

1 Электрокардиография

Введение



Одним из самых распространенных и эффективных методов исследования динамики сердца и диагностики режима его функционирования является анализ *электрокардиограммы* (ЭКГ) – графического представления разности потенциалов, регистрируемой в процессе электрокардиографии. Сердце представляет собой мощный “электрогенератор”. Этот факт известен еще с 19 века, когда Виллем Эйнтховен впервые зарегистрировал ЭКГ. В настоящее время электрокардиография широко применяется в медицине и экспериментальной физиологии. С ее помощью можно изучать динамику распространения возбуждения в сердце, а также судить о различных нарушениях сердечной деятельности. Форма ЭКГ зависит от индивидуальных особенностей организма, его функционального состояния, от размеров и положения сердца в грудной клетке.

Для регистрации ЭКГ используют электрокардиографы – приборы, с помощью которых производится прием сигналов электрической активности через кабель отведений. Чаще всего регистрация осуществляется в состоянии покоя в положении лежа. Для записи ЭКГ у спортсменов во время тренировочного процесса и у космонавтов в космическом полете были созданы специальные приборы, принципом действия которых является передача ЭКГ на расстояние с помощью радиосвязи. Анализируя вариабельность сердечного ритма по ЭКГ, можно оценить уровень стресса. Для изучения функционального состояния организма у спортсменов сравнивают записи до и во время тренировок.

Запись электрокардиограммы

Ткани являются хорошими проводниками электричества, поэтому для записи ЭКГ электроды можно прикладывать не только непосредственно к телу в области сердца, но и к рукам или ногам.

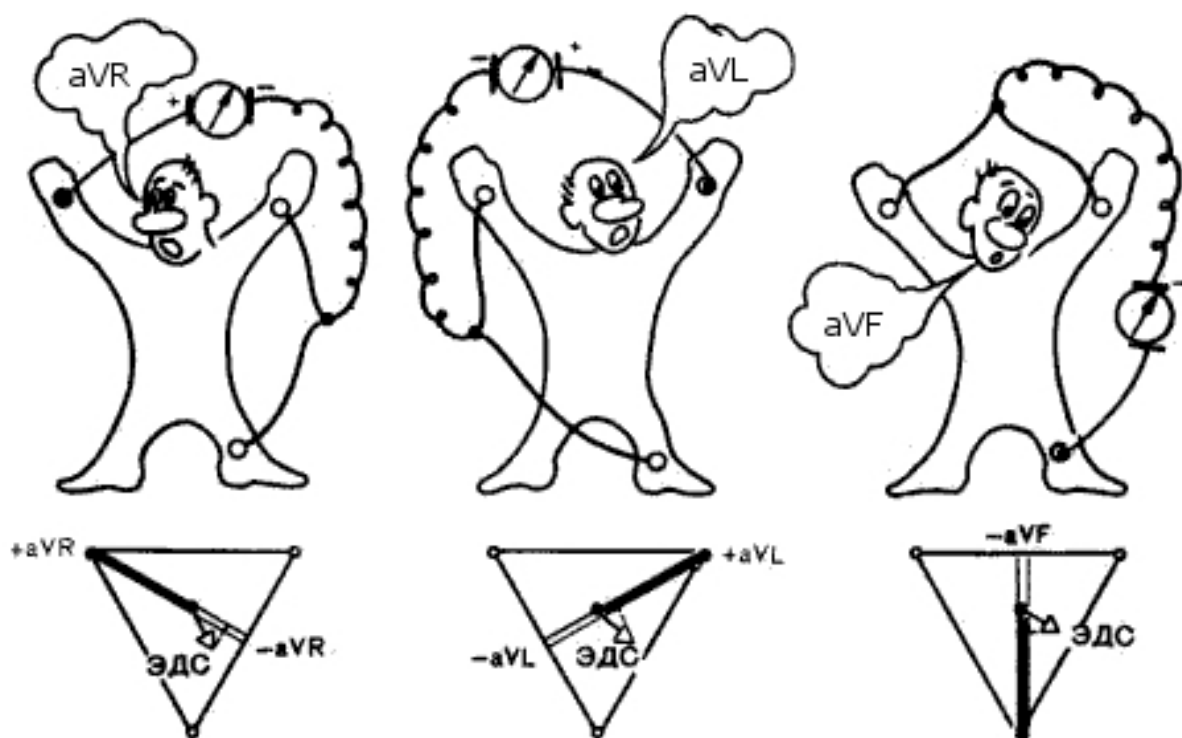


Рис. 1.1. Стандартные отведения, используемые в электрокардиографии.

При проведении экспериментов выбирают одно из трех стандартных отведений (рис. 1.1):

- правая рука (–) – левая рука (+);
- правая рука (–) – левая нога (+);
- левая рука (–) – левая нога (+).

Знаки (+) и (–) обозначают подключение электрода к положительному или отрицательному полюсам гальванометра. Три стандартных отведения образуют равносторонний треугольник с вершинами, соответствующими правой руке, левой руке и левой ноге. Также регистрируют усиленные (однополюсные) отведения от конечностей:

- aVR – усиленное отведение от правой руки;

- aVL – усиленное отведение от левой руки;
- aVF – усиленное отведение от левой ноги.

Используемые обозначения происходят от первых букв английских слов: а – *augmented* (усиленный), V – *voltage* (потенциал), R – *right* (правый), L – *left* (левый), F – *foot* (нога). Регистрирующий электрод определяет разность потенциалов между конкретной точкой электрического поля (к которой он подведен) и электрическим нулем.

Различают следующие варианты записи ЭКГ:

Запись ЭКГ в условиях относительного покоя. Регистрируется ЭКГ-сигнал в положении лежа на спине, при спокойном дыхании. Длительность такой записи должна быть не менее 5 минут. При этом устраняются все помехи (телефонные звонки, разговоры, появление в кабинете других лиц и т.д.).

Запись ЭКГ при умственных и эмоциональных нагрузках на организм. Обычно записываются сигналы средней длительности. Регистрация проводится в положении лежа или сидя при умственных нагрузках (мысленный счет), добавлении эмоционально значимой информации (слова, текст) и т.д.

Анализ электрокардиограммы

Обычно на электрокардиограмме можно выделить пять зубцов: P, Q, R, S, T (рис. 1.2). В редких случаях удастся увидеть малозаметную волну U. Формирование соответствующих зубцов обусловлено распространением возбуждения в сердце и отражает этот процесс (см. таблицу 1.1). Интервалы времени между последовательными зубцами P или R характеризуют длительность одного сердечного цикла.

На рисунке 1.2 изображена электрокардиограмма для здорового организма. При различных нарушениях нормального функционирования сердца вид ЭКГ претерпевает изменения.

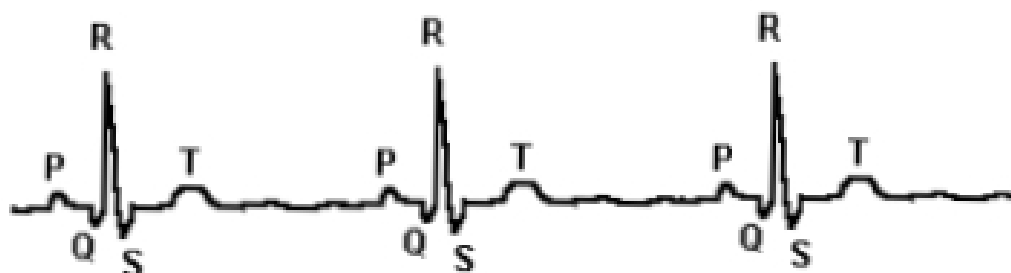


Рис. 1.2. Типичный вид электрокардиограммы.

