

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО

На правах рукописи

БАХЧИНА АНАСТАСИЯ ВЛАДИМИРОВНА

ДИНАМИКА ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ КАРДИОРИТМА ПРИ
КОГНИТИВНЫХ, ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ И ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

19.00.02 - психофизиология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата психологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук,
профессор С.А. Полевая

Нижний Новгород - 2014

Оглавление

Введение.....	4
1. Предпосылки поиска вегетативных маркеров стресса.....	12
1.1. Вегетативное обеспечение деятельности.....	12
1.1.1. Нервно-гуморальная регуляция сердечного ритма.....	13
1.1.2. Вариабельность сердечного ритма как отражение нервно-гуморальной регуляции	18
1.1.3. Динамика вариабельности сердечного ритма (ВСР) при эмоциональных нагрузках	23
1.1.4. Динамика ВСР при когнитивных нагрузках.....	25
1.1.5. Динамика ВСР при физических нагрузках	29
1.2. Психофизиологические маркеры стресса	30
1.2.1. Вегетативные корреляты активности 3-х стресс регуляторных систем	34
1.2.2. Значение исследований динамики ВСР при стрессе в контексте естественной деятельности	40
2. Материалы и методы.....	43
2.1. Описание и обоснование структуры выборки.....	43
2.2. Телеметрия и беспроводная регистрация сердечного ритма	44
2.3. Информационные технологии для оценки когнитивных функций.....	48
2.4. Психологические опросники и тесты.....	59
2.5. Методы фиксации внешнего аудиовизуального контекста	62
2.6. Методы математического анализа ВСР	62
2.7. Статистические методы обработки экспериментальных данных	65
3. Результаты экспериментального исследования динамики вегетативной регуляции кардиоритма в различных лабораторных и естественных контекстах	66
3.1. Вегетативное обеспечение эмоциональных процессов.....	66
3.1.1. Выявление вегетативных коррелятов эмоциональной дезадаптации	66
3.1.2. Динамика вегетативной регуляции кардиоритма в контексте публичного выступления.....	68
3.2. Вегетативное обеспечение когнитивных функций	71
3.2.1. Анализ динамики ВСР при когнитивных пробах	71
3.2.2. Особенности вегетативного обеспечения когнитивных функций при нарушении эндогенной опиоидной системы (ЭОС)	74
3.2.3. Анализ динамики ВСР при информационной нагрузке в виртуальной компьютерной среде.....	82
3.2.4. Динамика вегетативной регуляции кардиоритма программистов в течение рабочей смены.....	84
3.2.5. Динамика вегетативной регуляции кардиоритма шахматистов в процессе партии.....	89
3.2.6. Динамика вегетативной регуляции кардиоритма водителей общественного транспорта в контексте рабочей смены	92
3.3. Вегетативное обеспечение моторных функций	94
3.3.1. Динамика показателей функционального состояния спортсменов до и после тренировочной нагрузки.....	95

3.3.2. Вегетативные предстартовые корреляты профессиональной эффективности	96
3.3.3. Динамика ВСР спортсменов в процессе тренировки	99
3.3.4. Динамика ВСР специалистов экстремального профиля при тренировке в газовой камере	103
3.4. Обсуждение результатов	106
Заключение	117
Выводы	119
Список сокращений	120
Список литературы	121

Введение

Практическая актуальность работы определяется высокой социальной значимостью исследований, направленных на развитие знаний о динамике адапционных и дезадапционных 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 [296; 280]. То есть стресс является принципиально не адапционным, а дезадапционным процессом. Фактором запуска стресса (как дезадапционного процесса) является сигнал о чрезмерном рассогласовании двух образов: текущего и необходимого (или предсказываемого) [285]. Тогда, в соответствии с теорией функциональных систем (ФС) П.К. Анохина [232], 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 [296, 280, 287] 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.

Тогда стресс-факторы, экзогенные или эндогенные стимулы, которые проявляются в функциональной системе как сигнал о чрезмерном рассогласовании, можно разделить в зависимости от блока функциональной системы, в котором возникает чрезмерное рассогласование.

Согласно современным представлениям, вегетативная регуляция кардиоритма отражает уровень адаптационных ресурсов организма, так как ритм сердца является интегративным отображением динамики его энергообеспечения [279; 237]. Одним из самых распространенных и общепринятых методов анализа процесса вегетативного обеспечения деятельности (термин А.М. Вейна, 2003) является оценка вариабельности 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 [247].

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 ВСР и активностью различных нейрональных структур (префронтальная кора, орбитофронтальная кора, поясная извилина, островок, миндалина, гиппокамп, ядра таламуса, ядра гипоталамуса) методами нейровизуализации (fMRI, ПЭТ) [53; 217; 90; 80; 15; 133; 102; 113; 2; 169], а также целенаправленными исследованиями изменения ВСР в контекстах когнитивной, эмоциональной, физической и интегральной нагрузок [185; 186]. Современные исследования предоставляют обширную базу данных по ВСР для разных групп испытуемых в клинических и лабораторных контекстах: больные депрессивными расстройствами, постинсультные больные, страдающие диабетом и др. [85; 49; 127]. Активно исследуются вегетативные корреляты утомления, перенапряжения и разных «видов» стресса: экзаменационного, рабочего и др. [39; 136; 41; 42]. 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 [125] при обязательном жёстком контроле положения обследуемого (сидя, лёжа) в отсутствии внешних раздражающих стимулов [236]. 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 [279; 233]. 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 [241, 203, 229, 241, 127, 224].

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 [240]. 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 [264; 272; 44]. 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 [265, 272, 44]. 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 и задачи 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

Для реализации цели исследования были поставлены следующие задачи:

1. 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 персонафицированного мониторинга и дистанционной диагностики функционального состояния спортсменов, водителей общественного транспорта, инженеров-программистов, учащихся школ и высших учебных заведений в условиях профессиональной деятельности. Разработанные методы персонафицированного 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:

Анализ персонифицированной и среднестатистической динамики вегетативной регуляции в естественных контекстах деятельности позволил установить, что:

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 variability 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 variability сердечного ритма, согласованные по временному масштабу с динамикой когнитивной активности (RR-дифференциал, параметры очень высокочастотного диапазона спектра variability 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, из которых 6 в рецензируемых отечественных журналах перечня ВАК РФ, два патента на полезную модель.

Структура диссертации

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

1. Предпосылки поиска вегетативных маркеров стресса

1.1. Вегетативное обеспечение деятельности

Вегетативной нервной системе (ВНС) принадлежит функциональная роль регуляции всех внутренних органов, обеспечение их согласованного взаимодействия. Ее назначение А. М. Вейн [252] рассматривает в двух аспектах:

1. поддержание постоянства внутренней среды организма. Среди показателей внутренней среды существуют крайне жесткие константы, малейшие изменения которых приводят к серьезным нарушениям (рН крови, концентрация ионов и др.), и менее жесткие, колеблющиеся в определенных пределах (артериальное давление, температура тела, уровень содержания сахара в крови и т.д.). Нарушение гомеостаза меняет не только работу организма, но и поведение человека;

2. обеспечение вегетативной нервной системой различных форм деятельности. В период напряженной деятельности происходит активная мобилизация энергетических ресурсов различных физиологических систем (кардиоваскулярной, дыхательной и других). В этой ситуации менее жесткие гомеостатические показатели далеко отклоняются от своего уровня в состоянии покоя. Осуществляется процесс, обратный удержанию гомеостаза, но необходимый для осуществления конкретных форм поведения - вегетативное обеспечение деятельности. Недостаточное или наоборот избыточное обеспечение нарушает поведение человека и обуславливает неоптимальный процесс достижения полезного результата.

Яроша А. А. [308] аналогично выделял две функции ВНС: трофотропная (направлена на поддержание динамического постоянства внутренней среды организма) и эрготропная (вегетативно-метаболическое обеспечение различных форм адаптивного целенаправленного поведения).

Таким образом, вегетативное обеспечение деятельности – это способность ВНС к долговременному поддержанию вегетативной реактивности на определенном уровне, обеспечивающем оптимизацию ресурсообеспечения организма с целью успешного выполнения деятельности.

Активность вегетативного модуля является обязательным сопровождением любой деятельности, исследование вегетативного обеспечения деятельности сводится к регистрации физиологических показателей, отражающих модуляции ВНС. Одним из таких является ритм сердца.

1.1.1. Нервно-гуморальная регуляция сердечного ритма

Более 150 лет назад Клод Бернар обозначил наличие тесных связей между мозгом и сердцем [247]. Далее в 20-м веке была сформирована концепция В.В.Парина с соавторами, согласно которой система кровообращения может служить индикатором адаптационных реакций целостного организма [239; 297; 279], так как главной и специфической функцией данной физиологической системы является ресурсообеспечение всего организма.

Практическую реализацию этой концепции характеризует ряд важных преимуществ. Во-первых, методы измерения параметров функционирования сердечнососудистой системы (минутный и ударный объем, частота пульса, артериальное давление) являются известными и общедоступными. Во-вторых, для оценки системы нервногуморальной регуляции сердца и сосудов могут быть использованы данные о вариабельности параметров сердечнососудистой системы (ССС), из которых сердечный ритм является наиболее простым и доступным для анализа. Баро- и хеморецепторы контролируют различные параметры процесса кровообращения в самых разных точках ССС (сосудистое русло и сердце), в результате чего информация о происходящих эндогенных изменениях поступает в центральную нервную систему (ЦНС). Это обеспечивает лабильность приспособления работы ССС к непрерывно изменяющимся условиям окружающей среды посредством механизмов регуляции. Таким образом, контролируя процессы регуляции ССС, можно получить информацию об адекватности активности приспособительных механизмов в ответ на разнообразные изменения условий окружающей среды. В-третьих, хорошо известны механизмы компенсации, обеспечивающие адаптацию кардиореспираторной системы к изменениям среды. К ним относятся разнообразные рефлекторные механизмы (увеличение легочной вентиляции, скорости кровотока, потребления кислорода, гиперфункция сердца, оптимизация метаболических процессов в тканях и др.) Все эти механизмы как составляющие единой функциональной системы в конечном итоге действуют в направлении получения конечного положительного результата - поддержания оптимального ресурсообеспечения живой системы. Следовательно, имеется возможность оценить не только результат адаптационной активности организма, но и выявить степень участия в этой активности различных уровней и звеньев механизмов регуляции [307; 270; 237].

По Баевскому Р.М. с соавторами [237], система нервно-гуморальной регуляции сердечной деятельности может быть представлена в виде двух уровней (контуров) – центрального и автономного, с прямой и обратной связью (Рисунок 1). При этом воздействие автономного уровня (контура) на сердечный ритм идентифицируется с дыхательной аритмией (ДА), а центрального – с недыхательной аритмией (НА).

В состав рабочих структур автономного контура регуляции включены: синусовый узел, блуждающие нервы и их ядра в продолговатом мозгу (контур парасимпатической регуляции). Дыхательная система рассматривается как элемент обратной связи в автономном контуре регуляции сердечного ритма (СР).

Активность центрального контура регуляции, который включает симптоадреналовые влияния на ритм сердца, связана с недыхательной синусовой аритмией (СА) и характеризуется различными медленноволновыми колебаниями СР. Центральный и автономный контуры имеют многочисленные нервные и гуморальные прямые связи. Обратная связь осуществляется через афферентную импульсацию от барорецепторов ССС, хеморецепторов и обширных рецепторных зон органов и тканей.

Автономная нервногуморальная регуляция в условиях покоя (лежа, сидя) характеризуется наличием выраженной ДА. Дыхательные волны особенно усиливаются во время сна, то есть когда уменьшаются центральные влияния на автономный контур регуляции. Нагрузки на организм, требующие подключения к процессу управления СР центрального контура регуляции, ведут к ослаблению дыхательного компонента СА и к увлечению ее недыхательного компонента [304].



Рис. 1. Схема двухконтурной модели регуляции сердечного ритма по Р.М. Баевскому [237].

Таким образом, центральный контур регуляции СР – это многоуровневая система нейрогуморальной регуляции, которая включает в себя: подкорковые центры продолговатого мозга, гипоталамо-гипофизарный уровень вегетативной регуляции, кору головного мозга. Структуру этой системы можно схематично представить состоящей из трех уровней, которым соответствуют определенные уровни регуляции:

1-й уровень обеспечивает организацию взаимодействия живой системы с внешней средой, а именно адаптацию к внешним воздействиям. Он включает ЦНС, а именно корковые механизмы регуляции, которые координируют активность всех систем организма, учитывая воздействия внешних факторов.

2-й уровень обеспечивает равновесие различных систем организма между собой, то есть межсистемный гомеостаз. Главную роль в нем играют высшие вегетативные центры, а именно гипоталамо-гипофизарная система.

3-й уровень обеспечивает внутрисистемный гомеостаз в различных физиологических системах, например, в кардиореспираторной системе. Он включает подкорковые нервные центры, а именно вазомоторный центр продолговатого мозга, оказывающего как стимулирующее, так и угнетающее действие на сердце через волокна симпатических нервов [238].

Наибольший интерес исследователей в современный период вызывает структура центрального контура регуляции сердечного ритма. Учитывая, что центральный контроль автономных функций и комплекс взаимодействий между ЦНС и ВНС и между симпатической и парасимпатической подсистемами реализованы через прямые и косвенные, нисходящие и восходящие связи [17; 117; 59], Francesco Riganello с соавторами предложили модель центральной вегетативной сети [160]. Она включает корковые компоненты (префронтальная кора, поясная извилина, островок), миндалину, центральные и латеральные ядра гипоталамуса, структуры среднего мозга, моста (Рисунок 2.). Выход сети к синоартериальному узлу сердца реализован через звездчатые ганглии и блуждающий нерв.

Данная модель находит подтверждения в других работах. Так, показано, что структуры конечного мозга через связи с гипоталамусом участвуют в организации вегетативных функций [17; 171]. Островковая область коры через связи с гипоталамусом и миндалиной участвует в контроле симпатической и парасимпатической активности, а так же в эндокринных процессах при эмоциональных реакциях [117]. Передняя сингулярная кора и ее проекции на префронтальную кору, миндалина, гипоталамус и ствол мозга являются модуляторами вегетативных выходных сигналов при реакциях на болевые, эмоциональные и другие субъективно значимые стимулы [53]. Гипоталамус, в свою очередь, является ключевым интегратором вегетативных и эндокринных процессов, выполняя целевую функцию поддержания основных гомеостатических механизмов [201]. Таким образом, центральная вегетативная сеть, по сути, является динамической системой, пластичной в своей структуре к экзо- и эндогенным факторам.

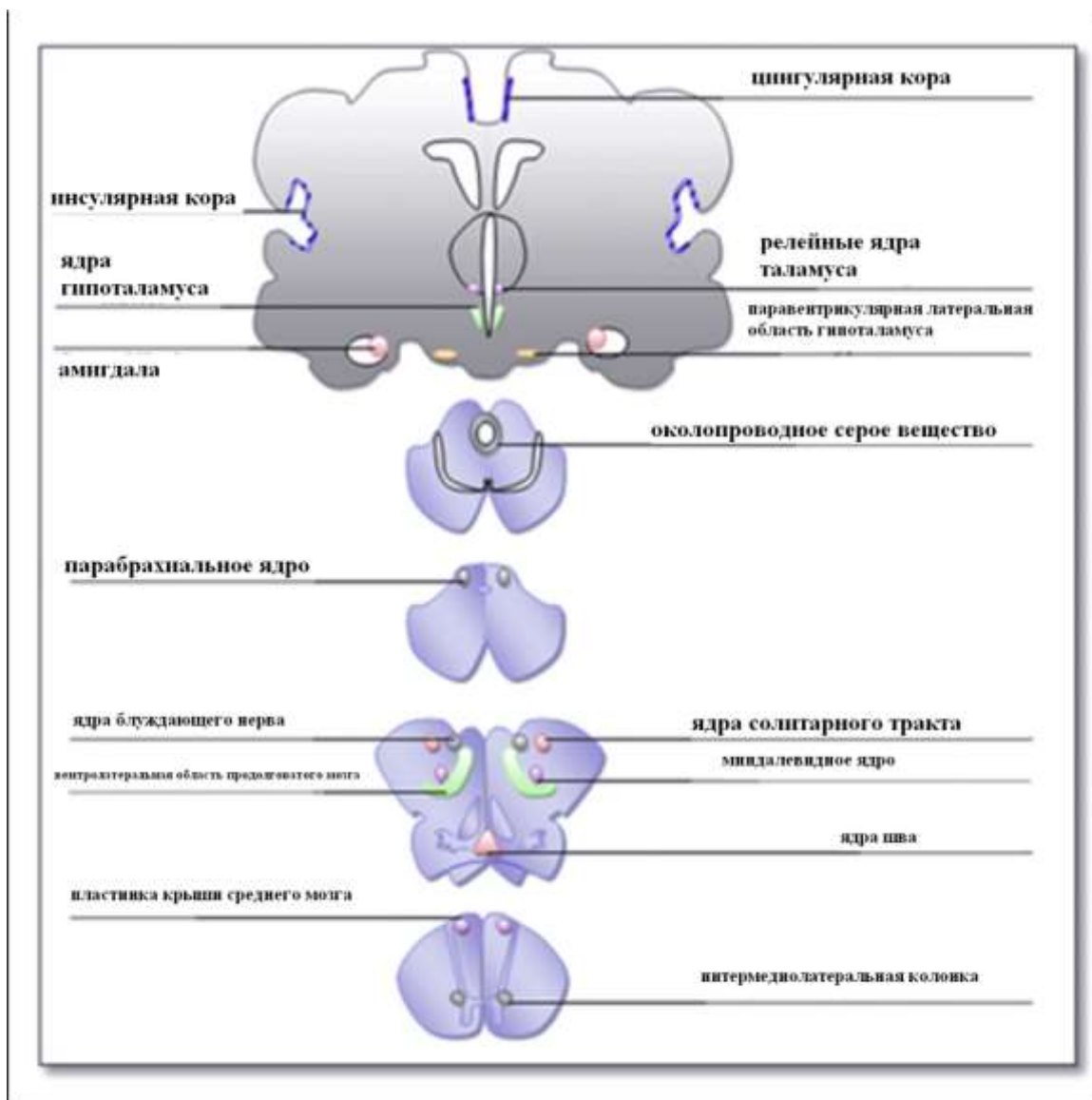


Рис. 2. Схема центральной вегетативной сети [по: 17].

Описанная модель имеет широкие пересечения с нейровисцеральной интегративной моделью (НВИМ) (Рисунок 3), согласно которой изменения сердечного ритма сходным образом связаны не столько с состоянием сердца, но гораздо больше с состоянием мозга [195]. В рамках НВИМ описано множество нервных структур, связанных с сердечным ритмом. Данные, на которых основываются эти результаты, включали исследования на животных, исследования людей с локальными мозговыми поражениями, физиолого-фармакологический анализ, а также работы с методами нейровизуализации (ПЭТ, фМРТ) (примеры в таблице 1) [197; 198].

Таким образом, в систему нервно-гуморальной регуляции сердечного ритма входит широкий спектр центральных и вегетативных структур: Префронтальная кора; Орбитофронтальная кора; Поясная извилина; Островок; Ядра гипоталамуса; Ядра таламуса; Структуры ствола мозга; Ядра блуждающего нерва; Звездчатые ганглии симпатической нервной системы.

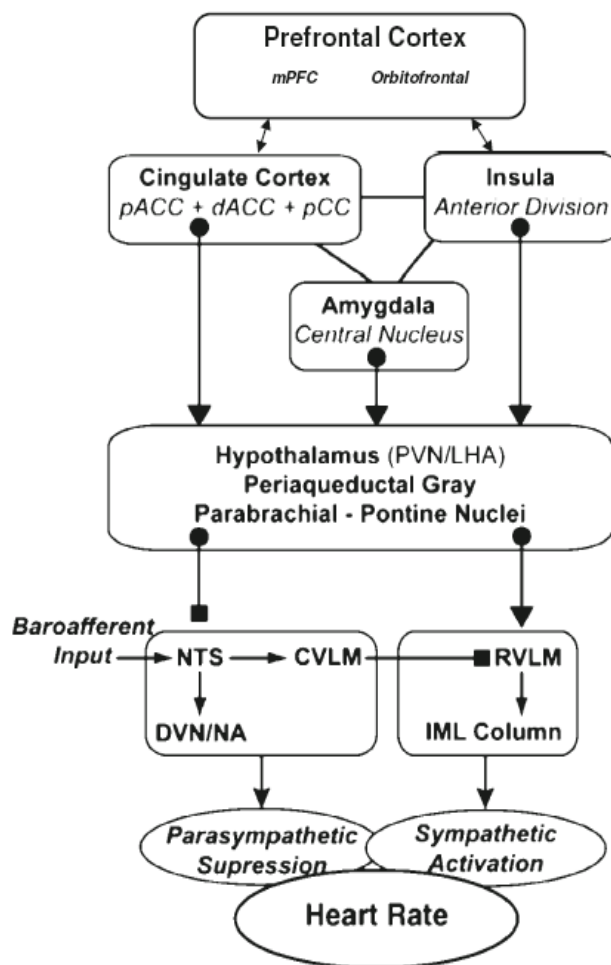


Рис. 3. Нейровисцеральная интегративная модель [по: 198].

Таблица. 1. Примеры исследований, в которых осуществляется поиск связей между структурами головного мозга и сердечным ритмом (СР) [по: 195].

Первый автор	Метод нейровизуализации	Измерение СР	Экспериментальная задача (контекст)
Critchley, 2003	фМРТ	Непрерывно	отрицательная обратная связь + моторная активность
Gianaros, 2004	ПЭТ	Непрерывно	оперативная память
Matthews, 2004	фМРТ	Дискретно	тест Струпа
Neuman, 2006	фМРТ	Дискретно	лица Экмана
O'Connor, 2007	фМРТ	Дискретно	моторная активность
Napadow, 2008	фМРТ	Непрерывно	печаль (слова)
Lane, 2009	ПЭТ	Непрерывно	эмоциональные и нейтральные видеоролики
Ahs, 2009	ПЭТ	Непрерывно	публичное выступление

Соответственно, логично предполагать, что множественные feed-back и feed-forward связи между ними создают сложную структуру информационных циклов, которая имеет отражение в динамике сердечного ритма.

