



НОРМИРОВАННАЯ ЭНТРОПИЯ КАК ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПРИЗНАК РЕАКЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА НА ВНЕШНЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

В.С. Анищенко, П.И. Сапарин

Проанализировано поведение совокупности статистических и динамических характеристик, используемых в хаотической динамике, применительно к электрокардиограммам человека при различных стрессах.

Введена новая количественная характеристика электрокардиограммы в виде энтропии распределения, нормированной на энергию сигнала. На ряде тестовых экспериментов обоснована перспективность использования ее как диагностического признака, обладающего большей чувствительностью и устойчивостью в сравнении с традиционными медико-биологическими параметрами. Подтверждена применимость предложенного метода при изменении уровней стрессорного воздействия в широком диапазоне. Доказана устойчивость метода к выбору параметров численной обработки сигнала.

На основании предложенного метода может быть создан прибор для анализа или контроля состояния живого организма, не требующий для измерений сложной аппаратуры или предварительных хирургических операций.

Введение

Данная работа посвящена проблемам диагностики состояний человека по электрокардиограммам ЭКГ с помощью методов нелинейной динамики. Наличие динамического хаоса в деятельности сердца человека и животных факт, подтвержденный многочисленными экспериментами [1,2,5,9]. Однако вопрос, что происходит с режимами хаотических колебаний при малых внешних возмущениях медико-биологической системы – стрессах – остается открытым.

Для решения этой проблемы необходимо выявить диагностическую характеристику, значение которой позволяло бы количественно описать состояние (режим функционирования) сердечно-сосудистой системы. Причем данная характеристика должна иметь следующие свойства:

1) способность реагировать на слабые внешние воздействия. При этом необходимо, чтобы чувствительность характеристики была бы значительно выше, чем у применяемых в настоящее время медико-биологических показателей: артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений (ЧСС), показателей, предложенных Р.М. Баевским [4];

2) достоверность реакции на широкий спектр возможных воздействий: от слабых до достаточно сильных;

3) однозначность получаемых результатов: одному конкретному состоянию конкретного человека должно соответствовать одно значение диагностической характеристики, это значение должно быть устойчиво к выбору параметров схемы численной обработки ЭКГ.

Такой диагностический признак мы и попытались найти в настоящей работе.

1. Методы решения задачи и аппаратно-программный комплекс

Все используемые характеристики вычислялись по наблюдаемой, в качестве которой рассматривалась запись сигнала ЭКГ. В данном исследовании из них для подробного анализа отобраны следующие: время корреляции t_{cor} , энтропия распределения, энтропия спектра E_s , интенсивность основной гармоники частоты сердечных сокращений A , интегральный спектр мощности S_{int} (интеграл по частоте от спектральной плотности мощности $S(\omega)$).

Живой организм является открытой системой и его энергия может значительно изменяться. Поэтому нами использована идея Ю.Л.Климонтовича о критерии упорядоченности в данных системах [3]. Таким критерием может служить энтропия, перенормированная к определенному значению энергии системы. Используем простой способ нормировки: поделим энтропию E на значение интегрального спектра мощности S_{int} (т.е. на величину, пропорциональную энергии системы H ; время анализа во всех экспериментах одинаково). Обозначим данный параметр как E/H и назовем эту величину нормированной энтропией. Аналогичным образом введем и нормированную энтропию спектра E_s/H .

Кроме вышеперечисленных величин в настоящей работе исследовалось поведение при внешнем воздействии таких характеристик аттракторов автоколебательной системы, как фазовый портрет, спектр мощности, автокорреляционная функция (АКФ) и функция распределения.

В качестве основного инструмента для решения поставленных задач использовался измерительно-вычислительный комплекс ИВК, описанный в [2]. Кратко структуру этого комплекса можно охарактеризовать следующим образом: электрокардиограф снимает со стандартно расположенных на теле человека электродов кардиосигнал, который усиливается линейным широкополосным усилителем и с помощью 10-разрядного АЦП вводится в ЭВМ типа IBM PC/AT. Полученная реализация обрабатывается программным комплексом "OBSERV", предназначенном для расчета широкого спектра характеристик исследуемых систем по наблюдаемой (реализации).

Как было установлено ранее, безразлично, какие из первых шести стандартных отведений (I, II, III, aVR, aVL, aVF) использовать в качестве наблюдаемой при расчете совокупности статистических и динамических характеристик режима сердечной деятельности. Нами выбрано стандартное отведение I (левая рука-правая рука, нулевой электрод на левой ноге).

