

На правах рукописи

Бахчина Анастасия Владимировна

**Динамика вегетативной регуляции кардиоритма при когнитивных,
эмоциональных и физических нагрузках**

19.00.02 - «психофизиология» (психологические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
психологических наук

Москва – 2014

Работа выполнена на кафедре психофизиологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского» (ННГУ)

Научный руководитель: доктор биологических наук
Полевая Софья Александровна

Официальные оппоненты: Чуприкова Наталья Ивановна
доктор психологических наук, профессор,
Федеральное государственное научное
учреждение «Психологический институт»
Российской Академии Образования, ведущий
научный сотрудник

Крылов Андрей Константинович
кандидат психологических наук, Федеральное
государственное бюджетное учреждение науки
Институт психологии Российской академии
наук, научный сотрудник лаборатории
психофизиологии им. В.Б. Швыркова

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки «Институт высшей нервной
деятельности и нейрофизиологии РАН»

Защита диссертации состоится "25" сентября 2014 года в 11.00 на заседании диссертационного совета Д 002.016.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института психологии Российской академии наук по адресу: 129366, Москва, ул. Ярославская, д. 13, корп. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института психологии Российской академии наук: www.ipras.ru.

Автореферат разослан "___" июня 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат психологических наук

Никитина Е.А.

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Практическая актуальность работы определяется высокой социальной значимостью исследований, направленных на развитие знаний о динамике адаптационных и дезадаптационных процессов человека в условиях естественной деятельности. Медико-биологические исследования указывают на то, что большинство заболеваний человека связано с чрезмерными нагрузками разного характера. Актуально развитие психофизиологических методов раннего обнаружения опасных состояний для предотвращения рисков нарушения здоровья и вероятности принятия ошибочных решений людьми в сложных, экстремальных условиях. Особое значение приобретает проблема поиска психофизиологических маркеров экстремальных состояний человека с учетом разнообразия естественных нагрузок.

Работа посвящена проблеме системной организации психофизиологических процессов при различных оптимальных и экстремальных нагрузках (когнитивных, эмоциональных и физических). Одним из наиболее распространенных экстремальных для организма режимов является стресс. Согласно трехкомпонентной теории экстремальных состояний, стресс – это неспецифическая защитная системная редуцированная реакция организма на повреждение или угрозу повреждения (С. Парин, 2008). То есть стресс является принципиально не адаптационным, а дезадаптационным процессом. Фактором запуска стресса (как дезадаптационного процесса) является сигнал о чрезмерном рассогласовании двух образов: текущего и необходимого (или предсказываемого) (Парин и др., 2006, 2011). Тогда, в соответствии с теорией функциональных систем (ФС) П.К. Анохина, можно предполагать, что возникновение чрезмерного рассогласования в любом из модулей действующей ФС приводит к стресс-активации, реализующей защитный механизм. Эта активация включает объединение вполне определенных физиологических (нейрохимических, иммунных, вегетативных и пр.) процессов с целью устранения повреждения или его угрозы (Селье, 1967; С. Парин, 2008; С. Парин, Полевая, 2009) и возникает только при отсутствии в структуре индивидуального опыта специализированной программы устранения сигнала о чрезмерном рассогласовании в конкретных условиях. Тогда, экстремальность нагрузки определяется соотношением интенсивности внешнего воздействия с собственными ресурсами и индивидуальным опытом индивида. Поэтому одна и та же нагрузка может являться оптимальной (внутри границ диапазона адаптации) или экстремальной (выходящей за границы диапазона адаптации) для разных людей.

Согласно современным представлениям, вегетативная регуляция кардиоритма отражает уровень адаптационных ресурсов организма, так как ритм сердца является интегративным отображением динамики его энергообеспечения (В. Парин, 1960; Баевский, 1990). Одним из самых распространенных и общепринятых методов анализа процесса вегетативного обеспечения деятельности (термин А.М. Вейна, 2003) является оценка variability сердечного ритма (ВСР). Пятидесятилетний опыт изучения ВСР как совокупности характеристик режима вегетативной регуляции демонстрирует чувствительность ВСР к разнообразным изменениям субъективного состояния человека, что согласуется с изначальной идеей Клода Бернара о нейрокардиальных связях.

В исследованиях показано, что эмоции, когнитивные процессы и физическая активность жестко связаны с динамикой вегетативной регуляции кардиоритма посредством общей нейрофизиологической основы. Данный факт подтверждается в первую очередь результатами работ по определению структуры связей между параметрами ВСП и активностью различных нейрональных структур (префронтальная кора, орбитофронтальная кора, поясная извилина, островок, миндалина, гиппокамп, ядра таламуса, ядра гипоталамуса) методами нейровизуализации (fMRI, ПЭТ) (Critchley, 2003; Whalen et al., 2004; Holland and Gallagher, 2004; Gianaros, 2004; Belova et al., 2007; Napadow et al., 2008; Johnson et al., 2009; Whalen and Phelps, 2009; Lane, 2009; Ahs et al., 2009; Ruiz-Padial et al., 2011), а также целенаправленными исследованиями изменения ВСП в контекстах когнитивной, эмоциональной, физической и интегральной нагрузок (Taelman et al., 2011). Современные исследования предоставляют обширную базу данных по ВСП для разных групп испытуемых в клинических и лабораторных контекстах: больные депрессивными расстройствами, постинсультные больные, страдающие диабетом и др. (Hanson, 2001; Collins et al., 2005; Melillo et al., 2005; Samen et al., 2007; Chandola et al., 2008). Активно исследуются вегетативные корреляты утомления, перенапряжения и разных «видов» стресса: экзаменационного, рабочего и др. (Данилова, 2011; Carney et al., 2009; Nikolova et al., 2007, 2011; Taylor et al., 2009, 2011). Интеграция имеющихся данных приводит к выводу, что параметры динамики вегетативной регуляции кардиоритма чувствительны к изменениям в эмоциональной, когнитивной и физической активности и информативны для исследования адаптационных и дезадаптационных процессов.

До сих пор в исследовательской практике адаптационные и дезадаптационные процессы человека (в том числе стресс) оцениваются в лабораторном контексте по срезам в покое (Malik, 1996) при обязательном жёстком контроле положения обследуемого (сидя, лёжа) в отсутствии внешних раздражающих стимулов (Баевский, 1968, 1984, 1986). Однако такой подход сильно сужает область применения методов, так как режимы работы организма человека связаны с целевой функцией и изменяются в широком диапазоне в соответствии с динамикой значимого контекста (В.Парин, 1960; П.Анохин, 1974). Измерения режимов вегетативной регуляции в условиях дозированных лабораторных нагрузок не всегда согласуются с принципом экологической валидности и не позволяют предсказывать особенности вегетативного обеспечения активности человека в условиях разнообразной естественной деятельности (В.Парин, 1970; Turner, 1987; Крылов, Ю.Александров, 2007; Барабанщиков, 2010; Melillo, 2011; Zanstra, 2011).

В настоящее время отсутствуют нормативные диапазоны параметров относительно разделения процессов адаптации и дезадаптации, что объясняется также наличием индивидуальных показателей оптимума конкретного организма, которые не всегда совпадают со среднестатистическими результатами, поскольку однотипные адаптационные процессы протекают по-разному в соответствии с условиями, в которых находится человек, и в зависимости от его индивидуальных функциональных резервов. Это актуализирует использование в исследовательской практике не только абсолютных значений параметров, но и их соотношения и направленности изменений.

Развитие методов математической обработки кардиоинтервалограмм закономерно привело к обнаружению большого количества показателей (статистических, геометрических, частотных), которые, с одной стороны, тесно коррелируют друг с другом, делая весь набор избыточным, а с другой - пригодны для

интерпретации и оценки кардиосигнала только в стационарных условиях (Бань и др., 2009). Важно, что использовавшиеся до настоящего времени методы обработки ритмограмм обладают низким разрешением по времени и не могут быть применены для поиска вегетативных отображений быстрых, краткосрочных когнитивных и эмоциональных процессов.

Влияние активности нейрохимических стресс-активирующих систем: симпатoadреналовой (САС), гипоталамо-гипофизарно-адреналовой (ГГАС), эндогенной опиоидной (ЭОС) на вегетативную регуляцию сердечного ритма исследовалось независимо друг от друга. Множество работ посвящено влиянию САС и ГГАС на динамику показателей variability сердечного ритма (Coruzzi et al., 2003; Allen et al., 2014). Однако до сих пор остается открытым вопрос о природе истощения регуляторных ресурсов при стрессе. Есть определенные основания связывать это явление с эндогенной опиоидной системой, как наименее изученным компонентом стресс-активирующих систем (Лишманов и др., 1995; Маслов и др., 1995; Ардашев и др., 1995; Kus et al., 1995; Chao et al., 1999; Huang et al., 2008; Yeh et al., 2008). Исследования участия ЭОС в регуляторных процессах, как правило, проводятся на животных с использованием агонистов и антагонистов опиатных рецепторов. Учитывая, что длительное употребление опиатных наркотиков приводит к разрушению рецепторного аппарата ЭОС, то сравнение зависимых от опиатных наркотиков больных с контрольной выборкой здоровых испытуемых может являться одной из экспериментальных моделей в этом направлении, которая позволила бы выделить особенности адаптационных и дезадаптационных процессов при когнитивных, эмоциональных и физических нагрузках, связанные с активностью ЭОС.

Несмотря на то, что знания по определению признаков последовательной смены доминирования и совместного влияния этих систем на динамику вегетативной регуляции чрезвычайно ограничены, имеющиеся данные позволяют прогнозировать наиболее вероятное вегетативное отображение дезадаптационных процессов.

В связи с перечисленным выше, актуально развитие инструментальных методов регистрации психофизиологических характеристик, обеспечивающих персонализированный мониторинг и дистанционную диагностику без ограничений по продолжительности записи, по расстоянию до источника сигнала и подвижности; развитие нелинейных методов математической обработки нестационарных сигналов, соответствующих по временному разрешению динамике контекста естественной деятельности в многообразной стимульной среде; исследование вегетативных отображений адаптационных и дезадаптационных процессов в условиях естественной деятельности и роли эндогенной опиоидной системы в управлении режимами вегетативной регуляции.

Цель исследования

Выявление закономерностей адаптационных и дезадаптационных процессов при когнитивных, эмоциональных и физических нагрузках.

Объект исследования

Люди в контекстах когнитивных, эмоциональных и физических нагрузок разного уровня.

Предмет исследования

Особенности вегетативных отображений адаптационных и дезадаптационных процессов при оптимальных и экстремальных когнитивных, эмоциональных и физических нагрузках.

Теоретическая гипотеза

Адаптационные и дезадаптационные процессы при когнитивных, эмоциональных и физических нагрузках имеют следующие вегетативные отображения: вегетативное отображение адаптационных процессов характеризуется многообразием динамических режимов кардиоритма, связанных со спецификой нагрузки; вегетативное отображение дезадаптационных процессов при экстремальных нагрузках характеризуется специфическим редуцированным режимом вегетативной регуляции, который инвариантен по отношению к природе нагрузки, индивидуальным и ситуативным особенностям.

Экспериментальная гипотеза

Динамика вегетативной регуляции сердечного ритма человека при оптимальных нагрузках отображается в многообразии изменений спектральных показателей variability сердечного ритма, тогда как при экстремальных нагрузках отображается в специфической структуре динамики спектральных показателей variability сердечного ритма, которая не зависит от типа нагрузки и является психофизиологическим маркером острого стресса.