1.1.2. Вариабельность сердечного ритма как отражение нервно-гуморальной регуляции

Ритм сердца определяется свойством автоматизма, т.е. способностью клеток проводящей системы сердца спонтанно активироваться и вызывать сокращение миокарда. Автоматизм обусловлен возникновением спонтанной деполяризации клеток синусового узла. Обычная частота синусового импульсообразования – 60-80 импульсов в минуту. Колебания ЧСС связаны, с одной стороны – с собственной активностью синусового узла (интракардиальные рефлексy), а с другой – с влиянием вышестоящих центров регуляции [235]. Анализ вариабельности сердечного ритма (BCP) – определение степени изменчивости последовательных RR-интервалов или мгновенной ЧСС в кардиограмме – стал важным инструментом оценки рисков.

Для анализа колебаний RR-интервалов за более чем полвека разработан широкий спектр математического инструментария, который включает в себя: статистические, геометрические, спектральные, нелинейные алгоритмы. Эволюцию математического аппарата анализа RR-интервалов наглядно продемонстрировал в своем обзоре George E. Billman [18] (Рисунок 4). По существу весь набор математических методов анализа BCP является избыточным, многие показатели тесно коррелируют [240]. Однако важно, что каждый из подходов имеет свои ограничения в применении и свое разрешение по времени.

Наиболее точным по времени является спектральный анализ временных рядов RR-интервалов. Кроме того, выделение периодических составляющих в ритме сердца позволяет определить действующую структуру системы нервно-гуморальной регуляции.

Впервые различные типы волн в последовательностях RR-интервалов выделили и описали А. Флейш и Р. Бекман в 1932 г. [цит. по: 261]. Ритмическая активность пейсмекерных клеток синусового узла взаимосвязана с эндокринными и гуморальными процессами, изменяющими порог спонтанной деполяризации пейсмекеров синусового узла [23; 179; 225]. Это приводит, к увеличению или уменьшению интервала между циклами сердечных сокращений и, следовательно, понижению или повышению ЧСС. Так, факторы, регулирующие ЧСС, будут влиять и на вариабельность сердечного ритма. Важная особенность этого процесса заключается в том, что активность указанных факторов изменяется периодически [238; 271; 261; 176]. Однако, стоит отметить, что кроме периодических модуляций различных факторов в BCP имеются также и непериодические составляющие.

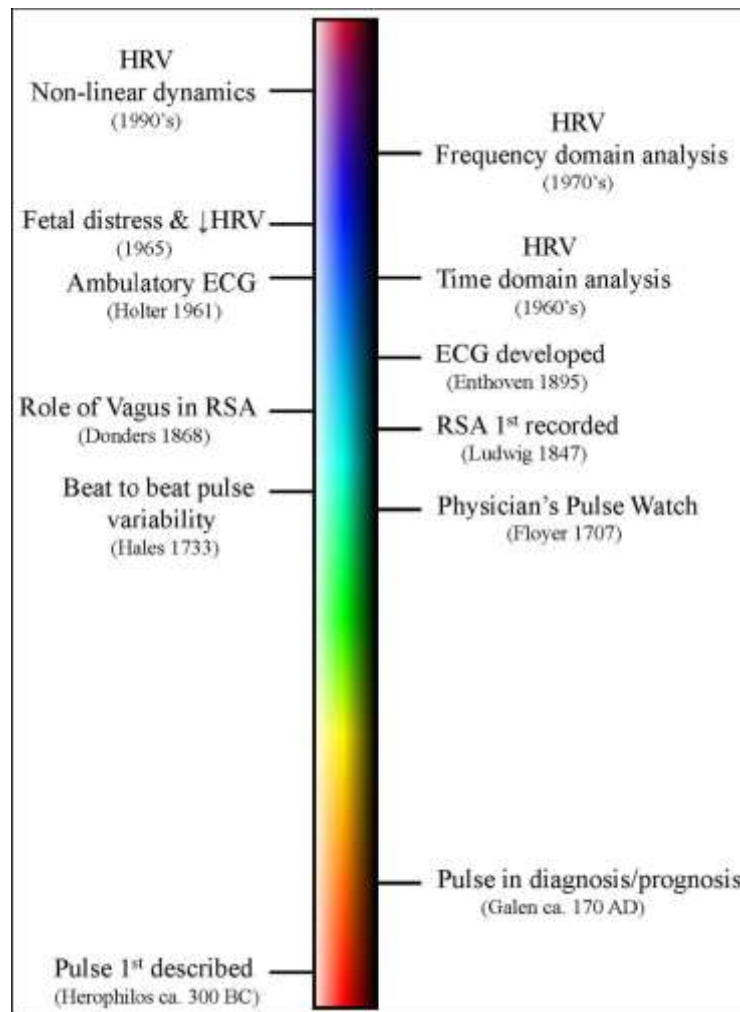


Рис. 4. Временная последовательность некоторых из важнейших событий в истории исследования ВСП [по: 18].

На данный момент в классике анализа изменчивости RR-интервалов принято выделять 3 частотных диапазона в спектре ВСП: высокочастотные колебания (0,15-0,4 (по некоторым данным до 0,6) Гц), низкочастотные колебания (0,04-0,15 Гц), очень низкочастотные колебания (0,015-0,04 Гц), которые, как полагают, отражают 3 звена в автономном контуре регуляции сердечного ритма. В принципе это положение достаточно подробно экспериментально подтверждено.

Высокочастотные (ВЧ) волны на спектрограммах здоровых людей в контексте покоя, как правило, представлены лишь одним пиком, в большинстве случаев расположенным на 0,2-0,3 Гц [303; 5; 275]. Установлено также, что ВЧ колебания последовательности RR-интервалов связаны с актом дыхания [13; 16; 137; 222; 11]. Доказательством дыхательной природы ВЧ колебаний в ВСП является, в первую очередь, совпадение частоты дыхания (ЧД) с частотой ВЧ пика спектра ВСП. С каждым вдохом длительность RR интервалов уменьшается (ЧСС повышается), с каждым выдохом – увеличивается (ЧСС уменьшается) [268; 164; 64; 222].

Механизмы взаимосвязи дыхательных колебаний с изменением длительности RR-интервалов в современной физиологии еще исследуются. Достоверно установлено, что

эфферентным звеном в этом процессе является блуждающий нерв [83; 143; 189; 19; 153; 154; 31]. Так, в работах показано, что при назначении блокаторов m-холинорецепторов или тотальной перерезки блуждающего нерва наблюдается исчезновение дыхательной модуляции сердечного ритма [46; 6; 163; 20].

При анализе ВЧ колебаний обнаружено несколько феноменов, которые наблюдаются у здоровых людей (при соблюдении всех условий записи). Они включают в себя: несовпадение частоты дыхательного пика и ЧД; наличие нескольких пиков в ВЧ диапазоне, амплитуда которых примерно одинакова; наличие одного пика максимальной амплитуды, и дополнительных пиков, величина которых уменьшается по мере удаления от основного пика, при этом частоты наблюдаемых пиков, как правило, кратны друг другу; не уменьшение, а, напротив, увеличение длительности RR-интервалов (уменьшение ЧСС) при вдохе; отсутствие дыхательных волн в последовательности RR-интервалов у полностью здоровых людей [261].

Первый из феноменов - несовпадение частоты дыхательного пика в спектре ВСП и ЧД можно объяснить задержкой проведения возбуждения по нейронной цепи ретикулярной формации продолговатого мозга от дыхательного центра к сосудодвигательному, что влечет за собой сдвиг частот дыхательных волн в ритме сердца в более медленную сторону. Что в свою очередь подтверждает участие ЦНС в образовании ДА.

Второй из феноменов – несколько пиков в ВЧ диапазоне спектра ВСП, амплитуда которых относительно одинакова, вероятно, связан с другими не дыхательными, нейрорефлекторными взаимодействиями сердца и других органов [278].

Наблюдение в спектре ВСП одного пика с максимальной амплитудой и дополнительных пиков, амплитуда которых уменьшается по мере удаления от основного, может быть связано с непостоянной ЧД, колеблющейся возле определенной средней величины, задаваемой центральным физиологическим осциллятором, а также с механизмами рекуррентной мультипликации ритмов в ЦНС [249].

Увеличение длительности RR-интервалов (уменьшение ЧСС) при вдохе может быть связано с взаимовлияниями процесса передачи возбуждения от дыхательного центра к сосудодвигательному.

Отсутствие дыхательных пиков в спектре ВСП, может отражать повышенную ингибирующую симпатическую модуляцию или недостаточную модуляцию со стороны парасимпатической нервной системы на дыхательный и сосудодвигательный центры [81; 261].

В итоге ВЧ колебания сердечного ритма отражают связь между блуждающим нервом и синусовым узлом и оказываемые при этом нервногуморальные влияния. Поэтому значения спектральной мощности (плотность) в ВЧ диапазоне спектра ВСП связаны с активностью парасимпатического звена вегетативной нервной системы [261].

Низкочастотный (НЧ) диапазон спектра ВСР при анализе записей RR-интервалов, измеренных в состоянии покоя (в положении лежа, сидя), как правило, представлен одиночным пиком с частотой 0,1 Гц [302; 238; 125; 299]. Однако данная частота может меняться от 0,05 Гц и 0,15 Гц. Кроме того, аналогично, НЧ диапазон спектра может быть представлен не одним, а несколькими пиками.

По сути, волновой пик с частотой 0,1 Гц в спектре ВСР означает, что в организме имеются механизмы модуляции сердечного ритма с периодом 10 с. Колебания с таким же периодом регистрируются в ритме АД, которые названы волнами Л. Траубе, впервые описавшего их в 1865 г. [цит. по: 261]. Был проведен кросс-спектральный анализ ритмов АД и ЧСС, в процессе которого установлено, что удлинение RR-интервалов (уменьшение ЧСС) связано с предшествующим повышением АД. По мнению Каремакера [107] это является доказательством того, что модуляции ритма ЧСС на частоте 0,1 Гц являются следствием колебаний АД, в основе чего лежит барорефлекторный механизм [76]. Это значит, что при повышении АД угнетается симпатическая и увеличивается парасимпатическая активность, что непременно приводит к удлинению RR-интервалов [91]. Это противоречит положению о том, что повышение АД является признаком симпатической активизации.

Эксперименты, включающие одновременную запись АД и симпатических нейрональных разрядов, выполненные с помощью микроэлектродной техники, показали повышение АД, которое наступает примерно с 2х с задержкой после вспышки симпатической активности [33; 25]. Поэтому большинство исследователей интерпретируют модуляцию АД на частоте 0,1 Гц как следствие генерализованных вспышек симпатической вазомоторной активности, которые возникают с такой же частотой [152; 142; 122; 172; 111; 66].

Пока имеются разногласия в попытках объяснения происхождения генерализованной симпатической активности. Одни авторы полагают, что в основе генеза этого ритма лежат барорецепторные структуры [107; 57; 114; 116]: при падении АД ниже определенного уровня происходит активация барорецепторов, вследствие чего возникает увеличение симпатической вазомоторной активности и сужение сосудов. Тогда АД повышается, достигая некоторого максимального значения, и после этого снова падает. Данный цикл многократно повторяется. Такая гипотеза называется барорефлекторной. Дополнительным доказательством ее является то, что растяжение каротидного синуса, создавая над шейной областью локальную зону пониженного барометрического давления в течение 0,6 с, приводит к возникновению затухающих по амплитуде колебаний ЧСС с периодом 10 с.

Со стороны другой точки зрения, генерализованная симпатическая активность задается специальным осциллятором, который располагается в нейрональной сети ствола мозга. Им определяются модуляции интенсивности потоковой импульсации симпатических

сосудодвигательных нейронов на частоте 0,1 Гц [159; 40]. Эти колебания передаются к сердцу и сосудам по симпатическим эфферентным нервным волокнам и вызывают активацию метасимпатических кардиальных структур, которые осуществляют базовую иннервацию органа. Это приводит к возникновению колебаний ЧСС и АД на частоте 0,1 Гц. То есть колебания ЧСС связаны с колебаниями АД, а временной сдвиг ритмов ЧСС и АД, объясняется различной длиной эфферентных путей. Для проверки этого предположения, необходимо сопоставление характеров нейрональной активности симпатических нервов сердца и вазомоторных эфферентов. Подтверждением существования центрального механизма формирования НЧ колебаний в ритме сердца являются исследования R. Cooley с соавт. [50]. Они показали отсутствие взаимосвязей между ВСР и вариабельностью АД на выборке больных с диагнозом сердечной недостаточности, которым имплантировалось устройство вспомогательного кровообращения [50].

Согласно другой гипотезы, 0,1-герцовый ритм является следствием ритмических миогенных реакций артериол, которые через барорефлекторный механизм изменяют ЧСС [98].

Стоит отметить, что назначение атропина (блокатора холинергических рецепторов) устраняет не только ВЧ компонент спектра ВСР, но и, по данным некоторых работ, значительно снижает мощность НЧ составляющей спектра ВСР [150]. Результатом этого наблюдения стало предположение о том, что блуждающий нерв влияет на формирование всего диапазона спектра. Однако в этом случае, к сожалению, игнорируется то, что атропин обладает как периферическими, так и центральными механизмами действия и, следовательно, способен угнетать центральный механизм формирования НЧ ритма в ЦНС.

Можно предположить, что формирование 0,1-герцового ритма колебаний RR-интервалов является результатом участия всех трех механизмов (барорефлекторный, центральный и миогенный). В итоге, для практического использования важным является то, что НЧ модуляции сердечного ритма связаны с активностью постганглионарных симпатических волокон, и их спектральная мощность (плотность) отражает активность симпатического звена ВНС в регуляции сердечного ритма [261, 294].

Как правило, увеличение мощности НЧ колебаний сопровождается снижением мощности ВЧ колебаний (однако не всегда), что может быть результатом существования специальных взаимореципрокных отношений между ними. Такие взаимодействия наблюдаются также между парасимпатическим и симпатическим отделами ВНС, которые определяют наличие этих волновых колебаний в ВСР. Это стало основанием для использования отношения мощностей НЧ и ВЧ диапазонов спектра ВСР (коэффициент LF/HF – индекс вегетативного баланса (ИВБ)) для оценки уровня вегетативного баланса [125; 130; 129].

Важно заметить, что помимо классических, перечисленных выше, частотных диапазонов ряд авторов в последние годы обращает внимание на присутствие в спектре ВСР очень высокочастотных колебаний: от 0,6 до 2 Гц. Анализ очень высокочастотной составляющей спектра ритмограммы показал информативность этих диапазонов для контроля функционального состояния пациентов в контексте послеоперационного восстановления [200]. Другие исследования демонстрируют наличие сверхвысокочастотных компонентов (VHF – very high frequency) в структуре спектра variability сердечного ритма не только у больных, но и у здоровых людей [248].

Открытие сверхвысокочастотных колебаний в спектре ВСР, по всей видимости, связано с более корректным применением математических алгоритмов спектрального анализа к обработке ритмограмм.

Так как период сверхвысокочастотных колебаний RR-интервалов составляет примерно 1 с, есть основания полагать, что они отображают постоянную частоту собственных колебаний сердца и моды, связанные с краткосрочными – быстрыми системными регуляторными воздействиями.

1.1.3. Динамика variability сердечного ритма (ВСР) при эмоциональных нагрузках

В последние годы значительно выросло количество исследований, задачей которых является поиск биологических маркеров эмоционального состояния в параметрах ВСР. Вероятно, это связано с острой необходимостью в объективных методах диагностики эмоционального состояния, так как существующие до сих пор психологические методики (опросники, проективные тесты) имеют ряд ограничений: трудоемкость и длительность исследования; необходимость наличия опытных экспертов; возможность сознательного искажения ответов; возможность влияния на результаты ситуативных факторов окружающей среды; необходимость стандартизации условий исследования.

Если рассматривать эмоции с позиций П.В.Симонова как «отражение мозгом человека и животных какой-либо актуальной потребности (ее качества и величины) и вероятности (возможности) её удовлетворения, которую мозг оценивает на основе генетического и ранее приобретенного индивидуального опыта» [298], или с позиций Ю.И.Александрова: «Эмоции характеризуют реализацию систем, формирующихся на самых ранних этапах онтогенеза и обеспечивающих минимальный уровень дифференциации („хорошо-плохо“» [231], то связь эмоциональных и регуляторных (относительно сердечного ритма) процессов объясняется единой целью формирования успешной адаптации и адекватных поведенческих актов на изменения в экзо- и эндогенных контекстах.

На структурном уровне связи эмоциональных процессов и регуляции сердечного ритма обусловлены общей нейрофизиологической основой: вентро-медиальная префронтальная кора, миндалевидное тело [10; 196]. Так, показано, что испытуемые с более высокими способностями к эмоциональной регуляции имеют большую вариабельность сердечного ритма в покое [198; 10]. Кроме того, успешное влияние на эмоциональное состояние аналогично повышает уровень ВСР [37; 94; 178]. Многие параметры ВСР оказываются чувствительными к предъявлению испытуемым эмоциогенных стимулов: общая вариабельность, ЧСС, мощность LF, мощность HF, экспонента Ляпунова и прочее. Также результаты исследований демонстрируют различное поведение ВСР относительно уровня хаоса в последовательности RR-интервалов во время предъявления испытуемым нейтральных изображений и изображений с высоким уровнем возбуждения [207]. Элегантный эксперимент показал увеличение индекса вегетативного баланса при чтении эмоционально насыщенных фрагментов сказки Г.Х.Андерсена «Гадкий утенок», при этом наблюдается возрастание активности миндалины по данным ПЭТ [128].

Кроме экспериментов с эмоциогенными контекстами, наблюдаются различия в режимах вегетативной регуляции кардиоритма между здоровыми испытуемыми и испытуемыми с нарушениями эмоционально-волевой сферы. Продемонстрировано снижение ВСР у испытуемых с психиатрическими расстройствами, включая депрессию, тревогу и алкогольную зависимость [108]. Эти авторы также показали, что среди здоровых испытуемых группа с более высокими показателями ВСР является более точной и успешной в определении эмоций по глазам.

Также исследователи не оставляют без внимания взаимодействие эмоционального и когнитивного физиологических модулей при разных режимах вегетативной регуляции. Показано, что влияние эмоциональных раздражителей на когнитивные процессы отличается в группах с высокой и низкой ВСР [110], то есть в зависимости от режима вегетативной регуляции наблюдаются различия и в структуре связей между эмоциональным и когнитивным модулями. Подобное демонстрируется и в экспериментах при сравнении групп испытуемых с эмоциональными расстройствами и здоровых: предъявление когнитивной нагрузки депрессивным больным не приводит к смене режима вегетативной регуляции [139]. То есть по сути нарушения эмоциональных процессов сопровождаются редукцией вегетативной регуляции кардиоритма.

Таким образом, по показателям ВСР возможно оценить наличие или отсутствие нарушений в эмоционально-волевой сфере и изменений эмоционального состояния. Ограничением в приведенных исследованиях является разрешение по времени: так как используются записи RR-интервалов размером не менее 5 мин, то информация о вегетативных маркерах краткосрочных эмоциональных откликов пока отсутствует.

Дифференциация знака эмоций (положительные - отрицательные) или других семантических характеристик эмоций (грусть, гнев, стыд и прочее) по показателям ВСР пока не представляется возможной.

1.1.4. Динамика ВСР при когнитивных нагрузках

Стабильность (устойчивость) внутренней среды организма поддерживается через вариабельность в динамических отношениях его функциональных систем. Эта способность к динамическому взаимодействию системных элементов организма, в отличие от сохранения единственно стабильного состояния, позволяет организму функционировать эффективно в условиях постоянного изменения внешней среды.

Первые исследования воздействия информационной нагрузки на функциональное состояние человека с помощью показателей сердечно-сосудистой системы упоминаются в работе голландского ученого С. Winkler [219], который продемонстрировал, что выполнение арифметического теста ведет к повышению ЧСС, росту АД и снижению дыхательной синусовой аритмии. Рост ЧСС в ответ на информационные нагрузки был отмечен в 1949 году в экспериментах R.V. Malmo и С. Shagass [126].

В 20 в. отечественные физиологи (К.М.Быков, В.М.Бехтерев, В.Н.Черниговский) убедительно демонстрировали наличие кортиковисцеральных связей. Зарубежные исследователи аналогично не оставляли без внимания данную тему. Особенно разрабатывался вопрос о структуре связей между параметрами когнитивной нагрузки и состояния человека [32; 34; 48; 115; 124; 156; 158; 166; 210], так как уже тогда актуальными являлись проблемы человеческого фактора в управлении сложными техническими системами и ошибок при принятии решений в короткие сроки или в нетривиальных новых ситуациях, контекстах.

В исследованиях нейрональных структур [217; 90; 15; 102; 169; 53; 80; 133; 113; 2], связанных с регуляцией сердечного ритма, часто используются когнитивные задачи: тестирования памяти, задачи на внимание, математические вычисления в уме, генерация информации (сочинения) и др. В результате построенные модели нейровисцеральных связей демонстрируют пересечение нейрофизиологических областей, участвующих в процессах регуляции сердечного ритма, и в когнитивных процессах (Рисунки 2, 3).

Результаты и примеры эмпирических исследований связи вегетативного обеспечения когнитивных функций приведены в таблице 2.

Эмпирические исследования показывают, что решение задач, актуализирующих когнитивные функции, сопровождается ослаблением, снижением временных и частотных показателей ВСР. Это может рассматриваться как перестройка структуры системы нейрогуморальной регуляции сердечного ритма в сторону доминирования кортикальных

влияний, или как напряжение регуляторных систем, связанное с актуализацией большого количества ресурсов.

Данные таблицы 2 указывают на то, что наиболее чувствительными к влиянию когнитивных нагрузок на организм являются показатели SDNN и мощность спектра в низкочастотном диапазоне (0,04 – 0,15 Гц), самым чувствительным оказался 0,1 Гц-компонент. В результате был сделан вывод, что подавление LF (0,1 Гц) компонента ВСР отражает усилия, которые требуются от субъекта для выполнения когнитивной задачи, а восстановление спектральной мощности во время периода расслабления после завершения когнитивной задачи отражает степень предшествующих усилий [274].

Стоит отметить ряд особенностей приведенных работ. Во-первых, когнитивные нагрузки, как правило, моделируют с помощью интеллектуальных задач (математические, логические задачи, задачи на память, задачи на внимание и др.) [183; 257], которые задействуют сложные системы когнитивных процессов. Гораздо меньше работ, в которых контекст когнитивной нагрузки формируется простыми задачами на восприятие, ощущение элементарных сенсорных стимулов, хотя такие эксперименты позволяют увидеть тонкие изменения сердечного ритма в ответ на стимулы. Так, в одном из исследований демонстрируются эффекты модуляции сердечного ритма при предъявлении акустических стимулов [168]. Во-вторых, исследования, как правило, фиксируют глобальные изменения состояния (экспериментальная схема – до/после когнитивной нагрузки), не рассматривая структуру физиологических реакций внутри процесса решения задачи. Таким образом, теряется информация о последовательности функциональных перестроек при когнитивной активности. Кроме того, не приводится анализа различий вегетативного обеспечения разных когнитивных функций, практически во всех работах сравниваются показатели ВСР в контекстах покоя и когнитивной нагрузки.