При выборе параметров обработки наблюдаемой кардиосигнала важно время анализа ЭКГ. Использование методов теории сигнала основано на предположении о стационарности и эргодичности процесса сердечной деятельности. Однако в ритме сердца содержатся компоненты (волны) с периодами от долей секунды до суток. Делая предположение о стационарности и эргодичности процесса на конкретном временном интервале (времени анализа), мы тем самым вводим некий максимальный период анализируемых колебаний. Колебания с большим периодом будут накладываться на наблюдаемую как тренды, проявятся на спектре мощности в виде "бугров" вблизи нулевой частоты и при необходимости могут быть отфильтрованы. Другой причиной, приводящей к нестационарности исследуемого сигнала, является стрессорное воздействие. Влияния этого вида нестационарности можно избежать, выбирая время анализа много меньше характерных времен переходных процессов в организме, вызванных стрессом. В строгом смысле вопрос о стационарности случайно выбранной реализации ЭКГ нуждается в специальных исследованиях (методы оценки см. [4]). Однако экспериментатор может определять присутствие в реализации многих типов нестационарности по виду проекции фазового портрета. Мы будем анализировать наблюдаемые длиной 60-80 кардиоинтервалов, что согласуется с выводами [4] и собственными экспериментами. Такой выбор времени анализа позволит

исследовать процессы, соответствующие ритму сердца и волнам дыхания порядка 1 и 2 (по терминологии, принятой в [4]).

Таким образом, ввод сигнала в ЭВМ производился со следующими параметрами: частота дискретизации – 200 Гц; длина (количество отсчетов) – 10240; время анализа – 51.2 с; число анализируемых кардиоинтервалов – 60–80.

2. ЭКГ человека в спокойном состоянии без воздействия

Целью этих экспериментов явилось определение изменения во времени каждой из рассчитываемых статистических и динамических характеристик и выявление степени разброса характеристик ЭКГ человека, находящегося в спокойном (исходном) состоянии. Последовательность кардиограмм снималась на протяжении 25 минут, интервалы времени между записями были минимальны (2–3 с), воздействие отсутствовало. В этих экспериментах обследовались 5 испытуемых и, кроме того, была подтверждена повторяемость результатов эксперимента во времени для каждого из испытуемых.

Результаты анализа полученных ЭКГ приведены в таблице, содержащей диапазоны изменения во времени каждой из рассчитываемых показателей в среднем по испытуемым. Для сравнения в последней строке таблицы помещен типичный медицинский параметр ЧСС, АД на протяжении эксперимента оставалось неизменным. Из таблицы видно, что диапазон изменения большинства физических параметров очень широкий (и это – при отсутствии воздействия!). Причины этого мы обсудим ниже, а сейчас выделим следующие факты.

Во-первых, энтропия распределения, энтропия спектра, а также соответствующие нормированные величины изменяются относительно мало. Это позволяет использовать данные показатели для диагностики состояния человека. Во-вторых, происходит значительное (на 20%) изменение величины интегрального спектра мощности. Поскольку эта величина пропорциональна энергии колебаний, то и энергия сигнала ЭКГ человека при отсутствии внешнего воздействия сильно изменяется. Значит, особую важность приобретают значения обеих энтропий, нормированных на S_{int} [3,8].

Вид спектра мощности ЭКГ во времени заметно меняется, что, вероятно, связано с происходящими во времени изменениями в хаотическом режиме функционирования сердечной системы. Поведение S_{int} , A , t_{cor} , АКФ и спектра мощности во всех последующих экспериментах подтверждают эту гипотезу. Однако вопрос об изменениях хаотических режимов функционирования сердечно-сосудистой системы во времени при отсутствии внешних возмущений требует дополнительных исследований.

Таблица

Диапазон изменений рассчитываемых параметров во времени

Параметр	Диапазон изменения, %
t_{cor}	– 36 ÷ + 57
A	– 26 ÷ + 255
E	– 4 ÷ + 5
E_s	– 6 ÷ + 6
S_{int}	– 12 ÷ + 11
E/H	– 4 ÷ + 4
E_s/H	– 7 ÷ + 6
ЧСС	– 7 ÷ + 4

На этом фоне интересно поведение E_s – энтропии, рассчитываемой по спектру. В то время как вид спектра претерпевает значительные изменения, энтропия по спектру меняется лишь на 6% (см. табл.), что свидетельствует о ее низкой чувствительности к изменению формы спектра в данных конкретных экспериментах.