Зубец, сегмент, комплекс	Физиологический процесс
P	Охват возбуждением предсердий. Первая половина зубца соответствует распространению возбуждения из синусного узла на правое предсердие, вторая половина – охвату возбуждением левого предсердия.
PQ	Возбуждение распространяется на предсердно-желудочковый узел и движется по проводящей системе желудочков. Этот сегмент возникает в результате того, что возбуждение оснований желудочков нарастает медленнее.
QRS	Охват возбуждением желудочков.
Q	Возбуждение верхушки сердца и внутренней поверхности желудочков.
S	Полный охват возбуждением миокарда желудочков.
T	Реполяризация (восстановление нормального мембранного потенциала клеток миокарда).

Таблица 1.1. Физиологические процессы, соответствующие различным участкам одного цикла электрокардиограммы.

В частности, в некоторых случаях могут наблюдаться трепетание и мерцание (фибриляция) сердца. При этом мышечные волокна предсердий и желудочков начинают быстро и асинхрон-

но сокращаться с частотой 400 мин^{-1} при трепетании и 600 мин^{-1} – при фибрилляции. Фибрилляция характеризуется тем, что мышечные волокна сокращаются не одновременно, на ЭКГ этому состоянию соответствует хаотический колебательный ритм, а комплексы QRS и T отсутствуют.

Одним из основных достоинств ЭКГ является то, что она является абсолютно безвредным методом исследования и в то же время очень информативным показателем состояния функций сердца. Так, анализ последовательности возникновения потенциалов, регистрируемых от волокон различных отделов сердца, может дать наиболее точные сведения о пути и скорости распространения волны возбуждения. Подобным методом удалось, например, точно измерить скорость проведения импульсов в синоатрикулярном узле (0.05 м/с) и по предсердию ($0.45\text{--}0.6 \text{ м/с}$). С помощью ЭКГ можно оценить характер нарушений проведения возбуждения в сердце. По величине интервала PQ (для человека в норме он составляет $0.12\text{--}0.2 \text{ с}$) можно определить, совершается ли проведение возбуждения от предсердий к желудочку с нормальной скоростью.

ЭКГ позволяет осуществить расчет частоты сердечных сокращений (ЧСС). Для здорового организма в состоянии покоя она составляет $60\text{--}80 \text{ мин}^{-1}$. При брадикардии ЧСС становится менее 60 мин^{-1} , интервал $PQ \geq 0.12 \text{ с}$. Случаю тахикардии соответствует частота сердечных сокращений $70\text{--}130 \text{ мин}^{-1}$, интервал $PQ < 0.12 \text{ с}$. Даже в состоянии покоя ЧСС является переменной величиной, которая зависит от возраста, пола, физического и эмоционального состояния человека. Например, учащенный ритм сердца отмечается в первой и второй половине дня; во время сна ЧСС уменьшается примерно до $40\text{--}50 \text{ мин}^{-1}$. У детей ЧСС больше чем у взрослых; у женщин ЧСС больше чем у мужчин в среднем на 5–10 сокращений в минуту.

При переходе из горизонтального положения в вертикальное частота сердцебиений увеличивается. При повышении температуры окружающей среды, после приема пищи, во время эмоций и работы мышц ЧСС также возрастает.

Существует понятие максимальной частоты сердечных сокращений (ЧСС_{max}), которая может быть достигнута при выполнении физической нагрузки (максимальный пульс). Чем выше интенсивность выполняемой работы, тем больше этот показатель. Однако есть пределы, за которыми пульс дальше увеличиваться не может. При некоторой интенсивности пульс останавливается на определенном уровне. У каждого человека своя максимальная частота сердечных сокращений. В первую очередь этот показатель зависит от возраста человека. В среднем, каждый год (начиная с 15 лет) он уменьшается на 1 удар в минуту. Максимальный пульс можно приближенно определить по формуле: $\text{ЧСС}_{\text{max}} = 220 - \text{возраст}$. Однако следует отметить, что индивидуальные показатели максимального пульса могут отличаться от полученного таким образом среднего показателя. Более точно определить максимальный пульс можно с помощью встроенной в некоторые модели пульсометров специальной функции. Знать свой максимальный пульс необходимо спортсменам, так как только по ЧСС можно определить интенсивность выполняемой физической нагрузки.

Вариабельность сердечного ритма

У здоровых людей интервал времени от начала цикла одного сердечного сокращения до начала другого не является одинаковым и постоянно меняется. Первым это обнаружил А. Галлер в 1760 г. Явление получило название variability сердечного ритма (BCP), оно наблюдается даже в состоянии покоя. Характерно, что непостоянство интервала между кардиоциклами находится в пределах некоторой средней величины, являющейся оптимальной для рассматриваемого функционального состояния организма. Это свидетельствует о том, что BCP должна оцениваться только в стационарных состояниях, так как при любом изменении (в простейшем случае, при изменении положения тела) частота сердечных сокращений начинает подстраиваться под новый функциональный уровень. Период «подстройки» является

своеобразным переходным процессом, в течение которого включаются другие, не связанные с регуляцией ВСП механизмы, обеспечивающие достижение средней ЧСС, оптимальной уже для нового функционального состояния.

О variability ритма сердца традиционно судят по длительности R-R интервалов ЭКГ, то есть промежутков времени между последовательными зубцами R (рис. 1.2), хотя правильнее было бы рассматривать длительность P-P интервалов, так как именно начало зубца P является началом нового сердечного цикла. Традиция проведения оценки R-R интервалов связана с тем, что зубец R легче всего выделить из сигнала ЭКГ при компьютерной обработке в силу того, что он является наибольшим по амплитуде. Для изучения ВСП кроме записей ЭКГ можно использовать и другие методы, осуществляющие регистрацию циклов сердечных сокращений (реографию, плетизмографию, доплерографию магистральных артерий, эхокардиографию).

Вариабельность сердечного ритма отчетливо видна при графическом представлении последовательности R-R интервалов за определенный временной промежуток. Если по оси абсцисс откладывается номер кардиоинтервала, то она называется кардиоинтервалограммой, если время – кардиоритмограммой (или просто ритмограммой). Кардиоинтервалограмма обычно изображается в виде столбиковых диаграмм, а ритмограмма традиционно представляется в виде кривой (рис. 1.3).

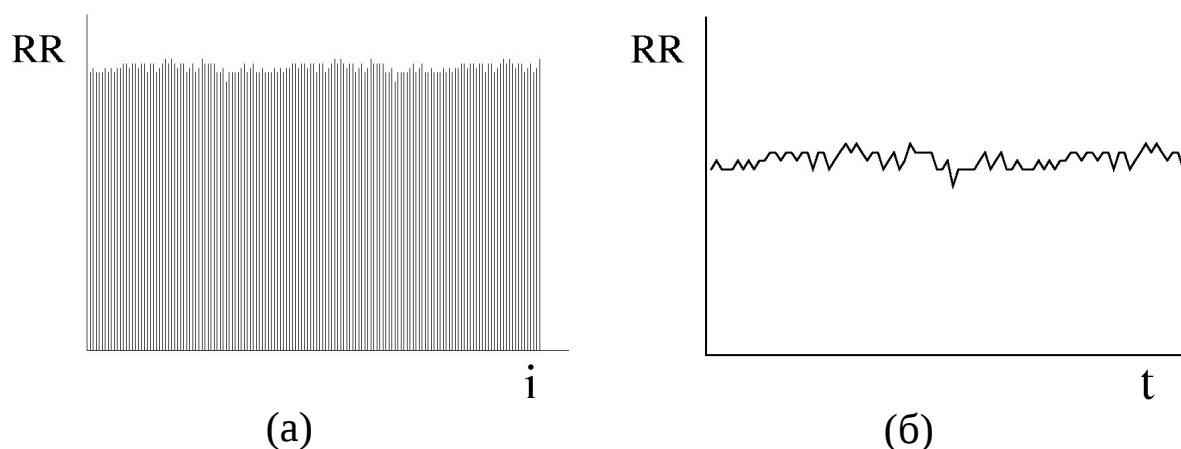


Рис. 1.3. Кардиоинтервалограмма (а) и ритмограмма (б).