Задачи исследования

1. Разработать комплекс инструментальных методов, обеспечивающих согласованное измерение экзогенного и эндогенного контекстов при когнитивных, эмоциональных и физических нагрузках.
2. Выявить связь между динамикой вегетативной регуляции кардиоритма и динамикой эмоциональной дезадаптации в процессе суточного мониторинга.
3. Выявить закономерности динамики вегетативной регуляции кардиоритма в контексте когнитивных нагрузок разного уровня.
4. Выявить закономерности динамики вегетативной регуляции кардиоритма в контексте физических нагрузок разного уровня.
5. Сравнить вегетативные отображения адаптационных и дезадаптационных процессов при когнитивных, эмоциональных и физических нагрузках разного уровня.
6. Выявить в динамике вегетативной регуляции кардиоритма структуру, специфичную для экстремальных нагрузок.
7. Выявить особенности динамики вегетативной регуляции кардиоритма в группе наркозависимых.

Теоретико-методологические основы исследования

Теоретико-методологической основой исследования являются теория функциональных систем (П.К. Анохин), концепция интеграции экзогенных и эндогенных факторов в осознании сенсорных сигналов (С.А. Полевая) и трёхкомпонентная теория экстремальных состояний (С.Б. Парин).

Научная новизна

Впервые предложен и апробирован инструментальный метод регистрации и анализа вегетативных отображений быстрых изменений субъективного состояния в контексте автономного поведения без ограничений по расстоянию и подвижности.

Впервые выявлена связь между циркадными ритмами уровня эмоциональной дезадаптации и вегетативной регуляции. Показано, что устойчивость эмоционального состояния человека в течение суток поддерживается динамическими перестройками режима вегетативной регуляции кардиоритма.

Впервые показана связь между уровнем информационной неопределенности и динамикой сердечного ритма: в контексте информационной неопределенности возрастает уровень дезорганизации сердечного ритма.

Впервые обнаружена и описана специфика вегетативного обеспечения интенсивных физических нагрузок в отличие от экстремальных нагрузок. При экстремальных физических нагрузках наблюдается согласованное по времени снижение общей мощности спектра variability сердечного ритма и возрастание индекса вегетативного баланса, при интенсивных физических нагрузках наблюдается согласованное снижение общей мощности спектра variability сердечного ритма и индекса вегетативного баланса.

Впервые выявлены отличия вегетативного отображения адаптационных и дезадаптационных процессов. Вегетативное отображение адаптационных процессов характеризуется многообразием динамических режимов кардиоритма, связанных со спецификой нагрузки. Вегетативное отображение дезадаптационных процессов при экстремальных нагрузках характеризуется специфическим редуцированным режимом вегетативной регуляции (снижением общей мощности спектра variability сердечного ритма, согласованным по времени с возрастанием индекса вегетативного баланса), который инвариантен по отношению к природе нагрузки (воспроизводится при экстремальных когнитивных, эмоциональных и физических нагрузках), индивидуальным и ситуативным особенностям.

Впервые дано экспериментальное и теоретическое обоснование роли эндогенной опиоидной системы в регуляции вегетативного обеспечения когнитивных функций. В контексте когнитивной нагрузки нарушение эндогенной опиоидной системы ведет к снижению адаптивности режима вегетативной регуляции при смене целевой функции.

Научно-практическая значимость

Полученные данные вносят существенный вклад в дальнейшее развитие трёхкомпонентной теории экстремальных состояний.

В работе представлены новые психофизиологические технологии, созданные на основе интеграции классических психофизиологических методов с методами телеметрии и нелинейной динамики. Эффективность предложенного измерительного комплекса обоснована данными персонифицированного мониторинга и дистанционной диагностики функционального состояния спортсменов, водителей общественного транспорта, инженеров-программистов, учащихся школ и высших учебных заведений в условиях профессиональной деятельности. Разработанные методы персонифицированного мониторинга кардиоритма защищены патентами РФ (№ 129680, №129681), которые могут быть внедрены в клиническую практику для контроля состояния больных и диагностики кардионарушений, а также в гигиеническую практику мониторинга функционального состояния в процессе трудовой деятельности.

В работе продемонстрирована информативность параметров очень высокочастотного диапазона спектра variability сердечного ритма относительно дифференциальной диагностики функциональных состояний (распознавания стресса и наркозависимости).

Материалы диссертационной работы внедрены в информационно-методическом письме с рекомендациями о применении телеметрических систем измерения кардиоритма для диагностики стресса на рабочем месте, утвержденном на заседании ученого совета Нижегородского научно-исследовательского института гигиены и профпатологии.

Полученные результаты призваны помочь в дистанционной диагностике функционального состояния человека, а именно в точной идентификации острого стресса.

Положения, выносимые на защиту

1. Отсутствие эмоциональной дезадаптации в течение суток поддерживается динамическими перестройками режима вегетативной регуляции. Адаптационные процессы при оптимальных когнитивных нагрузках отображаются в динамических изменениях режима вегетативной регуляции кардиоритма при смене целевой функции. Таким образом, адаптационные процессы характеризуются динамическим многообразием режимов вегетативной регуляции кардиоритма, которые специализированы к характеру нагрузки.

2. Вегетативное отображение дезадаптационных процессов включает снижение общей мощности спектра вариабельности сердечного ритма, согласованное по времени с возрастанием индекса вегетативного баланса, и характеризуется свойствами неспецифичности относительно природы экстремальной нагрузки и редуцированности, что соответствует характеристикам и динамике процесса стресс-активации.

3. Уровень неопределенности информационных образов отображается в уровне дезорганизации сердечного ритма. Параметры вариабельности сердечного ритма, согласованные по временному масштабу с динамикой когнитивной активности (RR-дифференциал, параметры очень высокочастотного диапазона спектра вариабельности сердечного ритма), информативны для исследования вегетативных отображений быстрых когнитивных процессов.

4. Технология регистрации кардиоритма на основе беспроводных сенсорных сетей обеспечивает реализацию принципа экологической валидности в исследовании быстрых изменений субъективного состояния в контексте автономного поведения без ограничений по расстоянию и подвижности.

Апробация работы

Результаты диссертационной работы были представлены на заседании секции «Психофизиологии» Российского Психологического Общества (Москва, 6 ноября 2013); на XVI Международной конференции по нейрокибернетике (Ростов-на-Дону, 2012); Всероссийской конференции с международным участием «Функциональная межполушарная асимметрия и пластичность мозга» (Москва, 2012); 4-ом съезде биофизиков России (Нижний Новгород, 2012); 16-м Всемирном конгрессе по психофизиологии (Италия, Пиза, 2012); 3-й Всероссийской научной школе для молодёжи «Нейробиология и новые подходы к искусственному интеллекту и к науке о мозге» (Таганрог, 2012); 12-ой Международной Зимней Психологической школе молодых учёных факультета психологии Санкт-Петербургского государственного университета (Санкт-Петербург, 2012); 19-ой Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2012» (Москва, 2012); Всероссийской научной конференции «Экспериментальный метод в структуре психологического знания» (Москва, 2012); Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции «Спортивная медицина. Здоровье и физическая культура. Сочи-2012» в рамках конгресса «Медицина Спорта» (Сочи, 2012); 11-й Международной научно-практической конференции «Оптимизация учебно-тренировочного процесса» (Нижний Новгород, 2012); Международном симпозиуме «Актуальные вопросы физической реабилитации в спорте высших достижений» (Ереван, 2012); Международной научно-практической конференции по проблемам

физической культуры и спорта государств – участников Содружества Независимых Стран (Минск, 2012); 15-й Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика – 2013» (Москва, 2013); 3-й Всероссийской конференции «Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях – 2013» (Нижний Новгород, 2013); 16-й Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика – 2014» (Москва, 2014).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 26 печатных работ (общий объем – 8,43 п.л.; авторский вклад – 4,25 п.л.), из которых 6 в рецензируемых отечественных журналах перечня ВАК РФ, два патента на полезные модели.

Структура диссертации

Диссертация (139 стр.) состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы (308 источников), включает 17 таблиц, 72 рисунка.

Основное содержание работы

Во ВВЕДЕНИИ обосновываются актуальность и новизна исследования, определяются его цель, задачи, характеризуются предмет, объект, гипотеза исследования, научная и практическая значимость, излагаются основные положения, выносимые на защиту.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ «Предпосылки поиска вегетативных маркеров стресса» осуществлена теоретическая проработка темы исследования. В результате анализа современных литературных данных о структуре связей между параметрами variability сердечного ритма (ВСР), эмоционального состояния и когнитивных процессов, о динамике параметров вегетативной регуляции кардиоритма в контекстах эмоционального, когнитивного, физического (моторного) напряжения сделан вывод о том, что снижение variability сердечного ритма неспецифично относительно способа формирования нагрузки для испытуемых в эксперименте. Кроме того, показаны противоречия в эмпирических исследованиях стресса, и выделены требования, которым должен удовлетворять маркер стресса, а именно динамичность, стадийность, инвариантность относительно типа экстремальной нагрузки, редуцированность.

Во ВТОРОЙ ГЛАВЕ «Материалы и методы» описаны и обоснованы структура выборки испытуемых и выбранные методики исследования.

Структура выборки состоит из двух экспериментальных массивов:

1. Экспериментальное моделирование когнитивных и эмоциональных нагрузок:

1. Студенты в контексте деятельности в виртуальной реальности (60 человек: 25 муж., 35 жен. Возраст 18-27 лет).

2. Студенты в контексте экспериментального моделирования когнитивных нагрузок (25 человек (70 реализаций): 23 жен., 2 муж. Возраст 18-25 лет).

3. Наркозависимые больные в контексте экспериментального моделирования когнитивных нагрузок (54 человек: 26 муж., 28 жен. Возраст 20-35 лет).

4. Шахматисты в контексте партии с компьютером (16 человек: 14 муж., 2 жен. Возраст 18-20 лет).

2. Эксперименты в контекстах естественной деятельности:

1. Спортсмены в контексте тренировки (67 человек: 47 муж., 20 жен. Возраст 14-24 лет).

2. Сотрудники экстремального профиля в контексте тренировки в газовой камере (48 человек: 48 муж., 0 жен. Возраст 19-42 года).

3. Водители общественного транспорта в процессе рабочей смены (11 человек: 10 муж., 1 жен. Возраст 45-56 лет).

4. Инженеры в течение рабочей смены (49 человек: 33 муж., 16 жен. Возраст 24-38 лет).

5. Студенты в контексте публичного выступления на конференции (37 человек: 13 муж., 24 жен. Возраст 16-24 лет).

Всего было обследовано 362 человека.

Исследование проводилось на базах кафедры психофизиологии ННГУ им. Н.И.Лобачевского, кафедры гигиены труда и коммунальной гигиены Нижегородской государственной медицинской академии.

Все испытуемые дали информированное письменное согласие на участие в исследовании.

Было организовано непрерывное измерение синхронизированных записей кардиосигналов и внешнего аудиовизуального контента в референтных группах испытуемых в условиях естественной деятельности.

Непрерывное измерение кардиосигнала производилось посредством телеметрической системы регистрации сердечного ритма. Данная система включает миниатюрный датчик ZephyrBioHarness, который крепится к эластичному поясу, в который вшиты два тканевых электрода. Пояс крепится на тело человека таким образом, чтобы электроды располагались в 1 и 2 грудных отведениях. Размер пояса устанавливается таким, чтобы испытуемому было комфортно, и при этом различные движения не влияли на положение пояса. Пакетная передача данных от датчика к мобильному устройству производится по беспроводному протоколу - BluetoothSPP 2,4ГГц. Пакеты данных передаются с интервалом 1 с. Каждый пакет содержит уникальный идентификатор устройства, 15 последних RR-интервалов (уже переданные+новые), время относительно начала записи (счетчик сердцебиений). Результирующий файл данных формируется с накоплением. Предельное расстояние передачи сигнала 10 м до мобильного устройства. Реализация связи, передачи и сохранения данных производится на мобильном устройстве через специализированное программное обеспечение – «HR-Reader». Программная среда «HR-Reader» обеспечивает on-line визуализацию регистрируемой динамики RR-интервалов для контроля чистоты и целостности записи. Далее с мобильного устройства данные передаются по сети Интернет на сервер, где организована специализированная база данных, реализующая хранение, визуализацию и предобработку данных.