У индекса напряжения (ИН), еще одной медицинской характеристики, предложенной в [4], абсолютное значение определяется крайне неоднозначно, и даже при увеличении длины ЭКГ, ИН на протяжении 5 мин. может меняться на 160%. Таким образом, применение показателей Баевского для исследований малых стрессорных воздействий является проблематичным.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- 1) В целом диапазон изменений значений статистических и динамических характеристик более широкий, чем у медицинских.
- 2) Анализ комплекса характеристик позволяет предположить, что имеет место изменение хаотических режимов функционирования сердца во времени.
- 3) Такие величины, как АКФ, t_{cor} , A , S_{int} и спектр мощности в силу своей высокой чувствительности откликаются именно на эту перестройку режимов сердечной деятельности.
- 4) Поведение таких величин, как E , E/N , E_s/N не исключает возможности их использования для диагностики состояния человеческого организма. Предыдущие исследования, отраженные в [2,8], подтверждают этот вывод.

3. Реакция организма на различные виды внешних воздействий

В данном разделе описываются тестовые эксперименты, проведенные с различными видами стрессов. Их цель – проверка поведения ранее выбранных характеристик при различных возмущениях живой системы, выбор наиболее подходящих для описания реакций организма на стресс и сравнение диапазона изменения этих величин и медико-биологических показателей. Во всех экспериментах измерения артериального давления производились сразу после окончания ввода в ЭВМ соответствующей реализации (электрокардиограммы). В качестве физической нагрузки использовались приседания. Испытуемый совершал 30 приседаний в течение одной минуты. Записи ЭКГ производились следующим образом: исходное состояние (до воздействия), через 45 с после нагрузки и 4 последовательных записи с интервалом между ними 3 мин. Эти измерения нумеровались с нулевого по пятое. Результаты обработки ЭКГ по всем выбранным диагностическим признакам для мужчин и отдельно для женщин показаны на рис. 1. Поскольку после физической нагрузки происходила быстрая релаксация организма, отрезок ЭКГ выбранной ранее длины был бы явно не стационарным. Поэтому время анализа в этом виде экспериментов было сокращено до 15 с при длине реализации в 3000 точек (отсчетов).

Для описания отклика организма на физическую нагрузку оптимальными являются время корреляции t_{cor} и нормированная энтропия E/N . Их изменения при таком стрессе у мужчины и женщины приведены на рис. 1. Видно, что диапазон изменения t_{cor} и E/N более чем в 2 раза превосходит соответствующие изменения АД и ЧСС. Анализ результатов, полученных при обработке ЭКГ мужчины и женщины, говорит об уменьшении степени хаотичности состояния сердечной деятельности обоих испытуемых.

Следующим видом воздействия была слабая ментальная (умственная) нагрузка. Испытуемые в течение двух минут читали по специальной литературе незнакомый текст с целью его пересказа. Записи ЭКГ производились: в исходном состоянии, затем во время чтения – через 30 с после его начала. Потом измерения проводились через каждые 2 мин, считая от момента окончания чтения. Исходная запись обозначалась нулевой, последующим присваивались соответствующие порядковые номера. В данных экспериментах параметры ввода ЭКГ были стандартными (см. разд. 1).