Существуют свои особенности построения ритмограммы, связанные с тем, что по оси абсцисс откладывается время в секундах, а R-R интервалы отличаются по длительности и не соответствуют целой секунде. Наличие переменного шага по времени крайне неудобно для большинства методов обработки экспериментальных данных (прежде всего, для спектрального анализа). Для решения этой проблемы дискретные значения R-R интервалов принимаются за опорные точки, которые последовательно откладываются по оси абсцисс. Затем проводится переоцифровка полученной кривой с постоянным шагом по времени (рис. 1.4). В итоге этой процедуры получается весьма наглядная и удобная для дальнейшего анализа ритмограмма.

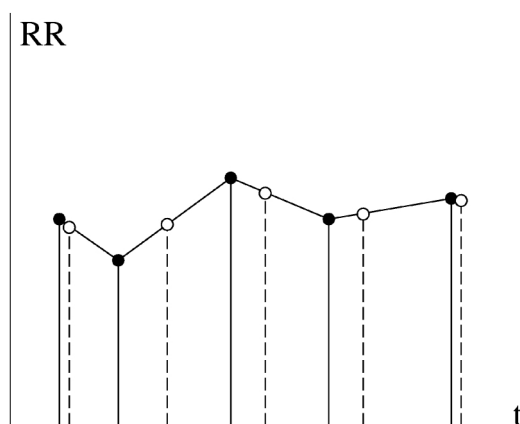


Рис. 1.4. Переход к постоянному шагу по времени. Черными кружками обозначены опорные точки, светлыми – результат переоцифровки полученной кривой.

При визуальном рассмотрении ритмограмм оказывается, что изменение длительности R-R интервалов происходит с определенной периодичностью. Это свидетельствует о существовании волновой модуляции сердечного ритма. Вариабельность сердечного ритма, не связанная с нарушениями функций автоматизма, проводимости или возбудимости, получила название *синусовой аритмии*. Выделяют дыхательную и недыхательную компоненты синусовой аритмии. Первая из них определяется фазами дыхания – при вдохе происходит уменьшение длительности R-R интервалов, а при выдохе – увеличение, что приводит к формированию дыхательных волн. Анализ ритмограмм позволяет изучать:

- высокочастотный диапазон (дыхательные волны) – 0.15–0.4 Гц (2.5–6.5 с);
- низкочастотный диапазон (медленные волны первого порядка) – 0.04–0.15 Гц (6.5–25 с);
- очень низкочастотный диапазон (медленные волны второго порядка) – 0.003–0.04 Гц (25–333 с);
- ультранизкочастотный диапазон – частоты менее 0.003 Гц.

Исследование ВСР включает три этапа:

1. Измерение длительности R-R интервалов и представление экспериментальных данных в виде кардиоинтервалограммы;
2. Анализ динамических рядов кардиоинтервалов;
3. Оценку результатов анализа ВСР.

Для изучения variability сердечного ритма анализируют кратковременные (в течение минут, десятков минут) и долгосрочные записи (начиная с нескольких часов). В целях контроля текущего состояния организма обычно регистрируют ЭКГ в течение 5 минут. В этом случае рассматривают первые два диапазона [0.15–0.4] Гц и [0.04–0.15] Гц. Для исследования остальных необходимо располагать более длительными записями.

В настоящее время широко распространены спектральные методы анализа variability сердечного ритма (включая подходы, основанные на применении вейвлет-преобразования, являющегося одним из наиболее универсальных методов исследования нестационарных процессов по сигналам малой длительности). Анализ спектральной плотности мощности колебаний дает информацию о распределении энергии по частотам. Расчеты спектров позволяют получить информацию о соотношении энергий разных компонент ВСР. Variability сердечного ритма анализируют также с помощью статистических методов, корреляционного анализа, методов нелинейной динамики. В современной практике перечисленные методы позволяют решать многие задачи диагностического и прогностического профиля, оценки функциональных состояний. Многие специальные методы, разработанные для анализа ВСР, требуют отдельного детального

рассмотрения, которое выходит за рамки данного пособия. Перечислим несколько традиционных статистических характеристик, расчет которых относится к числу стандартных методов анализа сердечного ритма.

Статистический анализ сердечного ритма

К статистическим показателям, которые позволяют оценивать *быстрые* (в течение 2–5 с) изменения ЧСС и основаны на определении степени различий в длительности соседних R-R интервалов, относят следующие характеристики:

- **RMSSL** (мс) – среднеквадратичное различие между продолжительностью соседних R-R интервалов.
- **pNN50** (%) – доля соседних интервалов R-R, которые различаются более чем на 50 мс. Полагают, что их значения определяются преимущественно влиянием парасимпатического отдела вегетативной нервной системы и являются в основном отражением синусовой дыхательной аритмии.
- **RMSSD** (мс) – квадратный корень из среднего квадрата разности значений соседних интервалов R-R:

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (x_i - x_{i+1})^2}.$$

Величина RMSSD является мерой ВСР с малой продолжительностью циклов.

Ряд других индексов позволяет оценить более медленную модуляцию ЧСС. Они основаны на непосредственном измерении длительности R-R интервалов:

- **SDNN** (мс) – стандартное отклонение от средней длительности всех интервалов (наиболее распространенный показатель ВСР). Значение SDNN – интегральный показатель, характеризующий ВСР в целом, зависит от воздействия как симпатического, так и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. Из-за нестационарности последовательностей R-R величина SDNN зависит от длительности

анализируемого сегмента ЭКГ (без предварительного устранения тренда будет наблюдаться тенденция к возрастанию SDNN при увеличении времени записи).

- **SDANN** (мс) – стандартное отклонение от среднего значения R-R интервалов, вычисленного для каждого 5-минутного участка записи ЭКГ. Данный коэффициент характеризует ВСП с большой продолжительностью циклов.

Результаты временного анализа ВСП зависят от качества записи ЭКГ (уровня шума, наличия артефактов) и точности распознавания QRS комплексов. Считается, что менее чувствительны к указанным факторам *геометрические методы*, к числу которых относится вариационная пульсометрия. Сущность данного подхода состоит в изучении закона распределения R-R интервалов как случайных величин в исследуемом ряду их значений, то есть в изучении так называемой «вариативности» R-R интервалов. При этом строится *вариационная кривая* или *гистограмма*, и определяются различные ее характеристики. При построении гистограммы важное значение имеет выбор способа группировки кардиоинтервалов. В вариационной пульсометрии принята группировка с интервалом в 0.05 с в диапазоне от 0.40 до примерно 1.30–1.40 с – с этой целью выделяются 20 диапазонов значений R-R интервалов шириной 50 мс: [0.40-0.45), [0.45-0.50), [0.50-0.55) и т.д.

