

На стендах для контактного и бесконтактного взаимодействия активированных водных растворов и биологических сред в динамике проведено 2240000 измерений окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) и показателя водородо (РН). Результаты всех исследований подвергались математической обработке классическими методами – пакетом программ *Mstat, Microsoft EXEL*. Обнаружены возможности как контактного, так и бесконтактного (информационно-волнового) изменения электронодонорных, электроноакцепторных показателей биологических тканей.

Предложены новые рабочие концепции профилактики и лечения нарушений кровообращения методом неинвазивных биорезонансных, антибиорезонансных технологий, контактного и бесконтактного (информационно-полевого) управления окислительно-восстановительными реакциями при последствиях кислородной недостаточности в биологических тканях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Базиев Д.Х.* Основы единой теории физики. – М.: Педагогика, 1994.
2. *Лоцилов В.И.* Информационно-волновая медицина и биология. – М.: Аллегро-пресс, 1998.
3. *Борщаговский М.Л.* Клинико-физиологический контроль в хирургии внутричерепных опухолей: Методические рекомендации. – Л., 1978.
4. *Кудрин А.Г.* Возможности мониторинга и интенсивной терапии критических состояний в нейрохирургии // Материалы симпозиума русско-японского обмена. – Благовещенск, 2003. – С.335-336.

*Доклад представлен к публикации членом редколлегии Ю.М. Перельманом.*

УДК 534.6

**А.И. Майстров**

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

### **АНАЛИЗ СОПОСТАВИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ СИГНАЛОВ РИТМОКАРДИОГРАММЫ И ТАХОГРАММЫ**

Выполнен теоретико-экспериментальный анализ сопоставимости оценок спектральных показателей variability сердечного ритма, рассчитанных в результате обработки сигнала тахограммы частоты сердечных сокращений и ритмокардиограммы на реальных данных.

Исследования variability сердечного ритма (ВСР) широко используются специалистами различных медицинских специальностей, причем важное диагностическое значение для практики имеет анализ спектральных показателей ритма сердца. Однако состоятельность оценок спектральных показателей существенно зависит от особенностей используемых для их расчета сигналов, характеризующих variability ритма. В качестве таких сигналов на практике наиболее часто используются:

ритмокардиограмма (РКГ) – графическое представление последовательно-

сти длительностей RR-интервалов сигнала электрокардиограммы (ЭКГ), при котором по оси абсцисс откладывается время, а по оси ординат – длительность RR-интервалов;

тахограмма частоты сердечных сокращений (ТЧС): по оси абсцисс откладывается время, по оси ординат откладываются мгновенные значения частоты сердечных сокращений (ЧСС), рассчитанные как обратные дискретные значения длительностей RR-интервалов. Сигнал кардиоинтервалографии (КИГ) используется достаточно редко из-за того, что спектр сигнала КИГ представляет собой функцию обратной величины отчетов, а не частоты, что в значительной степени усложняет его последующий анализ.

Однако теоретико-экспериментальных исследований сходимости оценок спектральных показателей ритма сердца, рассчитанных в результате обработки различных сигналов при прочих равных условиях (метод оценки спектра, тип окна, тип усреднения и т.п.), не проводилось, что и обусловило актуальность нашего исследования.

Сигналы РКГ и ТЧС являются нелинейно-связанными, при этом связь описывается соотношением:

$$HP(t) = k/HR(t),$$

где  $HP$  – ряд значений РКГ;  $k$  – коэффициент, зависящий от используемых размерностей сигналов и равный 60000, если связывает размерности мс и сокр/мин;  $HR$  – ряд значений ТЧС.