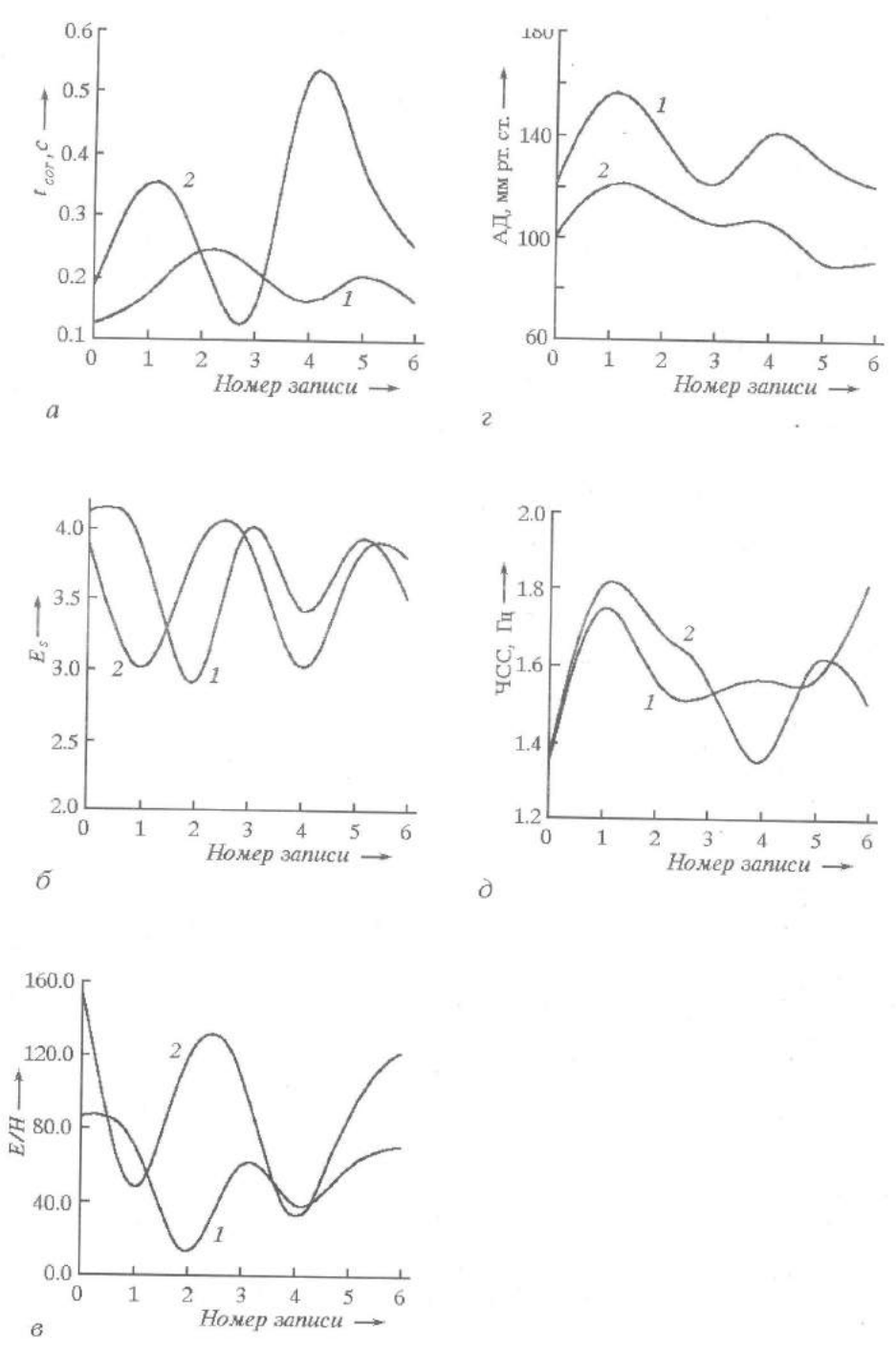


Рис. 1. Изменения статистических, динамических и медико-биологических показателей человеческого организма при физической нагрузке: 1 - реакция мужчины; 2 - реакция женщины

Из всех выбранных нами статистических и динамических характеристик для описания реакции на ментальный стресс подходит только нормированная энтропия (рис.2). Другие характеристики или имеют слишком малый (недостовверный) диапазон изменения E_s , или же изменения не коррелируют с оказываемым воздействием (E , t_{cor} , S_{int} , E_s/H). Такое слабое воздействие плохо фиксируется и по медицинским показателям: АД остается постоянным, ЧСС изменяется слабо, в среднем на 9%. Однако нормированная энтропия позволяет надежно диагностировать реакцию организма: диапазон изменения этой характеристики примерно 40%. Интересно, что изменения E/H имеют противоположные знаки у двух представителей одного пола.

Третьим рассмотренным видом воздействия является шумовое возмущение. На испытуемого надевались наушники, затем на 4 мин. включался громкий шум. Запись реализаций происходила следующим образом: исходное состояние, через 1,3 и 6 мин. после окончания шумового воздействия. Параметры оцифровки ЭКГ были стандартными.