Существуют графический и числовой способы представления результатов вариационной пульсометрии. При графическом способе (рис. 1.5) каждый диапазон значений отражается в виде столбика с высотой, пропорциональной числу кардиоинтервалов j , попавших в данный диапазон значений. На рисунке 1.5 одновременно представлены три возможных типа вариационной пульсограммы, характеризующие разные механизмы регуляции. *Вариационная кривая 1* отражает эффект преобладания тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы: все значения R-R интервалов размещаются преимущественно в двух диапазонах (в данном случае в один из них попадает примерно 75% кардиоинтервалов). Это означает наличие высокой мобилизации

системы кровообращения и высокого уровня ее функционирования, так как частота пульса составляет примерно 90–110 ударов в минуту. *Кривая 3* демонстрирует эффект преобладания парасимпатического отдела вегетативной нервной системы: значения R-R интервалов находятся в пределах 0.95–1.25 с (48–63 ударов в минуту). Высокая степень вариативности указывает на относительно слабую централизацию управления сердечным ритмом. *Вариационная кривая 2* характерна для переходного процесса, она имеет несимметричную форму с преобладанием R-R интервалов в диапазоне минимальных значений. Кривая указывает на то, что наблюдается односторонний сдвиг значений R-R интервалов, и это свидетельствует о переходе синусового узла от одного уровня функционирования к другому.

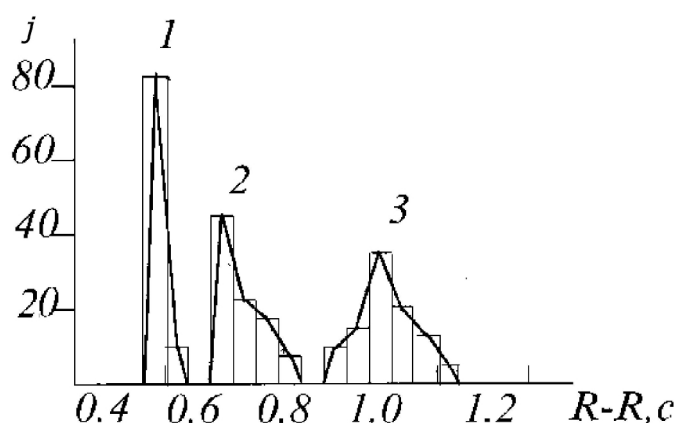


Рис. 1.5. Графический способ представления результатов вариационной пульсометрии в виде гистограммы.

Широко используются следующие числовые характеристики вариационных пульсограмм:

- **Мода M_o , с** – диапазон значений наиболее часто встречающихся R-R интервалов. В качестве моды принимают начальное значение диапазона, в котором отмечается наибольшее число R-R интервалов. M_o указывает на наиболее вероятный уровень функционирования системы кровообращения и для стационарных процессов совпадает с математическим ожиданием.
- **Амплитуда моды AM_o , %** – относительное количество R-R интервалов, соответствующих диапазону наиболее часто

встречающихся значений (то есть диапазону моды). Показатель отражает стабилизирующий (мобилизующий) эффект централизации управления ритмом сердца. В основном этот эффект обусловлен влиянием симпатического отдела вегетативной нервной системы.

- *Вариационный размах ΔX* , с – степень непостоянства значений R-R интервалов. Для стационарных процессов по своему смыслу не отличается от среднеквадратического отклонения, то есть отражает суммарный эффект регуляции ритма вегетативной нервной системой, но указывает на максимальную амплитуду колебаний значений R-R интервалов. Вариационный размах можно считать показателем, в значительной мере связанным с состоянием парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Однако, в определенных условиях (при значительной амплитуде медленных волн) вариационный размах зависит в большей мере от состояния подкорковых нервных центров, чем от тонуса парасимпатической системы.

По данным вариационной пульсометрии вычисляют ряд дополнительных показателей:

- *Триангулярный индекс (ТИ)*. Для расчета этого показателя на гистограмме $H(RR)$ находят диапазон наиболее часто встречающихся значений R-R интервалов X (рис. 1.6) и определяют соответствующий максимум гистограммы: $Y = H(X)$ – число кардиоинтервалов, попадающих в данный диапазон. Триангулярный индекс вычисляется путем деления общего количества R-R интервалов N_{max} на величину Y : $ТИ = N_{max}/Y$. Значения ТИ в значительной степени зависят от интервала группировки R-R интервалов. Этот показатель характеризует суммарную ВСР в целом.
- *Триангулярная интерполяция гистограммы (TINN)*. Данная характеристика представляет собой ширину основания треугольника, которым можно аппроксимировать гистограмму. На рисунке 1.6: $TINN = M - N$.

Главный недостаток вариационной пульсометрии – необходимость использования значительного числа кардиоинтервалов для построения гистограммы. На практике, продолжительность реализации R-R интервалов не должна быть меньше 20 минут, чтобы быть уверенным в корректном применении геометрических методов анализа R-R интервалов. В связи с этим, данный метод не подходит для оценки кратковременных изменений ВСР.

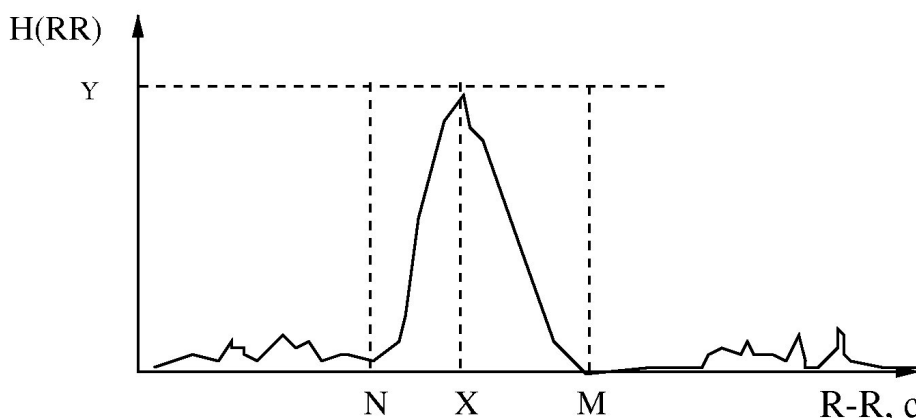


Рис. 1.6. Распределение R-R интервалов.

Еще одним геометрическим методом является корреляционная ритмография, в рамках которой по осям прямоугольной системы координат откладываются значения двух соседних R-R интервалов. При этом получается точка на плоскости, координатами которой являются: по оси абсцисс – значение текущего R-R интервала (RR_n), а по оси ординат – значение последующего R-R интервала (RR_{n+1}). Множество точек, полученное таким образом, называют *скатерграммой* (или *автокорреляционным облаком*) – рис. 1.7. По виду облака можно определять сердечные аритмии, так как большие отклонения продолжительности кардиоинтервалов от среднего значения приводят к существенному разбросу точек на плоскости (RR_n , RR_{n+1}). Изменения синусового ритма дают определенный разброс точек в виде окружности или эллипса. Если в динамическом ряду кардиоинтервалов присутствует сильно выраженная низкочастотная периодика, то будет наблюдаться эллипс, вытянутый вдоль биссектрисы. Наиболее простым способом описания множества точек автокорреляционного обла-

ка является расчет отношения длин продольной и поперечной осей эллипса (a/b): чем сильнее выражена медленная периодика, тем больше данное отношение.

