

Российская академия наук
Институт прикладной физики
Центр оптико-нейронных технологий НИИСИ
Межрегиональная ассоциация когнитивных исследований
Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
Нижегородская государственная медицинская академия
ЗАО «Нижегородское агентство наукоемких технологий»

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА В КОГНИТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ – 2013

**ТРУДЫ
III ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

Нижний Новгород
ИПФ РАН
2013

Программный комитет конференции

- Крыжановский Борис Владимирович (Центр оптико-нейронных технологий НИИСИ РАН, Москва) – *председатель*
- Александров Юрий Поспелович (Институт психологии РАН, Москва) – *зам. председателя*
- Анохин Константин Владимирович (ГУ НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН, Курчатовский НБИК-центр, Москва) – *зам. председателя*
- Сергеев Александр Михайлович (ИПФ РАН, Нижний Новгород) – *зам. председателя*
- Черниговская Татьяна Владимировна (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург; Курчатовский НБИК-центр, Москва) – *зам. председателя*
- Яхно Владимир Григорьевич (ИПФ РАН, Нижний Новгород) – *зам. председателя*
- Антонен Владимир Александрович (ИПФ РАН, Нижний Новгород)
- Величковский Борис Митрофанович (Курчатовский НБИК-центр, Москва)
- Гурбатов Сергей Николаевич (ННГУ, Нижний Новгород)
- Григорьева Вера Наумовна (НГМА, Нижний Новгород)
- Дорожкин Александр Михайлович (ННГУ, Нижний Новгород)
- Душин-Барковский Виталий Львович (Центр оптико-нейронных технологий НИИСИ РАН, Москва)
- Жданов Александр Аркадьевич (ИТМиВТ РАН, Москва)
- Еськов Валерий Матвеевич (Сургутский государственный университет, Сургут)
- Иванчик Алексей Михайлович (ИВНДиНФ РАН, Москва)
- Казанцев Виктор Борисович (ИПФ РАН, Нижний Новгород)
- Кибрик Андрей Александрович (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва)
- Крылов Андрей Константинович (Институт психологии РАН, Москва)
- Хилько Александр Иванович (ИПФ РАН, Нижний Новгород)
- Подладчикова Любовь Николаевна (НИИ НК ЮФУ, Ростов-на-Дону)
- Полевая Софья Александровна (ННГУ, НГМА, Нижний Новгород)
- Парин Сергей Борисович (ННГУ, Нижний Новгород)
- Ратушняк Александр Савельевич (КТИ ВТ СО РАН, Новосибирск)
- Релько Владимир Георгиевич (Центр оптико-нейронных технологий НИИСИ РАН, Москва)
- Станкевич Лев Александрович (СПИИ РАН, Санкт-Петербург)
- Самарин Анатолий Иванович (НИИ НК ЮФУ, Ростов-на-Дону)
- Чернавский Дмитрий Сергеевич (ФИ РАН, Москва)
- Чернавская Ольга Дмитриевна (ФИ РАН, Москва)
- Шахов Борис Евгеньевич (НГМА, Нижний Новгород)
- Щербаков Виталий Иванович (Педагогический университет, Нижний Новгород)

Редакционная коллегия:

*В.А. Антонец, Н.Н. Кралина, И.В. Нуйдель, С.Б. Парин,
С.А. Полевая, А.М. Сергеев, В.Г. Яхно*

Конференция организована при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 13-02-06119).

Электронный адрес оргкомитета: nuidel@appl.sci-nnov.ru
Веб-сайт конференции: <http://www.nd-cogsci.iapras.ru/2013/>

Вегетативные корреляты произвольных отображений эмоционального стресса

Е.В. Рунова², В.Н. Григорьева², А.В. Бахчина¹, С.Б. Парин¹, И.С. Шишалов¹,
В.В. Кожевников¹, М.М. Некрасова³, Д.И. Каратушина¹,
К.А. Григорьева², С.А. Полева²

¹Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

²Институт прикладной и фундаментальной медицины Нижегородской государственной медицинской академии

³ГУ «Нижегородский НИИ гигиены и профессиональной патологии»

S453383@mail.ru

Психический стресс играет ключевую роль в развитии множества соматических и неврологических заболеваний. Термином «стресс» принято обозначать как сильные неблагоприятные физические и/или психогенные внешне средовые воздействия, так и развивающееся под их влиянием состояние психофизиологического напряжения, исходно служащее для приспособления человека к новым условиям среды. Стресс как хроническое психофизиологическое перенапряжение может провоцировать манифестацию или обострение симптомов болезни, служить одним из факторов риска или усугублять тяжесть ее течения. Кроме того, эмоциональное перенапряжение снижает продуктивность и качество выполняемых человеком работ. Клиническими коррелятами хронического эмоционального стресса являются и пограничные нервно-психические тревожные и депрессивные расстройства, резко снижающие качество жизни людей (Александровский Ю.А., 2000).

