



АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ ПЕРЕНОРМИРОВАННОЙ ЭНТРОПИИ

В.С.Анищенко, П.И.Сапарин, Ю.Куртс, А.Витт, А.Фосс

Проводится анализ различных режимов работы сердца на основе нового метода перенормированной энтропии, служащей количественной мерой относительной степени их упорядоченности. С помощью клинических исследований установлено, что перенормированная энтропия последовательностей RR -интервалов позволяет диагностировать патологические изменения в динамике сердечного ритма, связанные с различными заболеваниями. Изменения данной характеристики служат основой для новой классификации заболеваний сердца по типу нарушения степени упорядоченности динамики сердечного ритма.

Введение

В настоящее время стал известен удивительный факт, что в ритме сердца человека закодирована информация о процессах, протекающих не только в самом сердце и кровеносной системе, но и в различных звеньях системы управления: нервных сплетениях, железах внутренней секреции, нервных центрах, расположенных в глубине мозговой ткани, различных рецепторах и т.д. Сложная иерархия структур системы управления и их взаимодействие приводит к тому, что на ритм сердца воздействуют многочисленные нервные и гуморальные факторы, которые и обуславливают большое разнообразие режимов колебания сердечного ритма (СР). Исследования показали, что даже в условиях постоянного уровня физической активности человека СР не является постоянным и сердечно-сосудистая система может реализовывать различные режимы колебаний. В изменениях СР обнаруживаются многие физические явления, являющиеся предметом изучения нелинейной динамики [1-7]: динамический хаос [1-4,7], взаимная синхронизация различных частот [2,3,7], $1/f$ - шум [3,4,6] и т.д., причем четкое объяснение этих фактов с точки зрения физиологии до сих пор отсутствует.

С другой стороны, исследования динамики сердечного ритма (ДСР) имеют важное значение для диагностики различных заболеваний, таких как диабет [7], различные сердечные патологии [3,4,7], позволяют контролировать состояние трансплантированного сердца [5,7], выявлять предрасположенность к внезапной сердечной смерти [3,4].

Целью нашего исследования является анализ ДСР на основе новых методов нелинейной динамики, в частности, критерия относительной степени упорядоченности [8-10]. Мы попытаемся с помощью этой характеристики описать

изменения степени упорядоченности СР при различных заболеваниях, а также использовать ее для диагностики предрасположенности пациента к внезапной сердечной смерти (ВСС).

1. Метод исследования и пациенты

Поскольку сердечно-сосудистая система (ССС) является открытой системой и ее энергия может значительно изменяться, для анализа ДСР удобно использовать критерий относительной степени упорядоченности различных режимов сердечного ритма, основывающийся на S -теореме Климонтовича [8]. На основе этого метода введена новая характеристика – перенормированная энтропия (ПЭ), детально описанная в работах [9, 10]. Идея данного алгоритма состоит в следующем.

Для сравнения относительной упорядоченности двух различных состояний анализируемой системы «0» и «1» (или двух соответствующих временных рядов), необходимо сравнить значения энтропий распределений спектральных интенсивностей $p_0(\omega)$ и $p_1(\omega)$ этих состояний, перенормированных к заданному значению средней эффективной энергии системы. Введем распределение $\tilde{p}_0(\omega)$ как распределение $p_0(\omega)$, перенормированное к уровню средней эффективной энергии состояния «1». Алгоритм такой перенормировки приведен в [8–10]. Тогда соответствующие энтропии определяются как

$$\begin{aligned} \tilde{S}_0 &= - \int \tilde{p}_0(\omega) \ln \tilde{p}_0(\omega) d\omega, \\ S_1 &= - \int p_1(\omega) \ln p_1(\omega) d\omega. \end{aligned} \quad (1)$$