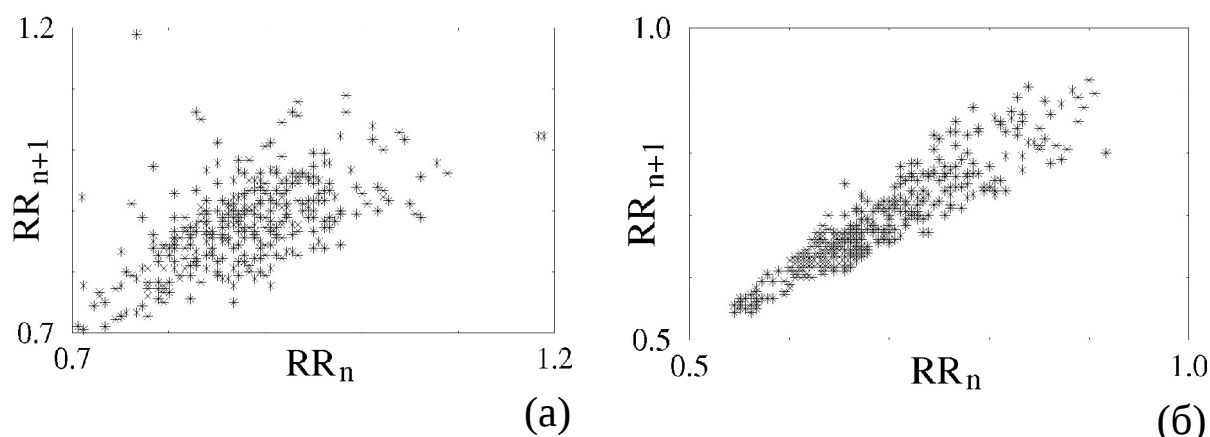


Рис. 1.7. Корреляционная ритмограмма человека в спокойном состоянии (а) и при эмоциональном стрессе (сдача экзамена) (б).

Методы анализа variability сердечного ритма могут использоваться для оценки состояния человека в различных условиях трудовой деятельности, физической нагрузки, уровня стресса и т.д. В настоящее время особый интерес для исследователей представляет изучение медленных волн второго порядка и компонент спектра колебаний с частотами менее 0.01 Гц, включая минутные и часовые волны, а также разработка новых методов анализа variability сердечного ритма, учитывающих сложный нестационарный характер динамики сердечно-сосудистой системы. В частности, недавние исследования позволили обнаружить ряд интересных явлений, к числу которых относится возможность синхронизации сердечного ритма человека. Было установлено, что слабый внешний периодический сигнал приводит к эффективной синхронизации и подстройке частоты сердечных сокращений. Наличие такого эффекта открывает новые возможности и для фундаментальной науки и для клинической практики.

Регистрация и анализ с помощью комплекса MP100

В состав измерительного комплекса MP100 входит модуль для регистрации электрокардиограмм ECG100C. Для записи ЭКГ нужно выполнить следующую последовательность действий:

- 1) Подсоединить кабель MEC100C к модулю ECG100C, подключить электроды (рис. 1.1). Для улучшения качества регистрации сигнала на контактную поверхность электродов наносится специальный гель.
- 2) Установить на приборе значение Gain 500 (усиление) и задать характеристики фильтров “35 Hz LPN”, “0.05 Hz HP Filter”.
- 3) Запустить программу AcqKnowledge, выбрать папку Samples, тип файлов *GTL и затем открыть файл “Q20 Online ECG Quickstart”. В результате появится новое окно.
- 4) Указать канал для записи аналогового сигнала, выбрав MP100 → Set Up Channels → Analog. В появившемся окне установить номер канала, например, A1 (необходимо проверить, какой канал задан на модуле ECG100C, именно его и нужно установить в программе) – см. рис. 1.8.

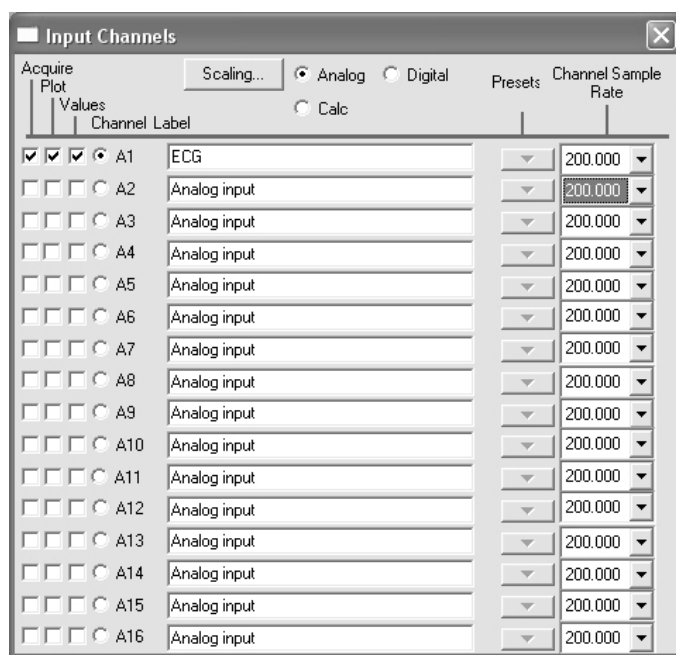


Рис. 1.8. Выбор канала для регистрации сигнала ЭКГ.

- 5) Выбрать величины, которые будут вычисляться в режиме реального времени в процессе записи электрокардиограммы (например, частота сердцебиений, длительность R-R интервалов и т.д.). С этой целью в том же самом окне (рис. 1.8) установить Calc. После выбора каждой характеристики необходимо заходить в Setup, задавать параметры (или использовать указанные по умолчанию) и нажимать ОК (программа запоминает настройки по отдельности). Один из вариантов набора величин, который может быть задан экспериментатором, представлен на рисунке 1.9.

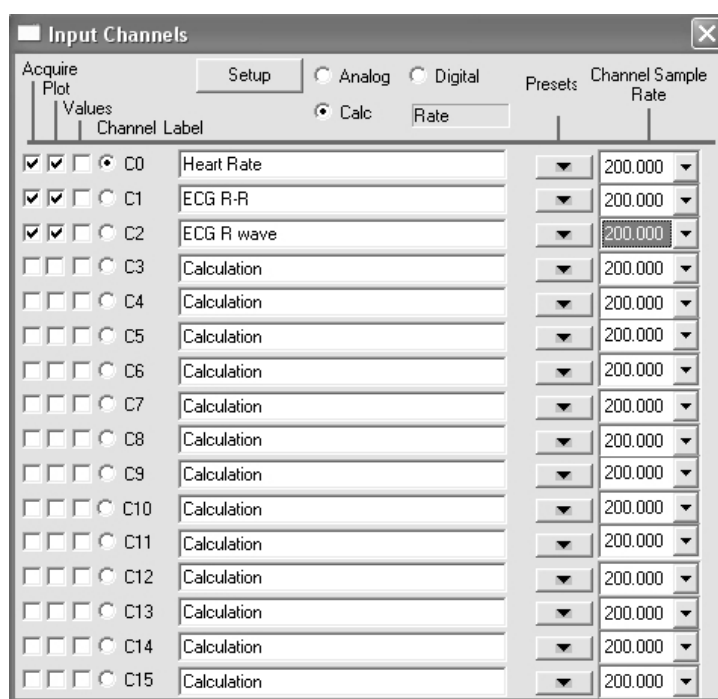


Рис. 1.9. Набор величин, которые будут вычисляться в процессе записи ЭКГ.