Результаты обработки последовательностей ЭКГ, полученных при шумовом стрессе у молодых мужчины и женщины приведены на рис. 3. Как и в

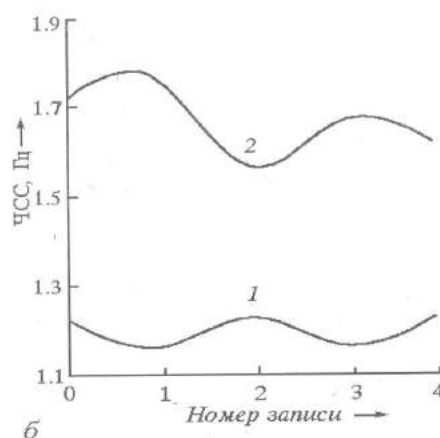
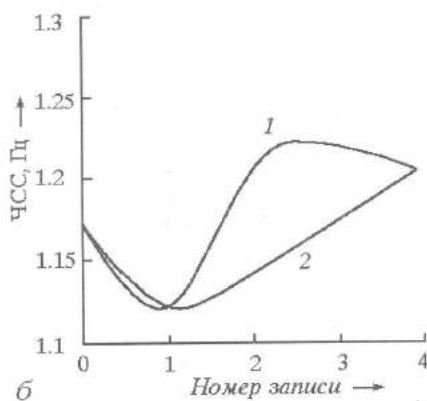
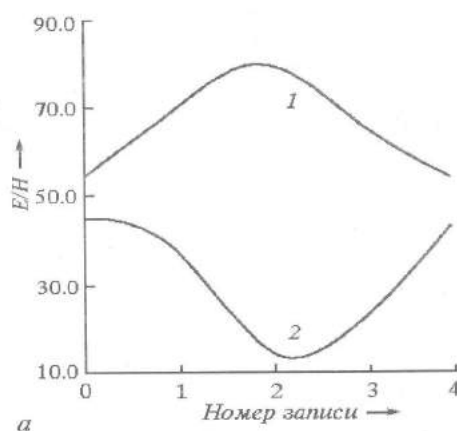
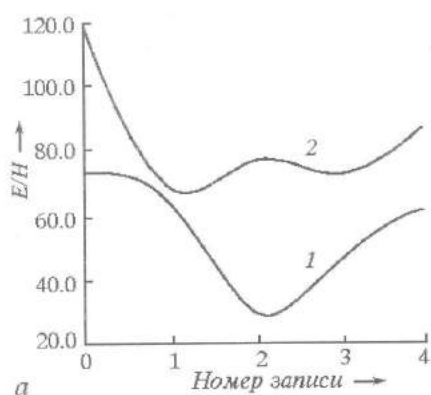


Рис. 2. Изменения динамического и медико-биологического показателя при слабом ментальном стрессе: кривые 1 и 2 - соответствуют реакциям двух молодых мужчин

Рис. 3. Изменения динамического и медико-биологического показателей при шумовом стрессе: 1 - реакция мужчины; 2 - реакция женщины

случае ментальной нагрузки, из всех характеристик только нормированная энтропия позволяет нам описать реакцию сердечно-сосудистой системы на шумовое воздействие: диапазон изменения E/H – 43%, тогда как АД изменяется на 10, а ЧСС лишь на 8%.

Из проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы.

1. Наиболее подходящей диагностической характеристикой является E/H . Поведение t_{cor} , S_{int} , E , E_s , E_s/H способно сильно различаться и не всегда соответствует медицинским аспектам эксперимента. Заметим, что при нормировании энтропии вместо S_{int} можно использовать $\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt$. Это перспективно при создании быстродействующей аппаратуры для диагностики состояния человека или животного.

2. Чувствительность нормированной энтропии превосходит таковую медицинских показателей в 2–4 раза, что позволит использовать эту величину для описания таких реакций организма на воздействие, которые плохо (ментальный стресс) или не очень надежно (шумовой стресс) диагностируются по медицинским показателям.

3. На реакцию E/H не влияет время анализа (15 с при физической нагрузке, 51.2 с при других видах стресса), ни сила воздействия на организм (очень слабая ментальная нагрузка и мощная физическая) – в любом случае имеется доверительный интервал изменения порядка 40–70%.

4. Существуют классы экспериментов, таких, как физическая нагрузка, где в качестве диагностических признаков можно использовать время корреляции t_{cor} и энтропию по спектру E_s (рис.1, а, б). Это объясняется интенсивностью реакции организма на возмущение. Мощная реакция как бы "замазывает" те изменения режимов во времени, которые происходят в сердечно-сосудистой системе человека. Нейтрализовать эти процессы позволяет также и малая длина отрезков ЭКГ в данных экспериментах.