Была произведена проверка данной системы путем сравнения сигналов, измеряемых в покое параллельно с двух приборов с одного человека: система беспроводной регистрации кардиоритма и электрокардиограф «Прибор компьютерный для оценки состояния вегетативной нервной системы ВНС-Микро. Нейрософт». Аналогичная процедура произведена со стационарным кардиоанализатором «АНКАР-131». Установлено, что качество регистрации физиологических сигналов в данной телеметрической системе полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к стационарным диагностическим комплексам (абсолютная ошибка измерения составила меньше 0,1).

Внешний аудиовизуальный контекст (под контекстом мы понимаем динамически развивающуюся совокупность событий внешней сенсорной среды, связанных с конкретной целевой функцией человека) фиксировался следующими методами:

1) Временное протоколирование. Протоколирование событий деятельности осуществляется через заполнение бланка протокола (протокол деятельности разрабатывается для временной записи событий, сопровождающих процесс деятельности и отражающих уровень напряжённости деятельности).

2) Маркирование записей. Регистрация начала и окончания события в конкретных контекстах производится через маркирование записи ритмограммы посредством кнопок (A,B,C,D,E,F) в программе регистрации сигнала «HR-Reader». Нажатие кнопки ставит соответствующий буквенный маркер напротив RR-интервала, во время которого произошло событие, сохраняя маркер в файле данных. События контекста заранее кодируются в представленных буквах.

3) Видеомониторинг контента виртуальной реальности. Динамика информационных образов в виртуальной компьютерной среде регистрировалась через видеозапись монитора компьютера посредством программы DebutVideoCaptureoftWare1.50.

В нескольких сериях экспериментов использованы методы экспериментального моделирования элементарных когнитивных нагрузок. На основе программно-аппаратного комплекса «HandTracker» разработана совокупность функциональных проб, обеспечивающих актуализацию первичных когнитивных функций и измерение ошибок моторного отображения сенсорных сигналов. Схема данных проб такова, что испытуемый включается в состав человеко-компьютерной системы, в которой зрительные и звуковые стимулы генерируются компьютером и предъявляются испытуемому, который в свою очередь управляет ими в соответствии с задачей теста. Ориентируясь на свои ощущения, он должен в динамическом режиме управлять манипулятором посредником (джойстик, мышь, клавиша) и воспроизводить предъявляемые экспериментатором стимулы с установленными параметрами (Антонец и др., 2011). Каждый эксперимент состоит из двух последовательных сессий: 1. Обучающая. Испытуемый знакомится с предстоящим заданием и пробует его выполнить несколько раз. 2. Непосредственное измерение.

Эффективность когнитивных процессов оценивалась по абсолютным и дифференциальным порогам распознавания базисных признаков звуковых и зрительных сигналов в виртуальной компьютерной среде.

Использовались следующие методики: измерение времени сенсомоторной реакции на звуковые стимулы; компьютерная кампиметрия (измерение дифференциальных порогов по оттенку); компьютерная латерометрия (измерение порогов пространственной локализации звукового образа); тест «Управление углом наклона отрезка»; тест Струпа; тест «Часы».

Дополнительно в работе использовались психологические тестовые методики: опросник ситуативной и личностной тревожности Спилбергера-Ханина, опросник госпитальной шкалы тревоги-депрессии. Для оценки уровня эмоциональной дезадаптации использовалась компьютеризированная версия проективно-вербальной методики «Способ оценки эмоционального состояния человека» (патент РФ RU 2291720 С1, Григорьева В.Н.).

Для математической обработки ритмограмм (РГ) использованы методы спектрального анализа: периодограммный метод, динамический спектральный анализ, непрерывное вейвлет преобразование, периодограмма Ломба-Скаргла, и статистические методы. Интерпретация получаемых показателей основывалась на двухконтурной модели регуляции сердечного ритма (В. Парин, Баевский).

При использовании периодограммного метода, согласно принятым рекомендациям и стандартам, оценивались следующие характеристики ВСР:

- TP, ms^2 – суммарная мощность спектра PГ - отражает общую активность центрального и автономного контуров регуляции сердечного ритма;
- LF, ms^2 – мощность спектра PГ в диапазоне низких частот (0,04-0,15 Гц) – отражает активность симпатического звена в регуляции сердечного ритма;
- HF, ms^2 – мощность спектра PГ в диапазоне высоких частот (0,15-0,6 Гц) – отражает активность парасимпатического звена в регуляции сердечного ритма;
- LF/HF – соотношение мощностей спектра PГ в диапазонах низких и высоких частот (коэффициент вегетативного баланса) – отражает тонус вегетативной нервной системы.

При использовании динамического спектрального анализа оценивали динамику параметров TP, LF, HF, LF/HF. Вычисление спектров производилось в окнах длиной 100 с, с шагом сдвига окна 10 с. Это позволило рассматривать режим вегетативной регуляции кардиоритма не по абсолютным значениям спектральных параметров, а по согласованной направленности их изменений.

Метод непрерывного вейвлет-преобразования использовали как основной при анализе амплитудных модуляций спектральных компонент кардиоритма. В результате получали следующие параметры оценки степени участия надсегментарного уровня в регуляции сердечной деятельности:

- степень концентрации мощности модулирующего воздействия около основной модулирующей частоты – отношение среднего значения мощности всех модулирующих частот к мощности основной модулирующей частоты – $A(f_{cp})/A(f_{max})$ при модуляции симпатической активности (LF диапазона);
- степень концентрации мощности модулирующего воздействия около основной модулирующей частоты – $A(f_{cp})/A(f_{max})$ при модуляции парасимпатической активности (HF диапазона).

При использовании периодограммы Ломба-Скаргла был проанализирован диапазон спектров ритмограмм от 0,6 до 2 Гц. Информативность VHF (very high frequency) - «очень высокочастотного» диапазона показана для контекста послеоперационного восстановления (Toledo et al, 2003). Исследования также демонстрируют наличие очень высокочастотных компонентов в структуре спектра variability сердечного ритма не только у больных, но и у здоровых людей. Мы предполагаем, что очень высокочастотные компоненты спектра отображают постоянную частоту собственных колебаний сердца и краткосрочные системные регуляторные воздействия. В работе использовались следующие показатели очень высокочастотного диапазона спектра ВСР: частота колебаний с максимальной амплитудой (ПЧ (Гц)); мощность максимальной по амплитуде частоты (МПЧ (ms^2)); размах максимальной по мощности частоты: ПЧ_{мин}, ПЧ_{макс}, ΔПЧ (Гц).

При статистическом анализе PГ вычисляли следующие параметры:

- RR-дифференциал ($dRR=(maxRR-minRR)/t$, где t – продолжительность ритмограммы) (ms/c) – отражает уровень дезорганизации сердечного ритма;
- ЧСС (уд/мин).

Статистическую обработку результатов проводили при помощи программ Microsoft Excel и Statistica 6.0 с использованием средств: параметрические критерии (t-критерий Стьюдента), кластерный анализ (кластеризация методом K-средних), дисперсионный анализ (многомерный метод дисперсионного анализа повторных измерений), корреляционный анализ.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ «Результаты экспериментального исследования динамики вегетативной регуляции кардиоритма в различных лабораторных и естественных контекстах» и в ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ «Обсуждение результатов» представлены полученные результаты и их обсуждение.

Целью первой серии экспериментов явилось изучение динамики показателей variability сердечного ритма у здоровых лиц в процессе привычной повседневной активности в течение дневного времени суток во взаимосвязи с уровнем эмоциональной дезадаптации для выявления вегетативных коррелятов эмоционального состояния. Эксперименты реализовывают схему параллельного контроля параметров вегетативной регуляции по показателям ВСР и динамики эмоционального состояния. Эмоциональное состояние оценивалось с помощью компьютеризированной версии проективно-вербальной методики «Способ оценки эмоционального состояния человека» (патент РФ RU 2291720 С1, Григорьева В.Н.). В результате определялся уровень эмоциональной дезадаптации человека по четырёхбалльной шкале.

Для поиска вегетативных коррелятов вербальных отображений эмоционального стресса был проведен спектральный анализ динамики мощности LF- и HF-компонентов спектра ВСР. Полученные в результате коэффициенты $A_{(f_{общ})}/A_{(f_{max})}HF$, $A_{(f_{общ})}/A_{(f_{max})}LF$ отражают мощность колебаний LF и HF компонентов в спектре ВСР. По показателям УЭД и спектральным характеристикам II порядка группа испытуемых была разделена на два кластера методом k-средних. Кластеры различаются статистически достоверно как по показателям эмоциональной дезадаптации, так и по показателям динамики вегетативной регуляции (Рис.1, А). Высокий уровень эмоциональной дезадаптации согласуется с низкими коэффициентами спектра II порядка (Рис.1, А).

Анализ вегетативной регуляции сердечного ритма в выделенных кластерах показал достоверные различия в показателях мощности LF и HF-компонентов спектра ВСР. При низком уровне эмоциональной дезадаптации (1 кластер) выше общая мощность спектра и мощность частотных диапазонов LF и HF (Рис. 1, Б).

Выявлены особенности связи между динамикой эмоционального состояния и динамикой вегетативной регуляции в течение суток в двух кластерах испытуемых (Рис. 2).

В первом кластере (Рис. 2, А) зарегистрировано перераспределение вегетативного баланса от высоких значений ($LF/HF > 3$) утром к нормальным значениям ($LF/HF < 1,5$) вечером, при этом значение УЭД колеблется около 1, что говорит об отсутствии эмоциональной дезадаптации. Во втором кластере (Рис.2 Б), где УЭД высокий ($УЭД > 1$) в течение всех суточных проб, ИВБ не опускается ниже 1.6, при этом УЭД к концу дня имеет максимальное значение.