- 6) Задать длительность экспериментальной записи в MP100 → Set Up Acquisition. В появившемся окне также устанавливается частота дискретизации сигнала и варианты хранения данных (в оперативной памяти или запись в файл).
- 7) Нажать “Start” для начала записи данных. При необходимости запись можно приостановить, нажав “Stop”. Для удобства визуального контроля регистрируемого сигнала предусмотрены возможности установки автоматического выбора масштаба переменных, выводимых на экран. Пример полученной при этом экспериментальной записи

электрокардиограммы вместе с выбранными величинами (ЧСС, длительность R-R, высота зубца R) представлен на рисунке 1.10.

Анализ типичной формы одного кардиоцикла включает идентификацию характерных P, Q, R, S и T зубцов. Такой анализ целесообразно начинать с R волн. Для удобства можно изменить масштаб по обеим осям (щелчком левой клавиши мыши по соответствующей оси открывается окно, в котором задается требуемый масштаб).

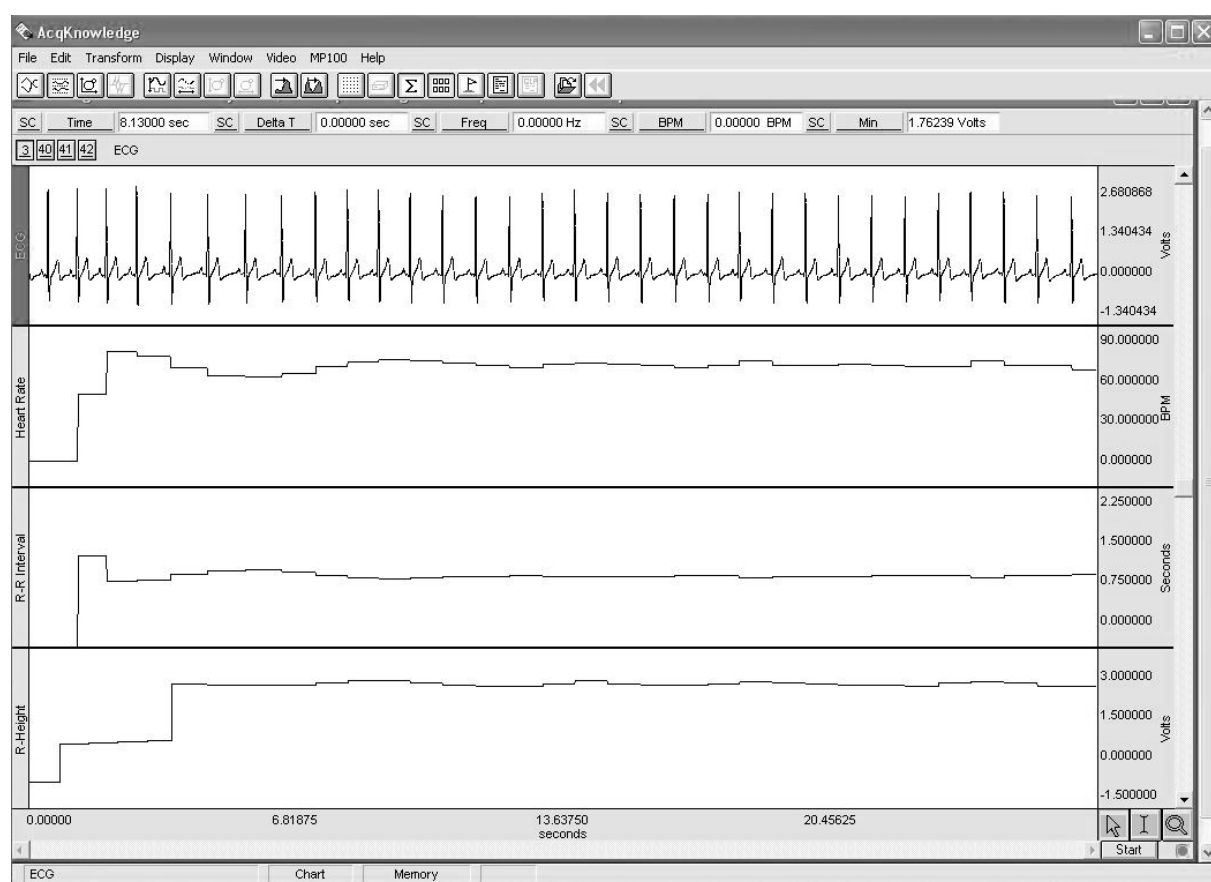


Рис. 1.10. Пример экспериментальной записи.

Для идентификации момента времени, соответствующего R волне, установить курсор на максимум этого пика, предварительно нажав на кнопку . Выделить мышью область от курсора до другого пика, интервал времени между которыми требуется определить (рис. 1.11). Например, можно оценить величину R-R интервала, время между R и P или R и T волнами. Длительность выделенного фрагмента ЭКГ будет отражена в окне индикатора

“Delta T”. Для более точного измерения длительности временных интервалов можно воспользоваться опцией автоматического нахождения пиков электрокардиограммы Transform → Find Peak. Также существует возможность измерить количество ударов в минуту (“beats per minute” или BPM) и амплитуду каждой волны.

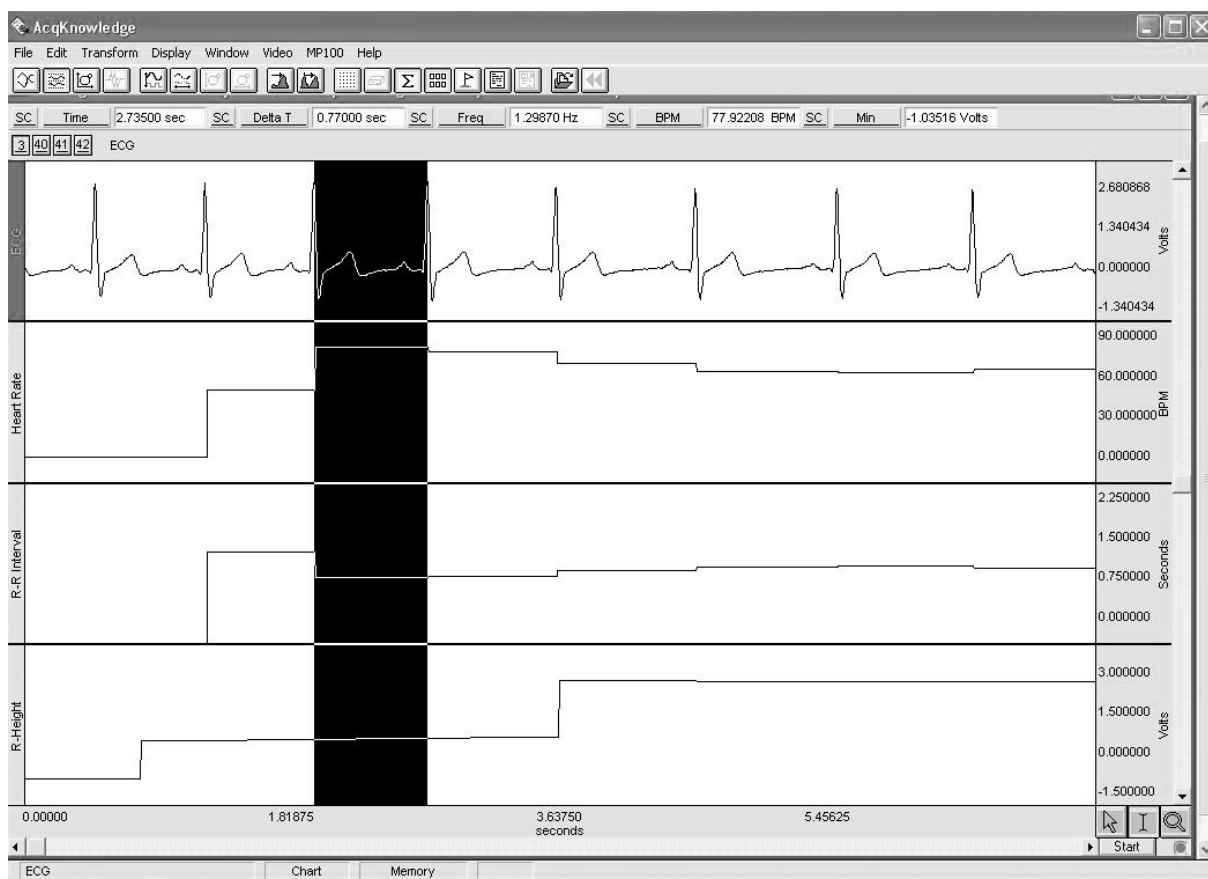


Рис. 1.11. Выделение области для оценки интервала времени между R зубцами.