Повседневный психический стресс служит причиной множества широко распространенных серьезных заболеваний, включая гипертоническую болезнь, инсульты, инфаркты, онкопатологию и др. Негативное влияние на здоровье оказывает прежде всего хронический эмоциональный стресс, и это влияние опосредуется сопряженными с ним неблагоприятными эндокринными, нервно-мышечными и вегетативными изменениями (Яхно Н.Н., Парфенов В.А., 2009).

Если происхождение острого психического стресса связано, прежде всего, с неожиданными негативными внешними воздействиями и жизненными переменами, то развитие хронического стресса в большей степени определяется личностными особенностями человека и недостаточностью его психологических адаптационных механизмов.

Первым шагом на пути преодоления хронического эмоционального стресса является осознание самим человеком факта пребывания в состоянии психического перенапряжения. Между тем, способность к осознанию эмоций и выражению их словами развита не у всех людей в одинаковой степени (Taylor G.J., 2000). Эмоции являются субъективным феноменом, и их диагностика зависит от способности человека адекватно осознавать и выражать их словами. В этой связи большое значение имеет определение тех индивидуальных, регистрируемых в условиях обычной жизнедея-

тельности физиологических маркеров, которые могли бы служить индикаторами эмоциональной дезадаптации, т.е. эмоционального перенапряжения и эмоционального истощения. Знание этих маркеров позволит своевременно предоставлять человеку обратную связь об уровне его психического напряжения, используя которую, он может временно снизить это напряжение путем переключения на физическую активность или иную деятельность. Особенно важно предоставление подобного рода обратной связи для лиц, плохо осознающих особенности своего эмоционального состояния.

В данной работе проведен поиск вегетативных коррелят субъективного уровня эмоциональной дезадаптации, на базе исследования вариабельности сердечного ритма в сочетании с проективно-вербальной методикой мониторинга субъективного уровня эмоционального напряжения.

Методы

1. Схема эксперимента. В измерениях реализуется схема параллельного контроля параметров вегетативной регуляции по показателям вариабельности сердечного ритма (ВСР), и тестирование по методике определения уровня эмоциональной дезадаптации. Измерения проводили четыре раза в день в 8.00, 12.00, 16.00 и 20.00 в условиях обычной рабочей деятельности. На первом этапе исследование проводилось на выборке 60 человек (гендерные различия не оценивались) в возрасте от 19 до 23 лет. На втором этапе было проведено индивидуальное исследование с тем же набором измерений в течение 10 дней.

Измерение ВСР производилось посредством телеметрической системы регистрации сердечного ритма. Данная система представляет собой миниатюрный датчик ZephyrBioHarness, он крепится к эластичному поясу, в который вшиты два тканевых электрода. Пояс надевается на тело человека таким образом, чтобы электроды располагались в 1-м и 2-м грудных отведениях. Размер пояса устанавливается так, чтобы испытуемому было комфортно и различные движения не влияли на положение пояса.

Пакетная передача данных от датчика к мобильному устройству производится по беспроводному протоколу Bluetooth. Реализация связи, передачи и сохранения данных производится на мобильном устройстве через специализированное

программное обеспечение «HR-Reader», которое обеспечивает on-line визуализацию регистрируемой динамики RR-интервалов для контроля чистоты и целостности записи.

Расчет и анализ показателей ВСП проводился с использованием программного комплекса «RhythmService 1.2» (фирма «Фотон-тест», Нижний Новгород).

