

КОРОЛЕВСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА
Русскоязычная электронная версия

АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНЫХ РИТМОВ

Анализ вариабельности сердечных ритмов (**ВСР**) во временной области (получение статистических оценок выборки **NN**-интервалов и диагностических показателей вычисляемых на этой основе) производится для выборки фиксированного объема, а также методом скользящей выборки, что может быть использовано, например, для целей слежения за изменением показателей **ВСР** в реальном времени.

Анализ **ВСР** в частотной области (спектральный анализ) производится для фиксированной по длительности «короткой» (5 минут) выборки данных.

В результате анализа **ВСР** вычисляются следующие показатели.

Статистические оценки выборки **NN**-интервалов:

- **Мода (Mo)** - это наиболее часто встречающееся значение **NN**. Она указывает на доминирующий уровень функционирования синусного узла. При симпатотонии мода минимальна, при ваготонии – максимальна. В норме значение моды колеблется от 0,7 до 0,9мс. **Mo** распределения длительностей **NN**-интервалов, наиболее часто встречаемое значение длительности среди **NN**-интервалов в анализируемой выборке.
- **Амплитуда моды (AMo)** - отношение количества **NN** интервалов со значениями равными **Mo** к общему количеству **NN** интервалов в процентах. Данный показатель отражает степень ригидности ритма. Его нормальные значения равны 30-50%. Увеличение **AMo** будет свидетельствовать о преобладании симпатических влияний на синусный узел и значительность ригидности ритма. При вагидности данный показатель имеет тенденцию к уменьшению.
- **Вариационный размах (BP)** - вычисляется как разность между максимальным и минимальным значением **NN** интервалов (ширина основания гистограммы). **BP** рассматривают как парасимпатический показатель. Чем он выше, тем сильнее выражено влияние вагуса на ритм сердца. Нормальное значение **BP** – от 0,15 до 0,45.

Диагностические показатели:

- **SpO₂** измерения основано на различии спектральных характеристик насыщенного и не насыщенного кислородом гемоглобина. Для измерения осуществляется лазерное зондирование участка тела пациента. В результате пульсации артериальной крови в тканях прошедшее излучение содержит пульсирующую составляющую (пульсовую волну), амплитуда которой связана с поглощением излучения в гемоглобине артериальной крови. Определяется относительная амплитуда пульсовой волны на длинах волн и вычисляется значение **SpO₂**. Полученные данные подвергаются дополнительной статистической обработке по спец. алгоритму с целью повышения их достоверности.
- **DX**, мс - вариационный размах, разность между длительностью наибольшего и наименьшего **NN**-интервалов в анализируемой выборке.
- **SDNN** (Standart deviation of all NN intervals), мс - стандартное отклонение длительностей всех **NN** интервалов в анализируемой выборке (квадратный корень из

дисперсии), **SDNN** является интегральным показателем, характеризующим вариабельность ритма сердца в целом, и зависит от влияния на синусовый узел симпатического и парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (**ВНС**). Увеличение или уменьшение этого показателя свидетельствует о смещении вегетативного баланса в сторону преобладания одного из отделов **ВНС**.

- **RMSSD** (The square root of the mean of the sum of the squares of differences between adjacent NN intervals), мс - квадратный корень из среднего значения квадратов разностей длительностей последовательных NN-интервалов в анализируемой выборке;
- **pNN50** (The proportion derived by dividing NN50 by the total number of NN intervals), % - отношение NN50 (число NN-интервалов, отличающихся от соседних более чем на 50 мс) к общему числу NN-интервалов в анализируемой выборке;
- **HRV index** - отношение общего числа NN-интервалов к количеству интервалов с наиболее часто встречающейся длительностью (амплитуда моды)*.
- **TINN** - (индекс, полученный при триангулярной интерполяции гистограммы NN-интервалов, "индекс Святого Георга"), мс - величина основания треугольника, интерполирующего форму гистограммы распределения NN-интервалов.

Для определения **TINN** гистограмма интерполируется прямыми линиями, в виде треугольника, величина основания которого (**TINN**) вычисляется по формуле*:

$$\mathbf{TINN} = 2S / \mathbf{AMo},$$

где **S** - площадь всей гистограммы. Этот метод позволяет не учитывать интервалы, связанные с артефактами, что повышает помехоустойчивость оценки.

