

УДК 681.32

ИНТЕГРАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ УПОРЯДОЧЕННОСТИ ДИНАМИКИ БИОСИГНАЛОВ

Д. т. н. В. П. Мигаль, к. т. н. А. В. Бут, к. т. н. Г. В. Мигаль

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»
Украина, г. Харьков
mygal@mail.ru

Упорядоченность динамики биосигналов проявляется в конфигурациях их вейвлет-сигнатур. Для ее выявления и системного анализа предложены интегративные показатели динамической сбалансированности диагностически значимых фаз биосигналов. Показано, что они универсальны и могут быть использованы в экспертных биомедицинских системах.

Ключевые слова: биосигнал, экспертная система, нелинейная динамика, сигнатуры, интегративные показатели.

Внешние и внутренние факторы влияют на множество циклических процессов в организме человека, взаимосвязи между которыми находят свое отображение в динамической структуре биосигналов человека. В ней наряду с периодическими составляющими сосуществуют и хаотические, что обуславливает нестационарность биосигналов. При этом характер взаимосвязи хаотических и периодических составляющих обуславливает как индивидуальные особенности динамики каждого биоцикла, так и статистические особенности их совокупности. Они взаимосвязаны, и поэтому организм человека как объект исследования является нелинейной динамической системой [1]. Однако методы анализа биосигналов, которые стандартизированы обществом электрофизиологов США, не учитывают нелинейный и фрактальный характер динамики биосигналов. Поэтому в последнее время интенсивно развиваются методы, основанные на анализе нелинейной динамики биосигналов. Основной целью этих методов является выявление упорядоченности, скрытой в динамике биоцикла. Например, разупорядоченность частоты сердечных сокращений выступает как признак здоровья, а «жесткая» ее упорядоченность является предвестником многих заболеваний. Поэтому дальнейшее развитие методов выявления и анализа взаимосвязи между порядком и беспорядком в динамике биосигналов является весьма актуальным и представляет интерес для экспертных систем.

На примере исследования ЭКГ человека показано, что геометризация последовательности кардиоциклов посредством их представления в виде пакета сигнатур фазового пространства позволяет не только выявить упорядоченность в индивидуальных особенностях динамики кардиоцикла, но и визуализировать характер ее перестройки со временем. Установлено, что в динамической структуре кардиоцикла сосуществуют как «грубые» динамические, так и «тонкие» информационные особенности. Их частотно-временная локализация осуществлена посредством дискретного вейвлет-преобразования. При этом численное дифференцирование и интегрирование кардиосигнала с переменным шагом 2^i , $i \in [1, n]$ позволило осуществить представление кардиоциклов в виде разномасштабных вейвлет-сигнатур [2] фазовой плоскости $C_d[i] = f(C_a[i])$ (рис. 1, б) и определить наиболее информативные уровни вейвлет-разложения (рис. 1, а). На основе такой геометризации динамики кардиосигнала на разных масштабных уровнях установлено, что характеристическими признаками ее пространственно-временной упорядоченности являются:

- площадь вейвлет-сигнатуры S_i на i -ом масштабном уровне как мощность подмножества микросостояний $|W_i|$, мерой упорядоченного распределения которых является энтропия $H_i \sim \ln W_i$;
- асимметрия формы вейвлет-сигнатур относительно нулевого уровня, являющаяся мерой динамической разбалансированности B_{dyn} мощностей противофазных составляющих кардиоцикла;
- локальное расхождение фазовых траекторий в пакете вейвлет-сигнатур ΔH_i , мерой которого

является энтропии Колмогорова. Она связана с параметром порядка, циклические изменения и упорядоченность перестройки которого отображаются в пакете интегральных сигнатур $H_i - dH_i / dt$.

С помощью данных параметров и показателей последовательности кардиоциклов выявлено формирование скрытых динамических структур, вариабильность которых можно проанализировать в рамках геометрико-множественного подхода [3]. Для этого разработан алгоритм определения репрезентативных фаз перестройки динамики кардиоцикла, пространственно-временная упорядоченность которых максимальна или минимальна. Это важно также для оценки адаптационных возможностей (состояния регуляторных систем) человека и прогнозирования его функционального состояния как человека-оператора.