Для проведения теоретического исследования влияния такой нелинейной связи на соотношения между их спектрами был сформирован модельный сигнал РКГ. Для этого был сформирован вектор значений спектра модельного сигнала в частотном диапазоне от 0 до 0.4 Гц и выполнено обратное дискретное преобразование Фурье для формирования соответствующего этому спектру модельного сигнала РКГ. По дискретным значениям сигнала РКГ были определены дискретные значения сигнала ТЧС по записанной выше формуле. Далее выполнялся расчет спектральной плотности мощности (СПМ) обоих сигналов, выполнялось нормирование векторов значений СПМ с использованием евклидовой нормы и рассчитывалась функция отношения нормированных СПМ. С использованием метода моделирования Монте-Карло было выполнено моделирование 1000 различных модельных сигналов РКГ и ТЧС и установлено, что функция отношения нормированных СПМ имеет характерный линейный тренд с положительным тангенсом угла наклона к оси абсцисс. Также было установлено, что эффект искажения спектров уменьшается с уменьшением общей вариабельности ритма сердца.

Для исследования функции отношения нормированных СПМ на реальных данных была использована база данных *Fantasia database* [1], представляющая собой набор двухчасовых записей ЭКГ (частота дискретизации 250 Гц) 20 здоровых молодых людей (21-34 лет) и 20 здоровых пожилых людей (68-85 лет) в спокойном расслабленном состоянии бодрствования. По результатам статистического анализа функции отношения нормированных СПМ у нее был выявлен тренд с отрицательным тангенсом угла наклона к оси абсцисс, что соответствует ситуации, когда сигнал ТЧС является прямым гармоническим сигналом, а сигнал РКГ

является обратным производным от ТЧС сигналом. Также было обнаружено, что такой тренд для группы пожилых испытуемых выражен значительно меньше.

Также была рассчитана средняя величина разницы в оценках спектра по сигналам РКГ и ТЧС, выраженная в процентах:

$$K_1 = \frac{\sum_{f=f_0}^{f_k} |P_{HP}(f) - P_{HR}(f)|}{\sum_{f=f_0}^{f_k} P_{HR}(f)} 100\%,$$

где  $P_{HR}(f)$  – СПМ сигнала ТЧС;  $P_{HP}(f)$  – СПМ сигнала РКГ;  $f_0 = 0.015$  Гц;  $f_k = 0.4$  Гц. Эта величина количественно характеризует среднюю ошибку в нахождении функции СПМ, которую можно получить, выбирая тот или иной сигнал.

Для группы молодых испытуемых мы получили значение  $K_1 = (6,68 \pm 4,23)\%$  и для группы пожилых испытуемых среднее значение  $K_1 = (2,27 \pm 3,53)\%$ . Аналогично была рассчитана разница в значениях отдельных показателей спектрального анализа ВСР. Результаты расчета ошибок определения спектральных показателей ВСР представлены в таблице.

Показатель	Молодые испытуемые		Пожилые испытуемые	
	Математическое ожидание, %	СКО, %	Математическое ожидание, %	СКО, %
$K_{VLF}$	3,17	5,79	-1,03	7,14
$K_{LF}$	1,85	5,62	0,93	3,10
$K_{HF}$	-8,61	11,44	-1,46	8,50
$K_{\frac{LF}{HF}}$	7,75	30,85	1,51	11,42

На основании изложенного сделаны следующие выводы:

спектры сигналов РКГ и ТЧС, рассчитанных с использованием одинаковых исходных данных, имеют существенные отличия, поэтому недопустимо сравнивать даже нормированные спектральные показатели ВСР (среднеквадратическое отклонение отношения показателей LF/HF превышает 30%), рассчитанные с помощью этих сигналов;

эффект искажения спектров уменьшается с уменьшением общей вариабельности ритма сердца; у здоровых пожилых испытуемых качественные различия в спектрах, рассчитанных с помощью РКГ и ТЧС, выражены значительно слабее, чем у молодых здоровых испытуемых;

сигнал ТЧС более приближен к гармоническому, а сигнал РКГ – к обратному от гармонического, поэтому лучшую сходимость результатов оценки спектральных показателей ВСР обеспечивает использование сигнала ТЧС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://physionet.org/physiobank/database/fantasia/>

*Доклад представлен к публикации членом редколлегии Ю.М. Перельманом.*