- **HR** (Heart rate), (уд/сек)– частота сердечных сокращений, вычисленная по среднему значению NN-интервалов в анализируемой выборке;
- **СИМ** - значение индекса **BCP** вычисляемого по формуле*:

$$\mathbf{СИМ} = 4 * \mathbf{AMo} / \mathbf{N}_{20\%},$$

где $\mathbf{N}_{20\%}$, ед. число интервалов группирования гистограммы, содержащих количество NN-интервалов, превышающих уровень 20% от значения **AMo**.

- **ПАР** - значение индекса **BCP** характеризующего степень отклонения распределения NN-интервалов от нормального закона распределения. Чем больше отклонений от нормального распределения, характеризующегося плавным убыванием количества NN-интервалов влево и вправо относительно моды, тем больше значение **ПАР**.
- **ИБ** - индекс напряжения (по Р.М. Баевскому). **ИБ** вычисляется по формуле**:

$$\mathbf{ИБ} = \mathbf{AMo} / 2 * \mathbf{Mo} * \mathbf{DX}.$$

Спектральные диагностические показатели:

- **VLF**, мс² - спектральная мощность колебаний ритма сердца в диапазоне сверхнизких частот (< 0,04 Гц);
- **LF**, мс² - спектральная мощность колебаний ритма сердца в диапазоне низких частот (0,04 ... 0,15 Гц);

- **HF**, mc^2 - спектральная мощность колебаний ритма сердца в диапазоне высоких частот (0,15 ... 0,4 Гц);
- **Total**, mc^2 - общая спектральная мощность колебаний ритма сердца;
- **LFnorm** = $100\text{LF}/(\text{Total} - \text{VLF})$, % - нормализованная спектральная мощность низких частот;
- **HFnorm** = $100\text{HF}/(\text{Total} - \text{VLF})$, % - нормализованная спектральная мощность высоких частот;
- **LF/HF**, отношение низкочастотной к высокочастотной составляющей мощности колебаний ритма сердца.

* Для интервала группирования гистограммы, на который разбивается весь диапазон длительностей NN-интервалов, равного 10 мс.

** Для интервала группирования гистограммы, на который разбивается весь диапазон длительностей NN-интервалов, равного 50 мс.

При анализе **BCP** во временной области на экране компьютера отображается:

- **ритмограмма** - кривая представляющая собой зависимость длительности NN-интервала от номера NN-интервала, исчисляемого с момента начала записи данных,
- **зависимости величины** показателей **BCP** от номера NN-интервала определяемые методом скользящей выборки фиксированного объема,
- **гистограмма** распределения NN-интервалов - ступенчатая функция представляющая собой зависимость числа NN-интервалов, попадающих в соответствующие интервалы группирования гистограммы, на которые разбивается весь диапазон длительностей NN-интервалов от длительности NN-интервалов, значения показателей **BCP** для выделенной выборки данных.

При анализе **BCP** в частотной области на экране компьютера дополнительно отображается:

- **скатерограмма** - точечное изображение зависимости длительности последующего NN-интервала от предыдущего в выборке данных,
- **частотный спектр** сердечного ритма с выделением областей **VLF, LF, HF**,
- **диаграмма**, показывающая относительное соотношение величин компонентов **VLF, LF, HF**.

Анализ и отображение данных производится в режиме реального времени с сохранением массивов зарегистрированных значений длительностей NN-интервалов для отсроченного анализа.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

Анализ **BCP** относится к неинвазивным методам оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в сердечно-сосудистой системе, в частности, общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения активности симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы.

Развитие метода в различных областях медицины позволило выявить его неспецифичность по отношению к нозологическим формам патологии и высокую чувствительность к самым разнообразным внутренним и внешним воздействиям.

Можно условно выделить четыре направления применения методов анализа **ВСП**:

1. Оценка функционального состояния организма и его изменений на основе определения параметров вегетативного баланса и нейрогуморальной регуляции.
2. Оценка выраженности адаптационного ответа организма при воздействии различных стрессоров.
3. Оценка состояния отдельных звеньев вегетативной регуляции кровообращения.
4. Разработка прогностических заключений на основе оценки текущего функционального состояния организма, выраженности его адаптационных ответов и состояния отдельных звеньев регуляторного механизма.