Интерес вызывают работы, которые исследуют вегетативное обеспечение когнитивных процессов в связи с другими физиологическими модулями. Например, показано усиление связей (увеличение корреляций) между показателями ВСР и когнитивных функций после физической нагрузки [60]. При этом показателями когнитивных функций являлись: время простой сенсомоторной реакции, время реакции выбора, объем оперативной памяти, кратковременной памяти. Относительно контекста стресса продемонстрировано, что испытуемые с доминированием высокочастотной составляющей спектра ВСР сердечного ритма демонстрируют отсутствие изменений в показателях когнитивных функций при наличии стрессогенных условий. Группа испытуемых с доминированием мощности низкочастотных колебаний в спектре ВСР демонстрирует улучшение когнитивных функций в стрессогенных условиях [84].

Таблица 2. Исследование ВСП в контексте когнитивной нагрузки.

Автор	Тестовая задача	Экспериментальная задача	Информативные параметры ВСП	Направленность изменений
Kalsbeek, 1963 [105]	Задачи различения стимулов	Изменения ВСП при увеличении сложности тестовой задачи	SDNN	снижение
Kalsbeek, Sykes, 1967 [106]	Решение математических примеров	Разница показателей ВСП у мотивированной группы при выполнении тестовой задачи, по сравнению с немотивированной	SDNN	снижение у мотивированной группы
Bowers, Keeling 1971 [26]	Мышление	Изменения ВСП при увеличении сложности мыслительных задач	SDNN	снижение
Mulder, 1972 [132]; Porges, 1972 [151]	Время реакции	Изменения ВСП при увеличении сложности задач на время реакции	SDNN	снижение
Sayers, 1971 [173]	Интеллектуальная нагрузка	Изменения частотных характеристик ВСП	LF (0,04-0,15 Гц)	снижение
Mulder, 2000 [131]	Интеллектуальная нагрузка	Изменения частотных характеристик ВСП	LF (0,1 Гц)	снижение
Egelund, 1982 [65]	Утомление	Поиск индикаторов утомления у водителей	LF (0,1 Гц)	снижение
Коркушко, 1991 [260]	Интеллектуальная нагрузка	Влияние умственной нагрузки на показатели ВСП	HF (0,15-0,4 Гц)	снижение
Backs, 1994 [12]; Jorna, 1992 [103]; Tripathi, 2003 [202]	Оперативная память	Поиск чувствительности спектральных показателей ВСП к переходу от состояния покоя к выполнению задач с нагрузкой на оперативную память	LF (0,04-0,15 Гц)	снижение
Vincent, 1996 [211]	Обработка информации	Изменения показателей ВСП при возрастании глубины уровня кодирования представленной информации	ЧСС и SDNN	возрастание ЧСС и снижение ВСП
Aasman, 1988 [1]; Althaus, 1998, [9]; Mulder, 1972	Внимание	Изменение спектральных показателей ВСП в задачах, требующих высокого уровня внимания	LF (0,1 Гц)	снижение

[132]; Redondo, 1992 [157]				
Jorna, 1992 [103]; Roscoe, 1976 [167]	Обучение	Поиск индикаторов уменьшения психической нагрузки в процессе обучения и роста мастерства при выполнении задач	ЧСС	снижение
Negoescu, 1993 [135]	Концентрация внимания	Изменение спектральных показателей ВСР в задачах на концентрацию внимания	Мощность в HF и LF диапазонах	снижение
Каплан, 1999 [259]	Ошибочные действия	Изменение показателей ВСР при обратной связи на ошибочное действие	HF (0,15-0,4 Гц)	снижение
Флейшман, 1999 [302]	Сосредоточенность	Изменение показателей ВСР при увеличении сосредоточенности, направленной на переработку информации	LF (0,04-0,15 Гц)	снижение
Mulder, 2000 [131]	Устойчивость внимания	Поиск показателей когнитивного контроля при устойчивости внимания операторов	LF (0,1 Гц)	снижение
Hansen, 2001 [84]	Кратковременная память в процессе деятельности	Связь вагусного тонуса (показатель RMSSD) с эффективностью выполнения задач на кратковременную память и длительное внимание в процессе исполнительной деятельности	RMSSD	увеличение
Brinkman, 2004 [27]	Оперативная память	Изменение спектральных показателей при переходе от решения легких уравнений к сложным	LF (0,1 Гц)	снижение

В итоге стоит подчеркнуть актуальность исследования вегетативного обеспечения когнитивных функций в контексте естественной деятельности, так как во всех имеющихся работах эксперименты проводятся в лабораторных условиях, моделируя контекст когнитивной нагрузки [274]. Естественно, встает вопрос о воспроизведении выделенных закономерностей в условиях естественной деятельности человека.

1.1.5. Динамика ВСП при физических нагрузках

Относительно вегетативного обеспечения физической активности наибольший вклад внесли исследования, касающиеся проблем спорта. За последние два десятилетия активно развивается диагностика функциональных состояний спортсменов на основе данных variability сердечного ритма. На данный момент это, по сути, единственная методика, позволяющая оценивать адаптационные возможности человека в короткие сроки и строить систему управления тренировочным процессом по следующей схеме: диагноз – это информация на входе, прогноз – это предполагаемая информация на выходе, а между ними – контроль с промежуточными диагностическими или прогностическими моделями. Однако вариативность показателей сердечного ритма очень велика и наиболее правильным было бы динамическое наблюдение за состоянием регуляторных систем у конкретных индивидуумов [306]. Авторами же по-прежнему усредняются данные параметров variability сердечного ритма, что не позволяет выявить индивидуальные динамики степени напряжения регуляторных систем в связи с уровнем моторной активности. В свою очередь, степень напряжения регуляторных систем у спортсменов в отдельные периоды тренировочного процесса может достигать высоких значений, и важно не допустить их перенапряжения с последующим истощением систем регуляции.

Как правило, в большинстве исследований демонстрируется возрастание ЧСС и индекса вегетативного баланса ($ИВБ = LF/HF$), мощности низкочастотных колебаний в последовательности RR-интервалов, снижение общей мощности спектра ВСП, мощности высокочастотного диапазона спектра ВСП после воздействия физической нагрузки или в целом в соревновательный период годичного цикла [31; 51; 146; 192; 61; 62; 205; 77; 86; 147].

Некоторые исследования демонстрируют обратную зависимость, то есть – систематические спортивные тренировки повышают активность парасимпатического звена регуляции сердечного ритма в контексте покоя [52]. Это, вероятно является компенсаторным механизмом, по выраженности которого можно судить об уровне тренированности спортсмена. Так, показано, что мышечная работоспособность спортсменов тем выше, чем выше холинергическая активация [262].

Нерешенной остается задача точного предсказания динамики вегетативной регуляции спортсмена при предъявлении ему нагрузок разного уровня сложности.

В целом, по данным литературы можно заметить, что вегетативная регуляция кардиоритма неспецифично отвечает на эмоциональные, когнитивные и физические нагрузки, то есть наблюдается снижение variability сердечного ритма. Отсутствуют работы, в которых проводились бы попытки разделить разного рода нагрузку по показателям ВСР.

В заключение данного раздела обзора хотелось бы выделить проблемные зоны исследований ВСР:

1. Стационарные лабораторные контексты. Результаты, полученные в стационарных лабораторных контекстах, далеко не всегда позволяют предсказать динамику физиологических процессов в контексте естественной деятельности.

2. Динамика – срезы во времени (до/после). В исследованиях используется редуцированное понятие динамики состояния. Оценка состояния по срезам во времени (до/после, через каждые 2 часа и т.д.) является отступлением от важного принципа кибернетиков-биологов 20-го века – рассмотрения физиологического процесса как функции от времени.

3. Средневыборочные результаты. Результаты, получаемые по средневыборочным данным, довольно часто противоречат индивидуальной динамике показателей.

То есть, системно динамический подход в исследованиях психофизиологических процессов требует отступления от привычных методологических алгоритмов. На наш взгляд, перечисленные проблемные области можно разрешить, используя схему эксперимента, приведенную на рисунке 5.

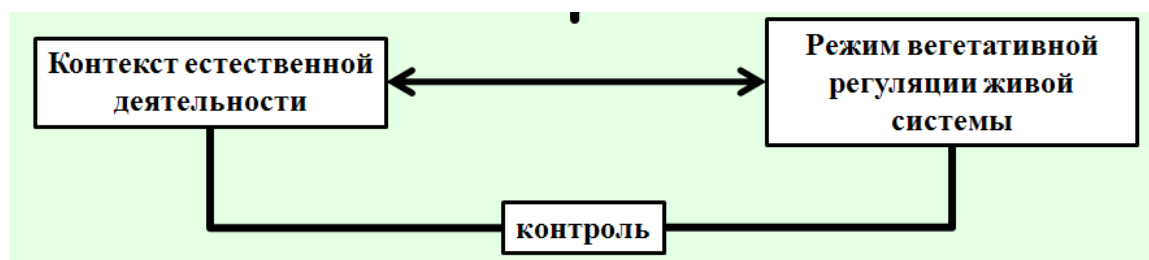


Рис. 5. Принципиальная схема экспериментов, удовлетворяющая системно-динамическому подходу.

1.2. Психофизиологические маркеры стресса

Согласно трехкомпонентной теории экстремальных состояний С.Б.Парина, Е.В.Голанова [280], стресс – это неспецифическая трехстадийная защитная системная реакция организма на

повреждение или угрозу повреждения. Причем для данной реакции характерно «наличие большого разнообразия психологических, поведенческих реакций на первом этапе оценки уровня угрозы, но после запуска защитных механизмов она характеризуется весьма однообразными физиологическими проявлениями» [285]. На физиологическом уровне стресс отражается в последовательном доминировании трех стресс-регуляторных систем: САС (симпатоадреналовая), ГГАС (гипоталамо-гипофизарно-адреналовая), ЭОС (эндогенная опиоидная) [296; 280] (Рисунок 6).

Объективный стимул, воспринимаемый как повреждение, или его угроза, запускает стресс-активацию и называется стресс-фактором. На информационном уровне фактором запуска стресс-активации является сигнал о чрезмерном рассогласовании двух образов: желаемого и реального, предсказанного и реального, необходимого и реального.

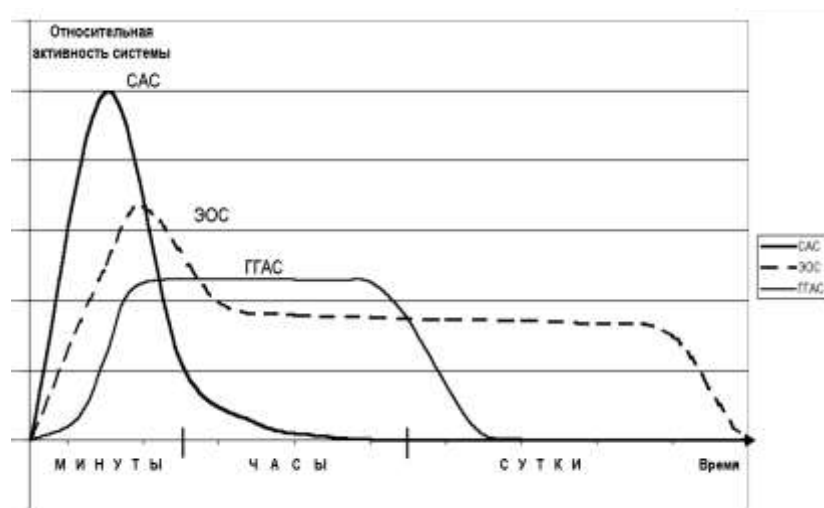


Рис. 6. Динамика относительной активности 3-х стресс регуляторных нейрохимических систем при шоке и стрессе [по: 280].

Стоит упомянуть, что некоторые исследователи различают состояния острого стресса как единичной реакции на стресс-фактор и хронического стресса как результата череды реакций острого стресса [7]. В нашей работе рассматривается только состояние острого стресса.

Основываясь на трехкомпонентной теории экстремальных состояний, можно выделить ряд критериев, которым должен соответствовать маркер стресса. Маркер состояния – это признак, специфичный для конкретного состояния, то есть при других состояниях он отсутствует. Тогда вегетативные (а желательно и любые другие) маркеры острого стресса должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Динамичность. Так как стресс – это процесс, разворачивающийся во времени, то маркер стресса должен быть динамическим, а не точеным.
2. Стадийность. Так как стресс-активация реализуется через характерную только ей последовательность стадий доминирования нейрохимических регуляторных систем, то

динамика показателя, или набора показателей, выступающего в роли маркера, должна включать в себя последовательно сменяемые фазы.

3. Инвариантность относительно характера стрессогенного контекста. Поскольку стресс - это неспецифическая активация, то маркер стресса должен воспроизводиться при эмоциональных, физических и когнитивных нагрузках, формирующих чрезмерное рассогласование.

4. Редуцированность. Так как при экстремальных состояниях наблюдается редукция разнообразия нейрохимических механизмов регуляции.

Таким образом, воздействие стимулов, которые воспринимаются как угроза, приводит к запуску нейрохимических механизмов, которые функционально обеспечивают защиту живой биологической системы [101; 175]. В результате острый стресс вносит изменения во многие биологические функции. Эти изменения по своей сути являются маркерами острого стресса. Утвержденные физиологические и психологические маркеры острого стресса являются важным инструментом исследовательской и клинической практики в области опасных состояний. Из всех известных маркеров стресса можно выделить две группы: прямые и косвенные.

Прямые маркеры стресса – те физиологические процессы, которые задействованы непосредственно в реализации стресс-активации. На физиологическом уровне отыгрывают в первую очередь показатели гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системы (например, повышение уровня кортизола в слюне) [75], иммунной системы [181]; вегетативной нервной системы [220], периферической нервной системы [227].

Косвенные маркеры стресса – те психологические изменения, которые являются результатом перестройки физиологических процессов. Психологически острый стресс можно рассматривать как негативный субъективный опыт [97], который может как положительно, так и отрицательно сказываться на когнитивных функциях [123; 180].

Для начала рассмотрим физиологические маркеры стресса, так как, несмотря на свои недостатки (для их использования необходимы инвазивные методы, практически отсутствует возможность непрерывного мониторинга), они являются наиболее верифицированными.

Ввиду участия в реализации стресс-активации симпатoadреналовой и гипоталамо-гипофизарно-адреналовой систем, многие исследователи используют в качестве маркеров стресса уровень адренкортикотропного гормона, адреналина, норадреналина в крови и кортизола в крови и слюне [35; 79; 109; 100; 109]. Здесь важно уточнить, что как маркер рассматривается именно возрастание этих показателей – периодичность их изменений не учитывается. Кроме того, важно, что другие работы демонстрируют возрастание этих показателей и при физической нагрузке [51]. Работ, в которых была бы проведена

дифференциация физической нагрузки и стресс-активации по уровню кортизола, адреналина или адренотропного гормона мы не обнаружили.

В изменениях работы сердечно-сосудистой системы выделяют следующие маркеры острого стресса: повышение артериального давления, повышение ЧСС [35; 36; 47; 162; 221; 100; 38; 79; 104]. При этом максимумы этих показателей по времени весьма вариативны в разных исследованиях: от 3 до 30 мин.

Относительно динамики показателей ВСП при стрессе литературные данные весьма противоречивы. В таблице 3 представлены результаты эмпирических исследований variability сердечного ритма в различных стрессогенных контекстах. Некоторые исследования демонстрируют отсутствие изменений ВСП (дисперсии) [165] и выраженности дыхательной аритмии в ритме сердца [8] при наличии стресс-факторов, в то время как другие авторы показывают высокую степень изменчивости спектральных показателей ВСП (LF, HF, LF/HF) [112]. Такие противоречия результатов могут объясняться разной программно-аппаратной базой исследователей.

Заклячая перечисление физиологических маркеров стресса, хочется акцентировать внимание на следующем моменте. Несмотря на то, что эндогенная опиоидная система активна на всех 3-х стадиях стресса [280], изменение уровня опиоидных пептидов в крови, как правило, не рассматривается в современных исследованиях как возможный, сугубо специфичный для стресса маркер.

Психологические (субъективные) и поведенческие реакции на стресс-стимул могут быть весьма разнообразны. Как правило, стресс сопровождается повышением уровня тревожности [36; 184; 100; 161; 166; 213], увеличивается негативный настрой (по шкале PANAS) [73; 223; 161; 162; 47].

Очень интересные результаты наблюдаются в работах по исследованию когнитивных функций при стрессе. В работах Полевой С.А. с соавторами [287; 288] показано снижение уровня функциональной межполушарной асимметрии, и перестройка структуры функции цветоразличения в сторону доминирования порога в диапазоне синих цветов при экзаменационном стрессе.

В исследованиях процессов памяти наблюдаются противоречия. Одни работы демонстрируют улучшение показателей воспроизведения после стрессового воздействия [63; 134], другие – отсутствие изменений [87], третьи – ухудшение [155]. Buchanan и Tranel [30], вероятно, разрешили это противоречие, показав снижение показателей воспроизведения на эмоционально-нейтральные стимулы (при отсроченном воспроизведении), и улучшение – на эмоционально насыщенные стимулы. Аналогично в работах Smeets et al.[177] и Wiemers et al.

[218] испытуемые продемонстрировали более высокие результаты запоминания стресс-релевантной информации.

Кроме процессов памяти, стресс увеличивает время реакции на простые и сложные стимулы [174], а также влияет на более сложные когнитивные процессы: переключаемость [148; 149], творческие задачи [4], принятие решений, связанных с риском [141; 208].

Таким образом, на данный момент выделен некоторый список психофизиологических маркеров стресса. Однако среди них сложно найти удовлетворяющий сформированным нами критериям. Ни один из них не имеет строгой специфичности к стрессу. Измерения в исследованиях осуществляются дискретно (срезы показателей во времени), непрерывная динамика показателей не рассматривается. С этим, вероятно, связаны противоречия эмпирических данных – измерения выпадают на разные стадии стресса, которые характеризуются разной структурой нейрохимической регуляции.

1.2.1. Вегетативные корреляты активности 3-х стресс регуляторных систем

Влияние активности нейрохимических стресс-регуляторных систем на вегетативную регуляцию сердечного ритма исследовалось отдельно, то есть отдельно показаны эффекты активации САС, ГГАС, ЭОС в динамике показателей вариабельности сердечного ритма. Работ по определению признаков последовательной смены и соучастного взаимодействия данных систем в динамике вегетативной регуляции нет.

В таблице 4 приведены примеры эмпирических исследований ВСР в связи с нейроэндокринными изменениями.

Особенно актуальным является исследование динамических характеристик участия ЭОС в регуляции сердечного ритма, так как ЭОС в разной степени доминирования присутствует на всех трёх стадиях стресс-активации.

Эндогенная опиоидная система (ЭОС), открытая 40 лет назад [144; 145; 190; 92; 194; 95], сразу же привлекла к себе внимание исследователей благодаря выраженным антиноцицептивным свойствам [3; 216; 206]. При выявленной ведущей роли ЭОС в формировании разных клинических форм подавления болевой чувствительности (медикаментозные, акупунктурные, электростимуляционные и другие воздействия), был обнаружен существенный вклад ее в развитие так называемой стресс-анальгезии [21; 193; 140; 138; 22; 120], которая возникает в ответ на повреждение или его угрозу. Был поставлен вопрос о влиянии ЭОС на висцеральные системы, обеспечивающие физиологический (но не информационный) компонент стресс-активации, и обнаружен существенный вклад опиоидных пептидов в регуляцию кардиоваскулярной, респираторной и других систем организма в

условиях повреждающих воздействий [48; 251; 74]. Первые данные о противошоковом эффекте блокаторов опиатных рецепторов были опубликованы на рубеже 80-х годов [67; 68; 69; 70; 88; 89; 253; 254; 255; 281; 282; 283; 284; 71; 72; 54; 55; 93; 118 и др.]. Они были получены в опытах на разных животных (мыши, крысы, морские свинки, кролики, кошки, собаки и т.д.), при этом использовались разные экспериментальные модели шока (геморрагическом, электроболевым, эндотоксиновом, экзотоксиновом, окклюзионном, спинальном и т.п.) и стресса. Использование опиатных антагонистов в противошоковой терапии было запатентовано [253; 89] и начало внедряться в реаниматологическую клиническую практику. При этом сугубо медицинские аспекты проблемы ЭОС вытеснили на второй план изучение системных механизмов взаимодействия опиоидов и регуляции висцеральных функций. При этом активность ЭОС с разной степенью доминирования присутствует на всех трёх стадиях стресса и шока. Эти положения аргументируются результатами многочисленных экспериментов на животных и расчетов на нейроподобной математической модели [285], однако несомненно, что принципиально необходимым является развитие исследований с привлечением неинвазивных методов мониторинга функционального состояния человека в условиях его естественной деятельности.

Эта проблема недооценки роли ЭОС в регуляции сердечного ритма глубоко проанализирована сегодня лишь в клиническом аспекте; так, многолетние исследования томской кардиологической школы [265; 266; 267; 273 и мн.др.] продемонстрировали антиаритмическое и угнетающее действие опиоидных пептидов на работу сердца; зарубежный опыт выявляет отрицательные хроно-, дромо- и иотропные эффекты при стимуляции опиатных рецепторов и обратную ситуацию – при введении антагониста опиатных рецепторов налоксона. Очевидно, что отсутствие систематических исследований вклада ЭОС в ритмогенную регуляцию сердечной деятельности становится сегодня одним из серьезных препятствий на пути поиска вегетативных динамических маркеров стресса.

Важно на данный момент разрешить задачу обобщения и дополнения имеющихся эмпирических данных относительно регуляторного воздействия перечисленных систем на сердечный ритм.

Анализируя данные приведенных в таблице 4 исследований, можно предположить, что последовательная смена доминирования САС, ГГАС и ЭОС систем при стрессе будет отражаться в изменениях сердечного ритма по циклу: возрастание – снижение ВСР.

Таблица 3. Эмпирические исследования динамики ВСР в стрессогенных контекстах.

