

Наблюдение ритмов, характеризующих процессы вегетативной регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы, в электрической активности головного мозга здоровых лиц

¹ФГОУ ВПО СГУ им. Н.Г. Чернышевского

²Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

³Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

⁴ГБОУ ВПО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России

Ключевые слова: вегетативная регуляция, сердечно-сосудистая система, головной мозг, здоровые лица

Введение

Исследование биологических сигналов, моделирование различных процессов биологических и медицинских систем, а также разработка новых методов медицинской диагностики на сегодня одно из основных направлений развития как современной фундаментальной и прикладной междисциплинарной науки, так и непосредственно медицины и здравоохранения. В настоящее время большой интерес вызывает использование подходов радиофизики и нелинейной динамики в прикладных исследованиях. Одной из таких перспективных тематик является изучению состояния отдельных регуляторных систем организма и одновременный анализ их функционального взаимодействия друг с другом и с процессами, протекающими в центральной нервной системе (ЦНС).

В частности, ряд работ указывают на значительное взаимодействие ЦНС и контуров вегетативной регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы (ССС) [1-3]. Исследование таких взаимодействий способно существенно расширить фундаментальные представления об особенностях функционирования регуляторных механизмов, изучить влияние ЦНС и когнитивных факторов на процессы автономной регуляции. Такие знания способны в перспективе существенно дополнить и развить возможности методик медицинской диагностики, научиться выявлять и устранять патогенные факторы, обусловленные наличием указанных взаимодействий.

На данный момент можно утверждать, что данная тематика научных исследований нахождения достаточно простых подходов к определению параметров здоровья и общего состояния пациентов необычайно востребована как с точки зрения непосредственно медицинской диагностики, так и оценке психофизиологического состояния здорового человека-оператора в рамках какой-либо длительно важной деятельности. Плотно прилегает к этому направлению обширная область обработки данных электроэнцефалограмм (ЭЭГ), магнитоэнцефалограмм (МЭГ) и диффузионной тензорной визуализации (ДТВ) активности головного мозга. Открытие закономерностей и понимание механизмов влияния решения когнитивных задач на низшие центры может быть использовано для разработки систем оценки способностей к адаптации и стрессоустойчивости. Установлено, например, что нарушение способности произвольно управлять познавательной деятельностью в условиях стресса является одной из основных причин аффективных и поведенческих дисфункций, отмечающихся у лиц с эмоциональными расстройствами [4, 5].

Настоящая работа является началом исследовательской работы по совместному анализу данных ССС и активности головного мозга с помощью ЭЭГ для поиска общих критериев в понимании механизмов, лежащих в основе нарушений нейрофизиологической регуляции и когнитивной деятельности. В работе методами вейвлет-анализа исследовались записи затылочных отведений ЭЭГ условно здоровых испытуемых в фоне на предмет выявления активности на частотах, характерных для работы контуров вегетативной регуляции деятельности ССС в т.н. LF диапазоне (около 0,1 Гц).

Материал и методы

В работе анализировались фоновые 10 минутные записи двух условно-здоровых добровольца (мужчины 22 и 34 лет), демонстрирующие средний уровень физической активности. Исследования проводилось в утренние часы (10.00–12.00), во время эксперимента человек находился в положении сидя. Исследования проводились в затемненном помещении с закрытыми глазами. Записи были сделаны через 2–3 часа после еды.

Регистрация ЭЭГ и ЭКГ проводилась на программном и аппаратном оборудовании Медиком МТД «Энцефалан – ЭЭГР – 19/26» с комплектом стандартных датчиков. Для записи ЭЭГ была использована стандартная система отведений «10-20». Регистрация ЭЭГ осуществлялась с затылочных отведений O1 и O2. В первую очередь выбор отведений обосновывался тем, что согласно [1, 6] и др. центры вегетативной регуляции деятельности ССС расположены в продолговатом мозге. Кроме того, с точки зрения нейрофизиологии, затылочные доли головного мозга дают сильный отклик при решении когнитивных задач.