Поскольку характерные пики ЭКГ повторяются от удара к удару с незначительными изменениями, важной характеристикой является усредненная форма сигнала, соответствующего одному сердечному циклу. Провести усреднение можно в пределах всей экспериментальной записи или для отдельных ее участков. С этой целью требуется выделить мышью область для усреднения (предварительно нажав кнопку ) . Затем можно воспользоваться опцией Transform → Find Peak, задать уровень порога и положения курсоров, выбрать “Off-line Averaging”, после чего нажать кнопку “Setup Averaging”. В появившемся окне выбрать “Selected Area”, нажать “OK” и затем “Ave Start”. В результате будет полу-

чен усредненный сигнал ЭКГ. По аналогии выбирается другая область, для которой выполняются аналогичные действия. Чтобы все волновые формы отображались в одном окне одна под другой, требуется сначала выделить нужные волновые формы (“Edit → Select all”) и поместить их в выбранное окно (“Edit → Insert Waveform”) – рис. 1.12.

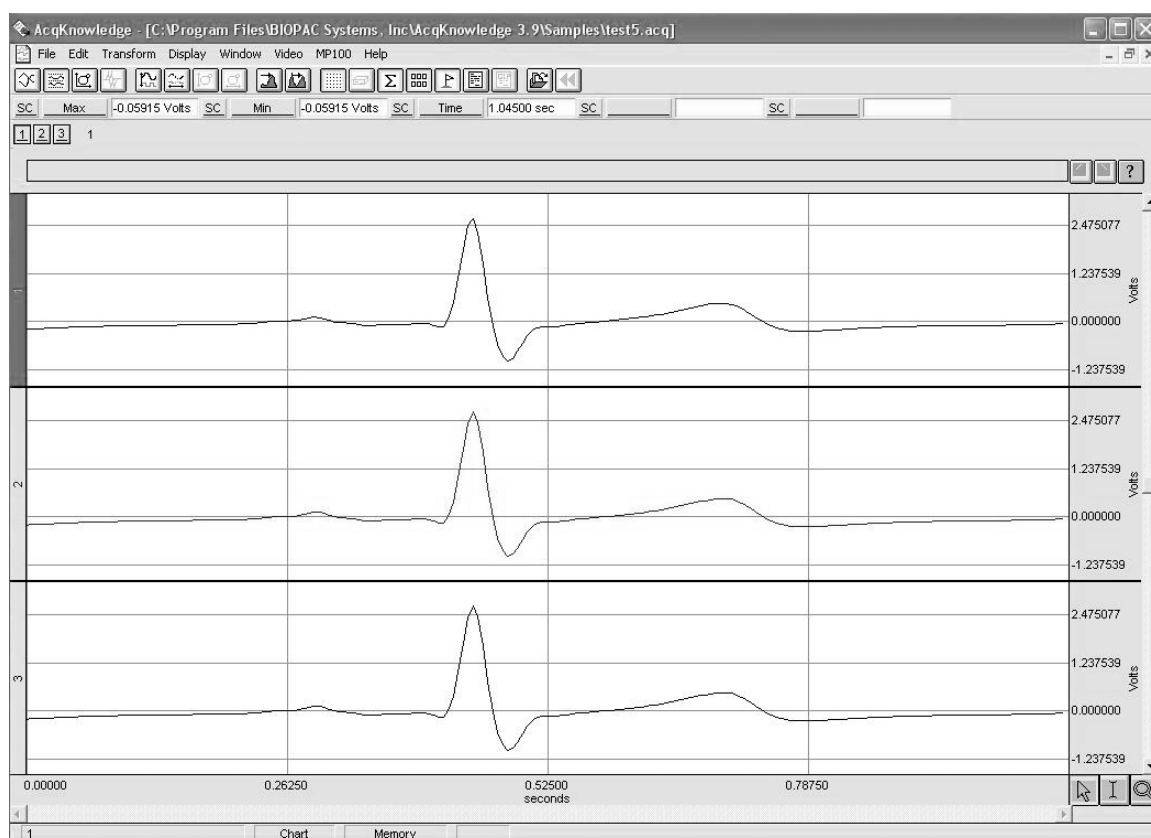


Рис. 1.12. Усредненные волновые формы для разных участков ЭКГ.

С целью выявления различий волновых форм их удобно вывести на один график, нажав кнопку “Scope Mode”, расположенную на верхней панели. Для возвращения к прежним временным зависимостям нужно нажать кнопку “Chart Mode”.

Существуют различные варианты записи результатов в файл:

- Файл *.acq – сохраняется полная картинка в специальном формате программы AcqKnowledge (для последующей обработки);
- Файл *.txt – обычный текстовый формат для последующего анализа экспериментальных записей с помощью специальных программ.

С помощью AcqKnowledge можно проводить статистический анализ сердечного ритма и оценивать рассмотренные выше статистические показатели. В частности, для построения гистограммы последовательностей R-R интервалов необходимо вначале выбрать нужный сигнал, после чего воспользоваться Transform → Histogram. Затем задать диапазон значений R-R, а также количество участков его разбиения (выбор диапазона может проводиться автоматически, но на практике часто бывает удобнее задавать его вручную для устранения влияния возможных артефактов). Пример полученных результатов для сравнительно короткой последовательности R-R интервалов изображен на рисунке 1.13.

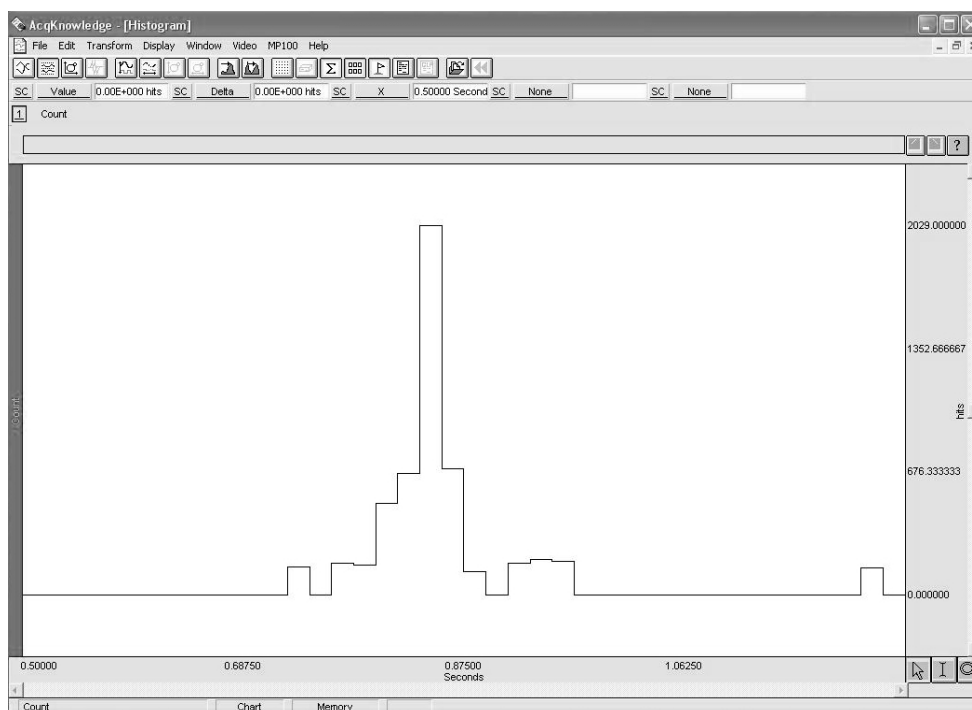


Рис. 1.13. Построение гистограммы по последовательности R-R интервалов.