Функциональное состояние	Целевая выборка	Контекст	LF	HF	TP	LF/HF	Статистич. показатели	Источник
Рабочий стресс	космонавты	Парашют; морские тренировки; тренировки по выживанию в лесисто-болотистой местности	увеличение	снижение			PNN50-снижение	Филатов В.Н., 2008 [301]
		После выхода в открытый космос (измерения во сне)	увеличение	снижение	снижение		PNN50-снижение, SI-возрастание	Лучицкая Е.С. и др., 2011 [269]
	обзор	Рабочий стресс	снижение	снижение	снижение			Chandola T. et al., 2008 [41]
	обзор	Напряженная работа			снижение			Borchini R, Ferrario M.M., 2012 [24]
Эмоциональный стресс	студенты	Экзамен (во время подготовки по билету и сразу после ответа)	сохраняется высокой	повышение				Першина Т.А. и др., 2011 [286]
	пациенты с депрессией и без нее	Дифференциальная диагностика			ниже у пациентов с депрессией			Terhardt J. et al, 2013 [191]; Andrew H. Kemp et al, 2010 [108]
	лошади, жокеи	Публичное выступление - тренировка					SDRR, PMSSD при публичном выступлении снижаются больше	Mareike von Lewinskia et al, 2013 [121]

Физический стресс	спортсмены	До (за 10 мин.) и после (40 мин.) тренировки	возрастание	возрастание	возрастание			Шлык Н.И., 2011 [305]
Информационный стресс	Пациенты с дисфункцией белого вещества ЦНС	Когнитивные нарушения	обратно пропорционален уровню дисфункции белого вещества, снижен в группе с когнитивными нарушениями	обратно пропорционален уровню дисфункции белого вещества			RMSSD-обратно пропорционален уровню дисфункции белого вещества, снижен в группе с когнитивными нарушениями	Galluzzi S. et al., 2009 [78]
	Добровольцы	Информационное утомление			снижение			Zhang A. et al, 2011 [226]
	Дети с синдромом Аспергера и без него	Аудио-визуальная стимуляция - тест	увеличение при тесте у детей с синдромом					Tiinanen S., Määttä et al, 2011 [199]
	Добровольцы	Интеллектуальная нагрузка и/или физическая нагрузка	снижение	снижение			SDNN, RMSSD, pNN50 снижение	Taelman J. et al, 2011 [186]

Таблица 4. Эмпирические исследования ВСР в связи с нейроэндокринными изменениями.

Нейрохимич. системы	Объект исследования	Контекст	VLF	LF	HF	TP	Источник
САС (адреналин, норадреналин)	Крысы	Агонист $\alpha 1$ -адренорецепторов (фенилэфрин-7 дней)	Возрастание	Возрастание	Снижение (у самок)	Возрастание (у самцов)	Курьянова Е.В., 2010 [263]
	Здоровые испытуемые	Ортостатич. проба, возрастание адреналина и норадреналина		Возрастание при росте адреналина и норадреналина			Vlcek M. et al, 2008 [212]
ГГАС (АКТГ, кортизол)	Люди (рабочий стресс)	Возрастание катехоламинов, ответа кортизола, пролактина, снижение тестостерона		Снижение	Снижение	Снижение	Chandola T. et al., 2010 [42]
ЭОС	Пациенты	Фарманализ +ВСР после и в динамике операции (сравнение севофлурана и пропофола в анестезии)	Снижение	Снижение	Снижение, но становится больше LF	Снижение Ниже в группе с большим АКТГ и кортизолом - севофлуран	Ledowski T. et al, 2005 [119]
	Пациенты	Анестезия (ингаляционная анестезия, севофлуран, суksamетоний)		Возрастание относительно базового уровня	Снижается относительно базового уровня на этапе постинтубации	Возрастание на этапе постинтубации относительно прединтубации	Che-Hao H. et al, 2012 [45]

	Пациенты	Анестезия (общая внутривенная, мидазолам, суфентанил, алфентанил, ремифентанил)		Снижение	Снижение	Снижение	Jeanne M. et al., 2009 [99]
	Пациенты	Анестезия (до/после)		Снижение	Снижение (HFn - возрастает)	Снижение	Jeanne M. et al., 2009 [99]
	Здоровые добровольцы	Анестезия (во время потери и восстановления сознания)			Возрастание (при потере сознания) – доминирование над LF		Tarvainen M. P. et al, 2012 [187]
Антипсихотические препараты	Здоровые/шизофрения	Зависимость от дозы		Снижение в экспер. группе, зависит от дозы	Снижение в экспер. группе, зависит от дозы		Yohko Iwamoto et al, 2012 [96]
Антидепрессанты	Пациенты с депрессией	Сравнение 6 дня вымывания с 14, 28 днем лечения венлафаксин, митразапин				Снижение при употреблении антидепрессантов	Terhardt J. et al, 2013 [191]
	Пациенты с депрессией	Трициклические антидепрессанты и др.				Снижение при употреблении	Kemp A.H. et al, 2010 [108]; Brunoni A. R. 2012 [29]

1.2.2. Значение исследований динамики ВСР при стрессе в контексте естественной деятельности

Вегетативные перестройки на различные по природе и интенсивности стимулы как правило измеряются в лабораторных условиях. При этом, так как режимы управления физиологической системой человека связаны с целевой функцией и изменяются в широком диапазоне в соответствии со значимым контекстом [232], то исследования физиологических сигналов в условиях дозированных лабораторных нагрузок не позволяют предсказать особенности физиологических реакций в условиях естественной деятельности [241].

Моделирование в лабораторных условиях исследуемых контекстов, например, стресса, сталкивается с искажающими результаты измерений факторами. Например, так как существуют серьезные этические ограничения на характер и продолжительность моделируемых стресс-факторов, то большинство исследований ограничиваются узким диапазоном когнитивных факторов (время реакции, видеоигры, задачи на концентрацию внимания). Участники лабораторных экспериментов – добровольцы, как правило, выполняют требования экспериментатора, соответственно, результат измерений становится зависимым от степени сотрудничества испытуемого с экспериментатором и степени его мотивации. Таким образом, лабораторные стресс-факторы не могут точно соответствовать стресс-факторам, встречающимся в реальной жизни, то есть результаты лабораторных исследований стресса имеют ограниченную экологическую валидность.

Наиболее актуальными для исследований вегетативной регуляции являются три вопроса: 1. Какие факторы (детерминанты) обуславливают вегетативные ответы в контексте естественной деятельности? 2. Какие системы психофизиологических процессов лежат в основе регуляции кардиоритма в контексте естественной деятельности? 3. Можно ли по измерениям в лабораторных условиях предсказать вегетативные изменения в контексте естественной деятельности?

Одним из способов исследования кардиореактивности на стресс в контексте естественной деятельности является публичное выступление с докладом (экзамен, собеседование), тем более что данный естественный контекст остается относительно управляемым [224]. Публичная речь используется как компонент лабораторной модели стресса – Trier Social Stress Test (TSST) [109]. Однако сравнение показателей вегетативных реакций в эксперименте TSST с результатами, полученными в контексте естественной деятельности, показало отсутствие корреляций [204]. Многочисленные исследования демонстрируют гораздо более выраженные изменения сердечного ритма при выступлении на публике в контексте

естественной деятельности по сравнению с лабораторными экспериментами и контекстом предсказания стресс-фактора [215; 209; 56; 28].

В недавней работе [224] были исследованы гемодинамические изменения на стресс-факторы в контексте естественной деятельности. Участниками этого исследования были студенты, которые весь учебный день носили датчик артериального давления. В этот день у них были запланированы доклады в группе. Соответственно, была получена динамика артериального давления: до, во время и после доклада. В результате показано значительное повышение артериального давления во время выступления по сравнению с периодом ожидания. Такой эффект согласуется с первой стадией стресс-активации.

В другой работе авторы [214] проводили мониторинг АД, ЧСС в процессе рабочего дня с шагом по времени 30 мин. При этом оценивался уровень рассогласований между усилиями, вложенными в работу, и вознаграждениями. Результаты показали снижение тонуса блуждающего нерва (RMSSD) при возрастании уровня рассогласования. Приведенные примеры исследований, по сути, повторили и расширили круг результатов, которые были получены ранее в лабораторных контекстах.

Отношения между лабораторными и полевыми показателями вегетативной регуляции сердечного ритма изучаются уже более 30 лет. В обзоре [203] делают вывод о слабых связях между измерениями ВСР, производимыми в лабораторных и полевых контекстах, хотя редкие и слабые положительные корреляции все же обнаруживаются. Многократный продолжительный индивидуальный мониторинг и использование активных проб при измерениях отчасти решает эту проблему, но далеко не на 100%.

Второй путь решения поставленной проблемы - развитие инструментальных методов регистрации биофизических сигналов, обеспечивающих персонализированный мониторинг и дистанционную диагностику без ограничений по продолжительности записи, по расстоянию до источника сигнала и его подвижности. Существенные успехи уже достигнуты в разработке систем телеметрического мониторинга variability сердечного ритма и других физиологических сигналов благодаря сотрудничеству исследователей California Institute of Technology и Georgia Institute of Technology: сеть бесконтактных емкостных датчиков, вплетена в ткань одежды и является портативным монитором, позволяющим продолжительное время регистрировать ЭКГ, ЭЭГ, variability сердечного ритма в условиях свободного поведения (Technology Review, MIT, July 06, 2010).

Важно отметить, что при проведении измерений в контексте естественной деятельности возникают специфические требования к используемой аппаратуре:

1. Мобильность, легкость;
2. Длительная работа без электросети;

3. Устойчивость к экзогенным артефактам, связанным с движениями и др.;
4. Удобство пользователя – измеряющий прибор не должен отвлекать когнитивные ресурсы человека и каким-либо образом встраиваться в текущую функциональную систему;
5. Неотъемлемым условием является мониторинг и контроль динамики внешнего аудиовизуального контекста; в противном случае окажется невозможным выявление закономерностей в динамике вегетативной регуляции кардиоритма.

2. Материалы и методы

2.1. Описание и обоснование структуры выборки

Структура выборки состоит из двух экспериментальных массивов.

1. Эксперименты в лабораторных условиях (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 человека: 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. Каждый контекст содержит не менее одного типа стресс-факторов, выделенных по критерию модуля ФС, в котором возникает сигнал о чрезмерном рассогласовании.

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

2. Сотрудники экстремального профиля в контексте тренировки в газовой-дымовой 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 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.

2.2. Телеметрия и беспроводная регистрация сердечного ритма

Для телеметрии сердечного ритма была разработана беспроводная сенсорная сеть, состоящая из трёх модулей. Специализированная сенсорная платформа - Bluetooth Heart Rate / Speed & Distance Monitor (HxM, Zephyr Technology), объединяющая микропроцессор, блок приема-передачи радиосигналов и маломощные миниатюрных датчики ЭКГ, ускорения и расстояния. Сенсорная платформа размерами 65x32 мм весит 17 грамм. Конструкция сенсорной платформы обеспечивает надежную фиксацию датчиков на теле человека. Передача данных на Smartphone или персональный компьютер организована по каналу Bluetooth SPP -2,4 ГГц. Пакеты необработанных данных передаются с интервалом 1 с. Каждый пакет содержит уникальный идентификатор устройства, 15 последних R-R интервалов («старые+новые»), время относительно момента начала записи. Без подзарядки устройство работает 26 часов. Предельное расстояние передачи сигнала до накопителя-ретранслятора – 10 м. Для временного накопления и предобработки данных использовано персональное мобильное устройство связи SmartPhone с операционной системой Android или персональный компьютер с операционной системой Microsoft Windows XP. Далее данные передаются в сеть Internet через каналы GSM на специализированный сервер системы (Рисунок 7). Топология сенсорной сети по типу "звезда" обеспечивает экономию аппаратных ресурсов при коллективном мониторинге.



Рис. 7. Схема беспроводной регистрации кардиосигнала.

Таким образом, существенно снимаются пространственные ограничения и обеспечивается возможность для диагностики функционального состояния человека в условиях удаленного доступа. Работа программно-аппаратного комплекса для мобильной телеметрии верифицирована на основе сопоставления с записями аналогичных физиологических параметров на АПК Поли-Спектр (Нейрософт) и Кардиоанализатор «Анкар-131» (Медиком) (пример синхронизированных записей – Рисунок 8). Последовательности R-R интервалов и спектры вариабельности сердечного ритма, полученные в режиме удаленного доступа по нашей сенсорной сети, полностью соответствуют данным, полученным на стандартном оборудовании ($p=0,995$, критерий Стьюдента).

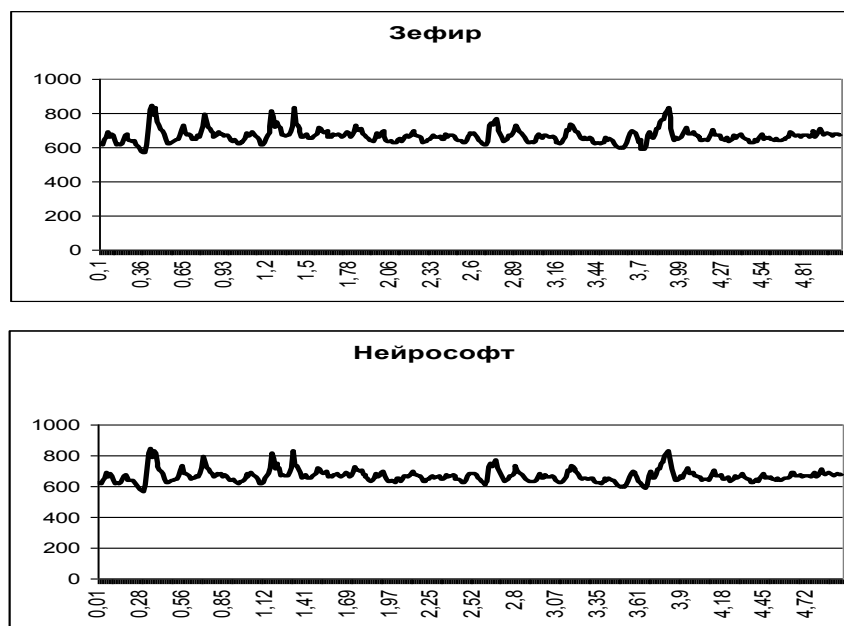


Рис. 8. Синхронизированные записи RR интервалов, полученные с помощью системы беспроводной регистрации кардиоритма и АПК Поли-Спектр (Нейрософт) (по оси абсцисс – время (мин), ординат – RR-интервалы (мс)).

Программа «Мобильный HR-измеритель» предназначена для измерения и визуализации RR-интервалов кардиограммы, получаемых с беспроводного датчика, прикрепленного на тело человека. Программа может быть использована в медицинских целях, а также в личных целях физическими лицами, заинтересованными в контроле своего функционального состояния. Программа обеспечивает поиск и подключение к беспроводным датчикам; прием данных с датчиков; предварительную обработку полученных данных; визуализацию полученных и обработанных данных; накопление и передачу данных в хранилище данных, расположенное в сети Internet.

Характеристики программы:

Тип ЭВМ: Устройства с операционной системой Android

Язык: Java

ОС: Android, версии 2.3 и выше

Объем программы: 10 Мб.

Программа обеспечивает следующие функции:

Выбор датчика – приемника сигнала от человека;

Ввод данных о человеке, проходящем измерение;

Визуализация данных измерения RR-интервалов;

Маркирование записи;

Функциональные информационные пробы;

Передача данных на сервер по сети Internet.

Основной интерфейс программы представлен на рисунке 9.

Внизу окна располагается кнопка «Меню» (Рисунок 10). Меню содержит следующие компоненты:

Add sensor – выбор датчика, подключение к датчику.

Upload to FTP – передача накапливаемых данных на сервер по сети Internet.

Options – дополнительные опции.

Stop&Exit – выход из программы.

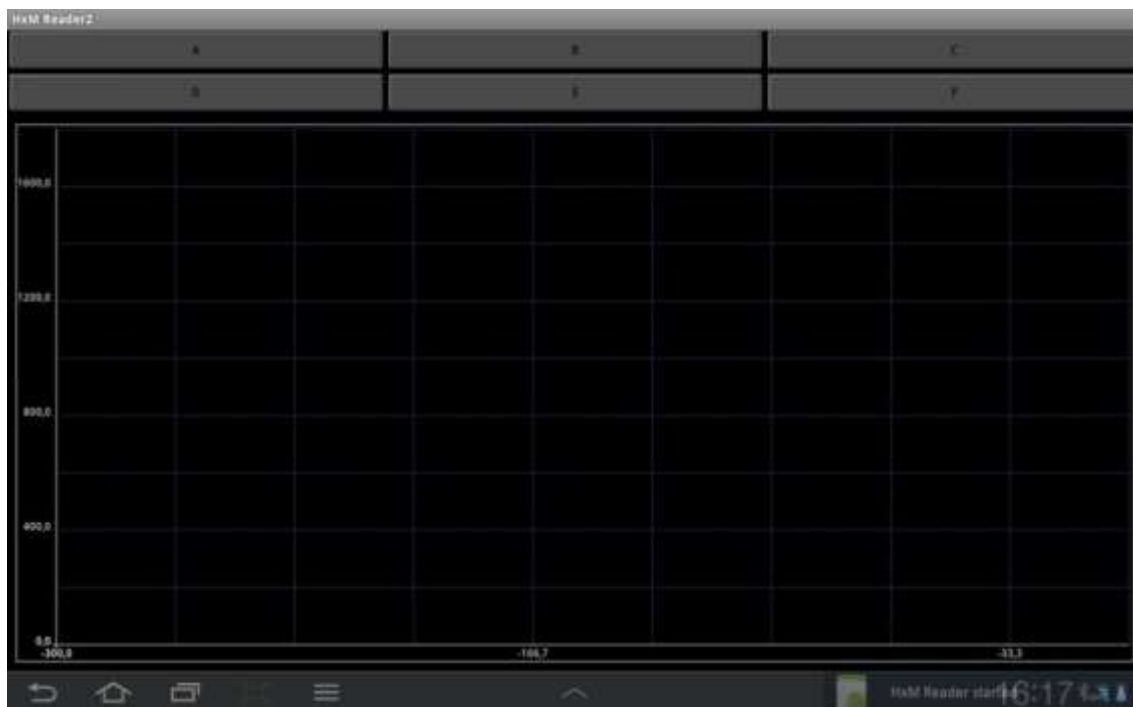


Рис. 9. Интерфейс программы «Мобильный HR-измеритель».



Рис. 10. Интерфейс программы «Мобильный HR-измеритель» - меню.

Функция «Add sensor» выводит таблицу с идентификационными номерами датчиков, которые находятся в зоне связывания с мобильным устройством. При выборе одного из них автоматически появляется окно ввода идентификационных данных испытуемого (имя, фамилия, год рождения и др.) (Рисунок 11).



Рис. 11. Ввод данных испытуемого.

После подключения принимаемый сигнал визуализируется на экране мобильного устройства в поле графика (Рисунок 12).



Рис. 12. Визуализация измеряемого сигнала.

Функциональные кнопки А, В, С, D, Е, F позволяют ставить маркеры в запись RR-интервалов. При нажатии одной из них в файле данных сохраняется маркер с названием, соответствующим кнопке напротив RR-интервала, совпадающего по времени с выставлением маркера.

2.3. Информационные технологии для оценки когнитивных функций

Оценка когнитивных функций производилась с помощью интегрированного программно-аппаратного комплекса «HandTrecker», который предназначен для исследования количественных характеристик восприятия человеком визуальных и звуковых стимулов. В частности, в нем реализованы такие зрительные тесты, как цветовая кампиметрия, управление цветом фигуры на фоне, управление углом наклона виртуального отрезка, тест «часы с поворотом», тест Струпа, тест сенсомоторной реакции на зрительный стимул. Также реализованы такие звуковые тесты, как измерение времени сенсомоторной реакции, измерение порогов слуха, измерение пороговых междушумных задержек при латерализации звукового образа, удержание частоты (тонального звука).

В данном исследовании использован комплекс функциональных проб, обеспечивающих актуализацию первичных когнитивных функций и измерение ошибок моторного отображения элементарных сенсорных сигналов, которые описаны ниже. Принципиальная схема данных проб такова, что испытуемый включается в состав человеко-компьютерной системы, в которой зрительные и звуковые стимулы генерируются компьютером и предъявляются испытуемому. Ориентируясь на свои ощущения, он должен в динамическом режиме управлять манипулятором-посредником (джойстик, мышь, клавиша) и воспроизводить предъявляемые экспериментатором стимулы с установленными параметрами [234]. Каждый эксперимент состоит из двух последовательных сессий: 1. Обучающая. Испытуемый знакомится с предстоящим заданием и пробует его выполнить несколько раз. 2. Непосредственное измерение.

Порядок проведения измерений включает в себя следующие этапы. Создание эксперимента. При вызове «приложения экспериментатора» возникает среда, в которой экспериментатор выбирает опцию меню «создать эксперимент» (или обращается к архиву базы). На экране монитора экспериментатора возникает вкладка «эксперимент», в которой исследователь заполняет паспортные данные эксперимента и выбирает одну из опций «сохранить запись», «отменить» или «выбрать». После нажатия кнопки «сохранить» запись попадает в базу данных. После нажатия кнопки «выбрать» активируется опция меню «метод исследования». Обращение к этой опции открывает доступ ко всем видам тестов и исследований, предусмотренных в комплексе, которые описаны ниже.

Использованные в исследовании подходы к тестированию когнитивных функций:

Метод компьютерной кампиметрии.

Тест предназначен для измерения дифференциальных порогов восприятия цвета по методу градиентов для назначенного набора цветовых стимулов, сформированных в соответствии с моделями цветового пространства HLS, RGB. Он осуществляется путем определения порогов различения цветной фигуры на цветном фоне.

Пользуясь окнами закладки «кампиметрия» экспериментатор устанавливает следующие параметры теста:

- форму и размеры фонового поля (фонового стимула);
- форму и размеры 3 фигур, которые будут предъявляться на фоне для распознавания;
- вид модели цветового пространства (цветовая модель);
- активный параметр цветовой модели, т.е. тот параметр, изменение которого будет изменять цвет фона;
- интервал изменения активного параметра;
- шаг изменения величины активного параметра;
- порядок предъявления стимулов – фигур на фоне;
- способ управления цветом фигуры на экране испытуемого – кнопки на экране, клавиши клавиатуры, кнопки мыши.

Выбор формы трех стимулов для распознавания делается в окне «активный стимул». При необходимости в программу может быть внесен в качестве цитаты любой графический объект.

После назначения параметров теста и размещения инструкции для испытуемого экспериментатор нажимает кнопку «просмотр». В результате на его экране появляется круг, разделенный на сектора, имеющие тот цвет, который будет принимать фон в ходе исследования. Для начала исследования экспериментатор должен нажать виртуальную кнопку «пуск».

Ознакомившись с инструкцией, испытуемый нажимает виртуальную кнопку «начать тестирование». Далее, нажимая в зависимости от выбранного способа управления цветом фигуры на верхнюю управляющую кнопку, испытуемый добивается появления фигуры на фоне. Как только он примет решение, что распознал фигуру, он нажимает соответствующий ей значок. Если распознавание произошло верно, то появляется соответствующая иконка (Рисунок 13).

