеспечивает реализацию всех основных методов анализа ВСР (статистический анализ, вариационную пульсометрию, автокорреляционный и спектральный анализ), позволяет вычислять до 40 различных параметров, рекомендуемых как российскими, так и европейско-американскими стандартами, оценивает ПАРС и формирует индивидуальные заключения (рисунок 3).

Дата и время обследования: 22.07.1998

12:33

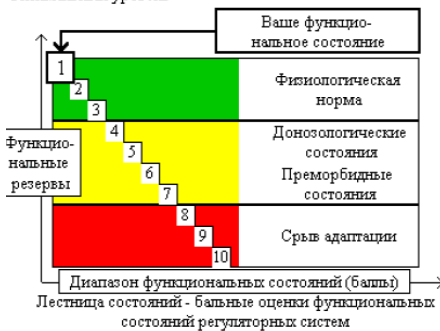
Год рождения: 1950

Пол: муж.

Адрес:

Оценка функционального состояния

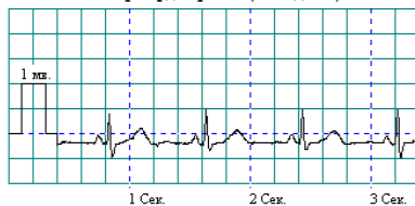
Оптимальный уровень



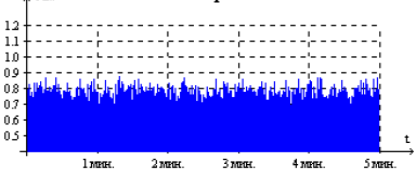
Оценка состояния регуляторных систем

Суммарный эффект регуляции
Нормокардия
Функции автоматизма
Нарушение ритма не выявлено
Вегетативный гомеостаз
Равновесие симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы
Вазомоторный (сосудистый) центр
Нормальная активность подкоркового сердечно-сосудистого центра
Симпатический сердечно-сосудистый подкорковый нервный центр
Умеренное ослабление активности симпатического сердечно-сосудистого центра

Электрокардиограмма (1 отведение)



Ритмограмма



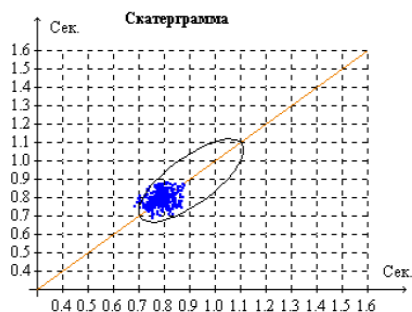
Основные показатели сердечного ритма

Наименование	Знач	Норма
Частота пульса (HR), уд/мин	76	55 - 80
Среднее квадр. отклонение (SDNN), мс	38,5	30 - 100
Коэффициент вариации (CV), %	4,9	3 - 12
Стресс-индекс (SI), усл.ед.	149	50 - 150
Индекс централизации (IC), усл.ед.	1,4	2 - 8
ПАРС (IARS), усл.ед.	(0, -1)	1 - 3
Число аритмий (NAR), %	0,0	0 - 4
Мощность HF, %	40,3	10 - 30
Мощность LF, %	37,4	15 - 45
Мощность VLF, %	18,9	20 - 60
Мощность ULF, %	3,4	

Заключение

Ваше функциональное состояние характеризуется оптимальным уровнем регуляции физиологических функций. Организм прекрасно справляется со стрессом.

Вам рекомендуется поддерживать этот оптимальный уровень соблюдения режима труда и отдыха, рациональным питанием, систематическими занятиями физкультурой и спортом, регулированием трудовых нагрузок. Проводить контроль своего функционального состояния возможности раз в год.