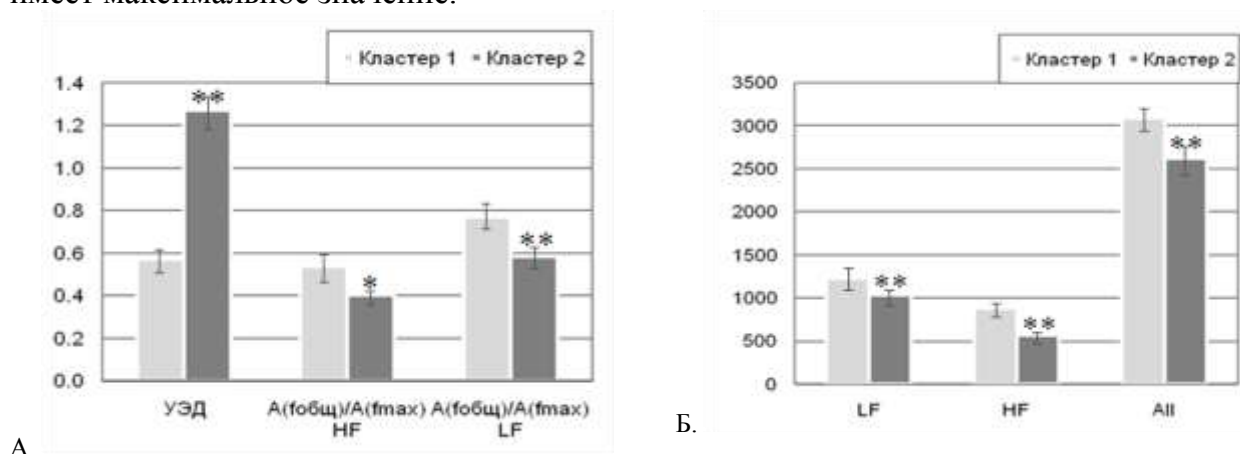
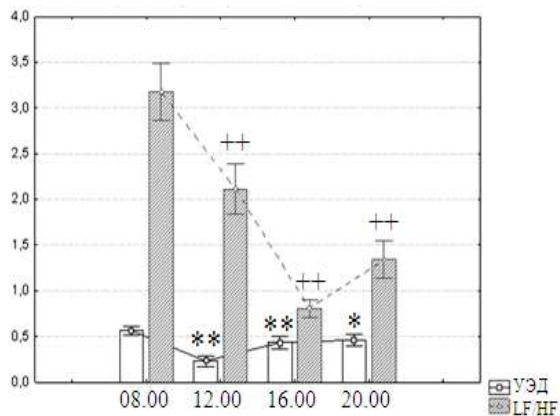
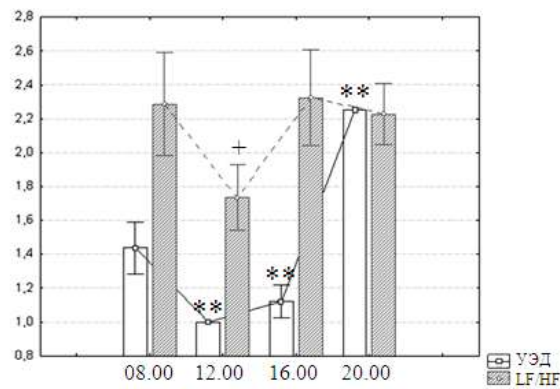


Рис. 1. Различия кластеров: А. - по уровню УЭД и спектральным показателям ВСР II порядка (ось у – средние значения параметров), Б. - по спектральным показателям ВСР I порядка (ось у – средние значения параметров, ms^2) (достоверность межгрупповых различий * < 0.05, ** < 0.01 (t-критерий Стьюдента)).



А.



Б.

Рис. 2. Суточная динамика показателя УЭД и вегетативного баланса в выделенных кластерах (первый кластер – А, второй кластер – Б) (ось у – средние значения параметров УЭД и LF/HF) (достоверность различий относительно исходного значения УЭД * < 0.05, ** < 0.01, относительно исходного значения LF/HF+ < 0.05, ++ < 0.01 (t-критерий Стьюдента)).

Таким образом, у здоровых лиц, находящихся в режиме повседневной активности, с уровнем эмоциональной дезадаптации из всех показателей variability сердечного ритма коррелирует ИВБ. Эмоциональная дезадаптация сопровождается устойчивым истощением - снижением спектральных характеристик ВСР.

Исследование вегетативного обеспечения когнитивных процессов производилось в контексте экспериментального моделирования когнитивной нагрузки. Во второй серии экспериментов исследовалась связь между структурой поведенческой активности человека в виртуальной компьютерной среде и структурой динамики вегетативной регуляции кардиоритма. В экспериментах реализована технология комплексного мониторинга функционального состояния и событийного контекста в условиях естественной деятельности человека в виртуальной компьютерной среде (Полевая, 2013).

Оценка биологической активности информационных образов производилась в двух виртуальных контекстах разной степени сложности: 1. Элементарный информационный контекст; 2. Сложный динамический информационный контекст. Массив данных для каждого испытуемого включал запись последовательности R-R интервалов, показатели компьютерной кампиметрии и компьютерной латерометрии, видеозапись лица человека в различных информационных контекстах, видеозапись монитора, отображающую динамику информационных образов в виртуальной компьютерной среде. На основе треков видеонаблюдения были составлены индивидуальные хронограммы событий в виртуальной реальности.

Элементарный информационный контекст - операционная среда компьютерной кампиметрии. Активность этой среды минимальна. Человеку предлагалось решать последовательность элементарных однотипных задач по обнаружению и обратному восстановлению - уничтожению целевого информационного образа в интерактивном режиме. Каждая задача включала два этапа. На первом этапе, на экране монитора появлялся однотонный цветовой квадрат (фон); задавалась цель - выделить на фоне пятно (стимул), идентифицировать его форму и выбрать из предложенного набора пиктограмму с изображением соответствующей формы; если пиктограмма была выбрана правильно, то контрастирование пятна автоматически повышалось. На втором этапе задавалась цель - уничтожить пятно и вернуть цветовой квадрат в исходное однотонное состояние. Изменения контраста между фоном и пятном были строго монотонны, предсказуемы и осуществлялись только по команде человека: для

увеличения контраста нажималась стрелка «вверх» столько раз, сколько необходимо для обнаружения информационного образа – проявления пятна на фоне; аналогично на втором этапе для уменьшения контраста нажималась стрелка «вниз». Каждое нажатие увеличивало оттенок стимула относительно оттенка фона в рамках цветовой модели HLS на 1 у.е. Задачи предъявлялись автоматически в случайном порядке, и человек оперировал информационными образами без регламентации временного режима. Такой контекст обеспечивает периодическую когнитивную нагрузку. Каждый период состоял из двух фаз: движение из неопределенности к информационному образу и движения в условиях полной определенности. Всего предлагалось решить последовательность из 25 задач, отличающихся только исходным оттенком фона. В данном контексте обнаружена прямая связь между уровнем неопределенности информационного образа и уровнем дезорганизации сердечного ритма (dRR) (Рис.4.). На фазе движения от полной неопределенности к целевому информационному образу, при поиске пятна, уровень дезорганизации сердечного ритма был достоверно выше, чем при решении обратной задачи по уничтожению пятна в ситуации полной определенности. Принимая во внимание, что полный период «обнаружение-уничтожение» составлял от 2 с до 15 с, встает вопрос о механизмах такой стремительной перенастройки сердечного ритма. Традиционные вегетативные и гуморальные механизмы регуляции имеют характерные периоды в диапазоне от 2,5 с до 60 с. Обнаруженные эффекты можно связать с активностью систем оперативного управления ритмом сердца (корковый контур регуляции), согласованным с уровнем неопределенности информационного образа.

Сложный динамический информационный контекст включал компьютерные игры гонки (прохождение одного круга гонок в игре Need for Speed Underground2) и тетрис. Информационные образы в игре обладали собственной динамикой. Человек управлял информационным образом в соответствии с целевой функцией, определенной правилами игры. События в игре, противоречащие целевой функции, фиксировались как ошибки управления. За ошибки при игре в «Тетрис» принималось явно неудачное расположение фигуры среди других, сопровождаемое вербальной или невербальной реакцией испытуемого на ошибку (вокализации – шипение, цоканье, стоны или слова, указывающие на раздражение). В игре «Гонки» ошибками считались столкновения с предметами игрового ландшафта – бордюры, столбы, столкновения с другими автомобилями и моменты, когда машина соперника обгоняет машину испытуемого. По треку видеонаблюдения за контентом для каждого человека составлялась временная диаграмма ошибок.

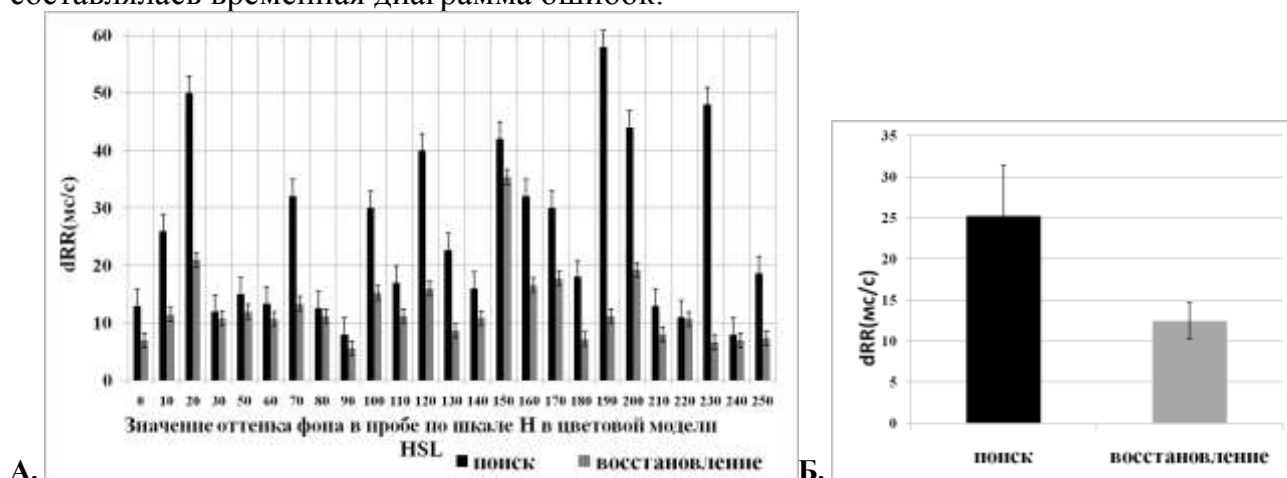


Рис. 3. Связь динамики R-R-интервалов и динамики информационных образов в среде компьютерной кампиметрии. А – RR-дифференциал на фазах поиска и уничтожения информационного образа в каждой пробе; Б – средний RR-дифференциал на фазах поиска и уничтожения информационного образа. Везде $p < 0,05$, t -критерий Стьюдента.

У большинства участников исследования в контексте компьютерных игр моменты рассогласований и ошибок управления информационными образами сопровождались краткосрочной (до 1,5 мин) крестообразной динамикой общей мощности спектра ВСП и ИВБ, а именно снижением общей мощности на фоне возрастания ИВБ ($TP\downarrow$, $LF/HF\uparrow$) (Рис. 4). На рисунке 4 показана динамика спектральных показателей ВСП при прохождении 3-х раундов в гонки испытуемым. Важно сказать, что 1-й и 3-й раунды окончились победой испытуемого, 2-й – проигрышем. Такой переход физиологической системы в высокоэнергетический режим поддерживает эффективность защитных механизмов в экстремальных ситуациях, связанных с угрозой жизни. Симпатическая активация в данном контексте лишена биологической целесообразности.

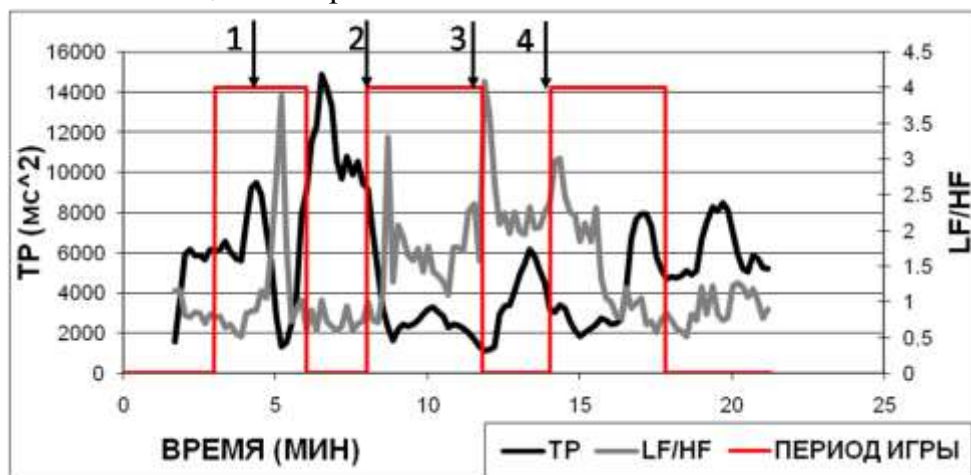


Рис. 4. Динамика спектральных показателей ВСП при игре в гонки: 1-й раунд – победа, 2-й – проигрыш, 3-й – победа. Стрелками обозначены моменты динамики ($TP\downarrow$, $LF/HF\uparrow$), которые соответствуют по времени событиям виртуального контента: 1,2 – ошибкам игрока; 3 – окончание раунда проигрышем; 4 – начало 3-го раунда.