Основными областями использования методов анализа **ВСП** в медицине являются:

1. Оценка вегетативной регуляции ритма сердца у практически здоровых людей (исходный уровень вегетативной регуляции, вегетативная реактивность, вегетативное обеспечение деятельности).
2. Оценка вегетативной регуляции ритма сердца у пациентов с различными заболеваниями (изменения вегетативного баланса, степень преобладания одного из отделов вегетативной нервной системы), получение дополнительной информации для диагностики некоторых форм заболеваний, например, автономной нейропатии при диабете.
3. Оценка функционального состояния регуляторных систем организма на основе интегрального подхода к системе кровообращения как к индикатору адаптационной деятельности всего организма.
4. Определение типа вегетативной регуляции ваго-, нормо- или симпатотония.
5. **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.
6. **Выделение групп риска по развитию угрожающей жизни** повышенной стабильности сердечного ритма.
7. Использование в качестве контрольного метода при проведении различных функциональных проб.
8. Оценка эффективности лечебно-профилактических и оздоровительных мероприятий.
9. Оценка уровня стресса, степени напряжения регуляторных систем при экстремальных и субэкстремальных воздействиях на организм.
10. Оценка функционального состояния человека-оператора.
11. Использование в качестве метода оценки функциональных состояний при массовых профилактических (донозологических) обследованиях разных контингентов населения.
12. Прогнозирование функционального состояния (устойчивости организма) при профотборе и определение профессиональной пригодности.
13. Мониторинг **ВСП** в хирургии с целью объективизации выраженности операционного стресса и контроля адекватности анестезии, а также для выбора типа и дозировок анестезиологической защиты и для контроля в послеоперационном периоде.
14. Объективизация реакций вегетативной нервной системы при воздействии на организм электромагнитных полей, интоксикаций и других патогенных факторов.

15. Выбор оптимальной медикаментозной терапии с учетом фона вегетативной регуляции сердца; контроль эффективности проводимой терапии, коррекция дозы препаратов.

16. Оценка и прогнозирование психических реакций по выраженности вегетативного фона.

17. Использование метода в неврологии для оценки состояния вегетативной нервной системы при различных заболеваниях.

18. Контроль функционального состояния организма в спорте.

19. Оценка вегетативной регуляции в процессе развития у детей и подростков. Применение в качестве контрольного метода в школьной медицине для социально-педагогических и медико-психологических исследований.

20. Контроль функционального состояния плода в акушерстве; применение в неонатальном периоде развития организма.

В интерпретации результатов анализа **ВСП** важную роль играет сравнение полученных данных с показателями нормы. Представление о норме как о некоторой статистической совокупности значений, полученных при обследовании референтной группы специально отобранных здоровых людей, применительно к анализу **ВСП**. Поскольку речь идет не об оценке относительно стабильных параметров гомеостаза, а о весьма изменчивых показателях вегетативной регуляции. Для оценки процессов регуляции Баевским Р.М. разработано представление о физиологической норме, которая указывает на сохранение достаточного уровня функциональных возможностей организма, при этом гомеостаз основных систем организма обеспечивается при минимальном напряжении регуляторных механизмов. Соответственно, значения большинства показателей **ВСП** не должны превышать определенных порогов, установленных для конкретной возрастно-половой, профессиональной, региональной группы.

В качестве примера интерпретации показателей **ВСП** можно привести данные, подтвержденные многочисленными исследованиями.

Индекс напряжения регуляторных систем **ИБ**

Характеризует активность механизмов симпатической регуляции, состояние центрального контура регуляции. Этот показатель вычисляется на основании анализа распределения **NN**-интервалов в выборке данных. Активация центрального контура, усиление симпатической регуляции во время психических или физических нагрузок проявляется стабилизацией ритма, уменьшением разброса длительностей **NN**-интервалов, увеличением количества однотипных по длительности интервалов (рост **АМо**). Форма гистограмм изменяется, происходит их сужение с одновременным ростом высоты.

Количественно это может быть выражено величиной индекса напряжения регуляторных систем **ИБ**. В норме **ИБ** колеблется в пределах 80-150 условных единиц. Этот показатель чрезвычайно чувствителен к усилению тонуса симпатической нервной системы.