После нажатия кнопки «ОК» испытуемый нажимает нижнюю управляющую кнопку со стрелкой до тех пор, пока, по его мнению, фигура не сольется с фоном. После этого на экране появится новый фон, и все нужно будет продолжить.

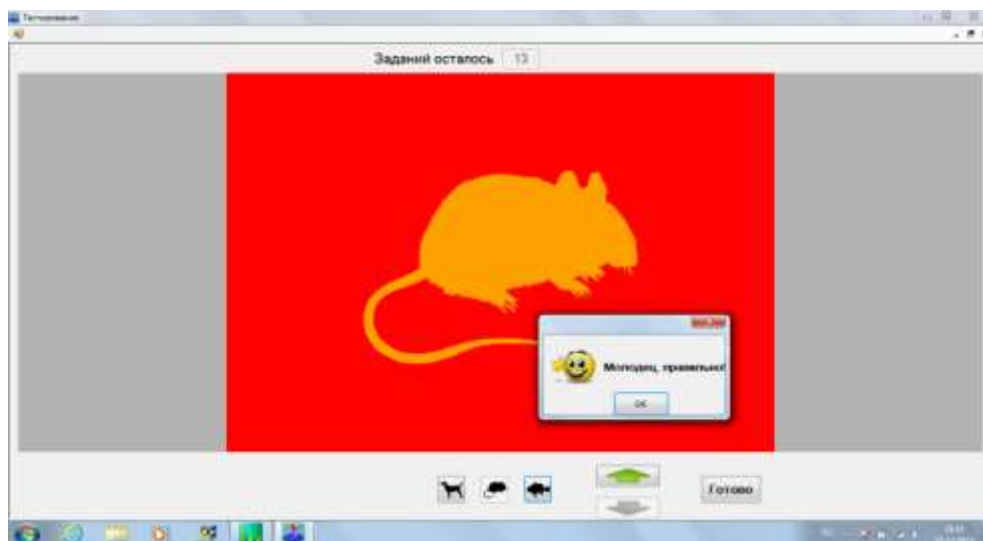


Рис. 13. Экран испытуемого после правильного ответа тестирования.

В это время экран экспериментатора примет вид, показанный на рисунке 14. В правой части экрана отображены графики, отражающие зависимость величины порога распознавания фигуры от значения фона (верхняя кривая) и ошибки определения цвета фигуры при ее слиянии с фоном. Эти же данные приведены и в таблице (Рисунок 14).

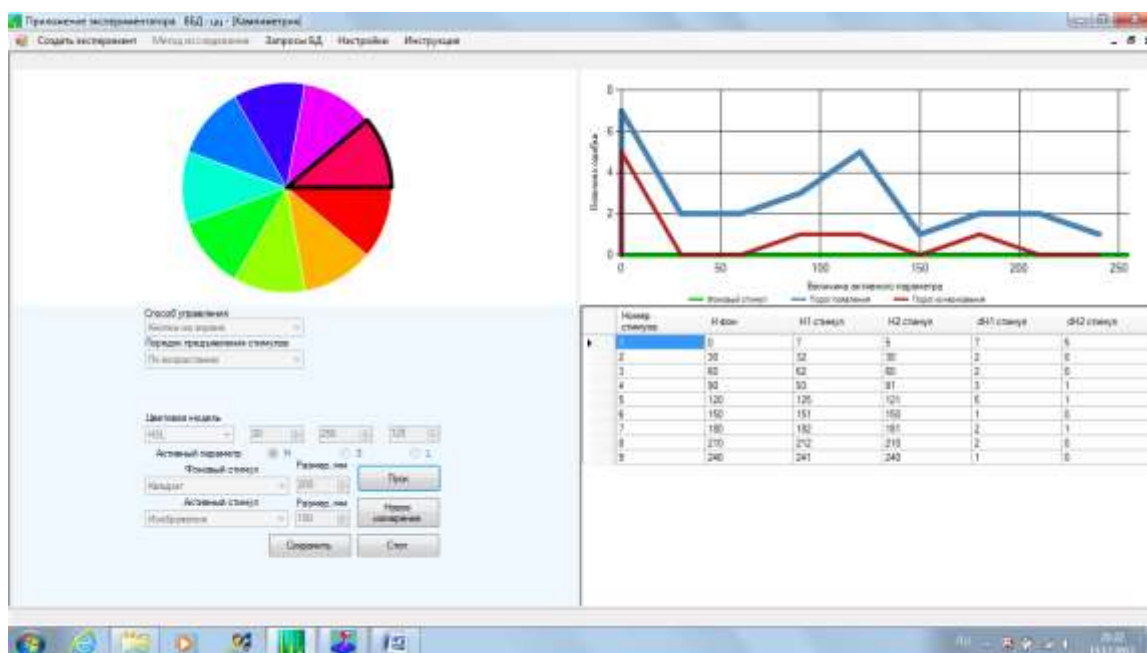


Рис. 14. Экран экспериментатора после завершения тестирования.

При нажатии кнопки «сохранить» все настройки и данные эксперимента сохраняются в базе данных и в последующем могут быть из нее вызваны.

В данном исследовании измерение порогов цветоразличения производилось в цветовой модели HLS по шкале H от 0 до 250 с шагом 10 у.е.

Тест «Управление углом наклона отрезка».

Тест предназначен для исследования восприятия испытуемым пространственной ориентации виртуальных геометрических объектов, например, отрезков прямой.

Пользуясь кнопками и окнами вкладки «управление углом наклона», экспериментатор может назначить вид и параметры виртуального объекта – образца и объекта управления, порядок предъявления виртуальных объектов - стимулов, способ управления виртуальным объектом – стимулом, количество предъявляемых стимулов и шаг изменения угла наклона образцового стимула, начальное различие наклона стимула - образца и управляемого стимула при предъявлении управляемого стимула. Также экспериментатор может отредактировать инструкцию и предъявить ее испытуемому или скрыть.

После назначения параметров теста и нажатия кнопки «пуск» на экране испытуемого возникает образцовый и управляемый объекты в режиме, выбранном экспериментатором (Рисунок 15).

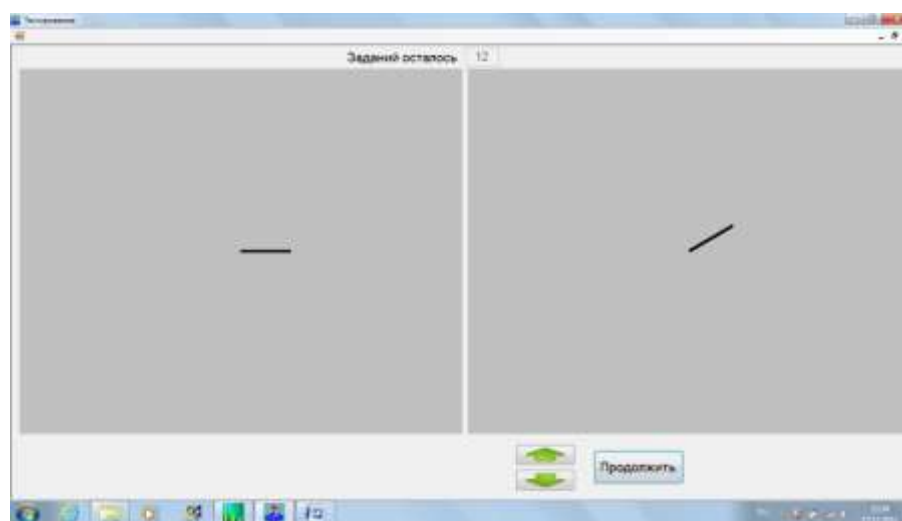


Рис. 15. Экран испытуемого при выполнении теста.

Управляя с помощью назначенного экспериментатором инструмента, испытуемый выполняет инструкцию, например, выставляет управляемый отрезок параллельно образцовому.

Экран экспериментатора отражает диаграмму и таблицу, в которых приведены данные о величине ошибок управления и потраченном на каждую пробу времени. При нажатии кнопки «сохранить» они будут помещены в базу данных.

В данном исследовании испытуемым в каждом эксперименте предъявлялось 9 стимулов-образцов от 0° до 180° с шагом $22,5^\circ$, начальное отклонение управляемого стимула от стимула образца 15° , время удержания управляемого стимула – 5000 мс., чувствительность манипулятора (джойстика) – 2. Длина стимулов – 50 мм, толщина стимулов – 1мм.

Тест «Часы с поворотом».

Тест предназначен для оценки и тренировки способности восприятия и управления пространственной ориентацией объектов.

На экране экспериментатора возникает закладка, в окнах которой могут быть назначены параметры теста: вид циферблата (с делениями или без делений), количество, вид и размер

стрелок часов (стимула), угол поворота циферблата относительно вертикали, временной интервал циферблата 0-12 или 0-24 часа, количество заданий в тесте, порядок предъявления задач, способ регулирования положения стрелок испытуемым – мышь, джойстик, режим тренировки или тестирования.

После ознакомления испытуемого с инструкцией экспериментатор нажимает кнопку «пуск». При этом на экране испытуемого возникает первая задача теста (Рисунок 16).

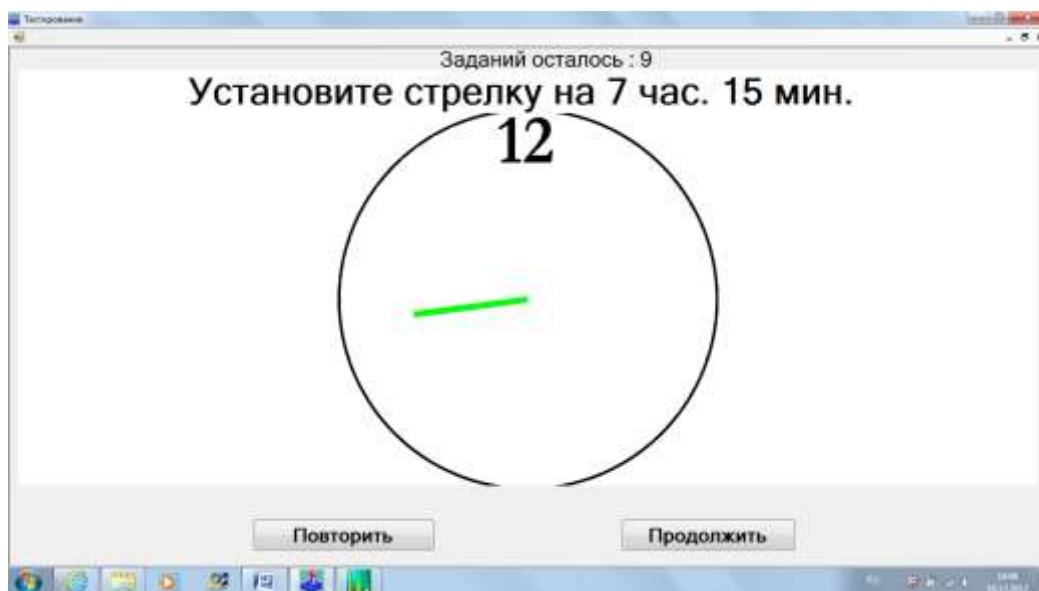


Рис. 16. Предъявление тестовой задачи.

Используя назначенный орган управления, испытуемый решает первую задачу и нажимает кнопку «повторить» или «продолжить». В режиме тренировки на экране испытуемого отображается как выставленное им время, так и правильное время с указанием величины ошибки (Рисунок 17).

По окончании тестирования на экране экспериментатора отображаются результаты теста в форме диаграммы и таблицы, в которых приведена поставленная задача, выставленное испытуемым время, величина ошибки и время решения каждой из задач (Рисунок 18).

Экспериментатор может сохранить конфигурацию эксперимента и его результаты в базе данных через опцию «сохранить».

В данном исследовании испытуемым в каждом эксперименте предъявлялось 10 заданий, от 0 до 12 часов, начальное отклонение стрелки 1 ч. 30 мин., длина стрелки 40 мм, ширина 2 мм, способ управления – джойстик, коэффициент передачи – 1.

Тест Струпа.

В психологии эффектом Струпа называют задержку реакции при прочтении слов, когда цвет букв, которыми написано слово, не совпадает со значением слова (например, слово «красный» написано синим).

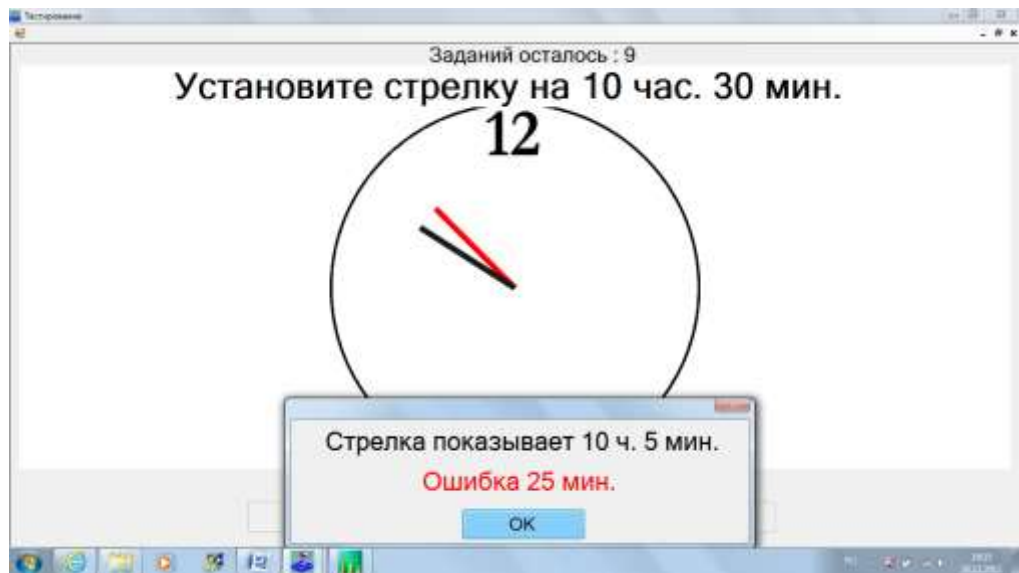


Рис. 17. Экран испытуемого при тренировке.

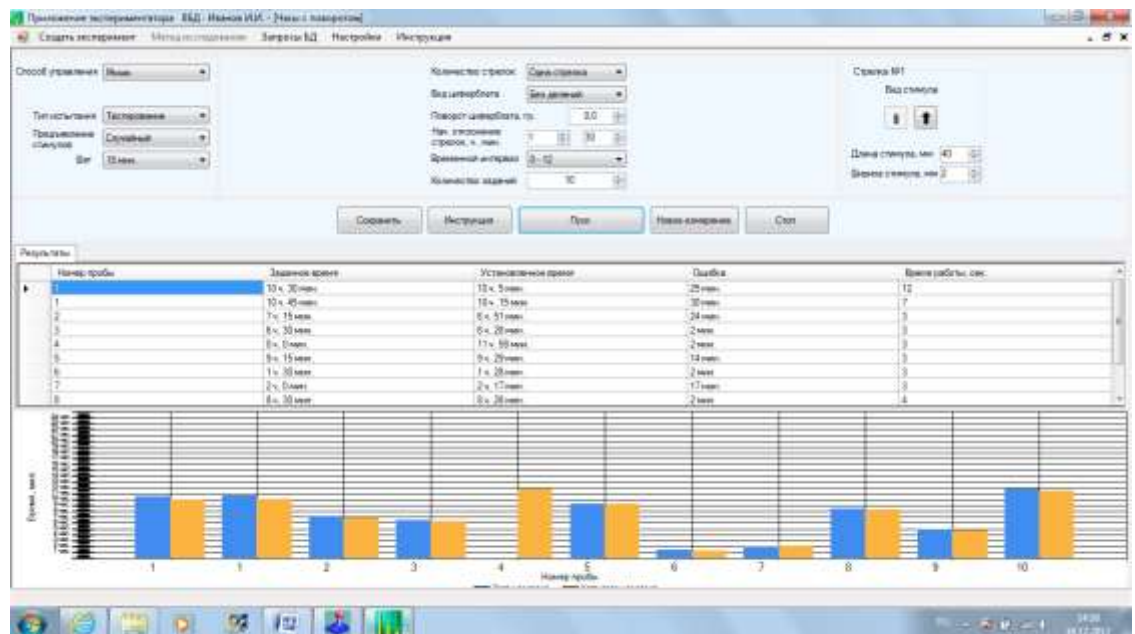


Рис. 18. Экран экспериментатора по окончании тестирования.

Используя окна закладки «тест Струпа», экспериментатор назначает тип теста: отметить цвет, соответствующий значению слова, написанного черно-белым шрифтом, отметить цвет, обозначенный словом, написанным буквами того же цвета, отметить цвет, написанный буквами иного цвета, отметить цвет букв, которыми написано предъявляемое слово. Может быть назначен размер шрифта и количество предъявлений стимула. При нажатии экспериментатором кнопки «инструкция» на экране испытуемого возникает инструкция.

После ознакомления испытуемого с инструкцией экспериментатор нажимает кнопку «пуск». При этом на экране испытуемого возникает первая задача теста.

После окончания тестирования на экране экспериментатора воспроизводятся полученные данные о количестве ошибок и времени решения каждой из задач (Рисунок 19).

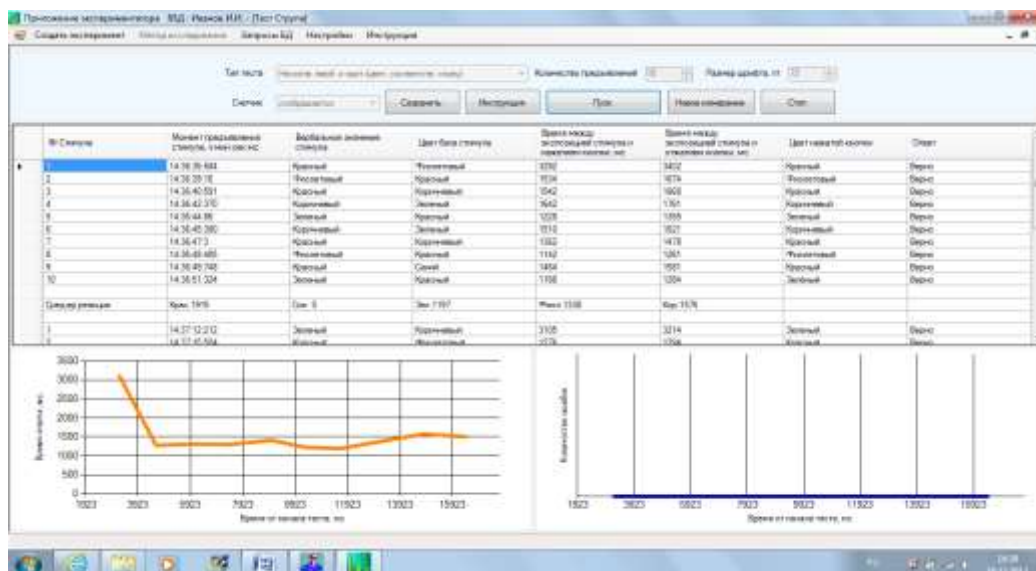


Рис. 19. Экран экспериментатора по окончании тестирования.

В данном исследовании испытуемые в каждом эксперименте проходили 4 серии: 1. цвет букв слов – черный, необходимо выбрать иконку, цвет которой соответствует семантике слова; 2. цвет букв слов совпадает с их семантикой, необходимо выбрать иконку соответствующего цвета; 3. цвет букв слов и их семантика не совпадают, необходимо выбрать иконку, цвет которой совпадает с семантикой слова; 4. цвет букв слов и их семантика не совпадают, необходимо выбрать иконку, цвет которой соответствует цвету букв слова. Каждая серия содержит 10 стимулов, размер шрифта 72 мм.

Измерение времени сенсомоторной реакции на звуковые стимулы.

Для проведения в составе эксперимента измерений этого типа необходимо подключить к компьютеру стереофонические головные наушники. Далее через опцию меню «метод исследования» на закладке «приложение экспериментатора» необходимо выбрать опцию выпадающего меню «звуковые стимулы», а затем опцию «измерение времени сенсомоторной реакции».

В результате этого выбора на экране экспериментатора появится закладка «измерение времени сенсомоторной реакции». В окнах закладки экспериментатор может через использование опции «настройка параметров» назначить параметры звуковой стимуляции каждого уха: форму звукового импульса, его длительность, громкость, интервал между стимулами, порядок предъявления стимулов (случайный, регулярный) и изменение этих параметров по ходу тестирования. Также он может назначить величину задержки между звуковыми сигналами, подаваемыми им в левый и правый наушники (междушная задержка).

После назначения параметров теста экспериментатор нажимает кнопку «ОК» и далее кнопку «пуск». В соответствии с инструкцией, испытуемый нажимает управляющую кнопку при наступлении тех или иных событий в восприятии стимулов. По окончании теста на экране

экспериментатора в форме таблицы и диаграммы отображается информация о реакции испытуемого на предъявляемые стимулы: момент предъявления стимула, момент нажатия и отпускания испытуемым управляющей кнопки на экране, кнопки мыши, клавиши клавиатуры или джойстика (Рисунок 20).

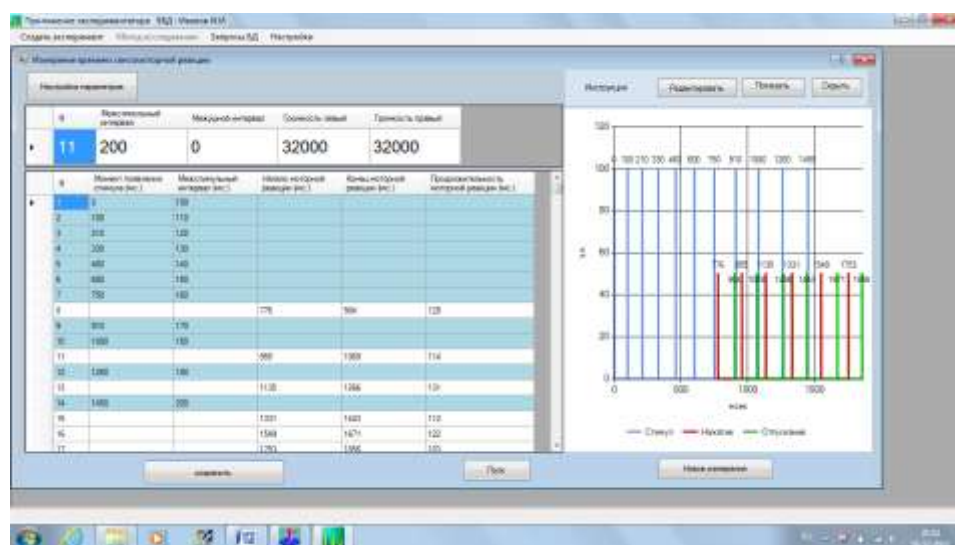


Рис. 20. Экран экспериментатора по окончании тестирования.