Кроме того, по поведению нормированной энтропии можно проследить интересные биологические явления, например, вторичную реакцию на физическую нагрузку (рис. 1, б, в). Этот известный по тонким биологическим экспериментам факт четко просматривается на обеих зависимостях E/H , тогда как по медицинским показателям его можно заметить лишь у одного испытуемого.

4. Реакция организма на шумовое воздействие

Для дальнейшего изучения влияния возмущений на анализируемые характеристики требуется провести комплекс исследований с подтверждением статистической достоверности результатов. Из трех перспективных для дальнейших исследований является шумовое воздействие. Физическая нагрузка вызывает мощные переходные быстротечные, принципиально нестационарные процессы, сильно зависящие от тренированности испытуемого, что вызывает затруднения при измерениях АД и ЧСС. Ментальная нагрузка также очень субъективна, велико влияние посторонних внешних раздражителей и настроения испытуемого, с другой стороны, при ней не происходит изменения медико-биологических показателей. Шумовое воздействие, напротив, имеет оптимальную интенсивность, минимально подтверждено влиянию субъективных и внешних факторов, хоть и слабо, но диагностируется по медицинским показателям.

Протокол экспериментов описан в предыдущем разделе. Исследования проводились для проверки на статистически достоверных результатах справедливости выбора диагностического признака из всей совокупности анализируемых характеристик хаотических сигналов и для определения половых различий в реакции на стресс мужчины и женщины (см., например, [6,7]). Для обеспечения статистической достоверности результатов группа испытуемых состояла из 14 женщин и 16 мужчин. Возраст испытуемых находился в пределах

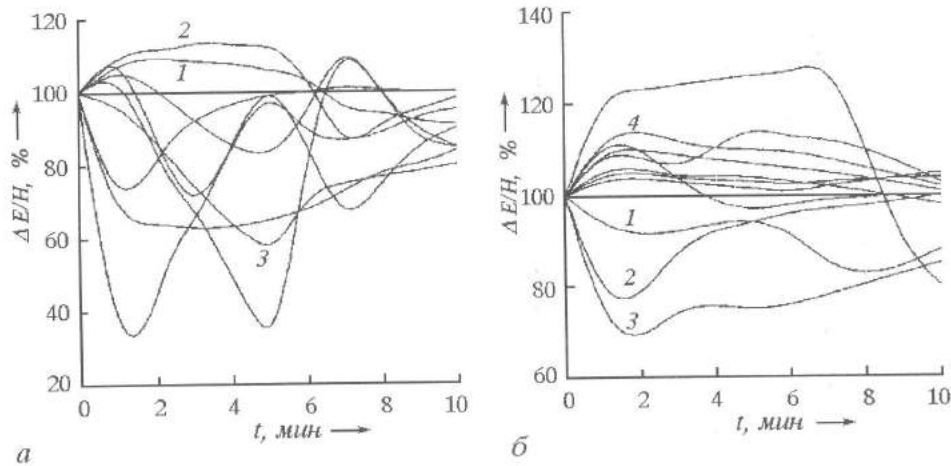


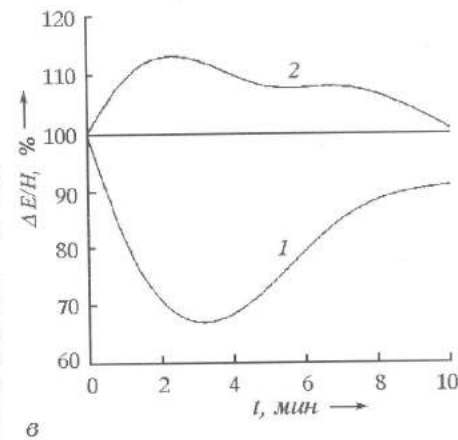
Рис. 4. Изменения нормированной энтропии E/H (в % к начальному значению) при шумовом стрессе: *a* – реакция мужчин; *б* – реакция женщин; *в* – усредненные результаты без учета андрогинных реакций: 1 – реакция мужчин; 2 – реакция женщин

20–37 лет. Полученные для каждого испытуемого результаты обладали хорошей воспроизводимостью при повторных экспериментах.

