



**Институт медико-биологических проблем
Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова
Научно-исследовательская лаборатория «Динамика»**

**ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ВОЗМОЖНОСТИ
КЛИНИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

**Москва
Санкт-Петербург
2002 г.**

1. ВВЕДЕНИЕ

Анализ variability сердечного ритма (ВСР) является методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека и животных, в частности, общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы. Текущая активность симпатического и парасимпатического отделов является результатом многоконтурной и многоуровневой реакции системы регуляции кровообращением изменяющей во времени свои параметры для достижения оптимального для организма приспособительного ответа, которые интегральны по функции и усреднены по времени, отражают 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.

Характерной особенностью метода является его *неспецифичность* по отношению к нозологическим формам патологии и *высокая чувствительность* к самым разнообразным внутренним и внешним воздействиям. Метод основан на распознавании и измерении временных интервалов между RR-интервалами электрокардиограммы, построении динамических рядов кардиоинтервалов (кардиоинтервалограммы) и последующего анализа полученных числовых рядов различными математическими методами. Здесь простота съема информации сочетается с возможностью извлечения из получаемых данных обширной и разнообразной информации о нейрогуморальной регуляции физиологических функций и адаптационных реакциях целостного организма.

Анализ ВСР начал активно развиваться в СССР в начале 60-х годов. Одним из важных стимулов его развития послужили успехи космической медицины [1]. В 1966 году в Москве состоялся первый в мире симпозиум по variability сердечного ритма [2]. Максимальная активность исследователей, работающих в области анализа ВСР в СССР, отмечалась в конце 70-х – начале 80-х годов [3, 4]. Первые монографии по ВСР также были изданы в СССР [5, 6]. В Западной Европе и США резкий рост числа исследований по ВСР начался в последние 10 - 15 лет. В настоящее время ежегодно публикуется до нескольких сотен работ. В России после спада активности исследований в области анализа ВСР в последние годы наблюдается повышенное внимание к этому методу [7, 8]. Так, в 1996 г. состоялся международный симпозиум по ВСР в г. Ижевске [9], а в 1999 г. значительное число докладов по ВСР было представлено на состоявшемся в Москве международном симпозиуме “Компьютерная электрокардиография на рубеже столетий” [10]. Однако несмотря на это большинство российских исследователей в настоящее время пользуется опубликованными Европейским Обществом Кардиологии и Северо-Американским Электрофизиологическим Обществом стандартами измерений, физиологической интерпретации и клинического использования этого метода [11], которые совершенно не учитывают данных многолетних исследований отечественной науки. Основной задачей данной публикации является изложение современного состояния проблем анализа ВСР на основе традиций и опыта Российской (Советской) науки. Анализ значительного числа публикаций в россий-

ских журналах, материалы многочисленных конференций и симпозиумов показывают, что разработки Российских ученых в области анализа ВСР не только не отстают от зарубежных, но во многих разделах их опережают.

В настоящее время в России наметился новый этап активизации усилий ученых и практиков в отношении развития и использования методов анализа ВСР. Важной особенностью этого нового этапа является большой интерес к практическому применению новой методологии в различных областях прикладной физиологии и клинической медицины. В частности, следует упомянуть активное развитие этого метода в Саратовском НИИ кардиологии, где под руководством П.Я. Довгалевского получены важные результаты при исследовании больных с инфарктом миокарда [10]. В Воронежской медицинской академии под руководством Э.В. Минакова проводятся серьезные исследования по оценке эффективности применения методов анализа ВСР у больных с гипертонической болезнью и сахарным диабетом [10]. Серьезное внимание исследованиям ВСР уделяется в Военно-медицинской академии в С.-Петербурге [10]. В Челябинске под руководством Т.Ф. Мироновой развиваются новые подходы к использованию этого метода при различных видах аритмий и при гипертонической болезни. Выпущен первый в мире атлас ритмокадиограмм [12]. В Новокузнецке под руководством А.Н. Флейшмана на основе анализа медленноволновых колебаний сердечного ритма исследуются энергодефицитные состояния и нарушения метаболизма у больных с нейроэндокринной патологией и онкологическими заболеваниями [13]. Регулярно проводятся специальные симпозиумы, посвященные исследованию медленноволновых колебаний гемодинамики [14]. Активно развиваются исследования ВСР у детей и подростков [15, 16, 17]. Этот далеко неполный перечень проводимых в России исследований следует дополнить важным практическим аспектом проблемы, который заключается в том, что в России разработано и выпускается различными фирмами и предприятиями большое число приборов и аппаратов для анализа ВСР. Поэтому в ближайшем будущем можно ожидать активного и широкого внедрения методов анализа ВСР в России. Это требует соответствующих неотложных мер по стандартизации и регламентации использования этих методов. Следует указать, что в настоящее время по поручению Комитета по новой медицинской технике Минздрава России подготовлена к выпуску специальная инструкция к серийно выпускаемым в нашей стране приборам для анализа коротких записей ВСР.

2. НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА

Основная информация о состоянии систем, регулирующих ритм сердца, заключена в "функциях разброса" длительностей кардиоинтервалов. При этом необходимо учитывать и текущий уровень функционирования системы кровообращения. При анализе ВСР речь идет о так называемой синусовой аритмии, которая отражает сложные процессы взаимодействия различных контуров регуляции сердечного ритма. При наличии нарушений ритма, различного происхождения, требуется применение специальных методов по восстановлению стационарности изучаемого процесса или особых аналитических подходов, например, методов нелинейной динамики.

Динамический ряд кардиоинтервалов может анализироваться на основе использования различных теоретических концепций. В зависимости от научных или практических задач следует рекомендовать использование одного из следующих трех подходов:

1. Рассматривать изменения сердечного ритма в связи с адаптационной реакцией целостного организма, как проявление различных стадий общего адаптационного синдрома [18].

2. Рассматривать колебания длительностей кардиоинтервалов как результат влияния многоконтурной, иерархически организованной многоуровневой системы управления физиологическими функциями организма. Этот подход основан на положениях биологической кибернетики [19] и теории функциональных систем [20]. При этом изменения показателей variability сердечного ритма обусловлены формированием различных функциональных систем, соответствующих требуемому на данный момент результату.

3. Рассматривать изменения сердечного ритма в связи с деятельностью механизмов нейрогормональной регуляции как результат активности различных звеньев вегетативной нервной системы, модулирующих сердечную деятельность, в том числе ритм сердца [21, 22].

Теория адаптации в настоящее время является одним из фундаментальных направлений современной биологии и физиологии. Адаптационная деятельность организма человека и животных не только обеспечивает выживание и эволюционное развитие, но и повседневное приспособление к изменениям окружающей среды. Теория Г. Селье об общем адаптационном синдроме описывает фазовый характер адаптационных реакций и обосновывает ведущую роль истощения регуляторных систем при острых и хронических стрессорных воздействиях в развитии большинства патологических состояний и заболеваний [10]. Система кровообращения может рассматриваться как чувствительный индикатор адаптационных реакций целостного организма [1], а variability сердечного ритма хорошо отражает степень напряжения регуляторных систем, обусловленную возникающей в ответ на любое стрессорное воздействие активацией системы гипофиз-надпочечники и реакцией симпато-адреналовой системы.

Более детальный анализ ВСР с применением методов автокорреляционного и спектрального анализа привел к разработке подхода, основанного на положениях биологической кибернетики и теории функциональных систем. В основе этого подхода лежит представление о variability ритма сердца как о результате влияния на систему кровообращения многочисленных регуляторных механизмов (нервных, гормональных, гуморальных). Функциональная система регуляции кровообращения представляет собой многоконтурную, иерархически организованную систему, в которой доминирующая роль отдельных звеньев определяется текущими потребностями организма. Наиболее простая двухконтурная модель регуляции сердечного ритма, предложенная Р.М. Баевским [2], основывается на кибернетическом подходе, при котором система регуляции синусового узла может быть представлена в виде двух взаимосвязанных уровней (контуров): центрального и автономного с прямой и обратной связью. Усовершенствованный вариант этой модели представлен на [рис.1](#). Воздействие автономного уровня (кон-

тура) 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 сердечного ритма.