Спектральная функция

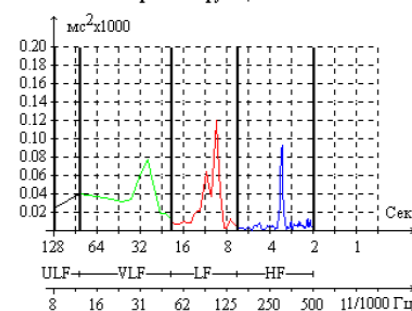


Рисунок 3 – Комплексное заключение по результатам анализа ВСР

(АПК «Варикард 2.51»)

На рисунке 4 представлена функциональная схема кардиоусилителя «Варикард 2.51». На вход коммутатора кардиоусилителя поступают потенциалы с поверхности кожи человека. Для выбора одного из трех стандартных отведений используется коммутатор отведений. Коммутатор отведений срабатывает только в момент запуска управляющего программного обеспечения с персонального компьютера (ПК). После коммутатора сигнал поступает на дифференциальный усилитель, где усиливается в 11,5 раза. Затем сигнал проходит фильтр низкой частоты (ФНЧ), с частотой среза 129 Гц (по уровню -3 дБ) и фильтр высокой частоты (ФВЧ), с частотой среза 0,072 Гц. Далее сигнал поступает на масштабирующий усилитель с коэффициентами усиления 1, 2, 4, 8 и 16, чувствительность которого устанавливается по команде с ПК из ряда: 5, 10, 20, 40 и 80 мм/мВ. Усиленный сигнал подается на вход 16 разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и, далее, на вход микроконтроллера. Частота дискретизации входного сигнала составляет 1200 Гц. Работа микроконтроллера синхронизируется от встроенного генератора тактовой частоты 14,7456 МГц. Уровень создаваемых при этом радиопомех не превышает допустимых значений.

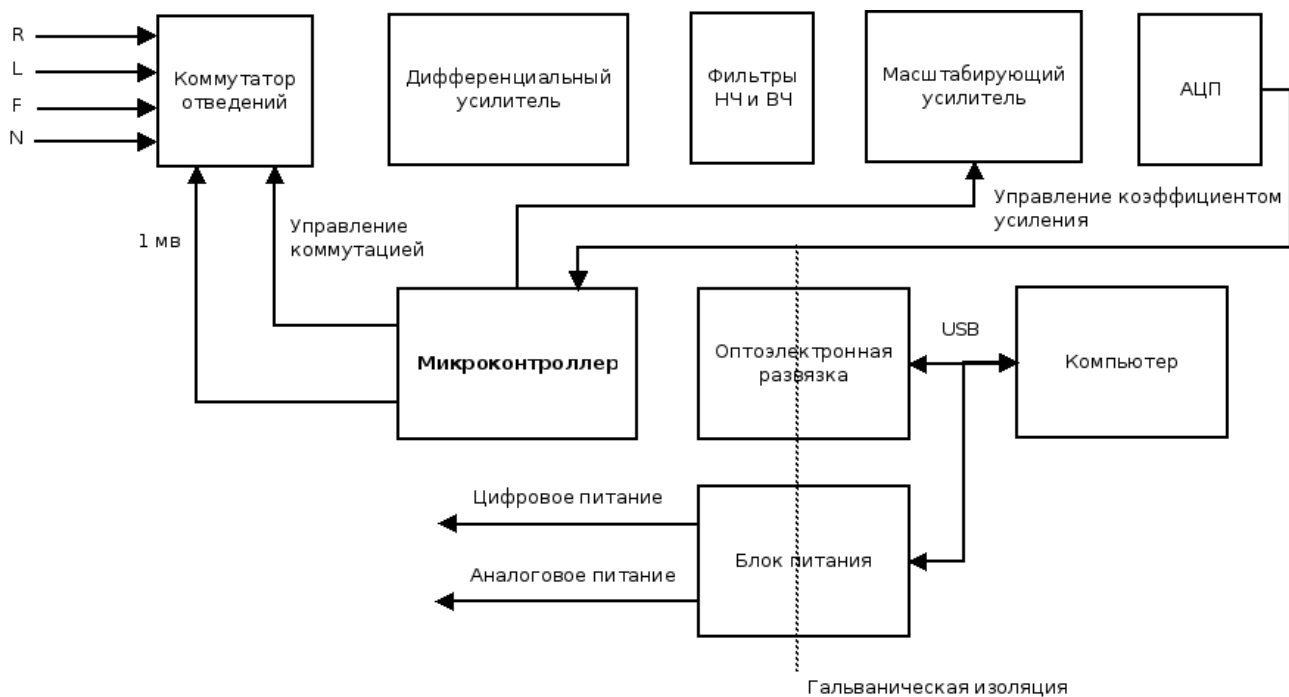


Рисунок 4 – Блок-схема кардиоусилителя «Варикард 2.51»

Цифровой код передается в ПК через оптоэлектронную развязку и далее через интерфейс USB со скоростью 115200 бод.