Динамика ВСП при проведении функциональных проб, обеспечивающих актуализацию первичных когнитивных функций и измерение ошибок моторного отображения элементарных сенсорных сигналов, исследовалась в двух группах испытуемых: здоровые, наркозависимые. Оценка результатов показала высокой степени пластичность параметров ВСП у здоровых испытуемых при изменении информационного контекста.

Дисперсионный анализ (линейные модели с повторными измерениями) показал значимые различия дисперсии ($p < 0,05$) параметров ВСП в контекстах разных проб (Рис. 5). При этом в выборке наркозависимых параметры имеют меньшую степень изменений от пробы к пробе. (Рис. 5).

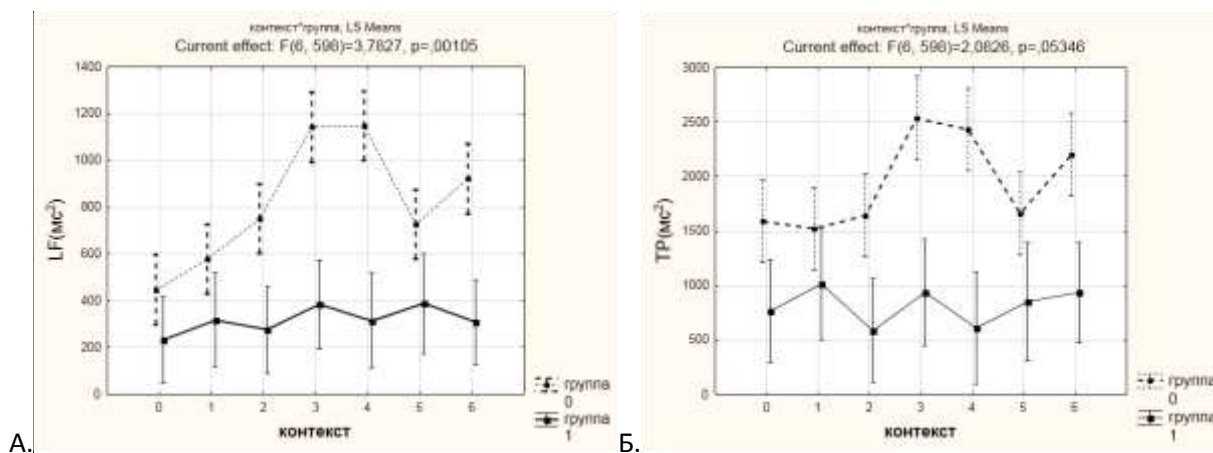


Рис. 5. Динамика параметров ВСП (А – LF (мс²); Б – TP (мс²)) в 6 пробах (ось х – контекст: 0. – лежа; 1– компьютерная латерометрия; 2 - компьютерная кампиметрия; 3 - тест Струпа; 4 - тест «Часы»; 5 – тест «Управление углом наклона отрезка»; 6 - измерение времени сенсомоторной реакции) в группах: 0- здоровые, 1- наркозависимые. Отличия дисперсий параметров в контекстах по F-критерию в группе 0 достоверно (p=0.02), в группе 1 недостоверно (p=0.08). Отличия параметров между группами достоверны (p<0.01, t-критерий Стьюдента).

Используя значения показателей очень высокочастотного диапазона спектра ВСП (0,6-2 Гц) (а именно, рассчитывались – мощность пиковой (максимальной) частоты, пиковая частота, минимальная частота, максимальная частота) был произведен кластерный анализ методом k-средних, в результате которого удалось выделить два кластера, которые значимо отличаются по данным показателям. Кластер 1 – содержит 100 % испытуемых из выборки контроля, кластер 2 -содержит 84% испытуемых из группы наркозависимых (Рис. 6). Таким образом, удалось выделить границы показателей очень высокочастотной области спектра ВСП, специфичные для обеих выборок: наркозависимые: МПЧ (мс²)=1320,33±1796,09; ПЧ (Гц)=1,51±0,11; Мин Ч (Гц)=1,41±0,11; Макс Ч (Гц)=1,58±0,1; здоровые: МПЧ (мс²)=8067±4772,0; ПЧ (Гц)=0,85±0,12; Мин Ч (Гц)=0,76±0,13; Макс Ч (Гц)=0,93±0,12. По всем показателям ВСП между двумя кластерами наблюдаются значимые отличия (p<0,05).

Таким образом, вегетативная регуляция сердечного ритма подстраивается в короткие сроки под изменения внешнего информационного контекста независимо от моторной активности человека. Важно подчеркнуть, что при разрушении регуляторной эндогенной опиоидной системы (группа наркозависимых) дисперсия параметров ВСП значимо ниже, то есть система становится менее вариабельной и не меняет свои настройки при изменении внешнего информационного контекста. В ситуации неопределённости уровень дезорганизации сердечного ритма (dRR) достоверно выше по сравнению с ситуациями определенности. Ситуации рассогласований и ошибок управления информационными образами сопровождаются снижением общей мощности спектра ВСП и возрастания ИВБ. Показатели очень высокочастотного диапазона спектра ВСП (0,6-2 Гц) обладают высокой чувствительностью и специфичностью при распознавании уровня активности эндогенной опиоидной системы.

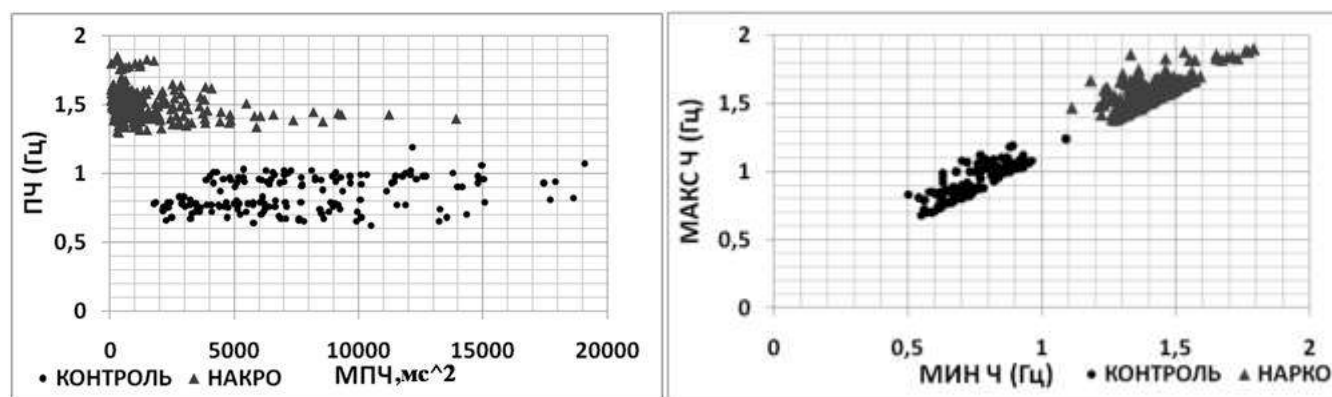


Рис. 6. Расположение 2-х кластеров: кластер «контроль» – здоровые испытуемые (чувствительность – 53%, специфичность – 100%), кластер «нарко» – наркозависимые испытуемые (чувствительность - 92%, специфичность – 83%) в пространстве параметров очень высокочастотной области спектра ВСП (ПЧ- частота с максимальной амплитудой, МПЧ – мощность частоты с максимальной амплитудой, МАКС Ч – максимальная частота, амплитуда которой не ниже полувысоты ПЧ, МИН Ч – минимальная частота, амплитуда которой не ниже полувысоты ПЧ).

В третьей серии экспериментов исследована динамика вегетативной регуляции кардиоритма при экстремальных нагрузках разного типа в контексте естественной деятельности. Традиционные подходы в функциональной диагностике не решают задачи предсказания уровня адаптационных ресурсов человека в условиях свободного

поведения. Это актуализирует задачу исследования динамических режимов вегетативной регуляции кардиоритма человека при изменениях контекста, связанного с целевой функцией.

В первой группе третьей серии экспериментов был проведен мониторинг функционального состояния спортсменов в процессе тренировочной нагрузки, который позволил получить данные о динамике сердечного ритма и режимах вегетативной регуляции в соответствии с динамикой тренировочной нагрузки. Контекст тренировки был разделен на следующие составляющие по степени интенсивности нагрузки: 0.- покой, отдых, 1.- растяжка, 2.- разминочная, заминочная нагрузка, 3.- комплексная нагрузка, 4.- тренировочная нагрузка. До и после тренировки производилось измерение уровня функциональной межполушарной асимметрии (компьютерная латерометрия) и порогов цветоразличения (компьютерная кампиметрия). Был организован индивидуальный мониторинг показателей предстартового функционального состояния спортсменов (квалификация - баскетбол) и профессиональной эффективности в игре. В течение игры в протоколе фиксировались правильные и ошибочные действия игрока (критерии отнесения действий в ту или иную группу взяты из положения Национальной Баскетбольной Ассоциации 1984 года). Каждое действие получало определенное количество баллов (от -1 до 2). Затем подсчитывался коэффициент эффективности игрока по приведенной ниже формуле: $KЭ = (кПД-кОД)/t$, где КЭ – коэффициент эффективности; ПД – положительные действия; ОД – ошибочные действия; t – общее игровое время спортсмена.

При классификации выборки по динамике показателей активности регуляторных систем выделено 2 группы спортсменов: 1. группа с восстановлением после тренировки, то есть те спортсмены, итоговое состояние которых по показателям вариабельности сердечного ритма соответствовало норме; 2. группа спортсменов, у которых тренировочная нагрузка привела к патологическим изменениям вегетативной регуляции, то есть не наблюдалось восстановление параметров сердечного ритма после тренировки.

После соотнесения результатов исходного состояния спортсменов в двух группах были определены предтренировочные оптимальные диапазоны параметров вегетативной регуляции: ЧСС=78±4 уд/мин; TP=3653±211 мс²; LF=1604±87 мс²; HF=573±61 мс²; LF/HF=3±0,8, при которых тренировочная нагрузка не приводит к патологическим изменениям в вегетативной регуляции. Состояние, соответствующее им, можно назвать готовностью вегетативной системы регуляции к нагрузке.

Индивидуальный мониторинг предстартовых психофизиологических параметров баскетболистов позволил установить индивидуальные корреляции между параметрами состояния и профессиональной эффективностью в игре. Средневыборочные корреляции данных показателей были недостоверными. Однако индивидуальный анализ данных мониторинга по каждому спортсмену в отдельности позволил выявить персонифицированные связи психофизиологических параметров с эффективностью в игре. При этом набор психофизиологических параметров, детерминирующих эффективность в игре, и направленность связей оказались индивидуальными и не повторялись в психофизиологических профилях разных испытуемых. Данные результаты ещё раз подтверждают актуальность индивидуального продолжительного мониторинга в задачах поиска оптимальных состояний для выполнения целевой функции. Границы оптимума состояния носят индивидуальный характер.