В данном исследовании в каждом эксперименте испытуемые проходили от 4 до 8 серий: 1. время межстимульного интервала 5000 мс, 2. время межстимульного интервала 1000 мс, 3. время межстимульного интервала 700 мс, 4. время межстимульного интервала 500 мс, 5. время межстимульного интервала 400 мс, 6. время межстимульного интервала 350 мс, 7. время межстимульного интервала 300 мс, 8. время межстимульного интервала 200 мс. В каждой серии предъявлялось 10 стимулов с постоянным межстимульным интервалом, длительность предъявления стимулов – 23 мкс. Эксперимент заканчивался на той серии, в которой испытуемый ошибался более 3-х раз. За ошибку принимались пропуск стимулов, досрочная реакция на стимул.

Измерение пороговых междушумных задержек при латерализации звукового образа.

Описание методики компьютерной кампиметрии заимствовано из докторской диссертации ее автора Полевой С.А. [289].

Компьютерная технология латерометрии позволяет формировать разнообразные амплитудно-временные структуры звуковых шумовых прямоугольных импульсов (Рисунок 21) и обеспечивает широкий спектр стратегий предъявления сигнала и регистрации реакции.

Стимул может предъявляться как моноаурально, так и бинаурально, когда эквивалентные короткие звуковые щелчки с регулируемой задержкой во времени подаются в каждое ухо отдельно через стереофонические наушники.

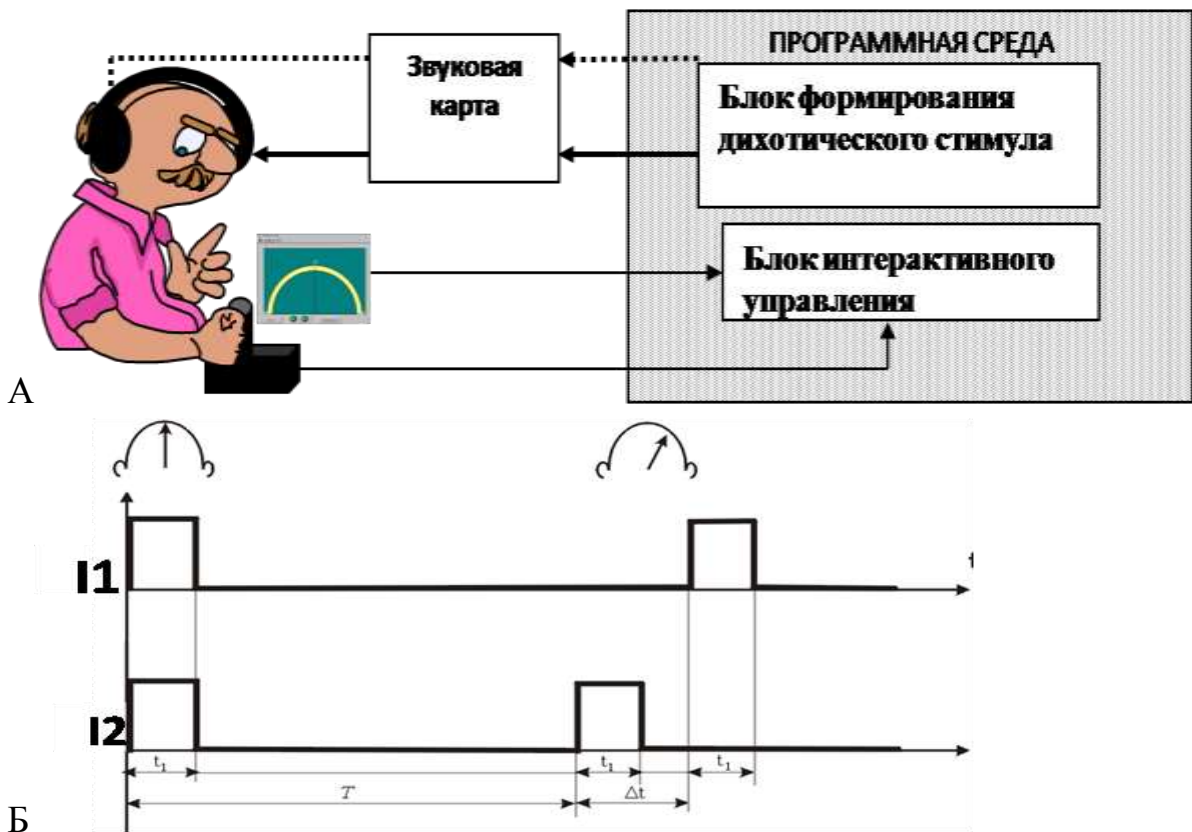


Рис. 21. Принципиальная схема компьютерной латерометрии. (А) и дихотического стимула (Б). Стрелками указаны направления потоков данных. T_1 – продолжительность электрического импульса; T_2 – межстимульный интервал; Δt – шаг нарастания междушной задержки; I_1 – интенсивность сигнала в канале для левого уха; I_2 – интенсивность сигнала в канале для правого уха.

Характеристические параметры управляющего электрического сигнала:

Продолжительность электрического импульса от 23 мкс до 100 мс

Межстимульный интервал от 1 мс до 10 с

Шаг нарастания междушной задержки от 23 мкс до 10 мс

Начальная междушная задержка от 23 мкс до 10 мс

Амплитуда от 0 до 32000 условных единиц

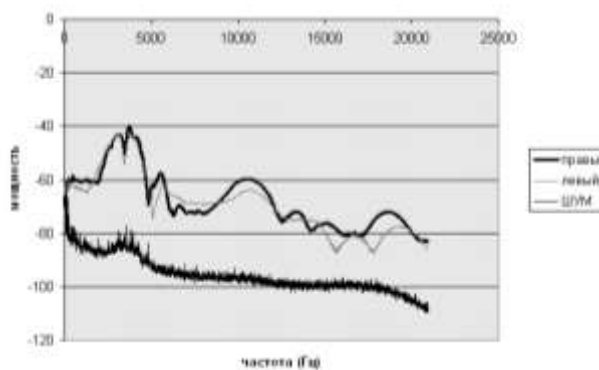
Шаг по амплитуде 1 условная единица

Количество стимулов до 500 шт.

Характеристика звукового сигнала:

Шумовой щелчок в диапазоне частот от 1500 Гц до 4500 Гц, с шириной полосы пропускания $\pm 30\%$ относительно средней частоты, соответствующей частотному формату человеческого голоса (Рисунок 22). При дихотической стимуляции звуковые стимулы для разных каналов были эквивалентны.

А



Б

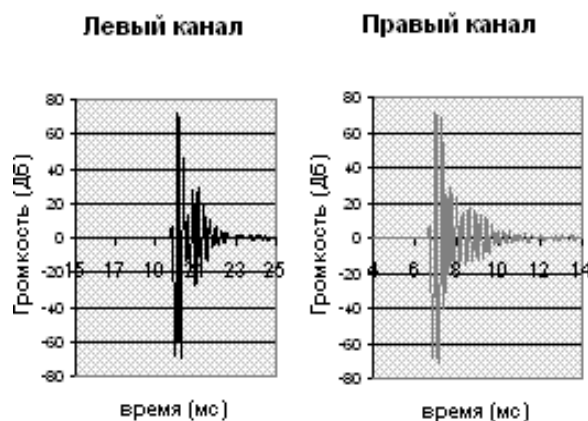


Рис. 22. Спектр звукового сигнала и фонового шума (А),
временная диаграмма сигналов (Б).

Программа управления аппаратной частью комплекса разработана с помощью среды разработки Microsoft Visual Studio 6.0 на языке C++ с использованием принципа MFC (Microsoft Foundation Classes) для реализации графического интерфейса.

В процессе эксперимента формируется файл с данными в формате rpn на диске. Впоследствии он открывался для анализа самой программой. Файл протокола имеет вид отформатированной текстовой таблицы, поэтому он может быть перемещён в любую другую программу для более глубокого анализа, например, Microsoft Excel, где анализировались все данные эксперимента.

Управляемые параметры:

T1 – продолжительность щелчка;

T2 – межстимульный интервал;

dT – шаг нарастания междушумной временной задержки;

dT₀ – начальная междушумная задержка;

I1 – интенсивность звукового сигнала для левого уха;

I2 – интенсивность звукового сигнала для правого уха;

N – количество щелчков в серии;

dI1 – шаг нарастания интенсивности звукового сигнала для левого уха;

dI2 – шаг нарастания интенсивности звукового сигнала для правого уха.

Измерение пороговых междушных задержек при латерализации дихотического сигнала:

Процедура тестирования включает два этапа: обучение и измерение. Для обучения распознаванию пространственных координат звукового образа в условиях дихотической стимуляции испытуемому предлагается указать положение источника звука при моноуральном сигнале справа, слева и при одновременном бинауральном раздражении, соответствующем локализации звукового образа в центре междушной дуги. Таким образом, осуществляется подключение субъективной модели звукового пространства к распознаванию локализации иллюзорного источника звука при дихотической стимуляции. Для измерения в качестве стимула используется серия дихотических импульсов частотой 3 Гц с шагом нарастания междушной задержки 23 мкс. Направление салтаторного движения звукового образа определяется стороной опережающего сигнала. Испытуемым дается установка фиксировать положение «звука» нажатием на кнопку джойстика для трех моментов (Рисунок 23, А): момента смещения «звука» из «центра» ($dt_{min_лев}$, $dt_{min_пр}$), момента остановки в крайнем латеральном положении: для опережения на левое ухо – слева ($dt_{max_лев}$), для опережения на правое ухо – справа ($dt_{max_пр}$), а также момента появления вместе с громким сигналом со стороны опережения четкого тихого сигнала с противоположной стороны ($dt_{расц_лев}$, $dt_{расц_пр}$).

Результат отображается в форме гистограммы (Рисунок 23, Б).

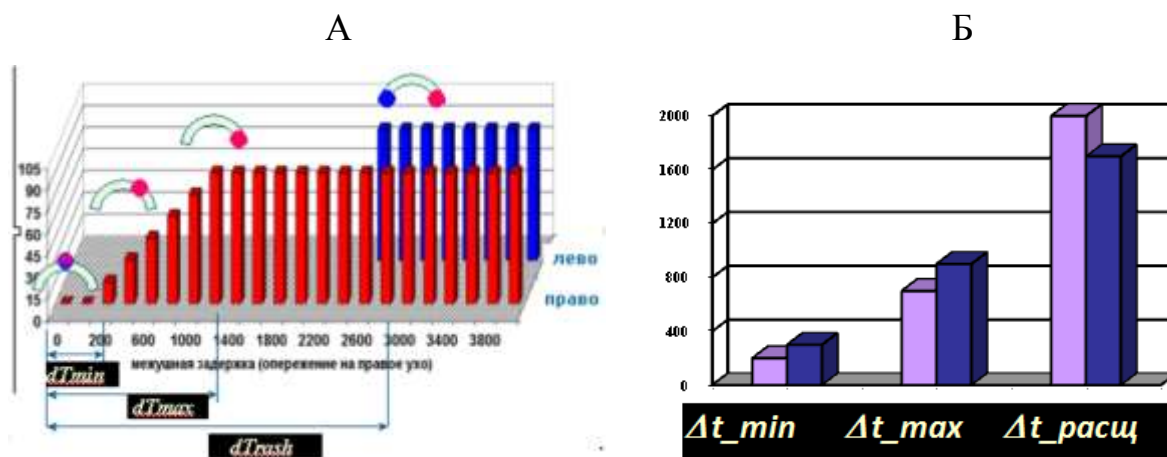


Рис. 23. Пороги латерализации звукового образа при дихотической стимуляции с нарастающей междушной задержкой. По оси X – показатели звуколокализационной функции, по оси Y – интерауральная задержка (мкс).

Светлые столбики - при опережении влево; темные столбики - при опережении вправо.

Пороговые междушные задержки, измеренные при иллюзии смещения источника звука вправо, характеризуют разные степени доминирования левого полушария, а для движения влево - правого полушария. Сопоставляя пороги для одних и тех же моментов латерализации звукового образа, можно вычислить коэффициенты функциональной межполушарной асимметрии:

1. $K_{min} = (\Delta t_{min_пр} - \Delta t_{min_лев}) / (\Delta t_{min_пр} + \Delta t_{min_лев})$
2. $K_{max} = (\Delta t_{max_пр} - \Delta t_{max_лев}) / (\Delta t_{max_пр} + \Delta t_{max_лев})$
3. $K_{rash} = (\Delta t_{расщ_лев} - \Delta t_{расщ_пр}) / (\Delta t_{расщ_лев} + \Delta t_{расщ_пр})$
4. $K_{ac_общ} = \sqrt{AS_{min}^2 + AS_{max}^2 + AS_{rash}^2}$

С более подробным описанием методики компьютерной латерометрии и ее применением в исследовательской и медицинской практики можно ознакомиться в трудах Полевой С.А. [292].

2.4. Психологические опросники и тесты

Оценка уровня эмоциональной дезадаптации (УЭД).

Для оценки УЭД участнику тестирования предлагается указать зону своего текущего состояния в «круговом пространстве состояний» (Рисунок 24, а). 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: а) в безопасности; б) в независимости; в) в достижении; г) в единении (близости). В зависимости от положения указанной зоны определяется количество набранных человеком баллов для каждой потребности (Рисунок 24, б). 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) [256].

Госпитальная шкала тревоги – депрессии.

Описание данной методики приводится из учебного пособия Калягина В.А. [258].

Шкала разработана А. S. Zigmond и R. P. Snaith в 1983 г. [228] для выявления и оценки тяжести депрессии и тревоги в условиях общемедицинской практики. Преимущества обсуждаемой шкалы заключаются в простоте применения и обработки (заполнение шкалы не требует продолжительного времени и не вызывает затруднений у пациента), что позволяет рекомендовать ее к использованию в общесоматической практике для первичного выявления тревоги и депрессии у пациентов (скрининга). Шкала обладает высокой дискриминантной валидностью в отношении двух расстройств: тревоги и депрессии. Для более детальной квалификации состояния и отслеживания его дальнейшей динамики рекомендуется

пользоваться более чувствительными клиническими шкалами (например, шкалой Гамильтона для оценки депрессии (HDRS), шкалой Гамильтона для оценки тревоги (HARS), шкалой Монтгомери—Асберг для оценки депрессии (MADRS), опросником депрессии Бека (BDI).

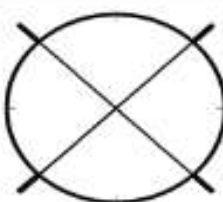
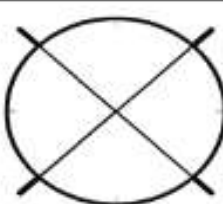
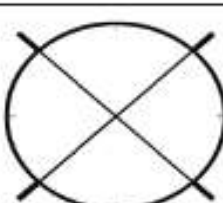


растревоженный (ая) напуганный (ая) устрашенный (ая)		настороженный (ая) обеспокоенный (ая) взволнованный (ая)
замученный (ая) истерзанный (ая) отчаявшийся (ая)		успокоенный (ая) умиротворенный (ая) безмятежный (ая)
озабоченный (ая) перегруженный (ая) перенапряженный (ая)		разгоряченный (ая) возмущенный (ая) рассерженный (ая)
подавленный (ая) угнетенный (ая) скованный (ая)		облегченный (ая) освобожденный (ая) раскрепощенный (ая)
перевозбужденный (ая) исступленный (ая) взвинченный (ая)		настроенный (ая) вдохновленный (ая) воодушевленный (ая)
истощенный (ая) опустошенный (ая) безразличный (ая)		истощенный (ая) опустошенный (ая) безразличный (ая)
расстроенный (ая) уязвленный (ая) разочарованный (ая)		заинтересованный (ая) увлеченный (ая) восхищенный (ая)
покинутый (ая) одинокий (ая) тоскующий (ая)		услажденный (ая) ублаженный (ая) благополучный (ая)
<p>а</p>  <p>б</p>		

Рис. 24. Методика определения уровня эмоциональной дезадаптации: а — вид бланка для тестирования; б — круговая шкала оценки уровня удовлетворенности по базовым потребностям.

Пункты субшкалы депрессии отобраны из списка наиболее часто встречающихся жалоб и симптомов и отражают преимущественно ангедонический компонент депрессивного расстройства. Пункты субшкалы тревоги составлены на основе соответствующей секции

стандартизованного клинического интервью Present State Examination и личного клинического опыта авторов и отражают преимущественно психологические проявления тревоги.

Шкала апробирована авторами на более 100 пациентах соматического стационара (16—65 лет), страдающих различными соматическими заболеваниями. Полученные данные были соотнесены с результатами экспертного оценивания. Далее была проведена проверка шкалы на внутреннюю консистентность и дискриминантную валидность. В завершение анализа валидности шкалы была доказана независимость показателей от специфики и тяжести соматического заболевания.

Шкала составлена из 14 утверждений, обслуживающих 2 подшкалы:

- подшкала А – «тревога»: нечетные пункты 1, 3, 5, 7, 9,11,13;
- подшкала D – «депрессия»: четные пункты 2, 4, 6; 8,10,12,14.

Каждому утверждению соответствуют 4 варианта ответа, отражающие градации выраженности признака и кодирующиеся по нарастанию тяжести симптома от 0 баллов (отсутствие) до 4 (максимальная выраженность).

Выдача испытуемому шкалы сопровождается инструкцией следующего содержания: «Прочитайте внимательно каждое утверждение и в пустой графе слева отметьте крестиком ответ, который в наибольшей степени соответствует тому, как Вы себя чувствовали на прошлой неделе. Не раздумывайте слишком долго над каждым утверждением. Ваша первая реакция всегда будет более верной».

При интерпретации данных учитывается суммарный показатель по каждой подшкале (А и D), при этом выделяются 3 области значений:

- 0-7 баллов — норма;
- 8-10 баллов — субклинически выраженная тревога/депрессия;
- 11 баллов и выше — клинически выраженная тревога/депрессия.

Шкала Спилбергера-Ханина для определения личностной и ситуативной тревожности.

Описание данной методики приводится из учебного пособия Бурлачука Л.Ф. [250].

Тест Спилбергера-Ханина принадлежит к числу методик, исследующих психологический феномен тревожности. Этот опросник состоит из 20 высказываний, относящихся к тревожности как состоянию (состояние тревожности, реактивная или ситуативная тревожность) и из 20 высказываний на определение тревожности как диспозиции, личностной особенности (свойство тревожности).

В данном исследовании использовалась часть теста на определение ситуативной тревожности. Реактивная (ситуативная) тревожность — состояние субъекта в данный момент времени, которая характеризуется субъективно переживаемыми эмоциями: напряжением, беспокойством, озабоченностью, нервозностью в данной конкретной обстановке. Это состояние

возникает как эмоциональная реакция на экстремальную или стрессовую ситуацию, может быть разным по интенсивности и динамичным во времени.

Инструкция к тесту ситуативной тревожности. Обследуемому предлагается — «Прочитайте внимательно каждое из приведенных предложений и зачеркните соответствующую цифру справа в зависимости от того, КАК ВЫ СЕБЯ ЧУВСТВУЕТЕ В ДАННЫЙ МОМЕНТ. Над вопросами долго не задумывайтесь. Обычно первый ответ, который приходит в голову, является наиболее правильным, адекватным Вашему состоянию».

2.5. Методы фиксации внешнего аудиовизуального контекста

Под контекстом мы понимаем динамически развивающуюся совокупность событий внешней сенсорной среды, связанных с конкретной целевой функцией системы. Контекст фиксируется 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 (А,В,С,Д,Е,Ф) 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 посредством программы DebutVideoCaptureoftWare1.50. Фиксация сомато-мимических реакций человека, действующего в виртуальной реальности, производилась через видеозапись лица испытуемого веб-камерой.

2.6. Методы математического анализа ВСР

Для обработки данных использованы спектральные (периодограммный метод) и статистические методы анализа variability сердечного ритма, метод непрерывного вейвлет-преобразования.

Спектральный анализ является одним из важнейших видов анализа временных рядов, который, применительно к вариабельности сердечного ритма, позволяет количественно оценить влияние на работу сердца различных регуляторных систем.

При построении спектра ритмограммы важно учитывать то, что сам сигнал представляет собой не временной ряд амплитуд физической величины, а номерной ряд временных интервалов между соседними событиями QRS в кардиограмме. Принципиально преобразование Фурье не может быть осуществлено непосредственно над ритмограммой из-за неравномерности ее временной шкалы. Необходимо либо преобразовать ряд интервалов во временной ряд, либо адаптировать преобразование для неравномерного ряда.

С учетом специфики кардиосигнала, получаемого в контексте естественной деятельности, а именно наличия в нем свойства нестационарности и большого количества переходных участков, выбран набор специализированных спектральных методов обработки сигналов:

1. Метод непрерывного вейвлет – преобразования (НВП) (вейвлет Морле). НВП использовали для анализа амплитудных модуляций RR-интервалов и спектральных компонент ритмограмм.

Метод оценки амплитудных модуляций спектральных компонент ритмограмм включает следующие шаги:

- 1) Анализ ритмограмм методом НВП, в результате которого получали вейвлет-спектрограмму;
- 2) Выделение на вейвлет-спектрограмме в диапазонах LF и HF узких полос частот (0,005 Гц), в которых рассматривали зависимости вейвлет-коэффициентов (W_2) от времени;
- 3) Статистическая и спектральная оценка полученного временного ряда – $W_2(t)$ – (при этом дополнительным методом оценки выступал периодограммный метод).

2. Для анализа быстрых изменений в структуре сердечного ритма использован динамический спектральный анализ, синтезирующий алгоритмы быстрого Фурье-преобразования и периодограммы Ломба-Скаргла.

Динамический спектральный анализ производился в специализированной программе, построенной в среде LabVIEW. Программа включает описанные ниже операции.

Данные в программу поступают в виде RR-интервалов, далее определяются времена этих RR-интервалов. Для этого производится последовательное действие сложения RR-интервалов, и выставление в соответствие RR-интервала и времени по формуле:

$$T_i = \sum_{k=1}^i rr_k .$$

Результатом этих действий является связанный массив размерностью $2 \times N$, где N - общее количество RR-интервалов в первичных данных.

Пороговая фильтрация.