Временные зависимости анализируемых величин нормировались на начальные значения. Таким образом рассматривались не абсолютные значения величин, а их процентные изменения относительно начальных значений. Полученные результаты, сгруппированные по половому признаку, приведены на рис. 4. На нем изображено несколько типичных зависимостей реакции мужчин и женщин на данный вид воздействия. При усреднении всех имеющихся результатов, но без учета особых видов реакции на возмущение (кривые 1, 2 на рис. 4, *a* и кривые 1–3 на рис. 4, *б*), получаются очень красивые зависимости, представленные на рис. 4, *в*). Медицинские показатели изменялись менее регулярно в небольшом диапазоне: 12% (АД) и 10% (ЧСС), что позволяет фиксировать по ним наличие лишь каких-то чрезвычайно слабых откликов на воздействие. Диапазон изменения нормированной энтропии, напротив, дает достоверные изменения: около –30% у мужчин и +10% у женщин. Это не только качественно диагностирует реакцию на возмущение, но и позволяет дать количественную оценку степени отклика организма на него.

Видны четкие половые различия в реакции на малое шумовое воздействие. Достоверность различий в изменении E/H у мужчин и женщин проверялась с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни (парное сравнение двух групп). Расчеты показали, что различия достоверны с вероятностью погрешности 0.003 во время воздействия, 0.02 через 1 мин. и 0.03 через 3 мин. после его окончания. Недостоверными различиями становятся к 6-ой минуте после прекращения воздействия.

На шумовое воздействие мужчины реагируют значительным снижением



нормированной энтропии, что говорит о некотором уменьшении степени хаотичности реконструированного аттрактора ЭКГ. Женщины, напротив, реагируют меньшим по амплитуде и противоположным по знаку изменением данного показателя, это соответствует небольшому увеличению хаотичности аттрактора ЭКГ. Различия обнаруживаются и во времени релаксации — промежутке времени, требуемого для возвращения системы к невозмущенному состоянию. Время релаксации у мужчин больше, чем у женщин (см. рис 4). Более того, при анализе всей совокупности полученных зависимостей E/H выявляются испытуемые, обладающие реакцией на воздействие, свойственной противоположному полу. В медицине это называется андрогинным типом реакции. Три этих факта: интенсивность реакции и ее знак, различные времена релаксации и наличие андрогинных типов реакции полностью соответствуют современным биологическим и медицинским представлениям о реакции организма на стресс [6, 7].

Поскольку круг лиц, участвовавших в экспериментах, оставался постоянным, стал известен тип реакции каждого из испытуемых. Под типом реакции мы понимаем особенности изменения E/H при стрессе: быстроту реагирования, интенсивность, направление (знак) реакции. При различных стрессах этот индивидуальный тип реакции сохраняется.

Рассмотрим, например, реакцию двух мужчин на ментальную нагрузку (рис. 2, а, кривые 1 и 2). Видно, что реакции противоположны. Это объясняется тем, что один из них имеет андрогинную реакцию (кривая 2), другой — обычную реакцию по мужскому типу (кривая 1). При шумовом стрессе этим же испытуемым соответствуют кривые 2 и 3 на рис. 4, а. Аналогично объясняется поведение кривых E/H на рис. 3: В этом случае андрогинный тип реакции у женщины.

Обратимся теперь к рис. 1, в. На нем приведены кривые 1 и 2, соответствующие реакции на физическую нагрузку мужчины с мужским типом реакции и женщины с андрогинным (этот вывод сделан на основании экспериментов с шумовым стрессом, где реакция мужчин — кривая 3 на рис. 4, а, женщин кривая 2 на рис. 4, б). Поэтому поведение E/H у испытуемых качественно совпадает.

Все вышесказанное позволяет сделать важный принципиальный вывод для описания реакции организма на стрессорное воздействие можно использовать величину E/H — энтропию, нормированную на величину интегрального спектра. Изменения этого параметра достоверны при воздействиях различных по интенсивности, включая те виды воздействия, которые невозможно зафиксировать по классическим медико-биологическим показателям. Чувствительность этой характеристики превосходит таковую у применяемых в настоящее время медицинских характеристик.

Заключение

В результате проведенных исследований получены следующие основные результаты.

1. Определен надежный количественный и качественный диагностический признак, представляющий собой энтропию сигнала, нормированную на его энергию. Предложен метод, однозначно характеризующий реакцию сердечно-сосудистой системы человека или животного на внешнее воздействие, что открывает возможности его использования в области диагностики стрессов различной интенсивности.

2. На основе сравнения изменения этой характеристики в условиях различного рода воздействий с традиционными медико-биологическими характеристиками доказана большая (в 2 — 4 раза) чувствительность ее к внешним возмущающим воздействиям — стрессам.