2. Мониторинг уровня эмоциональной дезадаптации (УЭД). Участнику тестирования предлагается указать зону своего текущего состояния в круговом пространстве состояний (рис. 1). Границы пространства определены в четырех точках пересечения диагоналей с окружностью. В качестве границ заданы наборы синонимичных прилагательных, описывающих эмоции в соответствии с модальностью (положительные/отрицательные) и уровнем активности (напряжение/расслабление) по отношению к четырем базисным личностным потребностям: в безопасности; в независимости; в достижении; в единении (близости). В зависимости от положения указанной зоны определяется количество набранных человеком баллов для каждой потребности. По среднему баллу судят о степени эмоциональной дезадаптации следующим образом:

0 баллов – отсутствие эмоциональной дезадаптации (физиологическая релаксация),

1 балл – слабо выраженная эмоциональная дезадаптация (физиологическое напряжение),

2 – умеренно выраженная эмоциональная дезадаптация (патологическое напряжение),

3 – резко выраженная эмоциональная дезадаптация (патологическая релаксация). (Григорьева В.Н. и др., 2007)

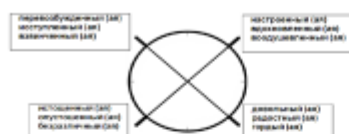


Рис. 1. Круговая шкала оценки уровня удовлетворенности по базовой потребности в достижении

3. Анализ спектральных показателей variability сердечного ритма. Методы спектрального анализа позволяют выделить из сложного колебательного процесса, каковым является кардиоинтервалограмма (ритмограмма), составляющие его исходные, более простые колебания, установить их частоты, интенсивности и в некоторых случаях проследить эволюцию выявленных частотных ритмов во времени. В данной работе было использовано два метода спектрального анализа ритмограмм (РГ):

– периодограммный метод (преобразование Фурье (ПФ) и периодограмма Уэлча);

– метод непрерывного вейвлет-преобразования (НВП).

При использовании *периодограммного метода* согласно существующим методическим рекомендациям (Баевский Р.М. и др., 2001) оценивались следующие характеристики ВСП:

– TP, ms^2 – суммарная мощность спектра variability сердечного ритма (обозначена на диаграммах «All»);

– VLF, ms^2 – мощность спектра ритмограмм в области очень низких частот;

– LF, ms^2 – мощность спектра ритмограмм в области низких частот;

– HF, ms^2 – мощность спектра ритмограмм в области высоких частот;

– LF/HF – соотношение мощностей спектра ритмограмм в области низких и высоких частот (коэффициент вегетативного баланса).

Метод *непрерывного вейвлет-преобразования* (НВП) использовали для анализа амплитудных модуляций спектральных компонент ритмограмм. Этот метод позволяет выделить и оценить участие высших надсегментарных регуляторных компонент в управлении сердечным ритмом.

Явление модулирования парасимпатической и симпатической активности со стороны надсегментарных структур описано в литературе (Davidson R.J., 2002; Mashin V.A., 2006). Схематически система регуляции кровообращения представлена на рис. 2. Непосредственно деятельность сердца регулируется по трем каналам: парасимпатическому, симпатическому и гуморальному. Симпатический и парасимпатический регуляторные пути формируют вазомоторный и дыхательный центры продолговатого мозга и вагус. Гуморальная регуляция осуществляется путем секреции гормонов периферическими гормональными железами. Однако все три пути регуляции испытывают регуляторное воздействие со стороны иерархически более высоко стоящих структур головного мозга (гипоталамус и кора). Именно эти структуры в нашей работе названы высшим надсегментарным звеном регуляции. Регуляторное воздействие этого звена предложено исследовать опосредованно, через его модулирующее воздействие на парасимпатический и симпатический отделы вегетативной нервной системы.

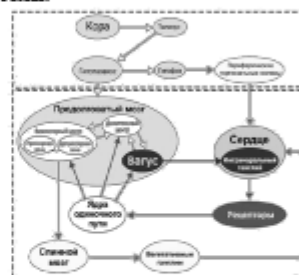


Рис. 2. Схема системы регуляции кровообращения

Метод оценки амплитудных модуляций включает следующие шаги:

1) анализ РГ методом НВП, в результате которого получали вейвлет-спектрограмму;

2) выделение на вейвлет-спектрограмме в LF- и HF-диапазонах узких полос частот (0,005 Гц), в которых рассматривали зависимости вейвлет-коэффициентов (W^{Φ}) от времени;

3) статистическая и спектральная оценка полученного временного ряда $-W^2(t)$ – (при этом дополнительным методом оценки выступал периодограммный метод).

На рис. 3 представлена ритмограмма (а) и вейвлет-спектрограмма (б) испытуемой П. На вейвлет-спектрограмме выделялись узкие полосы частот (0,005 Гц) в LF- и HF-диапазонах, в которых рассматривались зависимости вейвлет-коэффициентов (W^2) от времени (рис. 4). Полученные временные ряды характеризуют изменение мгновенной мощности данного спектрального компонента сигнала от времени. Эти зависимости можно использовать для оценки низкочастотных модулирующих воздействий.