Небольшая нагрузка (физическая или эмоциональная) увеличивает **ИБ** в 1,5-2 раза. При значительных нагрузках он растет в 5-10 раз. У больных с постоянным напряжением

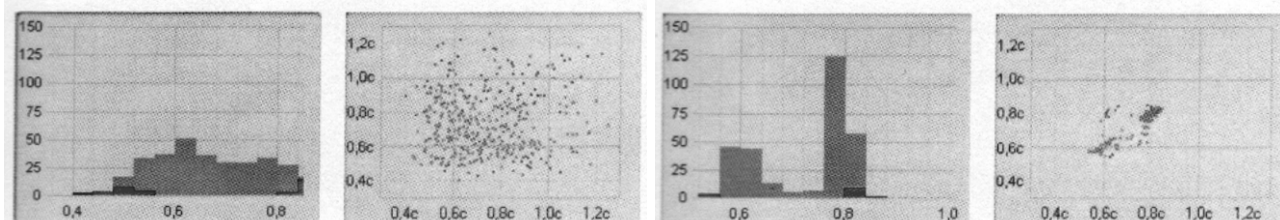
регуляторных систем **ИБ** в покое равен 400-600 усл. ед. У больных с приступами стенокардии и инфарктом миокарда **ИБ** в покое достигает 1000-1500 единиц.

Надежность результатов анализа **ВСП** определяется соблюдением требований к регистрации физиологических данных. Основным предположением, обуславливающим корректность оценок **ВСП**, является стационарность рассматриваемого процесса. При проведении функциональных проб необходимо отметить следующие особенности регистрации данных:

- 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 не стационарность процесса. Анализ переходных процессов может иметь самостоятельное диагностическое и прогностическое значение. При интерпретации данных временного анализа динамики ритмов сердца у спортсменов необходимо учитывать, что значительное преобладание парасимпатических влияний на синусовый ритм является для них нормальным явлением. Поэтому, необходима коррекция границ нормы числовых значений статистических показателей при проведении обследования спортсменов. А именно, следует расширить границу нормы до таковой в состоянии умеренной ваготонии у нетренированных людей. В то же время, значения близкие к умеренной симпатотонии будут говорить о выраженном нарушении системы регуляции кардиоритма и снижении запаса адаптации у данного спортсмена.

Внимание! При наличии у пациента мерцательной аритмии или явно выраженной экстрасистолии расчет показателей состояния необходимо уточнять дополнительно.

Типичный вид окон Ритмограмм и Скаттерограмм при мерцательной аритмии:



Мерцательная аритмия.

Нарушения ритма сердца – двойной ритм.

- Фоновая (исходная) запись должна проводиться в условиях покоя в течение не менее 5 минут. Для сравнения с фоновой записью должны использоваться аналогичные по длительности записи, полученные на разных этапах функциональной пробы;

SDNN.

Вычисление является наиболее простой процедурой статистического анализа **ВСП**. Нормальные значения **SDNN** находятся в пределах 40-80 мс. Однако эти значения имеют возрастно-половые особенности, которые должны учитываться при оценке результатов исследования.

Рост или уменьшение **SDNN** могут быть связаны как с автономным контуром регуляции (как с симпатическими, так и с парасимпатическими влияниями на ритм сердца), так и с центральным влиянием.

При анализе коротких записей, как правило, рост **SDNN** указывает на усиление автономной регуляции, то есть рост влияния дыхания на ритм сердца, что чаще всего наблюдается во сне.

Уменьшение **SDNN** связано с усилением симпатической регуляции, которая подавляет активность автономного контура. Резкое снижение **SDNN** обусловлено значительным напряжением регуляторных систем, когда в процесс регуляции включаются высшие уровни управления, что ведет к почти полному подавлению активности автономного контура.

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.

Чем выше значение **RMSSD**, тем активнее звено парасимпатической регуляции. В норме значения этого показателя находятся в пределах 20-50 мс. Аналогичную информацию можно получить по показателю **pNN50**, который выражает в % число разностных значений больше чем 50 мс.

Мощность высокочастотной составляющей спектра.