В динамике частотных характеристик ВСР в процессе тренировки удалось выделить типичные реакции согласованных изменений общей мощности спектра

вариабельности (TP (мс^2)) и ИВБ (LF/HF) при переходе от низкоинтенсивной к высокоинтенсивной нагрузке. Переходный процесс (повышение ЧСС) сопровождается всплеском мощности колебаний во всех частотных диапазонах, что обосновывает увеличение суммарной мощности. При этом мощность колебаний в низкочастотном диапазоне доминирует над высокочастотным диапазоном (ИВБ возрастает). На втором этапе наблюдается согласованное снижение общей мощности колебаний и индекса вегетативного баланса (Рис. 7, А, таблица 1).

Таким образом, переходный процесс в структуре сердечного ритма, сопровождающий физическую нагрузку, отражается в возрастании общей мощности спектра ВСП и ИВБ, и последующим их снижением.

Во второй группе третьей серии экспериментов проведен индивидуальный мониторинг сердечного ритма в контексте публичного выступления, который показал, что у 76% испытуемых одновременное снижение общей мощности спектра ВСП (TP) и возрастание ИВБ. Данная динамическая структура следует за всплеском общей мощности колебаний, который возникает в момент начала выступления. По окончании данного контекста наблюдается обратная динамика – снижение ИВБ на фоне возрастания общей мощности, далее динамика этих параметров возвращается к близкому к исходному среднему уровню (Рис. 7, Б, таблица 1).

Описанная динамическая структура спектральных показателей ВСП воспроизводится у специалистов экстремального профиля при обучении в газовой камере (Рис. 7, В, таблица 1) у 97% испытуемых, а так же в 77% сложных игровых ситуаций (ситуации рассогласования цели игрока и наличествующего положения) при игре в шахматы с компьютером (таблица 1) (соответственно 3 и 4 группы третьей серии экспериментов).

Важно отметить, что переходный процесс в структуре сердечного ритма в ситуации стресса и ситуации физической нагрузки (напряжения) сопровождается однотипным всплеском общей мощности ВСП. Отличие данных процессов проявляется во второй стадии в динамике частотных характеристик вариабельности, в отличие от физической нагрузки стресс сопровождается падением общей мощности на фоне возрастания ИВБ, в ситуации физической нагрузки уменьшение общей мощности согласовано со снижением ИВБ.

Таким образом, для стрессогенных контекстов характерна следующая динамическая структура спектральных показателей ВСП: 1-й этап возрастание общей мощности с преобладанием мощности в низкочастотной компоненте LF. Предположительно можно связать данную фазу с симпатoadреналовой активацией. 2-й этап. Сменяет этот этап доминирование симпатической регуляции (возрастание ИВБ) на фоне резкого снижения общей мощности ритма (TP), данная динамика может объясняться включением второго звена стресс-реакции – эндогенной опиоидной системы, которая, обладая гипобиотическими свойствами, начинает взаимосвязанную работу с симпатoadреналовой системой.

В четвертой серии экспериментов была исследована динамика вегетативной регуляции кардиоритма в контексте естественной профессиональной деятельности.

Для профилактики стрессового состояния работников с высоким уровнем нервно-эмоционального напряжения актуальной проблемой является расширение возможностей мониторинга функционального состояния организма человека в течение рабочей смены. Проблемой оценки уровня адаптационных ресурсов человека является низкая валидность данных, полученных при стационарных обследованиях (Fredrikson et al., 1989; Ydwine, Derek, 2011; Taelman et. al., 2011). В наших экспериментах производился мониторинг кардиоритма испытуемых в процессе профессиональной

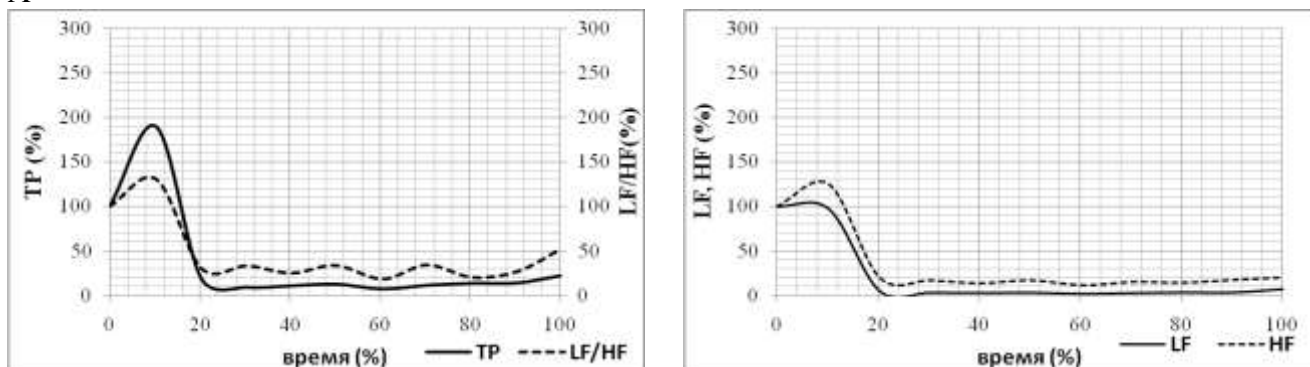
деятельности, синхронизированный с фиксацией основных событий внешнего контекста.

По типичной динамике общей мощности спектра ТР и ИВБ у водителей общественного транспорта во время движения были идентифицированы непредсказуемые события, которые вызывают стрессовую активацию организма. В контексте вождения автотранспорта выделено 4 группы событий, выстроенных по степени предсказуемости в процессе движения: 1. посадка – высадка пассажиров. Моменты начала и окончания остановки в формально обозначенных пунктах маршрута автобуса. Данные события являются стандартными в маршруте – плановыми, предсказываемыми водителями. 2. светофор. Моменты начала и окончания остановки движения по сигналу светофора. Данные события являются внеплановыми, случайно возникающими в процессе движения. Однако предупреждающие сигналы светофора (мигание зелёного, загорание жёлтого сигнала) позволяют частично предсказывать необходимость остановки. 3. пробка. Моменты начала и окончания остановки движения по причине дорожного затора. Данное событие является внеплановым в процессе движения, нарушающим стандартную скорость прохождения маршрута, что в результате может привести к достижению конечной точки рейса с запозданием во времени. 4. манёвр. Моменты нестандартных, сложных дорожных ситуаций: неожиданные вынужденные остановки, подрезание пути со стороны других участников движения, сложные повороты и др. Данные события, являющиеся наиболее непредсказуемыми и внезапными в процессе движения, требуют мобилизации ресурсов водителя для их преодоления.

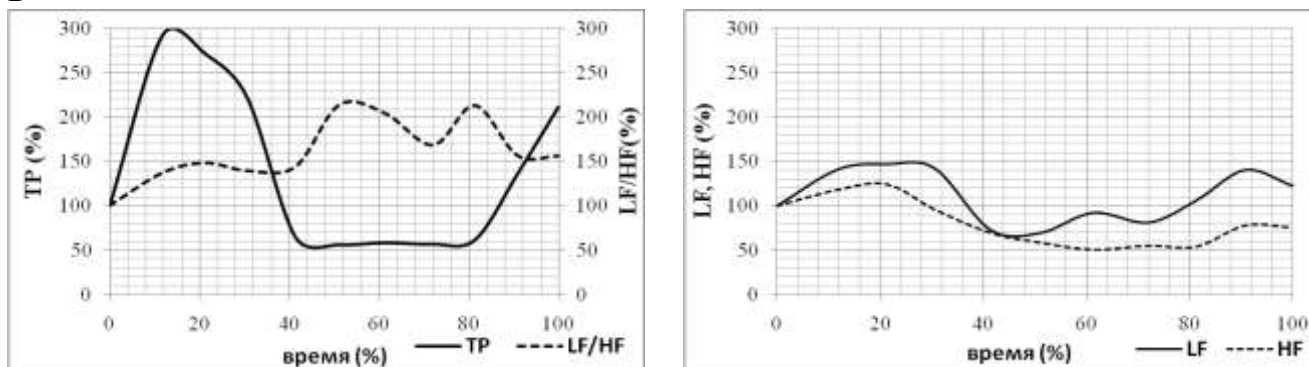
Обнаружены значимые различия в частотных параметрах ВСР, сопровождающих разные (по степени предсказуемости) события (Таблица 2). Мощности всех компонент спектра ритмограммы (ТР, LF, HF) значимо выше при наступлении не предсказанных событий, при этом индекс вегетативного баланса сохранен. Эти результаты демонстрируют первый этап стресс-активации.

В динамике частотных характеристик ВСР испытуемых максимально непредсказуемое событие – манёвр запускает описанную выше динамическую структуру общей мощности и ИВБ (Рис. 7, Г, таблица 1). При этом важно отметить, что в ситуациях с более высоким уровнем определённости (например, светофор) наблюдается параллельная, положительно коррелированная динамика ТР и ИВБ – возрастание.

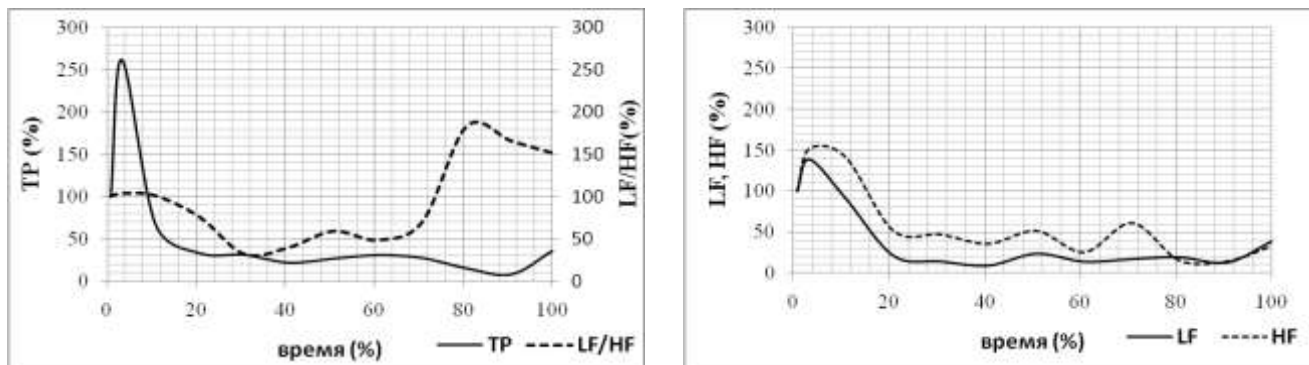
А



Б



В



Г

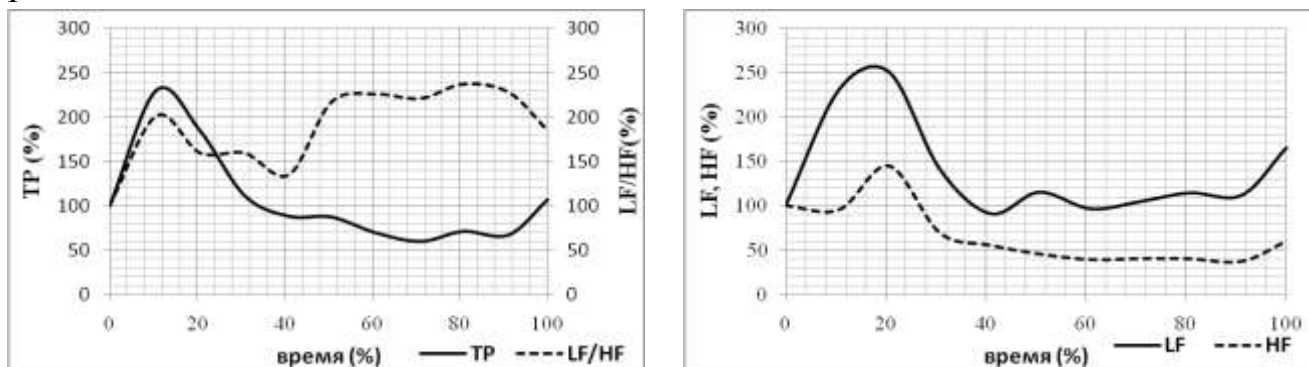


Рис. 7. Средняя динамика спектральных характеристик ВСП (TP мс², LF/HF) для групп испытуемых: А. – спортсмены в контексте тренировки при максимальной нагрузке (ось х – масштабированное время в % относительно времени выполнения нагрузки, принятого за 100%); Б. – студенты в контексте публичного выступления (ось х – масштабированное время в % относительно времени каждого публичного выступления, принятого за 100%); В. – специалисты экстремального профиля в контексте тренировки в газовой-дымовой камере (ось х – масштабированное время в % относительно времени пребывания в газовой-дымовой камере, принятого за 100%); Г. – водители общественного транспорта в контексте рабочей смены при внезапном маневре со стороны соседей по движению (ось х – масштабированное время в % относительно времени цикла TP↓, LF/HF↑ - TP↑, LF/HF↓, принятого за 100%). Оси ординат на всех графиках – значения параметров, нормированные относительно изначального уровня, принятого за 100%.