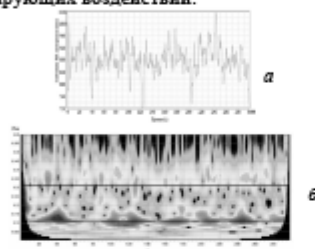


Рис. 3. Ритмограмма (а) и вейвлет-спектрограмма (б) испытуемой П. (21 год) в условиях покоя, черными линиями на вейвлет-спектрограмме отмечены полосы частот (0,005 Гц), в которых были сняты временные ряды зависимости мощности спектральных компонент сердечного ритма с центральной частотой 0,31 Гц – для HF-компоненты и 0,11 Гц – для LF-компоненты

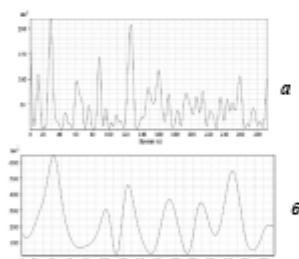


Рис. 4. Временные ряды мгновенной мощности: а – HF-компоненты (на частоте 0,31 Гц); б – LF-компоненты (на частоте 0,11 Гц)

Степень модулирующего воздействия определяли статистическим методом по разбросу временного ряда мгновенной мощности относительно среднего значения, т. е. рассчитывали среднеквадратичное отклонение (СКО).

С помощью периодограммного метода выделяли модулирующие частоты и определяли их мощность по амплитуде пиков в полученном спектре (рис. 5). Представленные спектры позволяют выделить основные модулирующие частоты – 0,03 Гц для HF-компоненты и 0,025 Гц для LF-компоненты. При этом выделяются еще несколько модуляторов (минимум один). На спектрограммах отчетливо видно, что для спектра мгновенной мощности LF-компоненты характерно более выраженное преобладание основной моду-

лирующей частоты в спектре. По отношению общей мощности всех модулирующих частот к мощности основной модулирующей частоты рассчитывали степень концентрации мощности модулирующего воздействия около основной модулирующей частоты.

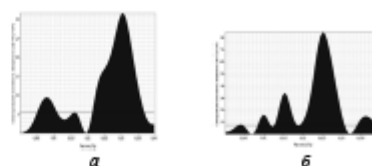


Рис. 5. Спектры Фурье временных рядов мгновенной мощности HF-компоненты (а) и LF-компоненты (б). Черной линией отмечен порог достоверности выделения сигнала из шума с вероятностью $P \geq 0.9$

Таким образом, временной ряд мощности каждой компоненты в узкой полосе частот анализируется с применением статистического и спектрального анализа. При этом исследуются характеристики непосредственно модулирующего воздействия, на основе которых получены следующие критерии оценки степени участия надсегментарного уровня в регуляции сердечной деятельности (спектральные характеристики П порядка):

- показатель степени модуляции симпатической активности – определяется по разбросу (средне-квадратичному отклонению СКО) временного ряда мгновенной мощности LF-диапазона;
- показатель степени модуляции парасимпатической активности – СКО временного ряда мгновенной мощности HF-диапазона;
- степень концентрации мощности модулирующего воздействия около основной модулирующей частоты – отношение общей мощности всех модулирующих частот к мощности основной модулирующей частоты – $A(f_{\text{осн}})/A(f_{\text{все}})$ при модуляции симпатической активности (LF-диапазона);
- степень концентрации мощности модулирующего воздействия около основной модулирующей частоты – $A(f_{\text{осн}})/A(f_{\text{все}})$ при модуляции парасимпатической активности (HF-диапазона).

При спектральном анализе временного ряда мощности HF- и LF-компонент в разных случаях выявлялось разное количество модулирующих частот, достоверно присутствующих в сигнале (от 1 до 6), которые находились в VLF-диапазоне (от 0,003 до 0,04 Гц). При этом среди всех частотных пиков всегда наблюдается наиболее мощный, который определяли как основной частотный источник модуляций (основная модулирующая частота). В случае если мощность основной модулирующей частоты существенно превышает значение общей мощности всех источников модуляции, можно предположить наличие резонансного эффекта увеличения амплитуды мощности при синхронизации частот модулирующих источников. Для анализируемых частотных компонент это означает захват частот всех модуляторов частотой основного источника (Киселев А.Р. и др. 2007;

Покровский В.М., 1988). Таким образом, показатель степени концентрации мощности модулирующего воздействия около основной модулирующей частоты отражает степень согласованности всех компонент, модулирующих активность симпатической и парасимпатической нервных систем.