Высокие частоты (NF) 0,15 - 0,40Гц. Отводится преимущественная роль парасимпатического отдела вегетативной нервной системы в формировании колебаний в данном диапазоне частот. Мощность в этом диапазоне частот увеличивается во время дыхания с определенной частотой и глубиной, при холодовых воздействиях. У спортсменов и хорошо натренированных людей мощность **NF** также значительно превышает таковую у нетренированных, и должна преобладать над мощностью низких частот. Снижение у спортсменов мощность **NF** может свидетельствовать о напряжении регуляторных систем сердца, о перетренированности, хотя чрезмерное ее увеличение говорит об опасном нарушении синусового ритма.

Вагусная активность является основной составляющей **NF** компонента. Это хорошо отражается показателем мощности дыхательных волн в абсолютных цифрах и в виде относительной величины (в % от суммарной мощности спектра).

Обычно дыхательная составляющая **NF** 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 **NF** падает ниже 2-3%, то можно говорить о резком преобладании симпатической активности.

В этом случае существенно уменьшаются также показатели **RMSSD** и **pNN50**.

Мощность низкочастотной составляющей спектра.

Низкие частоты (LF) 0,04-0,15Гц. Физиологическая интерпретация данного показателя неоднозначна. Считается, что на мощность в этом диапазоне частот влияют как изменение тонуса парасимпатического, так и симпатического отдела нервной системы.

Соотношение симпатических и парасимпатических влияний характеризуется с помощью отношения мощностей **LF/NF**. При этом, при повышении тонуса симпатического отдела данный показатель значительно возрастает, при ваготонии - наоборот. Во многих случаях отмечены реципрокные изменения в мощностях **LF** и **NF**. Отмечено значительное увеличение мощности при **LF** при ортостатической пробе, психологическом стрессе, умеренной физической нагрузке у здоровых лиц.

Поэтому в последнее время распространена точка зрения, что мощность в диапазоне **LF**, как и показатель **LF/NF**, могут служить показателем активности симпатического отдела вегетативной нервной системы.

Этот показатель преимущественно характеризует состояние симпатического отдела вегетативной нервной системы, в частности, системы регуляции сосудистого тонуса. Время, необходимое вазомоторному центру на операции приема, обработки и передачи информации колеблется от 7 до 20 сек.; обычно оно равно 10-12 сек. Поэтому в ритме сердца можно обнаружить волны с частотой, близкой к 0,1 Гц (10 с), которые получили название вазомоторных.

Переход из положения «лежа» в положение «стоя» ведет к значительному увеличению мощности в этом диапазоне колебаний. Активность вазомоторного центра падает с возрастом и у лиц пожилого возраста этот эффект практически отсутствует.

Мощность «очень» низкочастотной составляющей спектра.

Очень низкие частоты (VLF) - 0,003-0,04Гц и **сверх низкие частоты (ULF)** менее 0,003Гц. Физиологическое значение данных диапазонов частот не выяснено. Однако существует мнение, что мощность данных диапазонов значительно возрастает при истощении регуляторных систем организма. Однако в данном случае речь идет о более сложных влияниях со стороны надсегментарного уровня регуляции, так амплитуда VLF тесно связана с психоэмоциональным напряжением и функциональным состоянием коры головного мозга. Показано, что VLF отражает церебральные эрготропные влияния на нижележащие уровни и позволяет судить о функциональном состоянии мозга при психогенной и органической патологии мозга. VLF может использоваться как надежный маркер степени связи автономных (сегментарных) уровней регуляции кровообращения с надсегментарными, в том числе с гипофизарно-гипоталамическим и корковым уровнем.

В норме мощность VLF составляет 15-30% суммарной мощности спектра.

Полный спектр частот (Total) - менее 0,40Гц. Данный показатель является интегральным и отражает воздействие и симпатического и парасимпатического отделов автономной нервной системы.

При этом усиление симпатических воздействий приводит к уменьшению общей мощности спектра, а активация вагуса приводит к обратному воздействию. Данный показатель эквивалентен среднеквадратичному отклонению и вариационному размаху.

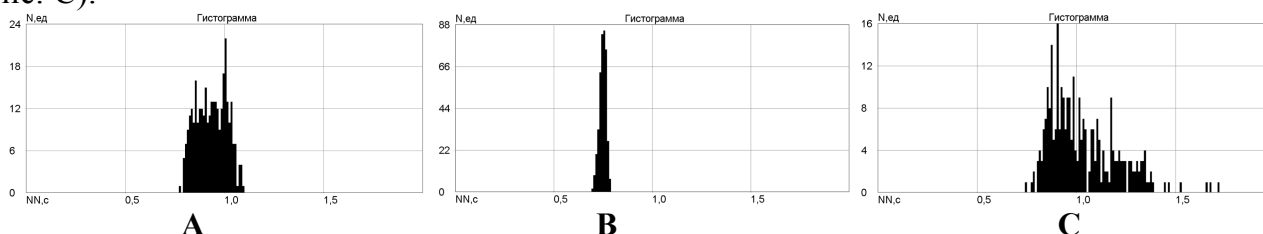
Гистограмма.