Перенормированная энтропия $\Delta\tilde{S}$, являющаяся количественной мерой различия в относительной степени упорядоченности этих состояний, вычисляется следующим образом:

$$\Delta\tilde{S} = S_1 - \tilde{S}_0. \quad (2)$$

Зависимость интервалов между ударами сердца от времени будем называть тахограммой. Поскольку промежуток между сердечными сокращениями измеряется как интервал между двумя соседними R -зубцами ЭКГ, то тахограмма является последовательностью RR -интервалов. Для того, чтобы получить тахограмму, характеризующую ДСР пациента, применялась следующая методика. С каждого пациента в условиях покоя в положении лежа снималась ЭКГ, включающая в себя четыре биполярных отведения (три отведения Франка X , Y , Z и одно дополнительное). Эти отведения через специальный широкополосный усилитель подавались на вход АЦП и после оцифровки вводились в память ЭВМ. Частота дискретизации была 2000 Гц, разрешение по амплитуде 16 бит, запись производилась на протяжении 30 минут. Затем из полученной ЭКГ извлекалась последовательность RR -интервалов, точность определения каждого RR -интервала была ± 0.5 мс. Поиск R -зубцов происходил автоматически, в основе его лежат алгоритмы поиска по образцу (задается типичный вид QRS -комплекса для данного пациента) и взаимной корреляции результатов поиска по четырем отведениям. Получаемая тахограмма контролировалась визуально и в случае необходимости могла быть откорректирована.

При исследованиях относительной степени упорядоченности тахограмм мы делаем следующее предположение: ССС и управляющая ею нервная система у всех пациентов одинакова. Поэтому можно говорить об изучении динамики одной системы, но функционирующей в различных режимах. Определенные режимы функционирования соответствуют работе здорового сердца, различные заболевания приводят к возникновению в системе новых режимов, отличных от исходных. Исследуемые тахограммы порождаются одной системой и являются

следствием ее динамики, определяемой различными сочетаниями управляющих параметров. Таким образом, каждой полученной последовательности RR -интервалов ставится в соответствие определенное состояние ССС, и эти состояния могут сравниваться с помощью критерия ПЭ.

Для сравнения относительной упорядоченности тахограмм мы использовали следующую численную схему:

1. Из последовательности RR -интервалов удалялись экстрасистолы, как это описано в работе [7]. Экстрасистолы и прочие нетипичные сокращения, рождающиеся вне водителя ритма сердца – синоатриального узла, встречаются даже у полностью здоровых людей. При вычислении многих характеристик, в частности, спектра мощности СР, нетипичные сокращения играют определяющую роль, что не позволяет правильно оценить истинную динамику СР.

2. Последовательность RR -интервалов после удаления экстрасистол преобразовывалась в эквидистантный временной ряд с интервалом $\Delta t = 0.5$ с с помощью линейной интерполяции [4,7,11].

3. Из временного ряда удалялся квадратичный тренд [12]. Выделение тренда из анализируемой тахограммы позволяло значительно улучшить результаты расчетов ее характеристик.

4. По полученным временным рядам с помощью периодограммного метода рассчитывались спектры мощности, длина одного окна составляла 2048 точек. Полученные таким путем спектры использовались для сравнения относительной упорядоченности состояний ССС, задаваемых последовательностью RR -интервалов. Поскольку мы предполагаем, что наиболее важная информация содержится в низкочастотной части спектра мощности, для вычисления ПЭ использовались только участки спектров, заключенные в диапазоне частот от 0 до 0.24 Гц. Такой выбор верхней границы анализируемого спектра диктовался компромиссом. С одной стороны, было бы желательно при сравнении учитывать максимально возможное количество информации, содержащееся в низкочастотной части спектра. С другой стороны, мы считали необходимым исключить из рассмотрения участки спектра, определяемые дыханием пациента, поскольку форма спектра в этих областях от пациента к пациенту может значительно различаться.

Общее число пациентов, участвовавших в исследованиях, составило 85 человек. Из них 60 страдали различными сердечными заболеваниями: вентрикулярная тахикардия, инфаркт миокарда, аритмия различного происхождения и т.д. Остальные 25 участников эксперимента относились к группе здоровых людей, то есть заболевания сердечно-сосудистой системы у них не были обнаружены.