Частота дискретизации записей составляла 250 Гц, разрядность квантования 14 бит. При регистрации была обеспечена полоса пропускания аналогового тракта 0,05-100 Гц для сигнала ЭКГ и 0,016–80 Гц для ЭЭГ-каналов.

Для исследования полученных записей были использованы широко распространенные для анализа нестационарных данных методы вейвлет-анализа. Использовалось непрерывное вейвлет-преобразование с комплексным материнским вейвлетом

(формула 1) [7], где $\psi_{s,t_0}(t)$ – вейвлетная функция, построенная на основе материнского вейвлета (формула 2).

$$W(s,t_0) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\psi_{s,t_0}^*(t)dt \quad (1)$$

$$\psi_{s,t_0}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi_0 \left(\frac{t-t_0}{s} \right). \quad (2)$$

Параметр s , называемый масштабом вейвлетного преобразования, отвечает за ширину вейвлета, а t_0 – параметр сдвига, определяющий положение вейвлета на временной оси. В формуле (1) символ «*» означает комплексное сопряжение. Необходимо отметить, что при проведении вейвлетного анализа термин «временной масштаб» используется вместо термина «частота», традиционного для Фурье-анализа.

Для анализа данных в нашей работе применялся широко используемый при работе с данными биологической природы морлет-вейвлет (формула 3), где ω_0 – параметр вейвлета, в рамках работы был принят $\omega_0 = 6,0$, что позволяет добиться соответствия с привычными частотами Фурье-преобразования [7, 8].

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} \exp(j\omega_0\eta) \exp(-\eta^2/2), \quad (3)$$

Результаты

Результаты обработки экспериментальных данных с помощью вейвлет-анализа представлены на рисунках 1а и б. Представлены результаты исследования вейвлетных поверхностей для затылочных отведений ЭЭГ (О1).

Как показали полученные результаты, проиллюстрированные на рис. 1, основная спектральная мощность составляющих для записей затылочных отведений О1 и О2 условно здоровых испытуемых сосредоточена вблизи т.н. LF частотного диапазона (0,05-0,15 Гц), отражающего в сигнале вариабельности сердечного ритма активность системы симпатической регуляции. Причем характер зависимостей позволяет утверждать наличие колебаний с данной частотой в течение всего времени исследования.

Заключение

Проведенный в работе вейвлет-анализ сигналов затылочных отведений О1 и О2 ЭЭГ условно здоровых испытуемых позволил впервые наблюдать наличие в 10 минутных фоновых записях выраженных колебаний с характерной частотой около 0,1 Гц. Проведенные пилотные исследования позволяют предположить, что источником этих ритмов является активность центров симпатической регуляции, регулирующих, в частности, работу сердечно-сосудистой системы человека.

Полученные в ходе пилотного исследования результаты планируется развить в направлении изучения вегетативных реакций сердечно-сосудистой системы и ЦНС в активных экспериментах в условиях физиологических проб.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 14-12-00224).