Гистограмма представляет собой диаграмму соотношения количества NN-интервалов в различных интервалах их длительности. По оси абсцисс откладывается длительность NN-интервалов, по оси ординат - вероятность их появления (т.е. количество NN-интервалов попавших в соответствующий временной диапазон).

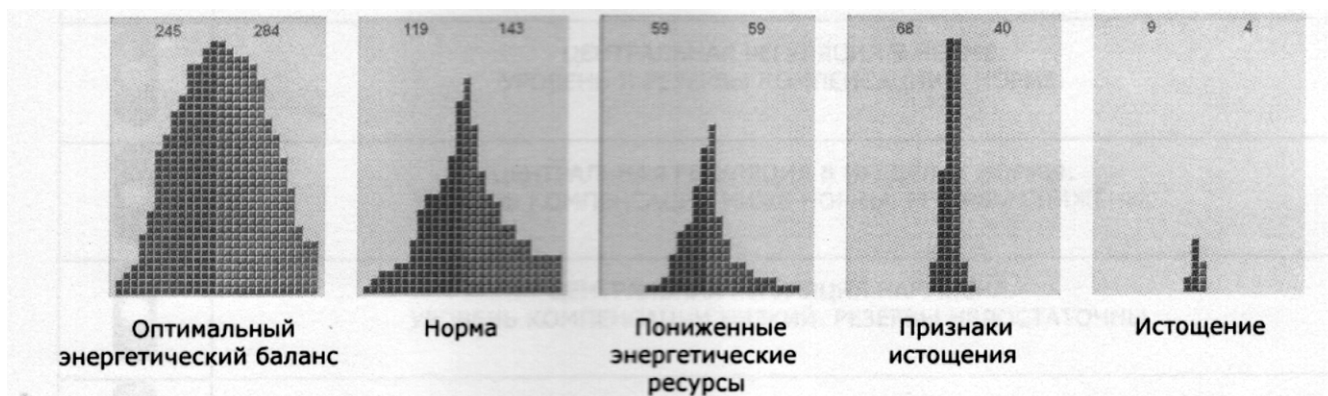
Шаг гистограммы - 0,04сек. Диапазон основания диаграммы от 0,32 до 1,64сек.

Для состояния вегетативного равновесия характерно центральное расположение столбцов диаграммы с локализацией самого высокого столбца (мода) в диапазоне 0,7 - 1,0сек. (рис. А).

В случае превалирующего влияния симпатического отдела вегетативной нервной системы характерно значительное смещение влево и сужение основания гистограммы (рис. В). При парасимпатическом влиянии наблюдается противоположный эффект (рис. С).



Динамическое отображение энергетического баланса в системах управления различными функциями организма. Соотношение площадей левой и правой частей пирамиды характеризует динамику анаболических и катаболических процессов, - левая часть соответствует периоду накопления энергии, правая часть - периоду потребления энергии различными органами и системами организма. Энергетическая пирамида характеризуется следующими показателями: энергетический ресурс, энергетический баланс, показатель анаболизма, показатель катаболизма.



Скаттерограмма NN-интервалов представляет собой двухмерное отображение ритмов сердца, позволяющее получить характерные "мнемокартины", свойственные основным вариантам нарушения сердечного ритма. По оси абсцисс откладывается величина NN_i интервала в секундах, по оси ординат величина $NN_i + 1$ интервала в секундах. Равномерное облако будет свидетельствовать о равновесном состоянии вегетативной нервной системы (А). Зжатость облака скаттерограммы и/или смещение его из центра в нижний левый угол свидетельствует о преобладании симпатического отдела вегетативной нервной системы (В). Напротив, значительный разброс точек скаттерограммы и смещение ее вправо говорят о преобладании влияния блуждающего нерва на синусный узел (С).