2. Относительная упорядоченность ритма сердца здоровых людей и лиц, страдающих различными сердечными заболеваниями

В качестве первого шага нами исследовалась группа здоровых людей, принявших участие в экспериментах. Среди 25 тахограмм здоровых людей путем попарного сравнения на основе критерия ПЭ была определена тахограмма, имеющая наименьшую степень упорядоченности. Затем степень упорядоченности каждой полученной тахограммы сравнивалась с этой фиксированной тахограммой, используемой в качестве опорной. Таким образом, для каждой анализируемой последовательности RR -интервалов, то есть для каждого обследуемого пациента мы получили величину перенормированной энтропии

$$\Delta \tilde{S} = S_{\text{analyzed}} - \tilde{S}_0, \quad (3)$$

которая позволяет оценивать степень различия в относительной упорядоченности тахограмм и соответствующих спектров мощности [13,14]. С помощью критерия ПЭ (1)–(3) мы можем проводить сравнение относительной степени

упорядоченности различных типов динамики сердечного ритма, различных состояний ССС и характеризовать их различия численно.

Результаты такого сравнения приведены на рис.1. С помощью метода ПЭ мы можем выделить **четыре группы** пациентов, которые различаются по относительной степени упорядоченности их сердечного ритма [13,14].

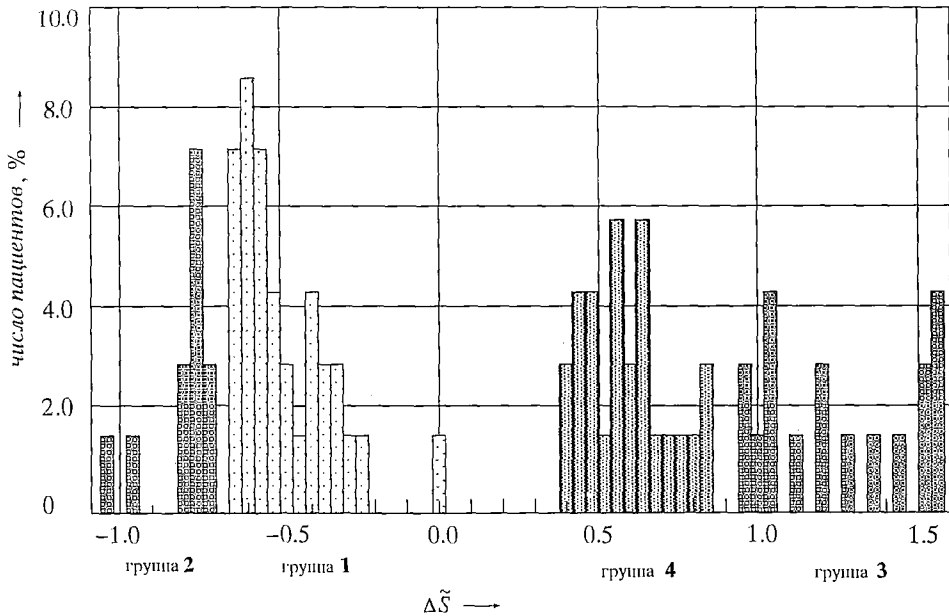


Рис.1. Результаты анализа динамики сердечного ритма 85 различных пациентов с помощью критерия перенормированной энтропии (3)

Первая группа соответствует здоровым людям, величина $\Delta \tilde{S}$ для которых лежит в интервале $[-0.7, 0.0]$. Причем ноль соответствует тахограмме, взятой в качестве опорной.

Вторая группа образуется тахограммами пациентов, имеющих различные сердечные заболевания, и сердечный ритм которых обладает высокой степенью периодичности. Для них $\Delta \tilde{S} < -0.7$.

Третью группу составляют тахограммы, демонстрирующие очень сложное неупорядоченное поведение, резкие, скачкообразные изменения интервалов между ударами, далекие от всякой периодичности. Для наиболее типичных представителей этой группы характерна ярко выраженная аритмия, трудно различить какой удар сердца является типичным, а какой является экстрасистолой. Спектр мощности таких тахограмм близок к спектру белого шума. Степень хаотичности тахограмм третьей группы намного превышает степень хаотичности ритма здорового сердца, и их ПЭ $\Delta \tilde{S} > 0.9$.

Четвертую группу образуют тахограммы пациентов, страдающих различными заболеваниями сердца. Степень хаотичности этих тахограмм превышает хаотичность здорового ритма, однако они оказываются более упорядоченными, нежели тахограммы предыдущей группы. В этом случае $0.3 < \Delta \tilde{S} < 0.9$.