Для оценки такой характеристики как триангулярная интерполяция гистограммы требуется установить измерения для “Delta X”, выбрав нужную опцию из имеющегося списка вариантов. Затем выделить отрезок по оси абсцисс между точками, определяющими ширину основания треугольника, которым можно аппроксимировать гистограмму. Значение индекса TINN будет автоматически показано в соответствующем окне напротив выбранной величины “Delta X” (см. рис. 1.14).

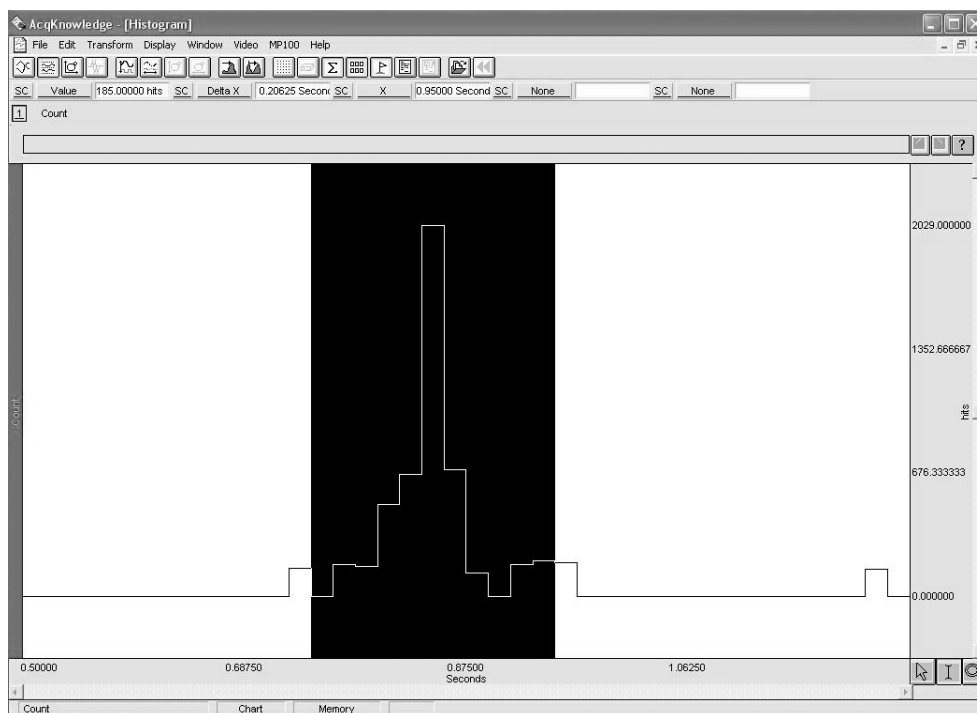


Рис. 1.14. Триангулярная интерполяция гистограммы.

Рисунок 1.15 иллюстрирует возможности реконструкции фазового портрета по сигналу электрокардиограммы методом задержки (“XY Mode” на верхней панели). Реконструкцию целесообразно осуществлять по относительно небольшим фрагментам экспериментальных данных.

Наряду с расчетом статистических характеристик сердечного ритма программа AcqKnowledge позволяет, например, проводить спектральный анализ, но для качественного и детального исследования структуры регистрируемых данных представляется целесообразным применять более специализированные пакеты программ, используя возможности, предоставляемые AcqKnowledge на этапе предварительной обработки и анализа электрофизиологических сигналов.

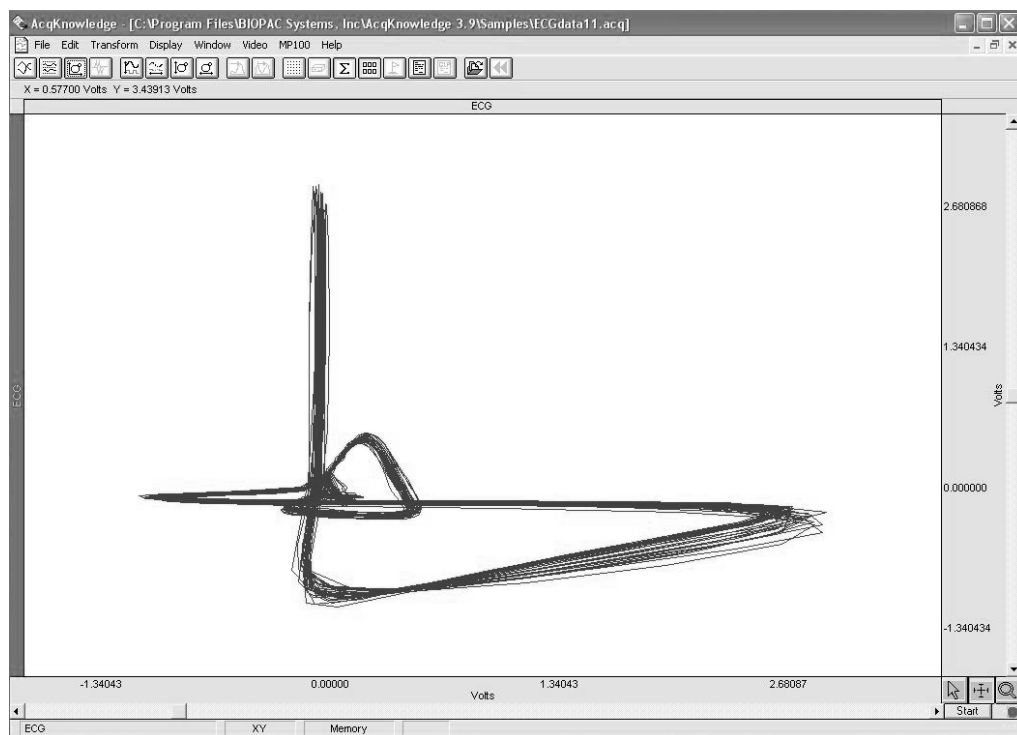


Рис. 1.15. Реконструкция фазового портрета методом задержки.

Контрольные вопросы

- 1) Какие физиологические процессы характеризуют основные зубцы ЭКГ?
- 2) Что понимают под вариабельностью сердечного ритма?
- 3) Охарактеризуйте статистические показатели сердечного ритма.
- 4) Что такое скатерграмма и для чего она применяется?
- 5) Как в программе AcqKnowledge задается длительность экспериментальной записи?
- 6) Как проводится статистический анализ сердечного ритма с помощью программы AcqKnowledge?
- 7) Какую информацию может дать спектральный анализ сигнала ЭКГ?