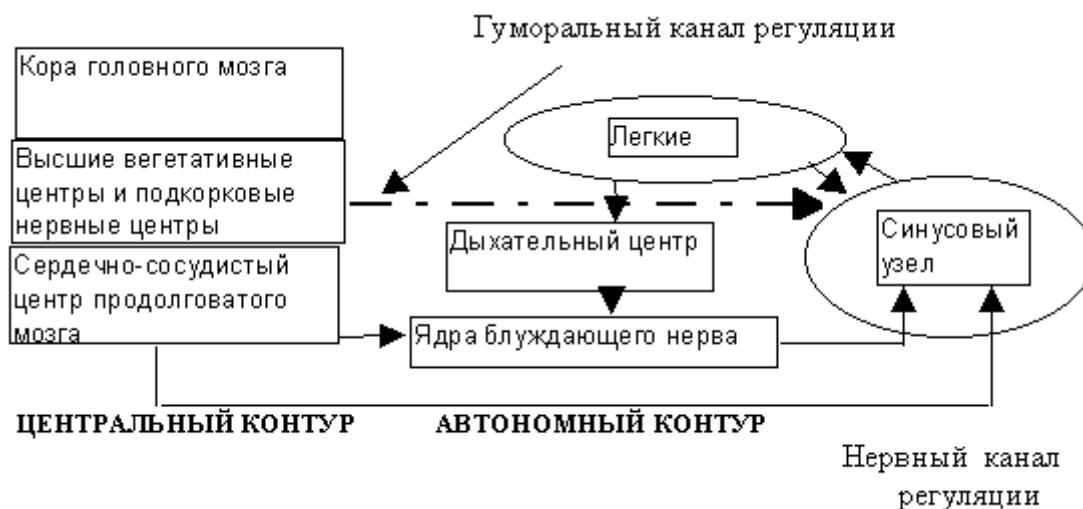


Рис.1. Схема двухконтурной модели регуляции сердечного ритма.

Деятельность центрального контура регуляции, который идентифицируется с симпатoadреналовыми влияниями на ритм сердца, связана с недыхательной синусовой аритмией и характеризуется различными медленноволновыми составляющими сердечного ритма. 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 аритмии. Дыхательные волны усиливаются во время сна, когда уменьшаются центральные влияния на автономный контур регуляции. Различные нагрузки на организм, требующие включения в процесс управления сердечным ритмом центрального контура регуляции, ведут к ослаблению дыхательного компонента синусовой аритмии и к усилению ее недыхательного компонента.

Центральный контур регуляции сердечным ритмом - 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. Структуру центрального контура 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 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 (уровень А).

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

3-й уровень 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 (уровень С).

Каждый из рассмотренных уровней управления, характеризуется определенной периодической колебаний регулируемых им показателей. Чем выше уровень управления, тем длиннее периоды колебательных процессов, что обусловлено наличием более значительного числа элементов регуляторного механизма [22]. Вариабельность сердечного ритма отражает сложную картину разнообразных управляющих влияний на систему кровообращения с интерференцией периодических компонентов разной частоты и амплитуды, нелинейным характером взаимодействия разных уровней управления.

Структура сердечного ритма включает не только колебательные компоненты в виде дыхательных и недыхательных волн, но и непериодические процессы (так называемые фрактальные компоненты). Происхождение этих компонентов сердечного ритма связывают с многоуровневым и нелинейным характером процессов регуляции сердечного ритма и наличием переходных процессов. Ритм сердца не является строго стационарным случайным процессом с эргодическими свойствами, что подразумевает повторяемость его статистических характеристик на любых произвольно взятых отрезках.

Наиболее близок и понятен физиологам и особенно, клиницистам подход к анализу вариабельности сердечного ритма, основанный на представлениях о механизмах нейрогормональной регуляции. Как известно, регуляция ритма сердца 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. К механизмам экстракардиального регулирования ритма сердца относятся:

1. механизмы кратковременного действия (барорефлексы, хеморефлексы, действие гормонов: адреналин, норадреналин, вазопресин);
2. механизмы промежуточного (по времени) действия (изменения транскапиллярного обмена, релаксация напряжения сосудов, ренин-ангиотензиновая система);

3. механизмы длительного действия (регуляция внутрисосудистого объема крови и емкости сосудов).

Влияние на ритмическую деятельность сердца вегетативной нервной системы (ВНС) принято называть модулирующим [21]. Вегетативная иннервация различных отделов сердца неоднородна и несимметрична. У человека деятельность желудочков находится в основном под контролем симпатического отдела ВНС, а предсердий и синусового узла - как под симпатическим, так и парасимпатическим влиянием. В целом, парасимпатические влияния характеризуются относительно быстрым эффектом и возвращением измененных показателей к исходному уровню, а также большей избирательностью действия.

Постоянное воздействие симпатических и парасимпатических влияний происходит на всех уровнях сегментарного отдела вегетативной нервной системы. Действительные отношения между двумя системами сегментарного отдела вегетативной нервной системы сложны. Их сущность заключается в различной степени активности одного из отделов сегментарной вегетативной системы при изменении активности другого. Это означает, что реальный ритм сердца может временами являться простой суммой симпатической и парасимпатической стимуляции, а временами – симпатическая или парасимпатическая стимуляция может сложно взаимодействовать с исходной парасимпатической или симпатической активностью. Часто при достижении полезного приспособительного результата одновременно наблюдается снижение активности в одном отделе вегетативной нервной системы и возрастание в другом. Например, возбуждение барорецепторов при повышении артериального давления приводит к снижению частоты и силы сердечных сокращений. Этот эффект обусловлен одновременным увеличением парасимпатической и снижением симпатической активности. Такой тип взаимодействия соответствует принципу “*функциональной синергии*”.

В заключение следует подчеркнуть, что изложенные выше различные подходы к анализу ВСР не только не противоречат друг другу, но и являются взаимодополняющими. Текущая активность симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы по существу является результатом системной реакции механизмов многоконтурной и многоуровневой регуляции.

3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Исследование и анализ ВСР включают три этапа:

1. измерение и представление динамических рядов кардиоинтервалов;
2. анализ динамических рядов кардиоинтервалов;
3. оценку результатов анализа ВСР.

При исследовании ВСР следует различать кратковременные (“короткие”) и долговременные (“длинные”) записи. Под последними, как правило, понимают данные, получаемые при 24-х часовом мониторинге электрокардиограммы (Холтеровское мониторирование). К так называемым “коротким” записям относят данные исследований, проводимых в течение минут, десятков минут или нескольких часов.

Динамические ряды кардиоинтервалов могут быть получены при анализе любых кардиографических записей (электрических, механических, ультразвуковых и т.д.), однако здесь мы будем рассматривать только данные анализа электрокардиосигналов.

3.1. Требования к длительности регистрации сердечного ритма.

Длительность регистрации сердечного ритма зависит от целей исследования. Так называемые “кратковременные” исследования могут иметь продолжительность от нескольких минут до нескольких часов. Например, при массовых профилактических осмотрах или при предварительных поликлинических и клинических исследованиях применяют 5-минутную регистрацию ЭКГ. При функциональных пробах длительность регистрации может колебаться от 10-15 минут до 1,5 – 2 часов. Во время хирургических операций могут потребоваться контрольные исследования в течение 3-5 часов, наконец, в реанимационных отделениях или при исследовании сна длительность непрерывной регистрации может достигать 10-12 часов. В связи с этим предлагается выделять четыре типа исследований ВСР: кратковременные (оперативные или обзорные) записи (стандартная длительность – 5 минут); записи средней длительности (до 1 часа); многочасовые записи (до 8-10 часов); суточные (24-х часовые) записи (в настоящей работе не рассматриваются). Независимо от длительности регистрации при анализе данных в качестве базовых выборок используются 5-минутные сегменты записи. При необходимости используются характеристики более длительных этапов исследования и результаты анализа этих сегментов соответствующим образом суммируются.

3.2. Методика исследования ВСР.

Исследование ВСР может быть параллельным или специализированным. В первом случае оно проводится одновременно с регистрацией ЭКГ для целей диагностики или медицинского контроля, во время Холтеровского мониторирования. Во втором случае это целенаправленное изучение ВСР с использованием специализированных систем.

Целесообразно выделять следующие виды исследований:

1. в условиях относительного покоя,
2. при проведении функциональных тестов,
3. исследования в условиях обычной деятельности или при выполнении профессиональных нагрузок,
4. в клинических условиях.

Каждый из этих видов исследований характеризуется определенными особенностями методики.

3.2.1. Исследования в условиях относительного покоя.