Наиболее характерные для каждой группы спектры мощности изображены на рис. 2. Видно, что диагностировать по виду спектра мощности наличие у пациента того или иного заболевания удастся лишь в очень редких ситуациях, когда заболевание приобретает крайне обостренную форму. Например, спектр мощности, изображенный на рис. 2, а соответствует сердечному ритму пациента после приема восьми сильнодействующих препаратов (вторая группа пациентов),

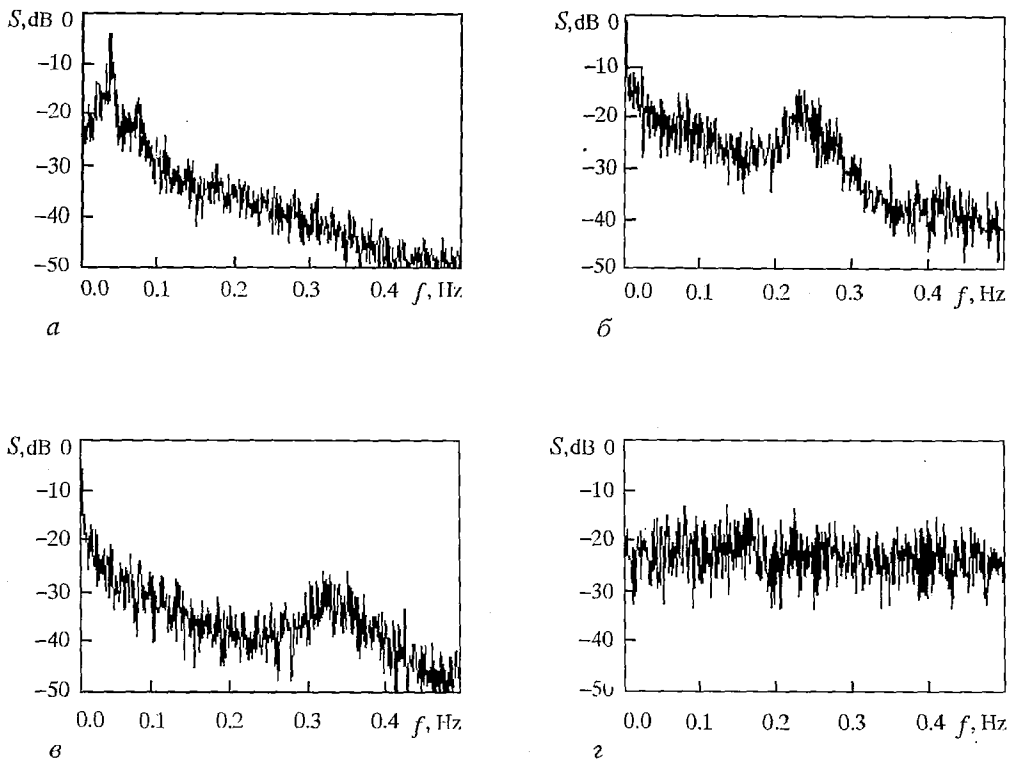


Рис. 2. Наиболее характерные спектры мощности сердечного ритма пациентов в каждой из четырех групп, определяемых с помощью перенормированной энтропии; а – группа 2 пациентов с сердечным ритмом, имеющим высокопериодическое поведение; б – группа 1 здоровых пациентов; в – группа 4 пациентов с сердечным ритмом, занимающим промежуточное положение; г – группа 3 пациентов с сердечным ритмом близким к белому шуму

а спектр близкий к спектру белого шума (рис. 2, г) соответствует сердечному ритму пациента, страдающего выраженной аритмией и почти полным отсутствием нормального, синусового ритма (третья группа). В других случаях нам не удается заметить существенных различий последовательностей RR -интервалов здоровых и больных людей (ср. рис. 2, б – первая группа здоровых пациентов и рис. 2, в – четвертая группа пациентов со средней степенью патологии). Но при использовании критерия ПЭ мы получили возможность различать тахограммы здоровых людей и лиц, страдающих различными сердечными патологиями.