На основе предположения, что RR-интервалы ни при каких обстоятельствах не могут быть меньше и/или больше определенного значения (например, 200 мс и 2000 мс) производится исключение значений RR-интервалов, не входящих в этот диапазон. При этом при откидывании RR_i интервала происходит исключение T_i времени, причем остальные времена остаются прежними, что позволяет избежать нежелательных смещений времени. Для определения пороговых значений RR-интервалов используется инструмент «Гистограмма», который позволяет определить основной диапазон изменения RR-интервала. Так как подобная пороговая фильтрация - это нелинейная процедура, которая может привести к нежелательной деформации спектра, соответственно, применяется она в крайне редких случаях: $rr_{min} < rr_i < rr_{max}$ □

Основная фильтрация.

На этапе основной фильтрации производится оценка изменения RR-интервала от отсчета к отсчету, деленного на время между значениями. В случае, если это изменение превышает

установленное пороговое значение: $\frac{rr_{i+1} - rr_i}{T_{i+1} - T_i} < dmax$, производится коррекция этого сильно изменившегося RR-интервала, при сохранении времени данного RR-интервала. Из предположения, что основной тип ошибки, встречающийся в ритмограмме - это пропуск отсчета (или нескольких отсчетов), который приводит к двукратному увеличению следующего RR-интервала, производится попытка уменьшения значения RR-интервала в 2 и в 3 раза: $rr_{i+1}/2; rr_{i+1}/3$ при сохранении времени, далее производится повторное сравнение его

изменения относительно предыдущего, $\frac{rr_{i+1}/2 - rr_i}{T_{i+1} - T_i} < dmax$ или $\frac{rr_{i+1}/3 - rr_i}{T_{i+1} - T_i} < dmax$. Если новый измененный RR-интервал попадает в допустимые пределы, мы принимаем полученное делением значение как истинное. В случае, если попытки уменьшения в 2 и в 3 раза значения RR-интервала не приводят к попаданию RR-интервала в допустимые пределы изменения, используется медианная фильтрация, ранг которой выбирается. Рангом медианной фильтрации считается количество значений, которые попадают в окно фильтрации медианного фильтра.

Вычисление динамического спектра.

Метод Ломба-Скаргла позволяет осуществить спектральный анализ непосредственно над неравномерно дискретным сигналом. В его основе лежит методом наименьших квадратов (МНК) - аппроксимация сигнала гармоническими функциями. Пусть у нас имеется некий сигнал X , измеренный N раз через неравномерные промежутки времени, $X_i = X(t_i)$, $i = 1, 2, \dots, N$. Тогда периодограмма Ломба (функция спектральной мощности от частоты $\omega = 2\pi f$) имеет вид:

$$Pn(\omega) = \frac{[\sum_i (X_i - \bar{X}) \cos \omega(t_i - \tau)]^2}{\sum_i \cos^2 \omega(t_i - \tau)} + \frac{[\sum_i (X_i - \bar{X}) \sin \omega(t_i - \tau)]^2}{\sum_i \sin^2 \omega(t_i - \tau)}$$

где τ определяется отношением:

$$tg(2\omega\tau) = \frac{\sum_i \sin 2\omega t_i}{\sum_i \cos 2\omega t_i}$$

Отличительной особенностью метода является то, что оценка данных происходит по самим точкам отсчетов, а не по временным промежуткам, что позволяет сигналу иметь переменный шаг дискретизации. Периодограмма Ломба практически полностью согласуется с обычным преобразованием Фурье неединичных импульсов.

В данной работе динамический спектр ритмограмм вычислялся с шагом в 10 с и окном вычисления спектра 100 с для получения стандартных спектральных параметров. Данные значения были выбраны, исходя из математических правил корректного спектрального анализа, - построение спектра с достаточной точностью по частоте для сигнала с периодом колебаний в диапазоне 0,04 – 0,6 Гц.

В результате мы получаем временную динамику мощностных характеристик спектров колебаний RR-интервалов, а именно: суммарную мощность спектра variability сердечного ритма – TP (мс²), мощность спектра ритмограмм в области низких частот – LF (мс²), мощность спектра ритмограмм в области высоких частот – HF (мс²), соотношение мощностей спектра ритмограмм в области низких и высоких частот (индекс вегетативного баланса) – LF/HF, которые отражают активность коркового, вегетативных (симпатический, парасимпатический) контуров регуляции сердечного ритма и уровень регуляции в целом.

2.7. Статистические методы обработки экспериментальных данных

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 К-средних), дисперсионный анализ (многомерный метод дисперсионного анализа повторных измерений), корреляционный анализ.

3. Результаты экспериментального исследования динамики вегетативной регуляции кардиоритма в различных лабораторных и естественных контекстах

3.1. Вегетативное обеспечение эмоциональных процессов

На данный момент значительно вырос интерес исследователей (нейробиологов, когнитивистов, робототехников и др.) к эмоциям как компоненту информационной системы человека, участвующему в процессах обучения, принятия решений и т.д. [229]. Проблемной зоной остается разработка методов объективной оценки эмоций. В свою очередь, вегетативная регуляция кардиоритма и эмоциональные процессы тесно связаны за счет общей нейрофизиологической основы. Поэтому можно предположить, что существуют вегетативные корреляты эмоциональных процессов. Тогда измерение параметров вегетативной регуляции кардиоритма потенциально может стать инструментом для объективной оценки эмоций.

3.1.1. Выявление вегетативных коррелятов эмоциональной дезадаптации

Результаты наших исследований в этой серии детально описаны в публикациях [294].

Целью данной серии экспериментов явилось изучение динамики спектральных показателей variability сердечного ритма (ВСР) у здоровых лиц в процессе привычной повседневной активности в течение дневного времени суток во взаимосвязи с уровнем эмоциональной дезадаптации. 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 четырёх-балльной шкале.

Для поиска вегетативных коррелятов эмоционального состояния был проведен спектральный анализ динамики мощности LF- и HF-компонентов спектра ВСР. Полученные в результате коэффициенты $A_{(f_{обш})}/A_{(f_{max})}HF$, $A_{(f_{обш})}/A_{(f_{max})}LF$ 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 ($p < 0,05$, критерий Стьюдента) как по показателям эмоциональной дезадаптации, так и по показателям вегетативной регуляции (Рисунок 24, А). Высокий уровень эмоциональной дезадаптации согласуется с низкими коэффициентами спектра II порядка (Рисунок 25, А).

Анализ вегетативной регуляции сердечного ритма в выделенных кластерах показал достоверные различия в показателях мощности LF- и HF-компонентов спектра ВСП. При низком уровне эмоциональной дезадаптации (1 кластер) выше общая мощность спектра и мощность частотных диапазонов LF и HF (Рисунок 25, Б.).

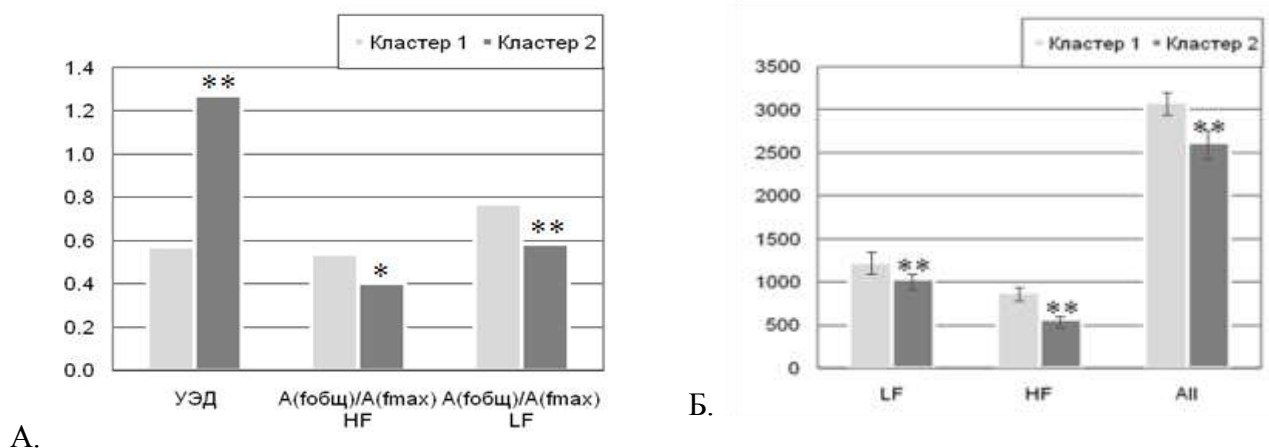


Рис. 25. Различия кластеров: А. - по уровню УЭД и спектральным показателям ВСП II порядка, Б. - по спектральным показателям ВСП I порядка (достоверность межгрупповых различий * < 0.05, ** < 0.01).

Выявлены особенности связи между динамикой эмоционального состояния и динамикой вегетативной регуляции в течение суток в двух кластерах испытуемых (Рисунок 26).

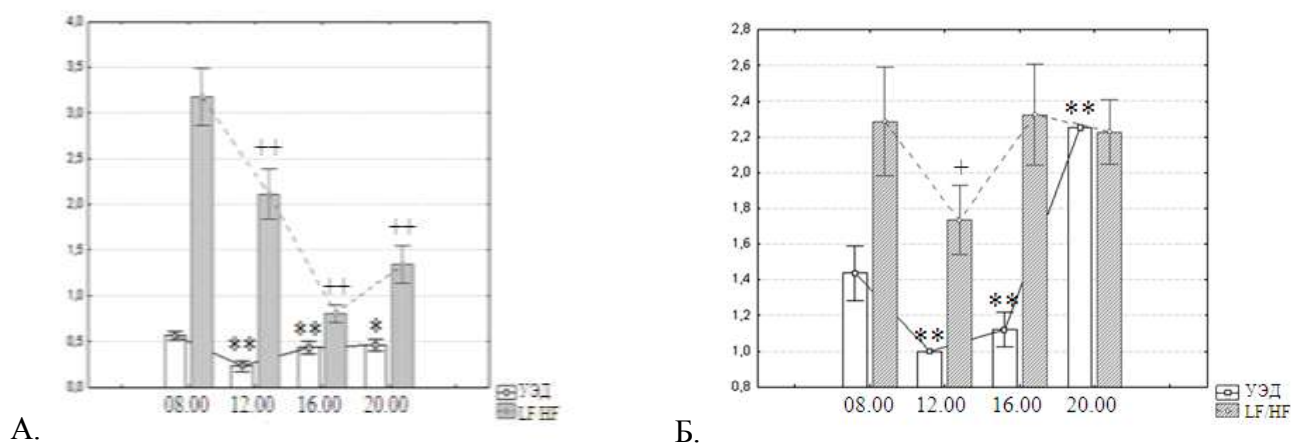


Рис. 26. Суточная динамика показателя УЭД и вегетативного баланса в выделенных кластерах (первый кластер – А, второй кластер – Б) (достоверность различий относительно исходного значения УЭД * < 0.05, ** < 0.01, относительно исходного значения LF/HF+ < 0.05, ++ < 0.01).

В первом кластере (Рисунок 26, 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 (Рисунок 26, 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.

Таким образом, эмоциональная дезадаптация сопровождается устойчивым истощением регуляторных систем организма - снижением спектральных характеристик ВСП: LF, HF, TP, $A_{(f_{общ})}/A_{(f_{max})}HF$, $A_{(f_{общ})}/A_{(f_{max})}LF$. ИВБ у здоровых лиц, находящихся в режиме повседневной активности коррелирует с уровнем эмоциональной дезадаптации. Изменчивость режима вегетативной регуляции в течение суток поддерживает устойчивость эмоционального состояния.

3.1.2. Динамика вегетативной регуляции кардиоритма в контексте публичного выступления

Результаты наших исследований в данной серии детально описаны в публикациях [244].

Публичное выступление – особая форма деятельности в условиях непосредственного общения с аудиторией. В многочисленных экспериментах было выявлено, что факт присутствия слушателей вызывает в человеке возбуждение и напряжение (социальное возбуждение по Майерсу), которое может по-разному влиять на поведение человека. Выступление на публике используется как фрагмент верифицированной методики лабораторного моделирования стресса у человека - Trier Social Stress Test [7].

В данной серии экспериментов была исследована динамика спектральных показателей ВСП при публичном выступлении в контексте естественной деятельности. Выборку испытуемых составили студенты, выступающие с докладами на научных конференциях (42 человека, возраст от 18 до 24 лет).

На рисунке 27 представлены примеры ритмограмм студентов при выступлении с докладом. Как видно из приведенных графиков, публичное выступление вызывает значимое уменьшение RR-интервалов, что совпадает с данными ряда публикаций [47].

При анализе динамики спектральных показателей ВСП было выделено 4 типа динамических структур общей мощности ВСП и ИВБ: 1 тип – снижение общей мощности на фоне повышения ИВБ ($TP\downarrow/LF/HF\uparrow$); 2 тип - снижение общей мощности на фоне снижения ИВБ ($TP\downarrow/LF/HF\downarrow$); 3 тип - повышение общей мощности на фоне снижения ИВБ ($TP\uparrow/LF/HF\downarrow$); 4 тип - снижение общей мощности на фоне относительно стабильного ИВБ ($TP\downarrow$) (Рисунок 28).

Процентное распределение выделенных типов динамических структур общей мощности ВСП и ИВБ приведено на рисунке 3. Выявлено, что типичной для контекста публичного выступления (76% случаев) динамической структурой является снижение общей мощности на фоне возрастания ИВБ (Рисунок 29).

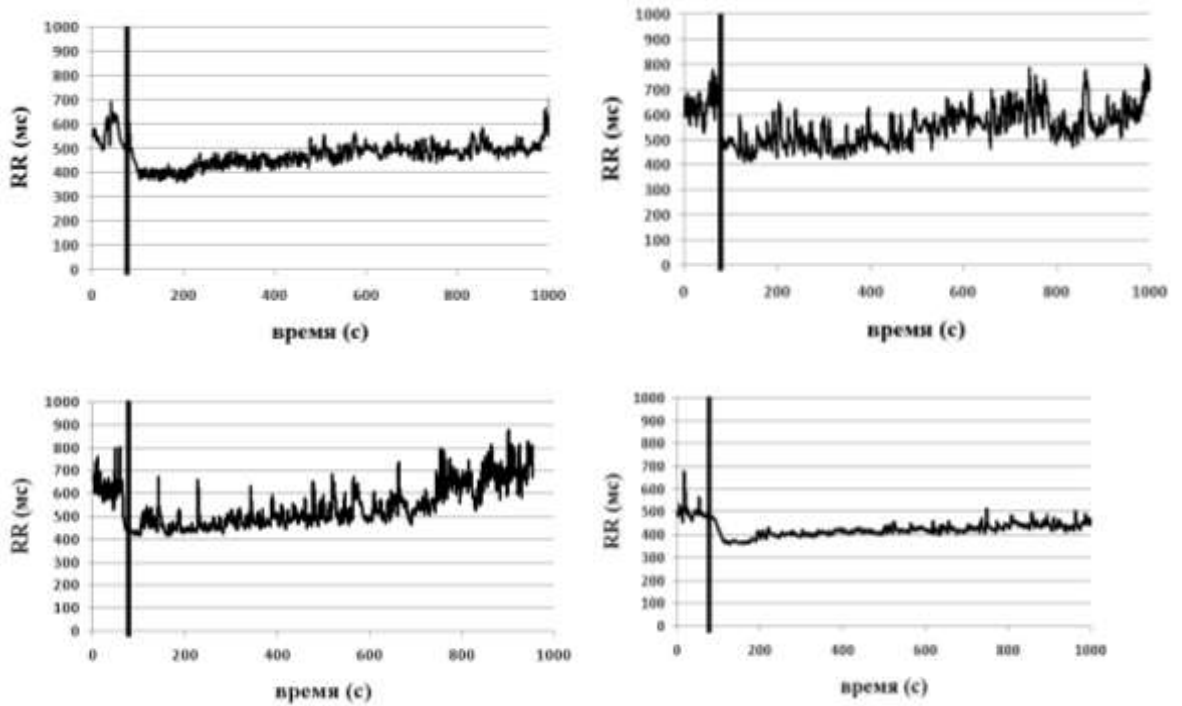


Рис. 27. Примеры ритмограмм студентов при публичном выступлении. Черными вертикальными маркерами отмечен момент начала выступления.

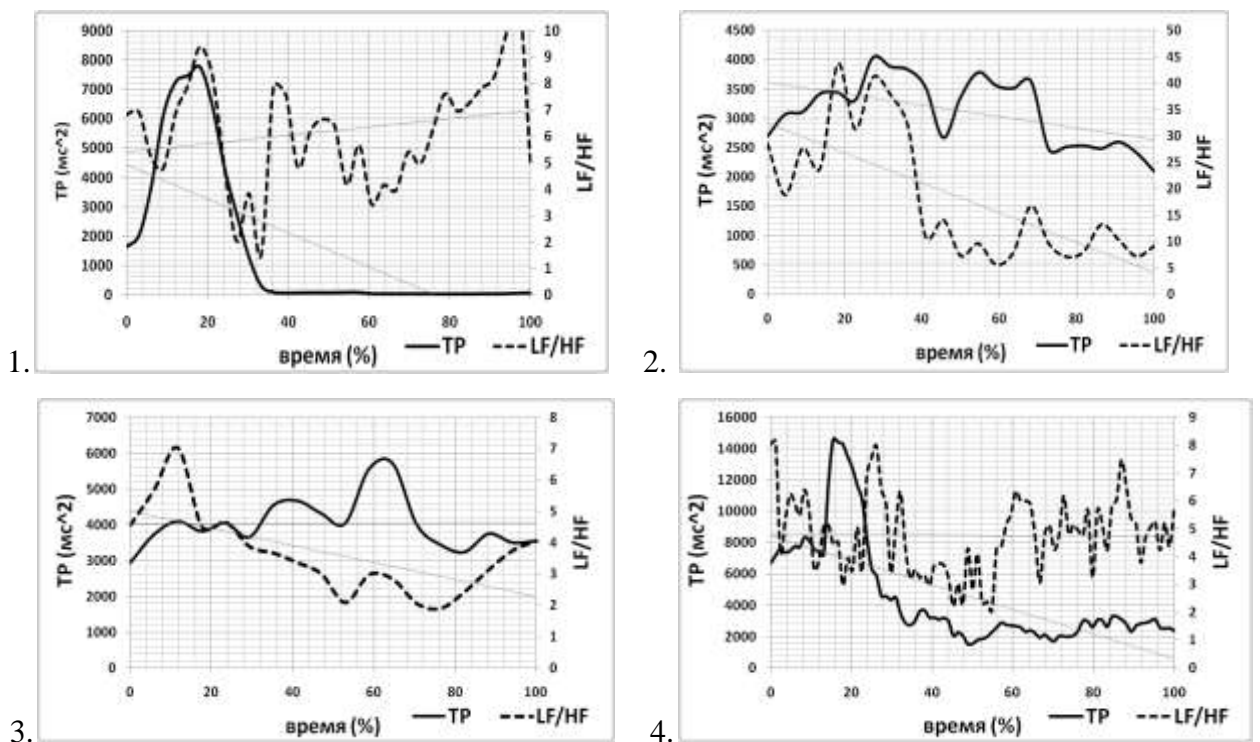


Рис. 28. Выделенные типы динамических структур общей мощности спектра ВСП и ИВБ при публичном выступлении в контексте естественной деятельности: 1. $TP \downarrow LF/HF \uparrow$; 2. $TP \downarrow LF/HF \downarrow$; 3. $TP \uparrow LF/HF \downarrow$; 4. $TP \downarrow$; (ось x – масштабированное время в % относительно времени каждого публичного выступления, принятого за 100%).

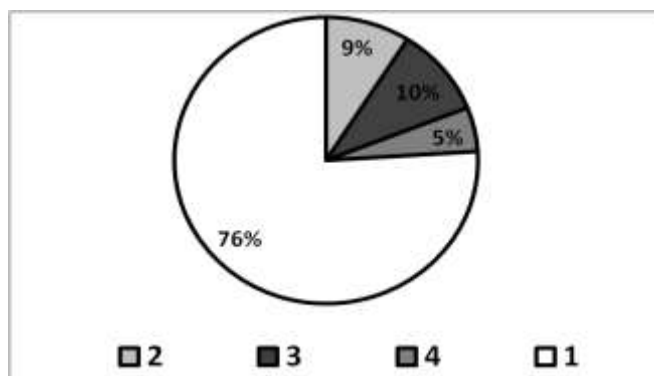


Рис. 29. Процентное распределение типов динамической структуры общей мощности ВСП и ИВБ в выборке испытуемых, наблюдаемых в контексте публичного выступления (1. $TP \downarrow LF/HF \uparrow$; 2. $TP \downarrow LF/HF \downarrow$; 3. $TP \uparrow LF/HF \downarrow$; 4. $TP \downarrow$).

Динамика общей мощности ВСП и ИВБ, усредненная по всем испытуемым с 4 типом динамической структуры (Рисунок 30, А), включает 2 последовательные стадии: 1. возрастание общей мощности ВСП и ИВБ; 2. снижение общей мощности ВСП и возрастание ИВБ. Принципиально важно отметить, что в ИВБ возрастает за счет совместного уменьшения мощности высокочастотного компонента спектра ВСП (HF-компонент) и увеличения мощности низкочастотного компонента спектра ВСП (LF-компонент), то есть является результатом взаимодействия симпатического и парасимпатического автономных контуров регуляции сердечного ритма (Рисунок 30, Б).

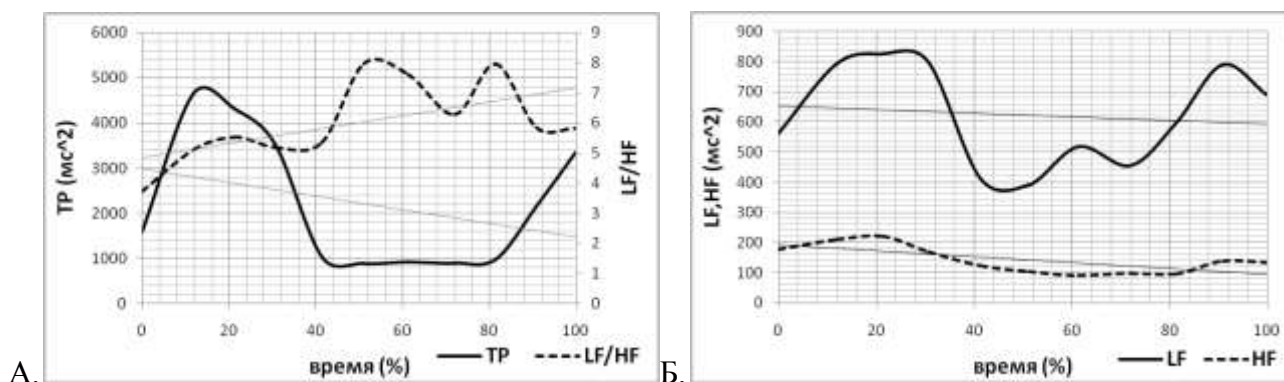


Рис. 30. Средняя динамика спектральных показателей ВСП (А. – TP (мс²), LF/HF; Б. – LF (мс²), HF (мс²)) для испытуемых с 4 типом динамической структуры TP и ИВБ в контексте публичного выступления (ось x – масштабированное время в % относительно времени каждого публичного выступления, принятого за 100%).