Регистрируется ЭКГ-сигнал в одном из стандартных (лучше II) или грудных отведениях. Продолжительность записи должна быть, как правило, не менее 5 минут. При наличии нарушений ритма лучше проводить запись не менее 10 минут. Анализ 2–3 последовательных записей по 5 минут подтверждает условия стабильности физиологического статуса. В экспериментальных и клинических исследованиях должна быть известна ЧСС для корректного сопоставления получаемых данных.

К исследованию ВСР приступают не ранее чем через 1,5-2 часа после еды, в тихой комнате, в которой поддерживается постоянная температура 20-22 градуса Цельсия. Перед исследованием обязательна отмена физиотерапевтических процедур и медикаментозного лечения, либо эти факторы должны учитываться при оценке результатов исследования. Перед началом исследования необходим период адаптации к окружающим условиям в течение 5-10 минут.

Запись ЭКГ производится в положении лежа на спине, при спокойном дыхании. Обстановка во время исследования должна быть спокойной. Исследование у женщин желательно проводить в межменструальный период, так как гормональные изменения в организме отражаются на кардиоинтервалограмме. Необходимо устранить все помехи, приводящие к эмоциональному возбуждению, не разговаривать с исследуемым и посторонними, исключить телефонные звонки и появление в кабинете других лиц, включая медработников. В период исследования ВСР пациент должен дышать, не делая глубоких вдохов, не кашлять, не сглатывать слюну.

3.2.2. Исследования при проведении функциональных тестов.

Функциональное тестирование является важной частью исследований ВСР. Основной целью при этом является оценка функциональных резервов механизмов вегетативной регуляции. В зависимости от вида функциональной нагрузки могут тестироваться различные звенья системы управления физиологическими функциями. Чувствительность и реактивность вегетативной нервной системы, ее симпатического и парасимпатического отделов при воздействии того или иного тестирующего фактора могут служить диагностическими и прогностическими критериями. Так, например, при диабетической нейропатии реакция парасимпатического звена регуляции на пробу с фиксированным темпом дыхания (6 дыханий в минуту) является одним из важнейших диагностических признаков. Наиболее часто применяемые функциональные пробы при исследовании ВСР: активная и пассивная ортостатическая проба (при необходимости клиноортостатическая

проба); с фиксированным темпом дыхания; пробы Вальсальвы и Ашнера; изометрическая нагрузочная проба и проба на велоэргометре; фармакологические пробы (с β -блокаторами, атропином и другими препаратами.); синокаротидная и психофизиологические пробы. Представленный перечень функциональных проб является неполным. Каждая из них проводится по своей специальной методике. В зависимости от вида длительность записи сердечного ритма может колебаться от нескольких минут (при пробе с фиксированным темпом дыхания) до нескольких часов (при фармакологических пробах).

Необходимо отметить следующие особенности анализа ВСР при функциональных пробах:

- Фоновая (исходная) запись должна проводиться в условиях покоя (см. выше) в течение не менее 5 минут. Для сравнения с фоновой записью должны использоваться аналогичные по длительности записи, полученные на разных этапах функциональной пробы;
- Переходный процесс при функциональных пробах должен анализироваться специальными методами (здесь эти методы не рассматриваются). При этом он должен быть выделен из записи визуально или автоматически с использованием соответствующих алгоритмов, учитывающих нестационарность и нелинейность процесса. Анализ переходных процессов может иметь самостоятельное диагностическое и прогностическое значение.
- Оценку изменений показателей ВСР при функциональных пробах следует проводить с учетом данных, полученных другими методами исследования.

3.2.3. Исследования в условиях обычной деятельности или при выполнении профессиональных нагрузок.

Применение анализа ВСР в качестве метода оценки адаптационных возможностей организма или текущего уровня стресса представляет практический интерес для различных областей прикладной физиологии, профессиональной и спортивной медицины, а также для социально-экологических исследований. Развитие донозологической диагностики сделало возможным выделение среди практически здоровых людей обширных групп лиц с высоким и очень высоким напряжением регуляторных систем, с повышенным риском срыва адаптации и появления патологических отклонений и заболеваний. Такие лица нуждаются в регулярном контроле уровня стресса и в рекомендациях по сохранению здоровья.

Проблема хронического стресса, когда имеется постоянно повышенное напряжение регуляторных систем, касается практически всего населения, но особенно важна для отдельных профессиональных групп, труд которых сопряжен с воздействием комплекса стрессорных факторов. Это, в частности, операторы компьютерных систем, диспетчеры, водители, а также бизнесмены и административно-управленческий аппарат. Анализ ВСР является адекватным методом оценки уровня стресса при их повседневной деятельности. Здесь в зависимости от цели возможно применение любого из трех типов исследований (кратковременные, средней длительности или многочасовые).

Кратковременные или оперативные исследования с длительностью записи в 5-15 минут могут проводиться в системе массовых обследований, когда необходимо оценить состояние группы людей и выделить лиц с повышенным риском

развития патологии. В таких исследованиях важными являются параллельный сбор анамнеза, учет жалоб, образа жизни и антропометрических данных, а также измерение артериального давления. Записи должны проводиться в условиях относительного покоя в положении “лежа” или “сидя”. Записи средней длительности (до 1 часа) целесообразно проводить применительно отдельным этапам деятельности. В спортивной медицине такие записи могут проводиться до и после соревнований, во время выполнения отдельных спортивных нагрузок (только стационарные участки записи). При операторской деятельности - предсменный и внутрисменный контроль. Многочасовые записи это исследования во время рабочей смены, в течение рабочего дня, а также в период ночного сна.

Анализ ВСР в записях средней длительности и многочасовых записях рекомендуется проводить, используя 5-минутные фрагменты для изучения динамики процесса адаптации. Существенное значение имеет проверка каждого анализируемого сегмента на стационарность. Участки записи, отражающие переходные процессы, должны анализироваться с применением специальных методов. При оценке результатов анализа ВСР должны учитываться условия записи, воздействующие факторы и положение исследуемого лица (лежа, сидя, в движении и т.п).

3.2.4. Исследования в клинических условиях.

Применительно к клиническим условиям также следует различать упомянутые в п. 3.1. типы исследований. Кратковременные исследования должны рассматриваться как оперативные, обзорные и предварительные. Они могут проводиться в начале и в конце лечения или же регулярно в процессе лечения для определения динамики функционального состояния пациента. Наиболее адекватны клиническим условиям записи средней длительности, которые проводятся в связи с функциональными пробами (см. п 3.2.2.). Кроме того, такие записи проводятся в связи с контролем за лечебными процедурами, например, при физиотерапевтических воздействиях. К записям средней длительности относятся также исследования в области хирургии и анестезиологии. Это как записи, проводимые непосредственно в ходе хирургических операций для контроля за адекватностью анестезии, так и контроль за состоянием больного в ближайшем послеоперационном периоде.

Многочасовые записи применяются для анализа ВСР в послеоперационном периоде и в реаниматологической практике. Здесь оценка уровня стресса и своевременное выявление перенапряжения и истощения регуляторных механизмов играет важнейшую роль для предупреждения угрожающих состояний и летальных исходов. Проводимые в неврологии и психиатрии исследования сна также являются примером многочасовых записей.

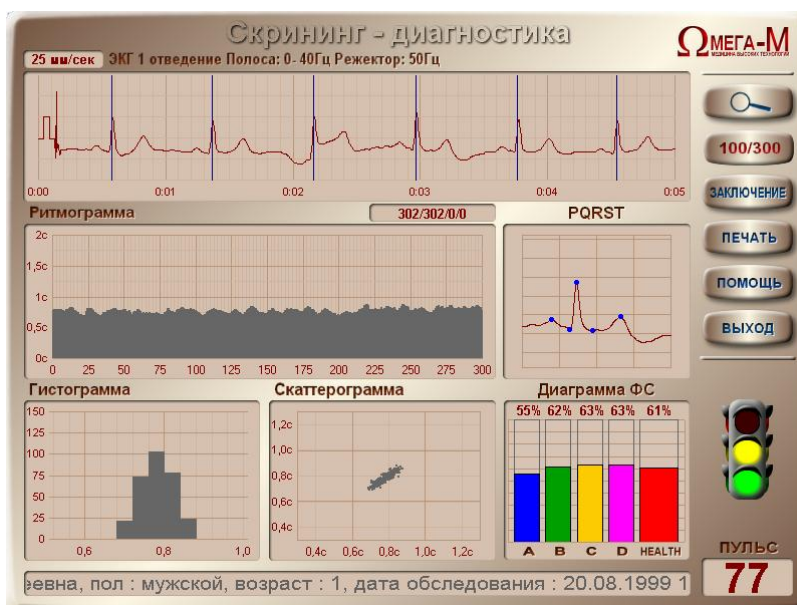
Важно подчеркнуть - особенностью анализа ВСР является, то, что врачи должны отчетливо понимать *неспецифичность* получаемых результатов и не пытаться искать показатели ВСР, присущие той или иной нозологической форме патологии. Данные анализа ВСР должны сопоставляться с остальными клиническими данными: инструментальными, биохимическими, анамнестическими показателями.

4. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Анализ ВСР основан на измерении длительностей RR-интервалов ЭКГ и на формировании динамического ряда значений, которые визуальнo отображаются в виде кардиоинтервалограммы (ритмограммы). Еще в 60-е-70-е годы Д.Жемайтите [23] была предложена методика визуального анализа ритмограмм, при которой выделяется шесть классов записей. Этот подход до сих пор не потерял своей практической значимости, особенно для оперативной оценки результатов исследования. Однако в настоящее время основное значение имеют математико-статистические методы.

Методы анализа ВСР можно разделить на три больших класса [7]:

- Исследование общей вариабельности (статистические методы и временной анализ);
- Исследование периодических составляющих ВСР (частотный анализ);
- Исследование внутренней организации динамического ряда кардиоинтервалов (методы нелинейной динамики, автокорреляционный анализ, нейродинамический и фрактальный анализ)



4.1. Статистические методы.

Эти методы применяются для непосредственной количественной оценки вариабельности сердечного ритма в исследуемый промежуток времени. При их использовании кардиоинтервалограмма рассматривается как совокупность последовательных временных промежутков – интервалов RR. Наиболее важными статистическими характеристиками динамического ряда кардиоинтервалов являются:

СКО – среднее квадратическое отклонение (выражается в мс) величин интервалов RR за весь рассматриваемый период (в зарубежных публикациях этот показатель называют SDNN - Standard Deviation, NN – означает ряд нормальных интервалов “normal to normal” с исключением экстрасистол).

SDANN - стандартное отклонение средних значений, полученных из 5 минутных сегментов при записях средней длительности, многочасовых или 24-х часовых записях. Подобным же образом могут обозначаться и стандартные отклонения средних значений других показателей.

RMSSD – квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар интервалов NN (нормальных интервалов RR).

NN50 – количество пар последовательных интервалов NN, различающихся более чем на 50 миллисекунд, полученное за весь период записи.

PNN50 (%) – процент NN50 от общего количества последовательных пар интервалов, различающихся более чем на 50 мс, полученное за весь период записи.

CV – коэффициент вариации. Он удобен для практического использования, так как представляет собой нормированную оценку дисперсии (D) и может сравниваться у лиц с различными значениями частоты пульса.

D, As, Ex - второй, третий и четвертый статистические моменты. D - это СКО в квадрате, отражает суммарную мощность всех периодических и непериодических колебаний. As – коэффициент асимметрии позволяет судить о стационарности исследуемого динамического ряда, о наличии и выраженности переходных процессов, в том числе трендов. Ex – коэффициент эксцессивности, отражает скорость (крутизну) изменения случайных нестационарных компонентов динамического ряда и наличие локальных нестационарностей

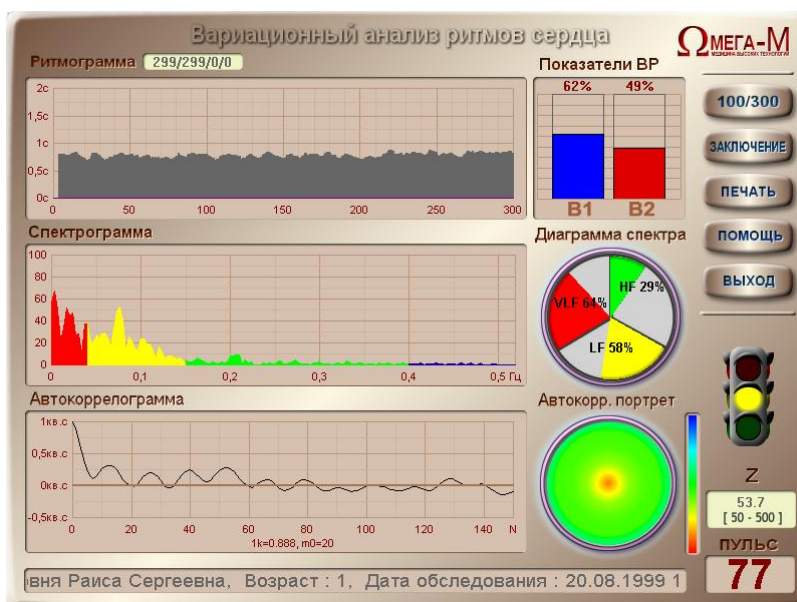
4.2. Геометрические методы.

К числу геометрических методов прежде всего относится так называемая вариационная пульсометрия. Этот метод был разработан еще в начале 60-х годов применительно к задачам космической медицины [1] и затем получил дальнейшее развитие в физиологических и клинических исследованиях [24]. Сущность вариационной пульсометрии заключается в изучении закона распределения кардиоинтервалов как случайных величин. При этом строится вариационная кривая (кривая распределения кардиоинтервалов или гистограмма) и определяются ее основные характеристики: Mo (Мода), AMo (амплитуда моды), VAR (вариационный размах). Мода – это наиболее часто встречающееся в данном динамическом ряду значение кардиоинтервала. При нормальном распределении и высокой стационарности исследуемого процесса Mo мало отличается от математического ожидания (M). AMo – это число кардиоинтервалов, соответствующих значению моды, в % к объему выборки. Вариационный размах отражает степень вариативности значений кардиоинтервалов в исследуемом динамическом ряду. Он вычисляется по разности (D - difference) максимального (Mx) и минимального (Mn) значений кардиоинтервалов и иногда обозначается как MxDMn. В западных работах этот показатель обозначается как TINN (trangular interpolation of NN intervals), поскольку вычисляется по интерполирующей кривую распределения треугольнику.

При построении гистограмм (или вариационных пульсограмм) первостепенное значение имеет выбор способа группировки данных. В многолетней практике сложился традиционный подход к группировке кардиоинтервалов в диапазоне от 0,40 до 1,30 с и интервалом в 0,05 с (50 мс). Точность вычисления 0,01 с. Таким образом, выделяются 20 фиксированных диапазонов длительностей кар-

диоинтервалов, что позволяет сравнивать вариационные пульсограммы, полученные разными исследователями. При этом объем выборки, в которой производится группировка и построение вариационной пульсограммы также стандартный – 5 минут. Другой способ построения вариационных пульсограмм заключается в том, чтобы вначале определить модальное значение кардиоинтервала, а затем, используя диапазоны по 50 мс, формировать гистограмму в обе стороны от Моды.

По данным вариационной пульсометрии вычисляется широко распространенный в России индекс напряжения регуляторных систем ($In = AMo/2 * Mo * MxDMn$).



4.3. Автокорреляционный анализ.

Вычисление и построение автокорреляционной функции динамического ряда кардиоинтервалов направлено на изучение внутренней структуры этого ряда как случайного процесса. Автокорреляционная функция представляет собой график динамики коэффициентов корреляции, получаемых при последовательном смещении анализируемого динамического ряда на одно число по отношению к своему собственному ряду. После первого сдвига на одно значение коэффициент корреляции тем меньше единицы, чем более выражены дыхательные волны. Если в исследуемой выборке доминируют медленноволновые компоненты, то коэффициент корреляции после первого сдвига будет лишь незначительно ниже единицы. Последующие сдвиги ведут к постепенному уменьшению корреляционных коэффициентов. Автокоррелограмма позволяет судить о скрытой периодичности сердечного ритма. В качестве количественных показателей автокоррелограммы вводятся K_1 – значение коэффициента корреляции после первого сдвига и M_0 – число сдвигов в результате которого значение коэффициента корреляции становится отрицательным (<0).

4.4. Корреляционная ритмография.

Сущность метода корреляционной ритмографии заключается в графическом отображении последовательных пар кардиоинтервалов (предыдущего и по-

следующего) в двумерной координатной плоскости. При этом по оси абсцисс откладывается величина $R-R_n$, а по оси ординат – величина $R-R_{n+1}$. График и область точек, полученных таким образом (пятна Пуанкаре или Лоренца), называется корреляционной ритмограммой или скаттерограммой (scatter-рассеивание). Метод был предложен в конце 60-х - начале 70-х годов [25, 26], а в конце 70-х годов был начат серийный выпуск специализированных приборов “Ритмокардиоскоп РКС-01”, которые позволяли автоматически строить на экране дисплея корреляционную ритмограмму [27]. Этот способ оценки ВСР относится к методам нелинейного анализа и является особенно полезным для случаев, когда на фоне монотонности ритма встречаются редкие и внезапные нарушения (эктопические сокращения и (или) “выпадения” отдельных сердечных сокращений).