4. Статистический анализ. В данной работе для разделения выборки на кластеры был применен метод *k*-средних. Статистическую оценку достоверности межгрупповых отличий и отличий показателей внутри кластеров осуществляли по *t*-критерию Стьюдента. Статистическую обработку данных выполняли с использованием программного комплекса STATISTICA 6.0.

Обсуждение результатов

Для поиска вегетативных коррелятов вербальных отображений эмоционального стресса проведен спектральный анализ динамики мощности LF- и HF-компонентов ВСР. Модуляции активности симпатической и парасимпатической систем мы рассматриваем как проявления надсегментарного уровня регуляции сердечного ритма. По показателям УЭД и спектральным характеристикам II порядка группа испытуемых была разделена на два кластера. Кластеры различаются статистически достоверно как по показателям эмоциональной дезадаптации, так и по показателям динамики вегетативной регуляции. Резко выраженная эмоциональная дезадаптация (эмоциональный стресс) согласуется с низким уровнем надсегментарного контроля (рис. 6). Отрицательные оценки собственного эмоционального состояния связаны с понижением мощности надсегментарного модулирующего воздействия на вегетативную регуляцию сердечного ритма. При этом чем выше уровень эмоционального стресса, тем менее локализован источник модуляции, управление не концентрировано.

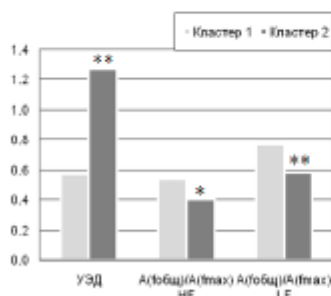


Рис. 6. Сравнение кластеров по уровню УЭД и степени концентрации мощности модулирующего воздействия около одной частоты при модуляции парасимпатической (HF-диапазон) и симпатической активности (LF-диапазон) (достоверность межгрупповых различий * < 0,05, ** < 0,01)

Анализ вегетативной регуляции сердечного ритма в выделенных кластерах указывает на достоверные различия в показателях активности как

симпатической, так и парасимпатической системы. При низком уровне эмоциональной дезадаптации (1 кластер) выше общая мощность спектра и мощность для частотных диапазонов, соответствующих активности симпатической (LF) и парасимпатической (HF) нервных систем (рис. 7). Таким образом, повышение уровня эмоционального стресса коррелирует с истощением ресурсов регуляторных систем.

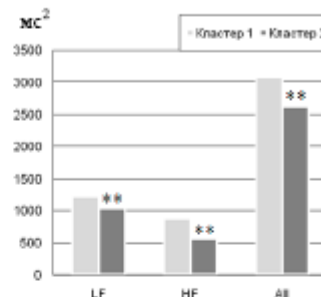


Рис. 7. Сравнение кластеров по спектральным показателям ВСР (достоверность межгрупповых различий ** < 0,01)

Выявлена связь между динамикой эмоционального состояния и динамикой вегетативной регуляции в течение суток (рис. 8).

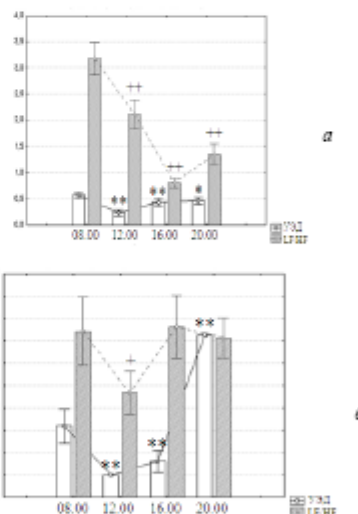


Рис. 8. Суточная динамика показателя УЭД и вегетативного баланса в выделенных кластерах (а – первый и б – второй кластеры) (достоверность различий относительно исходного значения УЭД * < 0,05, ** < 0,01, относительно исходного значения LF/HF+ < 0,05, ++ < 0,01)

В первом кластере при устойчивом эмоциональном благополучии в течение суток зарегистрировано перераспределение вегетативного баланса от симпатотонии утром к нормотонии вечером. Переход физиологической системы от напряженного состояния в начале рабочего дня на

низкоэнергетический уровень вечером может обеспечивать возможность восстановления энергетических ресурсов регуляторных систем и организма в целом. При этом значение УЭД колеблется около 1, что говорит об отсутствии эмоционального стресса. Во втором кластере, где выше УЭД, в течение всех суточных проб уровень вегетативного баланса показывает преобладание симпатических регуляторных влияний (показатель не опускается ниже 1,6). При этом уровень эмоционального стресса к концу дня имеет максимальное значение. Таким образом, можно заключить, что эмоциональный стресс сопровождается устойчивым истощением регуляторных систем организма.