Таблица 1. Последовательная динамика показателей ВСП в контекстах естественной деятельности («↑»-возрастание; «↓»-снижение; «-» - не меняется).

Контекст естественной деятельности	Стресс-фактор	Динамика показателей ВСП					
		LF(мс ²)	HF(мс ²)	TP(мс ²)	LF/HF	RR(мс)	ЧСС
Управление автотранспортом	Внезапный маневр	↑↓↑	↑↓-	↑↓-	↑↓↑	↓--	↑--

Публичное выступление	Наличие публики, значимость оценки	↑↓↑	↑↓-	↑↓-	↑↓↑	↓--	↑--
Тренировка в газовой камере	Интенсивная физическая нагрузка при недостатке ресурсов	↑↓↑	↑↓-	↑↓-	↑↓↑	↓--	↑--
Шахматная партия	Ошибки	↑↓↑	↑↓-	↑↓-	↑↓↑	↓--	↑--
Компьютерные игры	Ошибки	↑↓↑	↑↓-	↑↓-	↑↓↑	↓--	↑--
Спортивная тренировка	-	↑↓-	↑↓-	↑↓-	↑↓-	↓--	↑--

Таблица 2. Значение спектральных показателей ВСР водителей общественного транспорта при предсказуемых и непредсказуемых событиях (* - $p < 0,01$, t-критерий Стьюдента).

Показатели	Предсказуемые события	Непредсказуемые события
TP, mc^2	649,1 (313,0)	1396,2 (459,4)*
LF, mc^2	137,5 (78,9)	423,7 (233,8)*
HF, mc^2	39,2 (12,8)	109,3 (38,9)*
LF/ HF	3,7 (2,3)	4,3 (2,7)

Помимо группы водителей была обследована группа инженеров-программистов в процессе рабочего дня. Все обследуемые занимались умственным трудом, характеризующимся интеллектуальными сенсорными монотонными нагрузками, при длительном использовании (до 6 часов и более) видеодисплейных терминалов. Исследование включало дискретный и непрерывный режимы регистрации физиологических сигналов. Дискретная регистрация показателей ВСР проводилась 3 раза в течение трудового дня: до рабочей смены (с 8:00 до 8:30), в обеденный перерыв (с 11:00 до 11:45), после рабочей смены (с 16:30 до 17:00). Измерения проводили в положении сидя, в течение 5 минут, с помощью программно аппаратного комплекса «Поли-Спектр» фирмы «Нейрософт».

При статистической оценке показателей variability сердечного ритма на момент начала рабочего дня выяснилось, что более 85% испытуемых имеют редуцированные диапазоны показателей (ниже по сравнению с нормой) (Malik, 1999). Данные показатели включали общую мощность variability сердечного ритма, мощность частотного диапазона LF, мощность частотного диапазона HF, индекс вегетативного баланса. Далее наблюдалось снижение данных показателей к концу рабочей смены.

Разделив всю популяцию обследованных по динамике общей мощности спектра ВСР на группы с выраженным падением этого показателя к концу смены или сохранением данного параметра на уровне нормы, мы получили возможность прямого прогнозирования динамики функционального состояния испытуемых по уровню начальных показателей регуляции (Рис. 8).

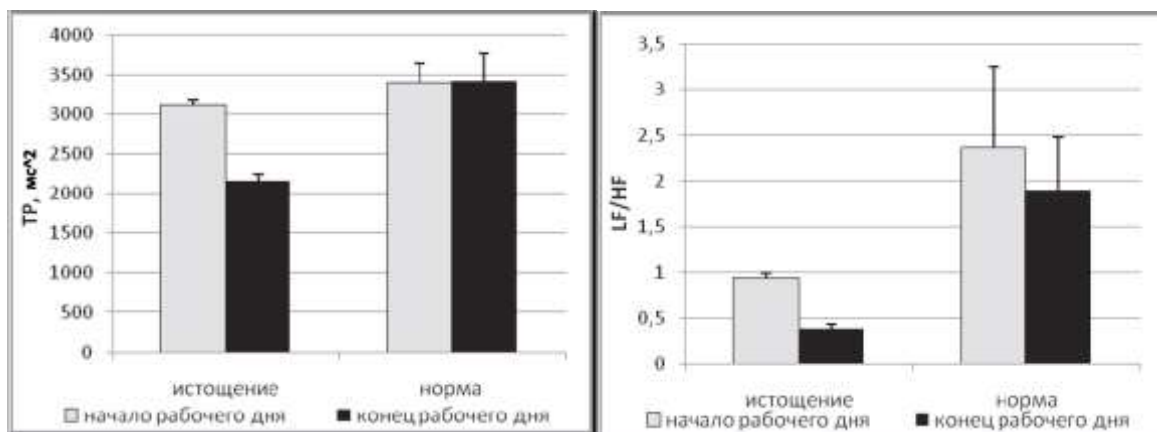


Рис. 8. Средние значения показателей общей мощности спектра (TP) и индекса вегетативного баланса (LF/HF) в начале и в конце рабочей смены. В группе с истощением параметры в начале и конце рабочего дня достоверно отличаются ($p < 0,05$, t-критерий Стьюдента).

При этом наиболее информативными, по нашим результатам, параметрами оказались как нативные (TP, LF), так и структурные и расчетные (LF/HF, %LF, %HF, ЧСС, R-Rmin, RRNN) показатели variability сердечного ритма. Например, если в группе, характеризующейся нормальным функциональным состоянием в конце смены, показатели TP и LF/HF в начале рабочего дня соответствовали норме, а в группе с выраженным финальным истощением регуляторных ресурсов эти параметры даже в начале смены были значимо снижены.

При мониторинге состояния сердечно-сосудистой системы методом беспроводной связи было отмечено закономерное усиление симпатической активации в регуляции сердечной деятельности: в течение всего рабочего дня у 32,2% работников, в первой половине рабочего дня – у 25,8%, во второй половине дня – у 35,5% работников. В период усиления симпатической активации у 44,8% сотрудников была зафиксирована экстрасистолия. Однако в процессе исследования был обнаружен ряд индивидуальных особенностей, не укладывающихся в обобщенную статистическую картину: почти у четверти обследованных характер динамики параметров вегетативной регуляции сердечного ритма при непрерывном мониторинге отличался от усредненных популяционных показателей, полученных при дискретных измерениях. Например, при сходных начальных значениях ИВБ, его динамика в течение рабочего дня различалась у двух испытуемых, что, вероятно, объясняет различия в конечных значениях ИВБ (Рис. 9).

В целом параметры вегетативной регуляции не стационарны, динамика их изменений носит нелинейный, квазипериодический характер. Можно заключить, что вегетативная регуляция сердечного ритма меняется в зависимости от контекста целевой функции системы. Таким образом, определение и предсказание по стационарным записям в покое уровня вегетативной регуляции и его изменений при последующей смене контекста ограничены.

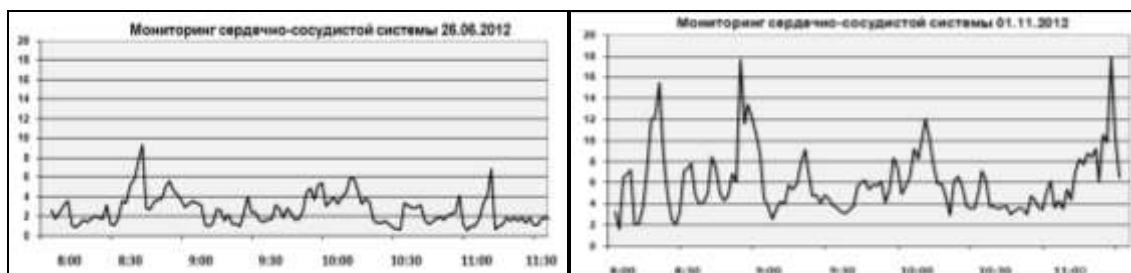


Рис. 9. Динамика ИВБ в течение рабочей смены у двух испытуемых (ось x – время суток, ось y – индекс вегетативного баланса). Обратите внимание на одинаковые значения ИВБ ($2,5 \pm 0,1$) в начале рабочей смены (8:00) и разные значения ИВБ (слева - 2 (норма), справа - 6,4 (выраженная симпатотония)) в середине рабочей смены (11:30).

В ЗАКЛЮЧЕНИИ подведены итоги выполненной работы. Важным аспектом работы стали измерения в контексте естественной деятельности. Разработанная для этого система беспроводной регистрации кардиоритма на основе миниатюрных сенсорных платформ дала возможность получать информацию о динамических режимах работы организма без нарушения и искажения формируемых функциональных систем дополнительными компонентами (лабораторные условия, наличие экспериментатора и др.). Это еще один шаг на пути перехода от парадигмы реактивности, в которой рассматриваются реакции исследуемого объекта на предъявляемые, сформированные экспериментатором, стимулы, к парадигме активности, в которой анализируются автономные, самостоятельно конструируемые поведенческие акты и их физиологическое обеспечение (Ю.Александров, 1999, 2011).

Выводы.

1. Технология регистрации кардиоритма на основе беспроводных сенсорных сетей обеспечивает согласованное измерение экзогенного и эндогенного контекстов при когнитивных, эмоциональных и физических нагрузках с минимизацией рисков нарушения целостности функциональных систем человека.

2. У здоровых людей, находящихся в режиме повседневной активности, вегетативным отображением эмоциональной дезадаптации является снижение активности центрального и автономного контуров регуляции сердечного ритма. Отсутствие эмоциональной дезадаптации в течение суток поддерживается динамическими перестройками режима вегетативной регуляции.

3. В контексте когнитивной нагрузки вегетативным отображением уровня неопределенности информационного образа является уровень дезорганизации сердечного ритма. Адаптационные процессы в контексте оптимальных когнитивных нагрузок отображаются в динамических изменениях режима вегетативной регуляции кардиоритма при смене целевой функции.

4. Адаптационные процессы при интенсивной физической нагрузке (не экстремальной) отображаются в согласованном снижении общей мощности спектра variability сердечного ритма и индекса вегетативного баланса.