Из 85 обследованных пациентов $\tilde{\Delta S}$ – алгоритм дал сомнительные результаты только в 7 случаях: в группу здоровой динамики сердечного ритма попали 7 больных лиц. Из них заболевания 2-х человек до сих пор не установлены, еще 2 человека имеют только повышенное артериальное давление без патологических изменений в сердечно-сосудистой системе, и только 3 пациента из этих 7 действительно имеют подтвержденные медицинскими исследованиями заболевания сердца. Таким образом, процент ошибок при использовании критерия ПЭ составил менее 7%. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

Во-первых, $\tilde{\Delta S}$ -критерий позволяет диагностировать патологические изменения в динамике сердечного ритма, связанные с заболеваниями сердца. То есть с помощью ПЭ мы можем ответить на вопрос, здоров данный пациент или нет. Естественно, что в последнем случае конкретный диагноз устанавливается только с использованием традиционных методов исследований, применяемых в медицине.

Во-вторых, ПЭ может служить основой для введения новой классификации сердечных заболеваний по типу нарушения динамики сердечного

ритма [13]. С помощью критерия относительной упорядоченности мы обнаружили, что существуют четыре возможных состояния ДСР:

- 1) динамика здорового сердечного ритма (динамический хаос);
- 2) сердечный ритм, в котором преобладает одна или несколько периодических компонент (высокопериодическое поведение);
- 3) сложное, некоррелированное поведение сердечного ритма близкое к белому шуму (шум, истинный, физический хаос);
- 4) сердечный ритм, динамика которого занимает промежуточное положение между состояниями 1) и 3): он более хаотичен, чем ритм здорового сердца, но более упорядочен, чем белый шум.

Состояние 2), периодические поведение СР, часто встречается при патологии Чейни – Стокса или как результат воздействия определенных медицинских препаратов. Полностью некоррелированное поведение 3), белый шум, наблюдается при ярко выраженной аритмии, желудочковых и предсердных фибрилляциях. Что же касается состояния 4), то оно характерно для многих заболеваний, связанных с нарушениями водителя ритма – синусового узла и систем, проводящих импульс возбуждения к сердечной мышце.

Важно отметить, что такая классификация получена экспериментально на основе анализа с помощью ПЭ реальных клинических данных. Оказалось, что эта классификация в точности совпадает с предсказанными теоретически Пенгом, Стенли, Голдбергером и их соавторами в работах [6,15] тремя возможностями нарушения сердечного ритма за счет потери длинных корреляций в физиологической системе. Используя методы длинных корреляций и случайного блуждания, они показали, что потеря длинных корреляций может привести к возникновению в системе таких состояний: 1) случайное блуждание (броуновский шум); 2) высоко периодичное поведение (доминирование в системе одного временного масштаба); 3) полностью некоррелированное поведение (белый шум); 4) «здоровая» динамика системы при наличии в ней длинных корреляций.

Для анализа длинных корреляций необходимо использовать последовательности RR -интервалов значительно большей длины (до 24 часов), чем используемые нами 30-минутные последовательности. Но даже работая с такими относительно короткими тахограммами, с помощью ПЭ можно получить такую же классификацию нарушений сердечного ритма и диагностировать патологию. Следовательно, для реальных медицинских исследований критерий перенормированной энтропии может быть более эффективен и удобен.

3. Диагностика предрасположенности к внезапной сердечной смерти

Следующие исследования, проведенные с помощью критерия ПЭ, были посвящены проблемам выявления пациентов, предрасположенных к внезапной сердечной смерти (ВСС). В промышленно развитых странах частота случаев ВСС принимает угрожающие размеры. ВСС ежедневно уносит жизни в среднем 1200 человек, большинство в возрасте 20–64 лет, причем у 30% нет признаков сердечного заболевания [16,17]. Следовательно, своевременная диагностика предрасположенности к ВСС и своевременная помощь могли бы сохранить им жизнь.

С помощью традиционных методов анализа ЭКГ удастся обнаружить лишь 30–40% от общего числа лиц, подверженных ВСС. Поэтому необходим поиск новых диагностических характеристик, позволяющих обнаружить этот синдром. Предпринимались попытки использовать для этих целей различные виды анализа формы ЭКГ, записанной с высоким разрешением и предварительно усредненной. Как показали дальнейшие исследования, методы, основанные на обнаружении так называемых поздних желудочковых потенциалов в финальной части QRS -комплекса, позволяют оценить предрасположенность к ВСС, но приводят к существенно завышенным оценкам риска ВСС.