Результаты индивидуального лонгитюдного исследования в течение 10 дней представлены на рис. 9 (7 из 10 дней).

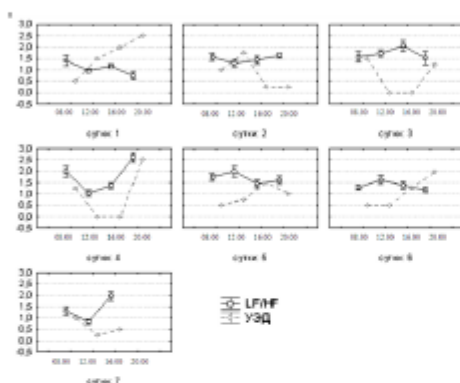


Рис. 9. Суточная динамика показателя УЭД и вегетативного баланса у испытуемого Р., исследованная на протяжении семи суток

Показано, что суточная динамика УЭД и уровня вегетативного баланса в пяти случаях из семи имеет характер обратной корреляции. В индивидуальном профиле суточной динамики увеличение эмоционального стресса происходит на фоне снижения симпатической активности. Этот результат персонализированного мониторинга привлекает особое внимание, поскольку противоречит результатам анализа данных по выборке. Очевидна актуальность исследования индивидуальных и типологических особенностей связи между динамикой эмоционального статуса и динамикой вегетативной регуляции как в норме, так и при патологиях.

Заключение

В результате проведенного исследования было показано, что вегетативными коррелатами вербальных отображений эмоционального стресса

могут быть спектральные показатели вариабельности сердечного ритма, при этом влияние высших регуляторных контуров проявляется в характеристиках спектра II порядка. Суточная динамика показателей УЭД и вегетативного баланса в выборочном исследовании характеризуется устойчивым доминированием симпатической активности при высоком уровне субъективного отображения эмоционального стресса. Однако в случае индивидуального лонгитюдного исследования выявлена связь увеличения уровня эмоциональной дезадаптации с уменьшением индекса вегетативного баланса. Это актуализирует значимость персонализированного мониторинга при изучении вопросов связи эмоционального и вегетативного контекстов жизнедеятельности человека.

Работа выполнена при поддержке гранта ФЦП (Соглашение № 14.В37.21.0043).

Литература

1. Davidson R.J. Anxiety and affective style: role of prefrontal cortex and amygdala. // *Biol Psychiatry*, 2002, V. 51, No 1, p. 68–80.
2. Mashin V.A. The Relationship of the Slope of the Heart Rate Graph Regression with Linear and Nonlinear Heart Rate Dynamics in Stationary Short-time Series. // *Biophysics*, 2006, Vol. 51, No. 3, p. 471–479.
3. Taylor G.J., Bagby R.M. Alexithymia and the Five-Factor Model of Personality. // *Personality Disorders and the Five Factor Model of Personality* (3rd edition) (edited by T.A. Widiger, and P.T. Costa). Jr. American Psychological Association: Washington, DC, 2013, p. 193–207.
4. Александровский Ю.А. Пограничные психические расстройства. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Медицина, 2000. 496 с.
5. Бавский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П., Доегалецкий П.Я., Кукункин Ю.А., Миронова Т.Ф., Прилуцкий Д.А., Семенов Ю.Н., Федоров В.Ф., Флейшман А.Н., Медведев М.М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // *Вестник аритмологии*. 2001. №24. С. 65–87.
6. Григорьева В.Н., Тхостов А.Ш. Способ оценки эмоционального состояния человека. Патент Российской Федерации RU 2291720 C1. Опубл. 20.01.2007 в Б.И. №2
7. Киселев А.Р., Беспятов А.Б., Посненкова О.М., Гринев В.И., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д., Доегалецкий П.Я. Внутренняя синхронизация основных 0,1Гц-частотных ритмов в системе вегетативного управления сердечно-сосудистой системой // *Физиология человека*. 2007. Т. 33, № 2. С. 69–75.
8. Покровский В.М. Механизмы экстракардиальной регуляции ритма сердца // *Физиологический журнал СССР*. 1988. Т. 74, № 2. С. 259–264.
9. Яхно Н.Н., Парфенов В.А. Общая неврология. Учебное пособие для студентов медицинских вузов. М.: МИА, 2009. 200 с.