5. Вегетативные отображения адаптационных и дезадаптационных процессов отличаются по степени изменчивости динамических режимов кардиоритма:

- адаптационные процессы отображаются в многообразии режимов вегетативной регуляции, связанными со спецификой нагрузки,
- дезадаптационные процессы отображаются в специфическом редуцированном режиме вегетативной регуляции, который инвариантен к природе экстремальной нагрузки, ситуативным и индивидуальным особенностям.

6. Вегетативным отображением дезадаптационных процессов при экстремальных когнитивных, эмоциональных и физических нагрузках является снижение общей мощности спектра variability сердечного ритма, согласованное по времени с возрастанием индекса вегетативного баланса.

7. У наркозависимых испытуемых отсутствуют изменения режима вегетативной регуляции при смене целевой функции в контексте когнитивной нагрузки. Таким образом, снижение активности эндогенной опиоидной системы ведет к нарушению адаптационных процессов при оптимальных когнитивных нагрузках.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:

I. Публикации в журналах по перечню ВАК РФ:

1. Некрасова М.М., Федотова И.В., Бобоха М.А., Брянцева Н.В., Каратушина Д.И., Бахчина А.В., Парин С.Б., Полевая С.А. Профессиональный стресс у водителей // Медицинский альманах – Нижний Новгород: Изд-во «Ремедиум Приволжье», Август 2012. - №3(22). – С. 189-193.
2. Полевая С.А., Рунова Е.В., Некрасова М.М., Федотова И.В., Ковальчук А.В., Бахчина А.В., Шишалов И.С., Парин С.Б. Телеметрические и информационные технологии в диагностике функционального состояния спортсменов // Современные технологии в медицине - Нижний Новгород: Изд-во «НижГМА», № 4, 2012. – С. 94-98.
3. Полевая С.А., Некрасова М.М., Рунова Е.В., Бахчина А.В., Горбунова Н.А., Брянцева Н.В., Кожевников В.В., Шишалов И.С., Парин С.Б. Дискретный мониторинг и телеметрия сердечного ритма в процессе интенсивной работы на компьютере для оценки и профилактики утомления и стресса // Медицинский альманах – Нижний Новгород: Изд-во «Ремедиум Приволжье», № 2 (26). - 2013. – С. 151-155.
4. Федотова И.В., Некрасова М.М., Рунова Е.В., Бахчина А.В., Аширова С.А., Кожевников В.В., Шишалов И.С., Парин С.Б., Полевая С.А. Телекоммуникационные технологии для мониторинга функционального состояния у водителей в процессе работы // Бюллетень Восточно-сибирского научного центра – Изд-во: ВСНЦ СО РАМН, №3 (91), часть 1. – 2013. – С. 122-125.
5. Рунова Е.В., Григорьева В.Н., Бахчина А.В., Парин С.Б., Шишалов И.С., Кожевников В.В., Некрасова М.М., Каратушина Д.И., Григорьева К.А., Полевая С.А. Вегетативные корреляты произвольных отображений эмоционального стресса // Современные технологии в медицине - Нижний Новгород: Изд-во «НижГМА», том 5, №4. – 2013 – С. 69-77.
6. Федотова И.В., Некрасова М.М., Рунова Е.В., Бобоха М.А., Аширова С.А., Бахчина А.В., Каратушина Д.И., Ковальчук А.В., Шишалов И.С., Парин С.Б., Полевая С.А. Оценка функционального состояния водителей по параметрам вегетативной регуляции сердечного ритма методом беспроводной кардиоритмографии // Гигиена и санитария. – 2014. - № 1. – С. 73-76.

II. В других изданиях:

Патенты РФ:

7. Шишалов И.С., Полевая С.А., Парин С.Б., Кожевников В.В., Бахчина А.В., Некрасова М.М., Ковальчук А.В. Система определения функционального состояния группы людей // патент на полезную модель. – № 129680, 27 июня 2013 г. Заявка № 2013102856/08(003988)
8. Шишалов И.С., Полевая С.А., Парин С.Б., Кожевников В.В., Бахчина А.В., Некрасова М.М., Ковальчук А.В. Система определения функционального состояния группы людей с обратной связью // патент на полезную модель. – №129681, 27 июня 2013 г. Заявка № 2013102859/08(003992).

Статьи и тезисы:

9. Runova E.V., Parin S.B., Nekrasova M.M., Bakhchina A.V., Kovalchuk A.V., Shyshalov I.S., Poleyaya S.A. Monitoring and distant diagnostics of sportsment's functional state based on information technologies and telemetry in the conditions of natural activity

- (тезисы) // International Journal of Psychophysiology. – September 2012. – V. 85(3). – P.420-421.
10. Bakhchina A.V., Polevaya S. A., Parin S.B. Vegetative correlates of cognitive processes in stress situation (статья) // European Scientific Journal. – 2013. – V. 3. – P. 277-280.
 11. Полевая С.А., Каратушина Д.И., Шемагина О.В., Бахчина А.В., Ковальчук А.В., Парин С.Б. Биологическая активность информационных образов в виртуальной компьютерной среде (статья в сборнике трудов) // Сборник научных трудов 15-й Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2013», Ч. 1 - М.: Изд-во «НИЯУ», 2013. – С. 11-20.
 12. Бахчина А.В., Рунова Е.В., Ковальчук А.В., Шишалов И.С., Филонов Л.В., Канатьев К.Н. Персоналифицированные стратегии предсказания эффективности профессиональной деятельности баскетболиста на основе психофизиологических данных (статья в сборнике трудов) // Сб. тр. Международной научно-практической конференции по проблемам физической культуры и спорта государств – участников Содружества Независимых Стран. - Мин-во спорта и туризма Республики Беларусь УО – Изд-во БГУФК – 2012. - Ч.3. – С. 228 – 231.
 13. Бахчина А.В., Рунова Е.В., Парин С.Б., Некрасова М.М., Ковальчук А.В., Шишалов И.С., Полевая С.А. Мониторинг и дистанционная диагностика функционального состояния спортсменов на основе информационных технологий и телеметрии в условиях естественной деятельности (статья в сборнике трудов) // Материалы международного симпозиума «Актуальные вопросы физической реабилитации в спорте высших достижений». - Ереван: Изд-во НОК Армении – 2012. - С. 45-51.
 14. Бахчина А.В., Некрасова М.М., Рунова Е.В., Полевая С.А. Метод оценки контекстно-зависимой динамики параметров вегетативной регуляции при информационной нагрузке (статья в сборнике трудов) // Материалы XVI Международной конференции по нейрокибернетике (24-28 сентября 2012). - Ростов-на-Дону: ЮФУ. – 2012. – Т.1. – С. 170-172.
 15. Парин С.Б., Чернова М.А., Бахчина А.В., Полевая С.А. Эндогенная опиоидная система: новый взгляд на системные механизмы боли, стресса и шока (статья в сборнике трудов) // Материалы XVI Международной конференции по нейрокибернетике (24-28 сентября 2012). / Ростов-на-Дону: ЮФУ. – 2012. – Т.2. – С. 150-153.
 16. Парин С.Б., Бахчина А.В., Рунова Е.В., Некрасова М.М., Ковальчук А.В., Шишалов И.С., Полевая С.А. Психофизиологические маркеры оптимальных и экстремальных состояний в спорте высших достижений (статья в сборнике трудов) // Экспериментальный метод в структуре психологического знания - Отв. Ред. В.А.Барабанщиков. - М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2012. – С. 767-773.
 17. Бахчина А.В., Полевая С.А. Динамика функциональной межполушарной асимметрии в контексте физических нагрузок. Связь параметров с эффективностью деятельности (статья в сборнике трудов) // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Функциональная межполушарная асимметрия и пластичность мозга» - М.: Изд-во «Научный мир», 2012. – С. 28-30. ISBN 978 – 5 – 904265 – 22 – 9.
 18. Бахчина А.В. - Мониторинг и дистанционная диагностика функционального состояния спортсменов на основе телеметрии в условиях естественной деятельности (тезисы) // Материалы международного молодежного форума

«Ломоносов 2012» / М.: Изд-во МГУ им М.В.Ломоносова. – 2012. - ISBN 978 – 5 – 317 – 04041 – 3.

19. Некрасова М.М., Бобоха М.А., Брянцева Н.В., Бахчина А.В., Полевая С.А., Парин С.Б. Мониторинг функционального состояния лиц по показателям цветоразличения и звуколокализации (тезисы) // Материалы 11 всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей - под ред. Академика РАМН пр. Г.Г. Онищенко, академика РАМН пр. А.И.Потапова – Ярославль: Изд-во «Канцлер» – 2012. – Т.2. - С. 561-562.
20. Рунова Е.В., Бахчина А.В., Некрасова М.М., Ковальчук А.В., Шишалов И.С., Полевая С.А., Парин С.Б. Телеметрические и информационные технологии в диагностике функционального состояния человека в контексте естественной деятельности (тезисы) // Материалы докладов 4 съезда биофизиков России, Симпозиум 4 «Новые тенденции и методы в биофизике» (20-26 августа 2012.) - Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И.Лобачевского. – 2012. – С. 18.
21. Некрасова М.М., Федотова И.В., Парин С.Б., Бахчина А.В., Горбунова Н.А., Аширова А.С., Брянцева М.В., Полевая С.А. Проведение мониторинга функционального состояния с помощью компьютерных технологий у работающих на ПЭВМ с высоким уровнем напряженности труда (тезисы) // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященной 100-летию образования кафедры общей гигиены и экологии и 10-летию открытия медико-профилактического факультета в ГБОУ ВПО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского». - Саратов. - 2012. - С. 131-132.
22. Бахчина А.В., Рунова Е.В., Некрасова М.М., Ковальчук А.В., Шишалов И.С., Парин С.Б., Полевая С.А. Использование возможностей информационных технологий и телеметрии в управлении тренировочным процессом (тезисы) // Сборник трудов 11-й Международной научно-практической конференции «Оптимизация учебно-тренировочного процесса» / Нижний Новгород: ННГУ – 2012. - С. 68-69.
23. Бахчина А.В., Парин С.Б., Полевая С.А. Динамика когнитивных и вегетативных функций человека в стрессогенных информационных контекстах // Форум молодых ученых: Тезисы докладов. Том 2. / Нижний Новгород: ННГУ – 2013. – С. 167-169.
24. Бахчина А.В., Парин С.Б., Шишалов И.С., Кожевников В.В., Некрасова М.М., Котикова Д.С., Елизарьева Н.В., Полевая С.А. Динамика ритма сердца в стрессогенных информационных контекстах (статья в сборнике трудов) // Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях. - Труды III Всероссийской научной конференции / Российская академия наук, Институт прикладной физики. - Нижний Новгород: ИПФ РАН – 2013.- С. 9-12.
25. Рунова Е.В., Григорьева В.Н., Парин С.Б., Бахчина А.В., Шишалов И.С., Кожевников В.В., Некрасова М.М., Каратушина Д.И., Григорьева К.А., Полевая С.А. Вегетативные корреляты уровня эмоциональной дезадаптации (статья в сборнике трудов) // Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях. – Труды III Всероссийской научной конференции / Российская академия наук, Институт прикладной физики. – Нижний Новгород: ИПФ РАН. – 2013. – С. 139-143.
26. Бахчина А.В., Парин С.Б., Полевая С.А. Нелинейные компоненты сердечного ритма наркозависимых (статья в сборнике трудов) // Сборник научных трудов 16-й Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2014», часть 2 - М.: Изд-во «НИЯУ», 2014. – С. 66-76.