Таким образом, распознавание пациентов с высоким риском ВСС,

предрасположенных к желудочковой аритмии, желудочковой тахикардии и желудочковым фибрилляциям, остается важной и актуальной проблемой. Мы попытались использовать критерий относительной степени упорядоченности сердечного ритма для обнаружения пациентов с высоким риском ВСС.

Для 32 пациентов, участвовавших в описанных выше экспериментах, степень электрического риска была получена клинически с помощью известного критерия Лауна (LOWN) [16,17]. Как принято в кардиологии, эти пациенты были разделены на три группы: здоровые, с малым электрическим риском, с большим электрическим риском. Характеристики групп и результаты вычисления ПЭ $\Delta\tilde{S}$ приведены в таблице.

Таблица

Результаты анализа сердечного ритма пациентов с различной степенью риска ВСС

Классификация пациентов	Электрический риск	Средний возраст	Число пациентов	Число больных по критерию $\Delta\tilde{S}$	Суммарный риск
Группа 1 (здоровые)	LOWN 0–1	30	10	0	0 ... 1
Группа 2 (низкий электрический риск)	LOWN < 4	54	13	11	2 ... 5
Группа 3 (высокий электрический риск)	LOWN > 4	59	9	8	5 ... 6

Полученные результаты свидетельствуют, что ПЭ позволяет диагностировать пациентов с высоким риском ВСС как лиц, динамика сердечного ритма которых отлична от здоровой. Ошибочный вывод был сделан лишь для одного пациента. Согласно введенной нами классификации сердечных заболеваний на основе относительной степени упорядоченности ритма, пациенты с высоким риском попадают в группы 3 и 4 (рис.2). Таким образом, если анализируемая тахограмма обладает хаотичностью здорового сердца, или более упорядочена, то есть $\Delta\tilde{S} < 0$, можно с уверенностью констатировать отсутствие предрасположенности данного пациента к ВСС. Если $\Delta\tilde{S} > 0$, то подозрение на высокую степень риска остается, необходимо проводить дальнейшее детальное обследование пациента с помощью других методов анализа.

Для того, чтобы увеличить точность диагностики риска ВСС по изменениям динамики сердечного ритма были проведены специальные исследования. Для описания ДСР пациента использовались следующие характеристики [13, 14]:

- дисперсия и среднее значение последовательности RR -интервалов;
- различие между распределением RR -интервалов и соответствующим гауссовым распределением;
- энтропия Шеннона, вычисляемая с помощью метода символической динамики;
- две характеристики, определяемые с использованием символической динамики: распределение вероятности слов длиной 3 и количество запрещенных слов длиной 3;
- перенормированная энтропия.

Основываясь на этих критериях, мы введем новую характеристику, отражающую степень риска ВСС. Она получается простым суммированием результатов, полученных с помощью каждого из перечисленных критериев (результаты применения каждой из характеристик кодировались следующим

образом: 0, если согласно данной характеристике пациент здоров, 1 в противном случае). Значения такой характеристики, называемой суммарным риском, приведены в последнем столбце таблицы. Для здоровых лиц фактор риска $0 \dots 1$, для больных с низким уровнем электрического риска этот параметр лежит в диапазоне $2 \dots 5$, а для пациентов с высоким (по Лауну) риском принимает максимальное значение $5 \dots 6$. Группы 2 и 3 имеют общую область – пациенты с фактором суммарного риска 5. Это свидетельствует о том, что эта часть пациентов группы $LOWN < 4$, обнаруживаемая с помощью методов нелинейной динамики, имеет гораздо более высокую степень риска и должна быть классифицирована как имеющая значительную предрасположенность к ВСС. Отметим, что для решения задач диагностики риска ВСС традиционные методы анализа, например, спектральные методы и наиболее популярные характеристики теории хаоса такие, как размерность, оказываются неэффективными.

Выводы

Результаты применения критерия относительной упорядоченности $\Delta \tilde{S}_{\text{rel}}$ для анализа динамики сердечного ритма кратко сводятся к следующим.