Чтобы сформировать кардиоинтервалограмму на основе электрокардиограммы нужно выполнить фильтрацию исходного электрокардиосигнала, распознать каждый R-зубец и сформировать кардиоинтервалограмму. Для фильтрации ЭКС может быть использована следующая формула:

$$y(n) = \left(\frac{\sum_{k=0}^{m-1} x(n-k)}{m} \right)^2 - \left(\frac{\sum_{k=0}^{m-1} x(n-m-k)}{m} \right)^2,$$

где $x(n)$ - исходный сигнал, $y(n)$ - модифицированный сигнал, $m = 1, 2, 3, \dots$ - временная задержка. На рисунке 5 приведен уже преобразованный сигнал при $m=25$. Как видно, решаются сразу две проблемы – фильтрация исходного сигнала и усиление ключевой составляющей ЭКС – R-зубцов. Остается лишь задать пороговое значение для модуля $y(n)$, превышение которого будет сигнализировать о наличии R-зубца, и по ним уже определить R-R интервалы. Модуль полученного после фильтрации сигнала позволяет наблюдать пики, соответствующие искомым R-зубцам, расстояние между соседними пиками и есть искомым кардиоинтервал (рисунок 6). Для автоматизации процесса распознавания R-зубцов, достаточно установить пороговое значение, превышение которого будет сигнализировать об обнаружении R-зубца.



Рисунок 5 – Отфильтрованный ЭКС

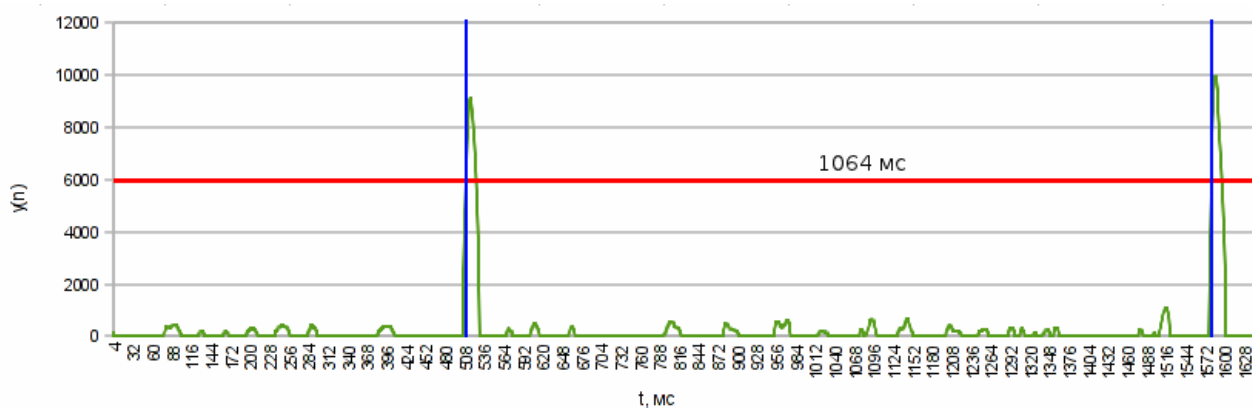


Рисунок 6 – Распознавание R-зубцов

В соответствии со стандартами Европейского Кардиологического общества и Североамериканского общества электрофизиологии, выделяют две группы методов анализа - *временные* (Time Domain Methods) и *частотные* (Frequency Domain Methods). К временным методам относятся статистический анализ и геометрические методы, к частотным - спектральный анализ. В России наибольшее применение получили следующие пять методов анализа ритма сердца: 1) статистический анализ; 2) вариационная пульсометрия (соответствует геометрическим методам по европейско-американским стандартам, 3) автокорреляционный анализ, 4) корреляционная ритмография и 5) спектральный анализ.