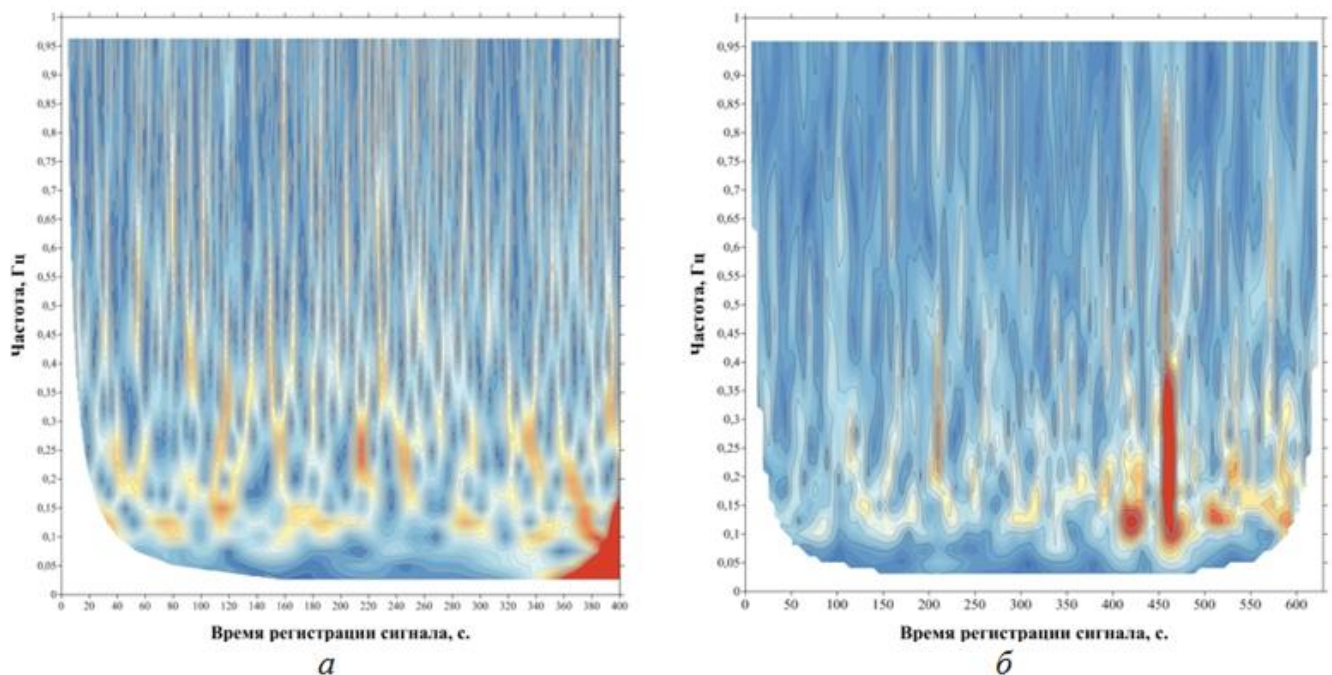


Рисунок 1. Проекция распределения амплитуды $|W(t, s)|$ вейвлетного преобразования, полученная с помощью базисного морлет-вейвлета ($\omega = 6,0$) для отведений О1 и О2 ЭЭГ, (а) и (б), соответственно

Литература

1. Ringwood J.V., Malpas S.C. Slow oscillations in blood pressure via a nonlinear feedback model // American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. -2001. -V. 280. -P. 1105.
2. Bunde A., Havlin S., Kantelhardt J.V., Penzel T., Peter J.-H., Voigt K. Correlated and Uncorrelated Regions in Heart-Rate Fluctuations during Sleep // Phys. Rev. Lett. -2000. -V. 85. -P. 3736.
3. Togo F, Yamamoto Y. Decreased fractal component of human heart rate variability during non-REM sleep // Am J Physiol Heart Circ Physiol. -2001. -V. 280(1). -P. H17-21.
4. Williams J. M., Watts F. N., MacLeod C., Mathews A. Cognitive psychology and emotional disorder. Chichester, England: Wiley, 1997
5. Clark D. A., Beck A. T. Cognitive theory and therapy of anxiety and depression: a convergence with neurobiological findings. Trends in Cognitive Science, 14 (2010) 418-424
6. Шмидт Р., Тевс Г. Физиология человека. В 3-х томах / Пер. с англ. - 3-е изд. - М.: Мир, 2005. Т.2 - 314с.
7. Короновский А.А., Храмов А.Е. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. Москва: Физматлит, 2003. – 176с. ISBN: 5-9221-0389-X
8. Ruskai M. B., Beylkin G., Coifman R., Daubechies I., Mallat S. G., Meyer Y., Raphael L. Wavelets and their applications and data analysis. Boston, Jones and Bartlett, 1992.