1. Анализ ПЭ последовательностей RR -интервалов позволяет диагностировать патологические изменения в динамике сердечного ритма, связанные с различными заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

2. Изменения степени относительной упорядоченности $\Delta \tilde{S}$ являются основой для новой классификации сердечных заболеваний по типу нарушения динамики сердечного ритма. При этом можно выделить четыре возможных состояния:

1) динамика здорового сердечного ритма; 2) сердечный ритм с преобладающей периодической компонентой; 3) сложное, полностью некоррелированное поведение, сходное с белым шумом; 4) состояние, по хаотичности промежуточное между здоровой ДСР и белым шумом.

3. Первый этап исследований показал высокую эффективность использования ПЭ для задачи диагностики степени риска внезапной сердечной смерти. В совокупности с рядом других мер сложности, ПЭ служит основой для новой, наиболее точной количественной характеристикой предрасположенности к внезапной сердечной смерти.

Библиографический список

1. Babloyantz A., Destexhe A. Is Normal Heart a Periodic Oscillator? // Biol. Cybern. 1988. Vol. 58. P. 203.
2. Гласс Л., Мэки М. От часов к хаосу. Ритмы жизни. М.: Мир, 1991.
3. Glass L. Theory of heart. New York: Springer-Verlag, 1991.
4. Goldberger A.L., Rigney D.R., Mietus J., Antman E.M., Greenwald S. Nonlinear dynamics in sudden cardiac death syndrome: Heart rate oscillations and bifurcations// Experientia. 1988. Vol.44. P.983.
5. Zbilut J.P., Mayer-Kress G., Geist K. Dimensional Analysis of Heart Rate Variability in Heart Transplantant Recipients// Biol. Cyber. P.49.
6. Peng C.-K., Mietus J., Hausdorff J.M., Havlin S., Stanley H.E., Goldberger A.L. Long-Range Anticorrelations and Non-Gaussian Behavior of the Heartbeat// Phys.Rev. Let. 1993. Vol.70, № 9. P.1343.
7. Kaplan D.I., Talajic M. Dynamics of heart rate// Chaos. 1991. Vol 1, № 3. P.251.
8. Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса: Новый подход к статистической теории открытых систем. М.: Наука, 1990; Kluwer, Dordrecht, 1991.
9. Saparin P., Witt A., Kurths J., Anishchenko V. The Renormalized Entropy – An Appropriate Complexity Measure?// Chaos, Solutions and Fractals. 1994 (in press).

10. *Anishechenko V.S., Saparin P.I., Anishechenko T.G.* On the criterion of the relative degree of order for self-oscillating regimes. Illustration of Klimontovich's S-Theorem // SPIE. 1994. Vol. 2098. P. 130.
11. *Berger R.D., Akselrod S., Gordon D., Cohen R.J.* An efficient algorithm for spectral analysis of heart rate variability// IEEE Trans. Biomed.Eng. 1986. Vol.33. P. 900.
12. *Бернат Дж., Пирсол А.* Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир, 1989.
13. *Kurths J., Saparin P., Vossing H.J., Witt A., Voss A., Dietz R., Fiehring H., Kleiner H.J.* Some methods of nonlinear dynamics in ECG-rythm-analysis// Proc. SPIE. 1994 (in press).
14. *Voss A., Dietz R., Fiehring H., Kleiner H.J. and Kurths J., Saparin P., Vossing H.J., Witt A.* High resolution ECG, heart rate variability and nonlinear dynamics: tools for high risk stratification // Computers in Cardiology. Los-Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1993. P. 261.
15. *Peng C.K., Buldyrev S.V., Hausdorff J.M., Havlin S., Mietus J.E., Simons M., Stanley H.E., Goldberger A.L.* Fractal Landscapes in Physiology & Medicine: Long-Range Correlation in DNA Sequences and Heart Rate Intervals // *Losa G.A., Nonnenmacher T.F., Weibel E.R.* Fractal in Biology and Medicine. Birkhauser-Verlag, 1994 (in press).
16. *Лаун Б.* Внезапная сердечная смерть – проблема современной кардиологии // Кардиология. 1980. № 7. С. 35.
17. *Lown B.* Higher nervous activity and sudden cardiac death// Bull. Med. acad. roy. Med.belg. 1980. Vol. 135. P. 487.
18. *Simson M.B.* Use of signals in the terminal QRS complex to identify patients with ventricular tachycardia after myocardial infraction // Circulation.1982. Vol. 64. P. 235.