При построении скаттерограммы образуется совокупность точек, центр которых располагается на биссектрисе. Расстояние от центра до начала осей координат соответствует наиболее ожидаемой длительности сердечного цикла (M_0). Величина отклонения точки от биссектрисы влево показывает, насколько данный сердечный цикл короче предыдущего, вправо от биссектрисы – насколько он длиннее предыдущего. Предлагается вычислять следующие показатели скаттерограммы:

- длина основного (без экстрасистол и артефактов) “облака” (длинная ось эллипса – L) соответствует вариационному размаху. По физиологическому смыслу этот показатель не отличается от $SDNN$, т.е. отражает суммарный эффект регуляции ВСР, но указывает на максимальную амплитуду колебаний длительности интервалов $R-R$;
- ширина скаттерограммы (перпендикуляр к длинной оси, проведенный через ее середину – w);
- площадь скаттерограммы вычисляется по формуле площади эллипса: $S = (\pi * L * w) / 4$.

Нормальная форма скаттерограммы представляет собой эллипс, вытянутый вдоль биссектрисы. Именно такое расположение эллипса означает, что к дыхательной прибавлена некоторая величина недыхательной аритмии. Форма скаттерограммы в виде круга означает отсутствие недыхательных компонентов аритмии. Узкий овал соответствует преобладанию недыхательных компонентов в общей вариабельности ритма, которая определяется длиной “облака”. Длина овала хорошо коррелирует с величиной HF , а ширина с LF (см. ниже). При аритмиях, когда методы статистического и спектрального анализа вариабельности сердечного ритма малоинформативны или неприемлемы, целесообразно использовать оценку корреляционной ритмограммы (скаттерограммы).

4.5. Спектральные методы анализа ВСР.

Спектральные методы анализа ВСР получили в настоящее время очень широкое распространение. Однако методические основы спектрального анализа сердечного ритма были разработаны в СССР в конце 60-х годов [28]. Анализ спектральной плотности мощности колебаний дает информацию о распределении мощности в зависимости от частоты колебаний. Применение спектрального анализа позволяет количественно оценить различные частотные составляющие колебаний ритма сердца и наглядно графически представить соотношения разных

компонентов сердечного ритма, отражающих активность определенных звеньев регуляторного механизма. Различают параметрические и непараметрические методы спектрального анализа. К первым относится авторегрессионный анализ, ко вторым - быстрое преобразование Фурье (БПФ) и периодограммный анализ. Обе эти группы методов дают сравнимые результаты.

Параметрические и, в частности, авторегрессионные, методы требуют соответствия анализируемого объекта определенным моделям. Общим для всех классических методов спектрального анализа является вопрос применения функции окна (Windowing). Основное назначение окна - уменьшение величины смещения в периодограммных спектральных оценках. Существуют определенные различия спектрального оценивания данных при использовании периодограммного метода с равномерным окном (при 256 значениях RR) и применении различных уровней межсегментного сдвига и различного числа отсчетов на сегмент. Увеличение разрешения при возрастании межсегментного сдвига и числа отсчетов на сегмент влечет за собой появление массы дополнительных пиков в спектре и увеличение амплитуды пиков в правой половине спектра.

При спектральном анализе ВСР важное значение имеет длительность анализируемой выборки. При коротких записях (5 минут) выделяют три главных спектральных компоненты. Эти компоненты соответствуют диапазонам дыхательных волн и медленных волн 1-го и 2-го порядка. В западной литературе соответствующие спектральные компоненты получили названия высокочастотных (High Frequency – HF), низкочастотных (Low Frequency – LF) и очень низкочастотных (Very Low Frequency – VLF).

Частотные диапазоны каждого из трех вышеуказанных спектральных компонента являются дискуссионными. Согласно западным стандартам [9] предлагаются следующие диапазоны частот: высокочастотный диапазон (дыхательные волны) - 0,4–0,15 Гц (2,5 – 6,5 сек); низкочастотный диапазон (медленные волны 1-го порядка) – 0,15–0,04 Гц (6,5 – 25 сек); очень низкочастотный диапазон (медленные волны 2-го порядка) – 0,04 –0,003 Гц (25 - 333 сек). При анализе длительных записей выделяют также и ультра низкочастотный компонент – Ultra Low Frequency (ULF) с частотами выше 0,003 Гц.

Опыт российских исследований и результаты исследований, проведенных многими зарубежными авторами, показывают необходимость коррекции этих рекомендаций. Это относится главным образом к диапазону VLF. Предлагается следующая скорректированная схема частотных диапазонов при спектральном анализе ВСР.

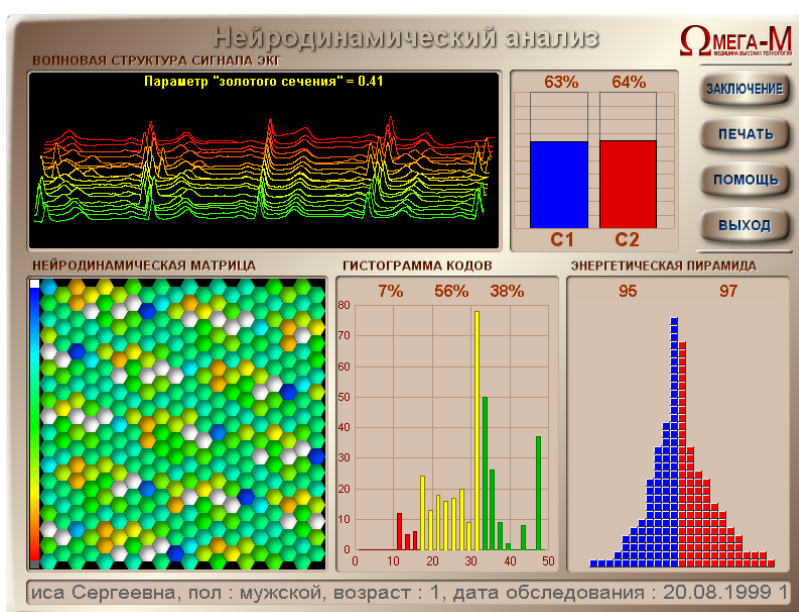
Наименования компонентов спектра	Частотный диапазон в герцах	Период в секундах
HF	0,4 - 0,15	2 - 6,6
LF	0,15 - 0,04	6,6 – 20
VLF	0,04 - 0,015	25 – 66
ULF	Меньше 0,015	Больше 66

При спектральном анализе обычно для каждого из компонентов вычисляют абсолютную суммарную мощность в диапазоне, среднюю мощность в диапазоне, значение максимальной гармоники и относительное значение в процентах от суммарной мощности во всех диапазонах (Total Power - TP). При этом TP определяется как сумма мощностей в диапазонах HF, LF и VLF. По данным спектрального анализа сердечного ритма вычисляются следующие производные показатели: индекс централизации – ИЦ (Index of Centralization, $IC = (HF+LF)/VLF$) и индекс вагосимпатического взаимодействия LF/HF.

4.6. Другие методы анализа ВСР.

Цифровая фильтрация. Методы цифровой фильтрации предназначены для быстрого анализа коротких участков записи ЭКГ (менее 5 мин) и позволяют дать количественную оценку периодических компонентов ВСР. Метод был впервые использован в 1965 году для анализа результатов исследований в космическом полете [6, 7]. Предложено несколько вариантов цифровой фильтрации. Например, это скользящее усреднение по определенному числу последовательных кардиоинтервалов. Для определения медленных волн 1-го порядка применяют усреднение по 5 или 9 кардиоинтервалам. Для выделения медленных волн 2-го порядка – усреднение по 23 или 25 кардиоинтервалам.

Методы нелинейной динамики. Многообразные влияния на ВСР, включая нейрогуморальные механизмы высших вегетативных центров, обуславливают нелинейный характер изменений сердечного ритма для описания которого требуется использование специальных методов. Для описания нелинейных свойств вариабельности применялись сечение Пуанкаре, кластерный спектральный анализ, графики аттрактора, сингулярное разложение, экспонента Ляпунова, энтропия Холмогорова и др. [29]. Все эти методы в настоящее время представляют лишь исследовательский интерес и их практическое применение ограничено.



5. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНО-ГО РИТМА

Для исследователей и клиницистов, использующих метод анализа ВСР ведущее значение имеет физиологическая и клиническая интерпретация получаемых результатов. Многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов дают обширный материал для оценки наблюдаемых изменений показателей ВСР. В зависимости от принятой авторами научно-теоретической концепции эти изменения могут характеризовать степень напряжения регуляторных механизмов при стрессорных воздействиях, либо отражать связь наблюдаемых изменений с тонусом различных отделов вегетативной нервной системы, состоянием сосудистого центра и высших вегетативных центров и т.д. Специального внимания требует оценка результатов проведения функциональных проб, так как их использование имеет серьезные преимущества, поскольку позволяет минимизировать индивидуальные различия и оценить направленность изменений, а не оперировать абсолютными значениями параметров.

Клинико-физиологическая интерпретация показателей ВСР является наиболее ответственной частью исследований, но ее стандартизация на данном этапе практически невозможна, поскольку, во-первых, представления и оценки различных авторов нередко противоречивы, во-вторых, в настоящее время еще продолжается активное накопление все новых экспериментальных и клинических материалов. Вместе с тем, мы считаем целесообразным дать краткий обзор наиболее часто используемых показателей ВСР и высказать некоторые соображения относительно их клинико-физиологической оценки. Это могло бы быть полезно для начинающих специалистов, а также послужить основой для выработки общих представлений о значимости исследований ВСР в различных областях физиологии и клинике.

Рассмотрим семь основных показателей ВСР, наиболее часто используемых отечественными авторами.

1) СРЕДНЕЕ КВАДРАТИЧНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ (СКО, SD) Вычисление СКО является наиболее простой процедурой статистического анализа ВСР. Значения СКО выражаются в миллисекундах (мс). В коротких 5-минутных записях нормальные значения СКО в дневное время находятся в пределах 40-80 мс. Однако, эти значения имеют возрастно-половые особенности, которые должны учитываться при оценке результатов исследования. Наиболее достоверной является оценка изменений величины показателя либо по сравнению с его среднегрупповым значением, либо в динамике индивидуальных наблюдений. Рост СКО указывает на усиление автономной регуляции, т.е. рост влияния дыхания на ритм сердца, что нередко наблюдается во сне. Уменьшение СКО связано с усилением симпатической регуляции, которая подавляет активность автономного контура. Резкое снижение СКО обусловлено значительным напряжением регуляторных систем, когда в процесс регуляции включаются высшие уровни управления, что ведет к почти полному подавлению активности автономного контура. Информацию по физиологическому смыслу аналогичную СКО можно получить по показателю суммарной мощности спектра - TP. Этот показатель отличается тем, что характеризует только периодические процессы в ритме сердца и не содержит так назы-

ваемой фрактальной части процесса, т.е. нелинейных и непериодических компонентов.

2) **RMSSD** - показатель активности парасимпатического звена вегетативной регуляции. Этот показатель вычисляется по динамическому ряду разностей значений последовательных пар кардиоинтервалов и не содержит медленноволновых составляющих сердечного ритма. Он отражает активность автономного контура регуляции, которая характеризуется высокочастотными колебаниями. Чем выше значение **RMSSD**, тем активнее звено парасимпатической регуляции. В норме значения этого показателя находятся в пределах 20-50 мс. Сходную информацию можно получить по показателю **pNN50**. Он выражает в % число разностных значений, которые больше чем 50 мс.

3) **ИНДЕКС НАПРЯЖЕНИЯ РЕГУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ (ИН)** характеризует активность механизмов симпатической регуляции, состояние центрального контура регуляции. Этот показатель вычисляется на основании анализа графика распределения кардиоинтервалов – вариационной пульсограммы. Активация центрального контура, усиление симпатической регуляции во время психических или физических нагрузок проявляется стабилизацией ритма, уменьшением разброса длительностей кардиоинтервалов, увеличением количества однотипных по длительности интервалов (рост **АМо**). Форма гистограмм изменяется, происходит ее сужение с одновременным ростом высоты. Количественно это может быть выражено отношением высоты гистограммы к ее ширине. Этот показатель получил название индекса напряжения регуляторных систем (**ИН**). В норме **ИН** колеблется в пределах 80-150 условных единиц. Этот показатель чрезвычайно чувствителен к усилению тонуса симпатической нервной системы. Небольшая нагрузка (физическая или эмоциональная) увеличивают **ИН** в 1,5-2 раза. При значительных нагрузках он растет в 5-10 раз. У больных с постоянным напряжением регуляторных систем (психический стресс, стенокардия, недостаточность кровообращения) **ИН** в покое равен 400-600 условных единиц. У больных острым инфарктом миокарда **ИН** в покое достигает 1000-1200 единиц.

4) **МОЩНОСТЬ ВЫСОКОЧАСТОНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СПЕКТРА (ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ВОЛНЫ)**. Активность симпатического отдела вегетативной нервной системы, как одного из компонентов вегетативного баланса, можно оценить по степени торможения активности автономного контура регуляции, за который ответственен парасимпатический отдел. Вагусная активность является основной составляющей **ВЧ** компонента спектра [30, 31]. Это хорошо отражает показатель мощности дыхательных волн сердечного ритма в абсолютных цифрах и в виде относительной величины (в % от суммарной мощности спектра). Обычно абсолютная величина дыхательной составляющей спектра (**HF**) равна около 1000 миллисекунд в квадрате. Она составляет 15-25% суммарной мощности спектра. Снижение этой доли до 8-10% указывает на смещение вегетативного баланса в сторону преобладания симпатического отдела. Если же величина **HF** падает ниже 2-3% то можно говорить о резком преобладании симпатической активности. В этом случае существенно уменьшаются также показатели **RMSSD** и **pNN50**.

5) **МОЩНОСТЬ НИЗКОЧАСТОТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СПЕКТРА (МЕДЛЕННЫЕ ВОЛНЫ 1-ГО ПОРЯДКА ИЛИ ВАЗОМОТОРНЫЕ ВОЛНЫ)**. Хотя западные исследователи во многих публикациях считают этот показатель

(LF) маркером симпатической модуляции сердечного ритма [32], имеется множество аргументов в пользу того, что медленные волны 1-го порядка с периодом 10-20 секунд характеризует состояние системы регуляции сосудистого тонуса. Прежде всего это наличие аналогичных им волн Траубе-Геринга, наблюдаемых при плетизмографических исследованиях. Б. Сайерс [33] предложил модель регуляции артериального давления, в которой под влиянием афферентной сосудистой импульсации в стволе мозга формируются сигналы управления гладкой мускулатурой сосудов. При этом производные от артериального давления изменения общего периферического сопротивления и ударного объема оказывают влияние на афферентную импульсацию через барорецепторные зоны аорты. Этот процесс контроля сосудистого тонуса с обратной связью на гладкомышечные волокна сосудов осуществляется вазомоторным центром продолговатого мозга постоянно. Время, необходимое вазомоторному центру на операции приема, обработки и передачи информации колеблется от 7 до 20 секунд; в среднем оно равно 10 секундам. Как известно, вазомоторный (сосудистый) центр, наряду с ингибиторным и стимулирующим симпатическими центрами, является частью модуляторного сердечно-сосудистого подкоркового центра [34]. Мощность медленных волн 1-го порядка определяет активность вазомоторного центра и, по-видимому, мощность медленных волн 2-го порядка связана с активностью симпатических центров, контролируемых более высокими уровнями регуляции. Как известно, переход из положения "лежа" в положение "стоя" ведет к значительному увеличению медленных волн 1-го порядка. У лиц пожилого возраста этот эффект практически отсутствует, поскольку активность вазомоторного центра падает с возрастом. Вместо медленных волн 1-го порядка у пожилых людей увеличивается мощность медленных волн 2-го порядка. Это означает, что процесс регуляции артериального давления осуществляется при участии неспецифических механизмов путем активации симпатического отдела вегетативной нервной системы. Обычно в норме доля вазомоторных волн в положении "лежа" составляет от 15 до 35-40%, а при переходе в положение "стоя" может увеличиваться в 1,5-2 раза. Следует упомянуть также о показателе доминирующей частоты в диапазоне вазомоторных волн. Обычно он находится в пределах 10-12 секунд. Его увеличение до 13-14 секунд может указывать на снижение активности вазомоторного центра или на замедление процессов барорефлекторной регуляции.