3. Проведен ряд тестовых экспериментов, подтверждающих два предыдущих пункта и доказывающих применимость предложенного метода при изменении уровней стрессорного воздействия в широком диапазоне. Доказана

устойчивость метода к выбору параметров численной обработки сигнала.

4. На основании предложенного метода может быть создан прибор для анализа или контроля состояния живого организма. Причем для измерений не требуется сложной аппаратуры или предварительных хирургических операций.

Авторы выражают благодарность Т.Г.Анищенко, Н.Б.Игошевой за помощь в проведении экспериментов и обсуждении полученных результатов.

Библиографический список

1. *Babloyantz A, Deslexhe A.* Is the Normal Heart a Periodic Oscillator // *Biol. Cybern.* 1988. Vol. 58. P. 203.

2. *Анищенко В.С., Сапарин П.И., Сафонова М.А.* Измерительно-вычислительный комплекс для диагностики сложных режимов автоколебаний // *Радиотехника и электроника.* 1992. Т.37, №3. С. 467.

3. *Климонтovich Ю.Л.* Проблемы статистической теории открытых систем: критерии относительной степени упорядоченности состояний в процессе самоорганизации // *УФН.* 1983. Т.158, №1. С. 59.

4. *Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.Э.* Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984.

5. *Гласс Л., Мэки М.* От часов к хаосу. Ритмы жизни. М.: Мир, 1991.

6. *Франкенхаузер М., Едман М.* Мужчина, женщина и стресс // *Наука и жизнь.* 1991. №5. С. 56.

7. *Анищенко Т.Г.* Половые аспекты проблемы стресса и адаптации // *Успехи современной биологии.* 1991. Т. 111, №3. С. 460.

8. *Сапарин П.И., Мурашев А.Н.* Оценка влияния фармакологических препаратов с помощью статистических и динамических характеристик режимов колебаний // *Тез. докл. на IX Всесоюз. конф. "Химическая информатика".* Черно-голова, 11—15 янв. 1992. С. 130.

9. *Anishchenko V., Safonova M., Saparin P.* Computer Analysis and Synthesis of System from Experimental Data // *35 Internationalises Wissenschaftliches Colloquium,* 22.–25.10.1990, TH, Immenau, 1990. Heft 1. P. 73.

Саратовский государственный университет

*Поступила в редакцию 26.11.92.
после переработки 2.08.93.*

NORMALIZED ENTROPY AS A DIAGNOSTIC CRITERION OF HUMAN CARDIO-VASCULAR SYSTEM REACTION ON THE EXTERNAL INFLUENCE

V.S. Anishchenko, P.I. Saparin

The behaviour of a set of statistical and dynamical characteristics, used in chaotic dynamics, is analysed as it applies to the electrocardiograms of human under the influence of different types of stress.

A new quantitative electrocardiogram characteristic is introduced as a distribution entropy, normalized by the signal variance. A perspective of this parametre application as a diagnostic criterion is proved by series of test experiments. By comparison with traditional medico-biological characteristics the higher sensitivity and stability of this criterion is proved. A number of test experiments has been conducted that confirm the validity of the above two conclusions and prove the applicability of the proposed method under the conditions of stress influence varied over a wide range. The stability of the proposed method in respect is proved.

On the basis of this method, a special diagnostic instrument for analysis and mon-

initoring of the being of a living organism can be developed. To measure the above parameters no sophisticated instrumentation, nor preliminary surgical intervention is required.



Сапарин Петр Игоревич в 1987 окончил физический факультет Саратовского университета по специальности «радиофизика и электроника». С 1987 по 1990 г. работал инженером кафедры радиофизики СГУ. С 1990 г. по настоящее время — аспирант той же кафедры. Автор 15 научных работ, опубликованных в российской и зарубежной печати.



В издательстве Саратовского университета вышли в свет в 1993 году

Пособия для студентов химических и приборостроительных специальностей вузов

Н.Г. Кузьмин, В.П. Севостьянов

ЗНАКОСИНТЕЗИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОНИКА:
Материалы, технология, экология
Часть 1. Жидкокристаллические индикаторы на твист-эффекте

В.П. Севостьянов, А.В. Аношкин, Б.К. Решетников, Е.В. Плешканёва

ЗНАКОСИНТЕЗИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОНИКА:
Методы получения тонких пленок

В.П. Севостьянов, Б.К. Решетников, И. В. Мраморнов, М.Л. Каширский

ЗНАКОСИНТЕЗИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОНИКА:
Фотолитография