*Лаборатория нелинейной
динамики СГУ, Россия*

Поступила в редакцию 18.07.94

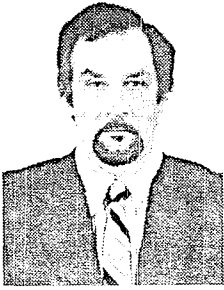
*Группа «Нелинейная динамика»
университета г.Потсдам, Германия*

Клиника Франца Вольхарда, Берлин, Германия

ANALYZING THE DYNAMICS OF CARDIAC RHYTHMS OF A MAN USING THE RENORMALIZED ENTROPY AS A CRITERION

V.S. Anishchenko, P.I. Saparin, Ju. Kurths, A. Witt, A. Voss

Different regimes of a heart's functioning are analyzed using a new method of re-normalized entropy, which solves as a quantitative measure of relative degree of their order. It was found out by means of clinical investigation that the renormalized entropy of a sequence of RR-intervals allows one to diagnose the pathological variations in the cardiacrhythm's dynamics, which are connected with different diseases. The variations of the given characteristics are the framework to a new classification of the heart diseases according to a violation of degree of order of a cardiac rhythm's dynamics.



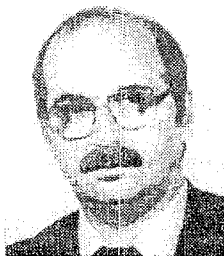
Анищенко Вадим Семенович в 1970 г. защитил диссертацию на степень кандидата физико-математических наук. С 1979 и по настоящее время работает в области исследований динамического хаоса. В 1986 г. защитил докторскую диссертацию «Механизмы возникновения и свойства динамического хаоса в радиофизических системах с конечным числом степеней свободы». В 1987 г. в качестве приглашенного профессора читал курс лекций по динамическому хаосу в Гумбольдском университете (Берлин). С 1988 г. – заведующий кафедрой радиофизики Саратовского университета. В.С. Анищенко автор более чем 150 научных работ, среди которых 5 монографий и 3 учебника по статистической радиофизике. Две монографии по проблемам динамического хаоса переведены на английский язык и изданы в Лейпциге в 1987 и 1989 г. В 1990 г. издательством «Наука» выпущена книга «Сложные колебания в простых системах», хорошо известная среди специалистов.



Сапарин Петр Игоревич в 1987 окончил физический факультет Саратовского университета по специальности «радиофизика и электроника». С 1987 по 1994 г. работал на кафедре радиофизики СГУ. Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в 1994 г. В настоящее время работает по контракту в Германии в группе нелинейной динамики общества Макса Планка в Потсдамском университете. Имеет 15 работ.



Юрген Куртс – родился в 1953 в г. Арендзее (Германия). Окончил факультет математики университета г. Росток в 1975 г. Имеет степени доктора А (1983) и доктора В (1990) по специальности теоретическая физика. С 1975 по 1990 г.г. научный сотрудник института астрофизики АН ГДР. С 1992 г. возглавил рабочую группу нелинейной динамики Общества Макса Планка Германии при вновь созданном университете г. Потсдам. С 1993 г. – профессор С4 университета г. Потсдам. Автор более 80 научных статей по проблемам астрофизики, хаотической динамики, анализа временных рядов и др. Участник более 25 международных конференций и симпозиумов. С 1990 г. руководитель ряда проектов в области нелинейной динамики, выполняемых с кафедрой радиофизики СГУ.



Андреас Фосс родился в Хознлайриш в Германии в 1950 г. Окончил Дрезденский Технический университет в 1972 г. по специальности кибернетика. С 1975 по 1992 г. работал инженером в области биомедицины в кардиографическом институте Берлина. В 1990 г. получил степень доктора А в Академии наук ГДР. С 1992 года работает в клиническом центре молекулярной медицины Берлин – Бух. Основное направление научных исследований – составление базы данных и разработка методов диагностики сердечно-сосудистых заболеваний путем детального компьютерного анализа электрокардиограмм.

Аннетта Витт, сотрудница группы нелинейной динамики Общества Макса Планка при университете г. Потсдам. Работает над диссертацией в качестве аспирантки профессора Ю. Куртса. Специализируется в области цифровой обработки сигналов медико-биологического происхождения.