6) **МОЩНОСТЬ "ОЧЕНЬ" НИЗКОЧАСТОТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СПЕКТРА - VLF (МЕДЛЕННЫЕ ВОЛНЫ 2-ГО ПОРЯДКА)**. Спектральная составляющая сердечного ритма в диапазоне 0,04-0,015 Гц (25-65 с), по мнению многих зарубежных авторов, характеризует активность симпатического отдела вегетативной нервной системы. Однако в данном случае речь идет о более сложных влияниях со стороны надсегментарного уровня регуляции, поскольку амплитуда VLF тесно связана с психоэмоциональным напряжением. Показано, что значения VLF отражают церебральные эрготропные влияния на нижележащие уровни и позволяют судить о функциональном состоянии мозга при психогенной и органической патологии мозга [34]. Есть данные, что VLF является чувствительным индикатором управления метаболическими процессами и хорошо отражает энергодефицитные состояния [13]. Таким образом, параметры VLF характеризуют влияние высших вегетативных центров на сердечно-сосудистый подкорковый

центр и могут использоваться как надежный маркер степени связи автономных (сегментарных) уровней регуляции кровообращения с надсегментарными, в том числе с гипофизарно-гипоталамическим и корковым уровнем. В норме в условиях покоя мощность VLF составляет 15-35% суммарной мощности спектра.

7) КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ПАРС. Комплексная оценка вариабельности сердечного ритма предусматривает диагностику функциональных состояний (но не заболеваний). Изменения вегетативного баланса в виде активации симпатического звена рассматриваются как неспецифический компонент адаптационной реакции в ответ на различные стрессорные воздействия. Одним из методов оценки таких реакций является вычисление показателя активности регуляторных систем (ПАРС). Он вычисляется в баллах по специальному алгоритму, учитывающему статистические показатели, показатели гистограммы и данные спектрального анализа кардиоинтервалов. ПАРС позволяет дифференцировать различные степени напряжения регуляторных систем и оценивать адаптационные возможности организма [7, 35]. Вычисление ПАРС осуществляется по алгоритму, учитывающему следующие пять критериев:

А. Суммарный эффект регуляции по показателям частоты пульса (ЧП).

Б. Суммарная активность регуляторных механизмов по среднему квадратичному отклонению - SD (или по суммарной мощности спектра - TP).

В. Вегетативный баланс по комплексу показателей: ИН, RMSSD, HF, IC.

Г. Активность вазомоторного центра, регулирующего сосудистый тонус, по мощности спектра медленных волн 1-го порядка (LF).

Д. Активность сердечно-сосудистого подкоркового нервного центра или надсегментарных уровней регуляции по мощности спектра медленных волн 2-го порядка (VLF).

Значения ПАРС выражаются в баллах от 1 до 10. На основании анализа значений ПАРС могут быть диагностированы следующие функциональные состояния:

1. Состояние оптимального (рабочего) напряжения регуляторных систем, необходимое для поддержания активного равновесия организма со средой (норма, ПАРС = 1-2).

2. Состояние умеренного напряжения регуляторных систем, когда для адаптации к условиям окружающей среды организму требуются дополнительные функциональные резервы. Такие состояния возникают в процессе адаптации к трудовой деятельности, при эмоциональном стрессе или при воздействии неблагоприятных экологических факторов (ПАРС = 3-4).

3. Состояние выраженного напряжения регуляторных систем, которое связано с активной мобилизацией защитных механизмов, в том числе повышением активности симпатико-адреналовой системы и системы гипофиз-надпочечники (ПАРС = 4-6).

4. Состояние перенапряжения регуляторных систем, для которого характерна недостаточность защитно-приспособительных механизмов, их неспособность обеспечить адекватную реакцию организма на воздействие факторов окружающей среды. Здесь избыточная активация регуляторных систем уже не подкрепляется соответствующими функциональными резервами (ПАРС = 6-8).

5. Состояние истощения (астенизации) регуляторных систем, при котором активность управляющих механизмов снижается (недостаточность механизмов регуляции) и появляются характерные признаки патологии. Здесь специфические изменения отчетливо преобладают над неспецифическими (ПАРС = 8-10).

При оценке значений ПАРС условно выделяются три зоны функциональных состояний для наглядности представленных в виде “светофора”: ЗЕЛЕНЫЙ - означает, что все в порядке, не требуется никаких специальных мероприятий по профилактике и лечению. ЖЕЛТЫЙ - указывает на необходимость проведения оздоровительных и профилактических мероприятий. Наконец, КРАСНЫЙ показывает, что требуется диагностика, а затем и лечение возможных заболеваний.

Выделение зеленой, желтой и красной “зон здоровья” позволяет характеризовать функциональное состояние человека с точки зрения риска развития болезни. Для каждой ступени “лестницы состояний” предусмотрен “диагноз” функционального состояния по степени выраженности напряжения регуляторных систем. Кроме того, имеется возможность отнесения обследуемого к одному из 4-х функциональных состояний по принятой в донозологической диагностике классификации [36]: состояние нормы или удовлетворительной адаптации, функционального напряжения, перенапряжения или состояние неудовлетворительной адаптации, истощения регуляторных систем или срыв адаптации.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование и анализ ВСР является современной методологией изучения состояния механизмов регуляции физиологических функций у человека. Сердце как индикатор адаптационных реакций всего организма “отзывается” на самые разнообразные внутренние и внешние воздействия. Несмотря на неспецифический характер наблюдаемых изменений ВСР они дают физиологам и клиницистам важную информацию о состоянии вегетативной нервной системы и других уровней нейрогормональной регуляции. К настоящему времени уже сложился перечень показаний к применению методов анализа ВСР (табл. 1). Однако, представленный перечень следует рассматривать как сугубо ориентировочный, поскольку с каждым годом растет интерес к использованию методов анализа ВСР во все новых областях науки и практики. Простота и доступность метода, его высокая информативность по мере развития средств вычислительной техники будут несомненно расширять сферу его применения.

На современном этапе практического использования методов анализа ВСР представленные выше подходы к принципам физиологической и клинической интерпретации данных позволяют эффективно решать многие задачи диагностического и прогностического профиля, оценки функциональных состояний, контроля за эффективностью лечебно-профилактических воздействий и т.п. Однако возможности этой методологии далеко не исчерпаны и ее развитие продолжается. Ниже дается краткий перечень некоторых направлений дальнейшего развития методов анализа ВСР, которые разрабатываются главным образом в России. К их числу относятся:

1. Изучение медленных волн 2-го порядка (VLF) и ультрамедленноволновых компонентов спектра сердечного ритма (ULF) - колебаний на частотах ниже 0,01 гц (100 с.), включая минутные и часовые волны (ультрадианные ритмы).

2. Разработка новых методологий анализа ВСР. Это относится, в частности, к дальнейшему развитию методики вариационной пульсометрии, например, применительно к очень коротким выборкам. Несомненно перспективно изучение кросс-корреляционных отношений variability одновременно нескольких физиологических параметров.

3. Использование variability сердечного ритма для оценки уровня стресса, степени напряжения регуляторных систем в условиях повседневной жизни и в производственных условиях, применение методов анализа ВСР в системах медикосоциального скрининга здоровья населения.

4. Исследование variability сердечного ритма у детей и подростков, включая влияние школьных нагрузок и половозрастные аспекты.

5. Использование методов анализа variability сердечного ритма для оценки состояния человека оператора в различных областях трудовой деятельности.

6. Развитие клинических направлений использования метода: в хирургии - контроль анестезии, в неврологии- дифференциальная оценка морфологических и функциональных поражений, в онкологии - попытки оценки степени метаболических нарушений и др.

7. Разработка и организация промышленного выпуска различных приборов, аппаратов и автоматизированных систем для анализа ВСР с целью их практического использования в практике здравоохранения и в научных исследованиях.

В заключение важно еще раз отметить, что в данной публикации рассматривались только аспекты использования так называемых коротких записей сердечного ритма (от нескольких минут до нескольких часов). Методология исследований и принципы анализа таких записей существенно отличаются от более сложных подходов при уже получившем широкое распространение анализе variability 24-х часовых записей. Безусловно, данные суточного мониторинга сердечного ритма позволяют более глубоко и всесторонне оценить состояние механизмов нейроэндокринной регуляции и всей сложнейшей многоуровневой системы управления физиологическими функциями. Однако неоспоримым преимуществом коротких записей является более широкий диапазон использования метода, простота аппаратного и программного обеспечения исследований, возможность оперативного получения результатов. Все это определяет перспективность самого широкого распространения методов анализа ВСР в прикладной физиологии, профилактической медицине и клинической практике.