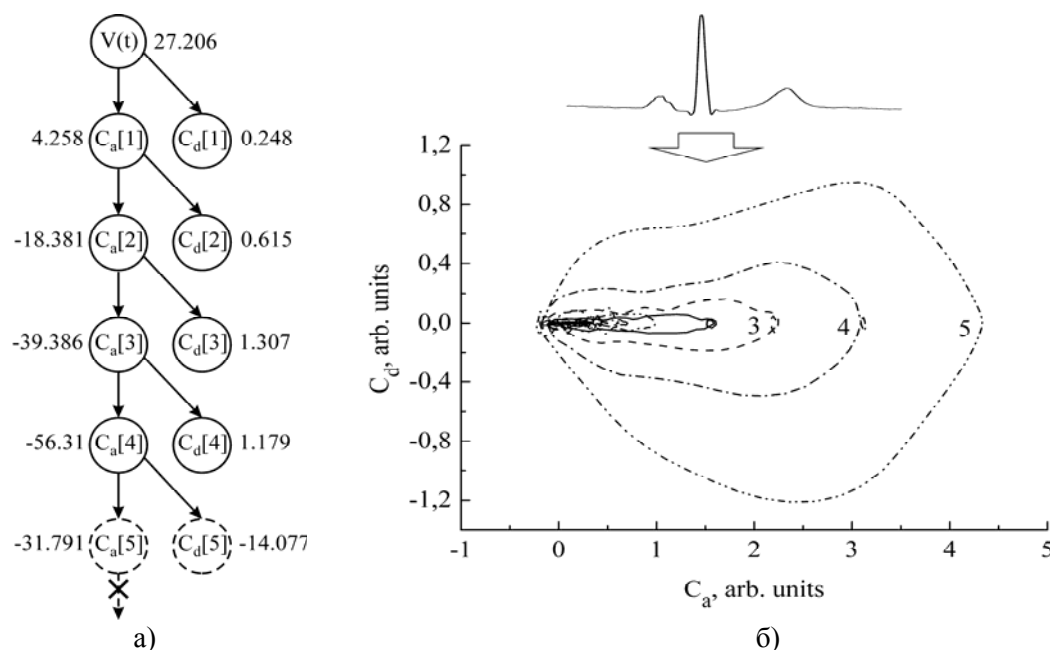


Рис. 1. Дерево вейвлет-преобразования (а) с указанием величины информационной энтропии в его узлах, а также вейвлет-сигнатуры кардиосигнала на пяти масштабных уровнях (б)

Таким образом, упорядоченность динамики биосигналов проявляется в конфигурациях их вейвлет-сигнатур. Предложенные интегративные показатели динамической сбалансированности диагностически значимых фаз биосигналов универсальны и могут быть использованы в экспертных биомедицинских системах.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Патент 77203, Україна. Спосіб оцінювання електрокардіографічних даних для діагностичних цілей / В. П. Мигаль, Г. В. Мигаль.— 2006.— Бюл. №. 11
2. But A. V., Mygal V. P., Bodnar I. V. Spatial-temporal order of the photoresponse from the sensor materials // SPIE Optical Systems Design 2012.— Spain, Barcelona.— 2012.— Vol. 8550.— 85502B.
3. Мигаль В. П., Мигаль Г. В. Сигнатуры ЭКГ и функциональное состояние человека-оператора // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии.— Харьков: ХАИ.— 2009.— Вып. 44. С. 219—225.

V. P. Migal, A. V. But, G. V. Migal

Integrative indicators of spatio-temporal stability of biosignals dynamics.

Dynamics stability of biosignals manifests itself in configurations of their wavelet signatures. For its identification and system analysis the authors offer integrative indicators of dynamic balance of diagnostically important phases of biosignals. It has been shown that they are versatile and can be used in biomedical expert systems.

Keywords: *biosignal, expert system, nonlinear dynamics, signatures, integrative indicators.*