Таблица 1. Перечень показаний к применению методов ВСР

1. Оценка вегетативной регуляции ритма сердца у здоровых людей и у пациентов с различными заболеваниями (фона вегетативной регуляции, вегетативной реактивности, вегетативного обеспечения деятельности).

2. Оценка функционального состояния регуляторных систем организма.

3. Диагностика диабетической нейропатии.
4. Прогноз риска внезапной смерти и фатальных аритмий при инфаркте миокарда и ИБС, у больных с желудочковыми нарушениями ритма, при хронической сердечной недостаточности, обусловленной артериальной гипертензией, кардиомиопатией.
5. Выделение групп риска по развитию угрожающей жизни повышенной стабильности сердечного ритма.
6. Использование в качестве контрольного метода при проведении функциональных проб.
7. Оценка эффективности лечебно-профилактических и оздоровительных мероприятий.
8. Оценка уровня стресса, степени напряжения регуляторных систем при экстремальных и субэкстремальных воздействиях на организм.
9. Оценка функционального состояния человека-оператора.
10. Использование в качестве метода оценки функциональных состояний при массовых профилактических (донозологических) обследованиях разных контингентов населения; прогнозирование функционального состояния (устойчивости организма) при профотборе и определение профпригодности.
11. Интраоперационный мониторинг ВРС с целью объективизации выраженности операционного стресса и контроля адекватности анестезии.
12. Объективизация реакций вегетативной нервной системы при воздействии на организм электромагнитных полей, интоксикаций и других патогенных факторов.
13. Выбор оптимальной медикаментозной терапии с учетом фона вегетативной регуляции сердца.
14. Контроль эффективности проводимой терапии и коррекция дозы препаратов.
15. Оценка эффективности лечебно-профилактических и оздоровительных мероприятий.

7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Парин В.В., Баевский Р.М., Волков Ю.Н., Газенко О.Г.* Космическая кардиология. Л.: Медицина, 1967. С.206.
2. Математические методы анализа сердечного ритма. Под ред. Парина В.В. и Баевского Р.М.. М.: Наука, 1968.
3. *Воробьев В.И.* Исследование математико-статистических характеристик сердечного ритма как метод оценки реакции лиц разного возраста на мышечную нагрузку. Дис. канд. биолог. наук. М.: ИМБП, 1978. 178 с.
4. *Клецкин С.З.* Проблема контроля и оценки операционного стресса (на основе анализа ритма сердца с помощью ЭВМ). Дис. докт. мед наук. М.: Ин-т серд.сосуд.хирургии АМН СССР, М., 1981. 298 с.
5. *Воскресенский А.Д., Вентцель М.Д.* Статистический анализ сердечного ритма и показателей гемодинамики в физиологических исследованиях. М.: Наука.1974. С.221.

6. *Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З.* Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984. С.220.
7. *Рябыкина Г.В., Соболев А.В.* Анализ вариабельности ритма сердца. // Кардиология. 1996. №10. С.87 – 97.
8. *Явелов И.С., Грацианский Н.А., Зуйков Ю.А.* Вариабельность ритма сердца при острых коронарных синдромах: Значение для оценки и прогноза заболеваний. //Кардиология. 1997. №2. С.61 - 67.
9. Вариабельность сердечного ритма. Теоретические аспекты и практическое применение. Тезисы международного симпозиума 12-14 сентября 1996 г. Ижевск. 1996. С.225.
10. Компьютерная электрокардиография на рубеже столетий. Международный симпозиум. Москва 27-30 апреля 1999 г. Тезисы докладов. М., 1999. С.320
11. Heart rate variability. Standatds of Measurement, Physiological interpretation and clinical use.// Circulation. 1996.V.93,P.1043-1065.
12. *Миронова Т.В., Миронов В.А.* Клинический анализ волновой структуры синусового ритма сердца (Введение в ритмокардиографию и атлас ритмокардиограмм). Челябинск. 1998. С.162.
13. *Флейшман А.Н.* Медленные колебания гемодинамики. Новосибирск. 1999.С.264.
14. Медленные колебательные процессы в организме человека: Теория и практическое применение в клинической медицине и профилактике. Сборник научных трудов симпозиума 27-29 мая 1997 г. Новокузнецк. 1997.С. 194.
15. *Шлык Н.И.* Сердечный ритм и центральная гемодинамика при физической активности у детей. Ижевск. 1991. С 417.
16. *Безруких М.М.* Регуляция хронотропной функции у школьников 1-4 классов в процессе учебных занятий. Возрастные особенности физиологических систем у детей и подростков. М.1981. С.249-254.
17. *Берсенева И.А.* Оценка адаптационных возможностей организма у школьников на основе анализа вариабельности сердечного ритма в покое и при ортостатической пробе. Дис. канд. биол. наук. М., Российский Университет дружбы народов, 2000. 135 с.
18. *Селье Г.* Очерки об адаптационном синдроме. Пер. с англ. М.: Медгиз, 1960. С.275.
19. *Парин В.В., Баевский Р.М.* введение в медицинскую кибернетику. М.: Медицина, 1966. С.220.
20. *Анохин П.К.* Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. Принципы системной организации функций. М.: Наука, 1973. С.5-61.
21. *Malik M., Camm A.J.* Components of heart rate variability. What they really mean and what we really measure. //Am. J. Cardiol. 1993.V.72. P.821-822.
22. *Pagani M., Lombardi F., Guzzetti S et. al.* Ppower spectral analysis of heart rate and arterial pressure variability as a marker of supatho-vagal interaction in man and conscious dog. //Circ.Res. 1986. V.59. P. 178-193.
23. *Жемайтите Д.И.* Возможности клинического применения и автоматического анализа ритмограмм. Дис. докт. мед. наук. Каунас. Мед.ин-т, 1972. 285 с.

24. *Баевский Р.М.* Кибернетический анализ процессов управления сердечным ритмом. Актуальные проблемы физиологии и патологии кровообращения. М.: Медицина.1976. С. 161 -175.
25. *Hoopen M., Bongearis J.* The scatergram.// J. Cardiovasc. Res. 1969. V.3. 218 – 226.
26. *Власов Ю.А., Яшков В.Г., Якименко А.В. и др.* Метод последовательного парного анализа ритма сердца по интервалам RR. //Радиоэлектроника, физика и математика в биологии и медицине. Новосибирск. 1971. С.9-14.
27. *Земцовский Э.В., Барановский А.Л., Васильев А.В.* Новый метод регистрации сердечного ритма у спортсменов.// Теор. и практ. физ. культ., 1977.№6. С.72-75.
28. *Нидеккер И.Г.* Выявление скрытых периодичностей методом спектрального анализа. Дис. канд.физ-мат. наук. М.: ВЦ АН СССР, 1968. 131 с.
29. *Babloyantz A., Destexhe A.* Is the normal heart a periodic oscillator? //Biol. Cybern.1988, V.58. P.203-211.
30. *Akselrod S., Gordon D., Ubel F.A. et al.* Power spectrum analysis of heart fluctuation: a quantitative probe of beat to beat cardiovascular control. //Science, 1981.V.213. P.220-222.
31. *Pomeranz M.,Macaulay R.J.B., Caudill M.A.* Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. //Am. J. Physiol. 1985.V.246. P.151-153.
32. *Malliani A., Lombardi F., Pagani M.* Power spectral analysis of heart rate variability: atool to explore neural regulatory mechanisms. //Br. heart J.. 1994. V.71. P.1-2.
33. *Sayers B.M.* Analysis of heart rate variability. //Ergonomics 1973. V.16 N1. P.17-32.
34. *Хаспекова Н. Б.* Регуляция вариативности ритма сердца у здоровых и больных с психогенной и органической патологией мозга. Дис. докт.мед.наук. М., Ин-т ВНД,1996. 236 с.
35. *Баевский Р.М.* Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М.: Медицина. 1979. С.295.
36. *Баевский Р.М., Берсенева А.П.* Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина. 1997. С. 265.
37. *Баевский Р.М., Семенов Ю.Н., Черникова А.Г.* Анализ variability сердечного ритма с помощью комплекса “Варикард” и проблема распознавания функциональных состояний. Хронобиологические аспекты артериальной гипертензии в практике врачебно-летной экспертизы. М.. 2000.С. 167 –178