Таким образом, чрезмерная эмоциональная нагрузка, вызванная публичным выступлением (в контексте естественной деятельности), которая рассматривается как стресс-фактор, сопровождается 2-стадийной динамикой спектральных показателей ВСП: 1. возрастание общей мощности спектра ВСП и ИВБ, 2. снижение общей мощности спектра ВСП на фоне возрастания ИВБ.

3.2. Вегетативное обеспечение когнитивных функций

В большинстве исследований, связанных с вегетативным обеспечением когнитивных функций, когнитивные нагрузки моделируют с помощью интеллектуальных задач (математические, логические задачи, задачи на память, задачи на внимание и др.), которые актуализируют сложные системные процессы обработки информации [274]. В результате данные исследования, как правило, фиксируют глобальные изменения состояния, не рассматривая структуру физиологических изменений внутри процесса решения задачи. Значительно меньше данных, представляющих быстрые физиологические перестройки, связанные с когнитивной активностью.

3.2.1. Анализ динамики ВСР при когнитивных пробах

Результаты наших исследований в данной серии детально описаны в публикациях [290; 242].

В данной серии экспериментов исследовалась связь между динамикой решения когнитивных задач и структурой вегетативных реакций, обеспечивающих оптимальное выполнение предъявляемых заданий. Функциональные пробы, обеспечивающие актуализацию первичных когнитивных функций и измерение ошибок моторного отображения элементарных сенсорных сигналов, формировались в программно-аппаратной среде Hand-Tracker. Схема эксперимента с перечислением использованных когнитивных компьютерных тестов представлена на рисунке 31. Выборку составили студенты - 25 чел. (70 реализаций). Возраст: 17-24 лет.

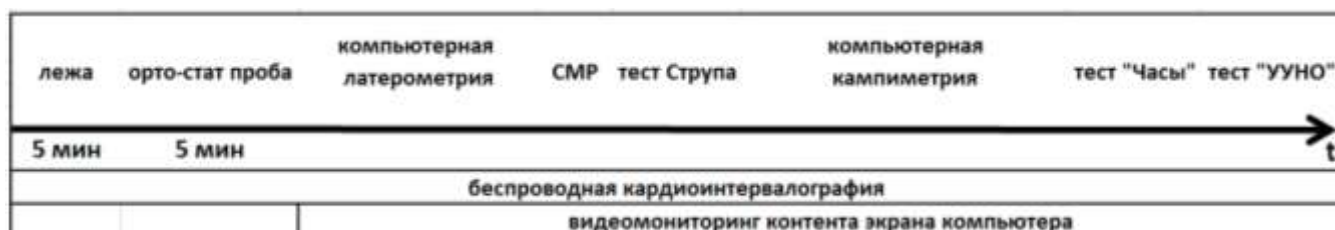


Рис. 31. Схема эксперимента синхронизированного измерения когнитивных и вегетативных функций (СМР – измерение времени сенсомоторных реакций; тест «УУНО» - тест «Управление углом наклона отрезка»).

Принципиально важным является то, что математический инструментарий обработки динамики RR-интервалов включал метод динамического спектрального анализа, что позволило непрерывно оценивать динамику вегетативной регуляции в масштабе, по времени согласованном с динамикой внешних событий.

В результате были детально проанализированы последовательности RR-интервалов, соответствующие прохождению теста компьютерной кампиметрии. 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 виртуальная 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 изменяло оттенок стимула относительно оттенка фона в рамках цветовой модели HLS. 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 ($dRR = \max R - R - \min R - R$) (Рисунок 32). На фазе движения от полной неопределенности к целевому информационному образу при поиске пятна уровень дезорганизации сердечного ритма был достоверно выше ($p < 0,05$, критерий Стьюдента), 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), согласованной с уровнем неопределенности информационного образа.

Таким образом, в ситуации неопределённости уровень дезорганизации сердечного ритма ($dR-R$) достоверно выше по сравнению с ситуациями определенности, что указывает на согласование оперативного управления сердечным ритмом с уровнем неопределенности информационного образа.

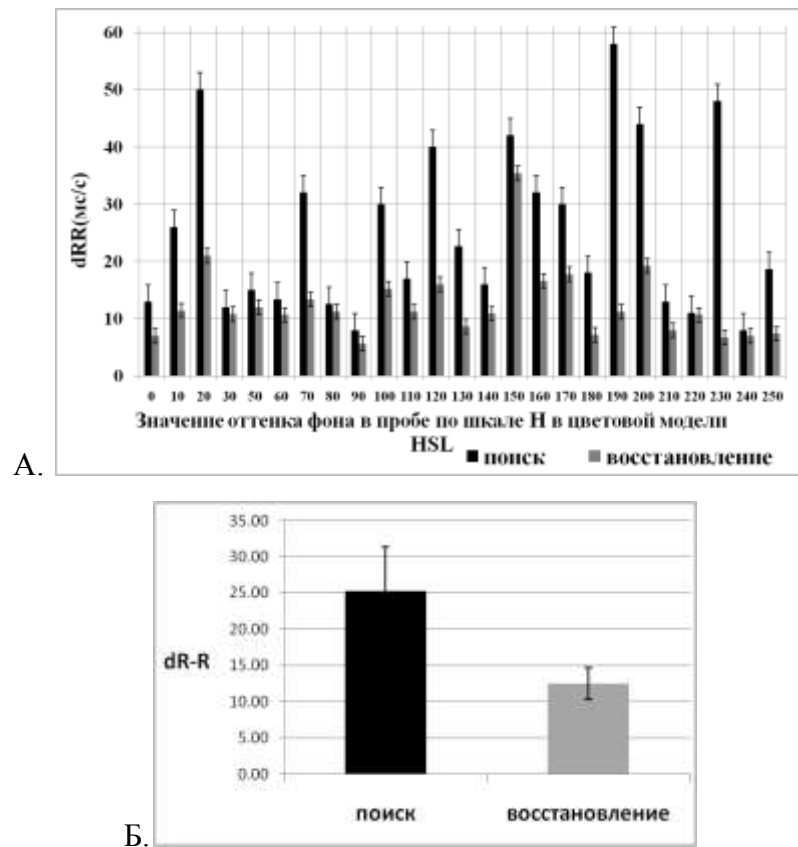


Рис. 32. Связь динамики R-R-интервалов и динамики информационных образов в среде компьютерной кампиметрии. А – R-R-дифференциал ($dRR = \max R-R - \min R-R$) на фазах поиска и уничтожения информационного образа в каждой пробе; Б – средний R-R-дифференциал на фазах поиска и уничтожения информационного образа. Везде $p < 0,05$, t-критерий Стьюдента.

Анализ динамики спектральных показателей ВСП при смене когнитивных проб показал высокую степень пластичности их у здоровых испытуемых при изменении информационного контекста. Так, в результате дисперсионного анализа (линейные модели с повторными измерениями) были выявлены значимые различия дисперсии ($p < 0,05$) параметров ВСП в контекстах разных проб (Рисунок 33, Таблица 5).

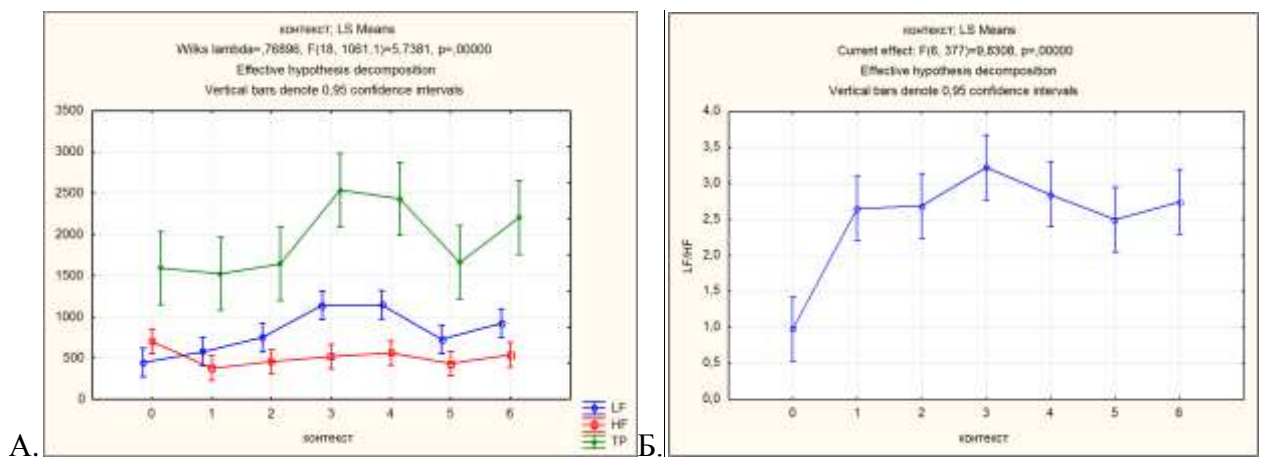


Рис. 33. Динамика параметров ВСП (А – TP (ms^2); LF (ms^2); HF (ms^2), Б – LF/HF) в 6-ти пробах (0 – лежа; 1– компьютерная латерометрия; 2 - компьютерная кампиметрия; 3 - тест Струпа; 4 - тест «Часы с поворотом»; 5 – тест «Управление углом наклона отрезка»; 6 - измерение времени сенсомоторной реакции).

Таблица 5. Средние значения и ошибки средних спектральных показателей ВСР здоровых испытуемых при когнитивных пробах (ККН – контекст когнитивной нагрузки: 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).

ККН	N	LF Ср. ±LF Ст.Ош.	HF Ср. ±HF Ст.Ош.	TP Ср. ±TP Ст.Ош.	LF/HF Ср. ±LF/HF Ст.Ош.
0	55	447,37±53,78	700,94±99,06	1592,34±178,15	0,98±0,10
1	55	578,56±58,32	379,87±55,84	1523,63±170,35	2,66±0,24
2	55	749,50±76,92	457,14±77,59	1645,81±190,79	2,69±0,22
3	55	1141,63±140,11	518,50±84,11	2538,52±283,91	3,22±0,27
4	55	1146,22±105,63	562,92±66,75	2432,60±325,11	2,85±0,23
5	55	726,45±62,42	434,62±54,23	1663,13±147,16	2,50±0,22
6	55	921,04±92,14	540,86±79,12	2205,04±232,14	2,74±0,28

Как видно из рисунка 33 и таблицы 5, режим вегетативной регуляции кардиоритма (если рассматривать его как систему показателей TP, LF, HF, LF/HF) меняется при смене когнитивной пробы, то есть при смене целевой задачи испытуемого. Принципиально, что значимые отличия наблюдаются не только между контекстами покоя и когнитивной нагрузки, но и между отдельными когнитивными пробами, которые не отличаются между собой по уровню сложности (все пробы актуализируют первичные когнитивные функции), а отличаются только по характеру целевой задачи. Вероятно, это результат тонких функциональных перестроек системы.

Таким образом, вегетативная регуляция сердечного ритма подстраивается в короткие сроки под изменения внешнего информационного контекста независимо от моторной активности человека. На основании этого можно предположить, что вегетативное обеспечение когнитивных функций обладает свойством адаптивности: режимы ВСР специфичны для характера когнитивной нагрузки.

3.2.2. Особенности вегетативного обеспечения когнитивных функций при нарушении эндогенной опиоидной системы (ЭОС)

Результаты наших исследований в данной серии детально описаны в публикациях [243].

Исследование особенностей вегетативного обеспечения когнитивных функций при нарушении ЭОС включало ту же экспериментальную схему, которая описана в предыдущей главе. Сравнивались показатели ВСР в двух экспериментальных группах: контрольная - здоровые (студенты) - 25 чел. Возраст: 17-24 лет.; экспериментальная - наркозависимые больные (пациенты наркологической клиники) - 64 чел. Возраст: 20-40 лет.

При этом в выборке наркозависимых параметры имеют меньшую степень изменений от пробы к пробе (Таблицы 6,7,8,9).

В выборке наркозависимых изменения режима вегетативной регуляции минимальны, что говорит о снижении степеней свободы при построении функциональной системы, реализующей достижение полезного результата в конкретных задачах.

По сути этот эффект отражается и в изначальном уровне адаптационных ресурсов организма наркозависимых. Как показано на рисунке 34, наблюдаются значимые различия ($p < 0,05$, критерий Стьюдента) спектральных показателей ВСР в двух группах в контексте лежания. При этом для выборки наркозависимых характерны более низкие значения мощностных параметров ВСР и более высокие значения ИВБ.

Таблица 6. Средние значения мощности низкочастотных колебаний в спектрах ВСР наркозависимых и здоровых (контроль) испытуемых при когнитивных пробах (ККН – контекст когнитивной нагрузки: 0. – лежания; 1– компьютерная латерометрия; 2 - компьютерная кампиметрия; 3 - тест Струпа; 4 - тест «Часы»; 5 – тест «Управление углом наклона отрезка»; 6 - измерение времени сенсомоторной реакции) (* - $p < 0,05$, при сравнении значений наркозависимых и контрольных испытуемых).

ККН	наркозависимые		контроль	
	N	LF Ср.	N	LF Ср.
0	54	233,95*	55	447,37
1	54	318,66*	55	578,56
2	54	275,17*	55	749,50
3	54	383,34*	55	1141,63
4	54	313,87*	55	1146,22
5	54	387,28*	55	726,45
6	54	307,56*	55	921,04

Таблица 7. Средние значения мощности высокочастотных колебаний в спектрах ВСР наркозависимых и здоровых (контроль) испытуемых при когнитивных пробах (ККН – контекст когнитивной нагрузки: 0. – лежания; 1– компьютерная латерометрия; 2 - компьютерная кампиметрия; 3 - тест Струпа; 4 - тест «Часы»; 5 – тест «Управление углом наклона отрезка»; 6 - измерение времени сенсомоторной реакции) (* - $p < 0,05$, при сравнении значений наркозависимых и контрольных испытуемых).

ККН	наркозависимые		контроль	
	N	HF Ср.	N	HF Ср.
0	54	203,77*	55	700,94
1	54	109,9*	55	379,87
2	54	80*	55	457,14
3	54	99,95*	55	518,50
4	54	96,02*	55	562,92
5	54	106,8*	55	434,62
6	54	100,63*	55	540,86

Таблица 8. Средние значения общей мощности спектров ВСР наркозависимых и здоровых (контроль) испытуемых при когнитивных пробах (ККН – контекст когнитивной нагрузки: 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) (* - $p < 0,05$, при сравнении значений наркозависимых и контрольных испытуемых).

ККН	наркозависимые		контроль	
	N	TP Ср.	N	TP Ср.
0	54	765,88*	55	1592,34
1	54	1017,49*	55	1523,63
2	54	586,45*	55	1645,81
3	54	938,76*	55	2538,52
4	54	612,54*	55	2432,60
5	54	852,12*	55	1663,13
6	54	933,37*	55	2205,04

Таблица 9. Средние значения ИВБ наркозависимых и здоровых (контроль) испытуемых при когнитивных пробах (ККН – контекст когнитивной нагрузки: 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) (* - $p < 0,05$, при сравнении значений наркозависимых и контрольных испытуемых).

ККН	наркозависимые		контроль	
	N	LF/HF Ср.	N	LF/HF Ср.
0	54	1,87	55	0,98
1	54	5,28*	55	2,66
2	54	6,16*	55	2,69
3	54	6,15*	55	3,22
4	54	5,57*	55	2,85
5	54	4,83*	55	2,50
6	54	4,67*	55	2,74

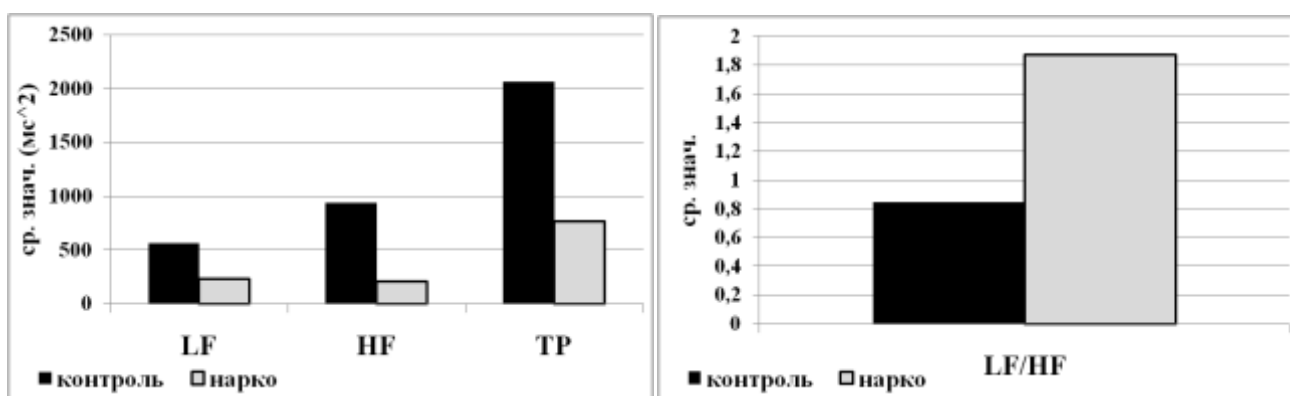


Рис. 34. Средние значения спектральных показателей ВСР наркозависимых и здоровых испытуемых в контексте лежа (везде $p < 0,05$, критерий Стьюдента).

Подобная динамика проявляется и в показателях сверхвысокочастотной области спектра ВСР (0,6- 2 Гц). На рисунке 35 представлены примеры спектров ритмограмм для испытуемых обеих групп. Можно заметить, что, во-первых, правая граница спектров для испытуемых

группы наркозависимых располагается около 1,6-1,8 Гц, в то время как для испытуемых контрольной группы – граница спектра менее 1,25 Гц. Во-вторых, мощность сверхвысокочастотной составляющей спектра в группе наркозависимых значительно ниже.

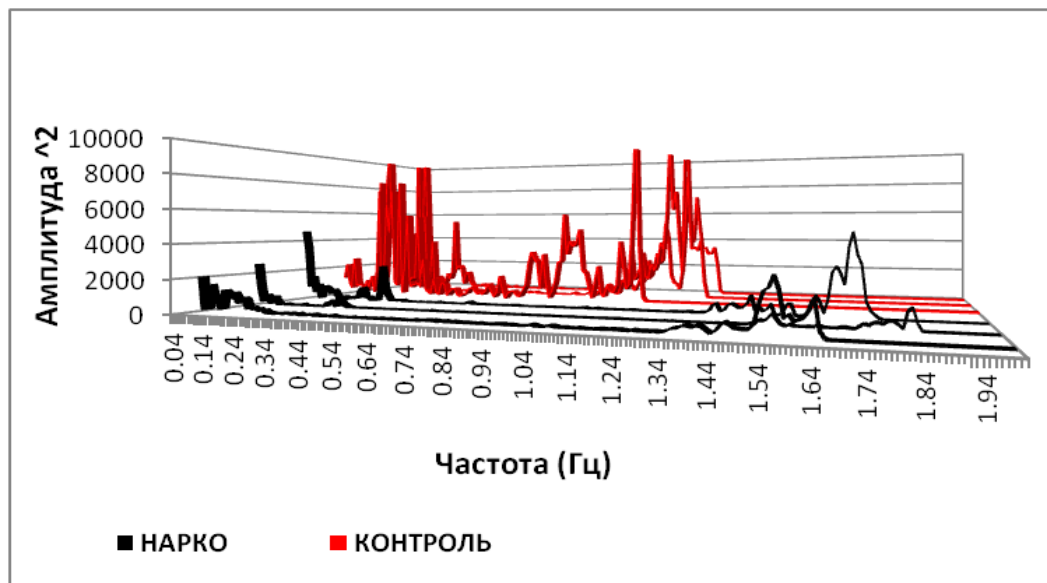


Рис. 35. Примеры спектров ВСР испытуемых из групп контроля и наркозависимых.

Наблюдаемые визуально отличия подтвердились при статистическом сравнении выборок показателей сверхвысокочастотного диапазона спектра ВСР ($p < 0,05$, критерий Стьюдента) (Рисунок 36).

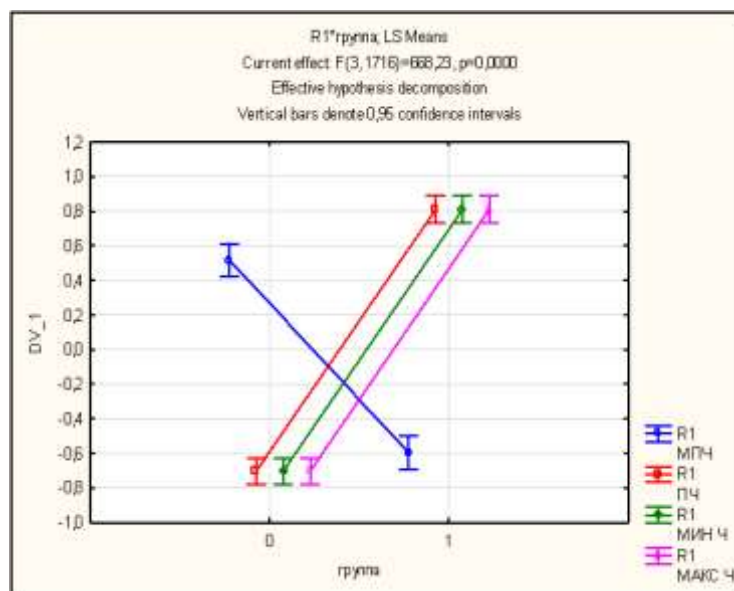


Рис. 36. Средние значения показателей сверхвысокочастотной области спектра ВСР в группе здоровых – 0 и наркозависимых – 1 испытуемых (значения вычислены по стандартизованным (Z-стандартизация) данным).

Используя значения показателей из данного диапазона (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 (Рисунок 37). Таким образом, удалось выделить границы показателей сверхвысокочастотной области спектра ВСР, специфичные для обеих выборок (Таблица 10).

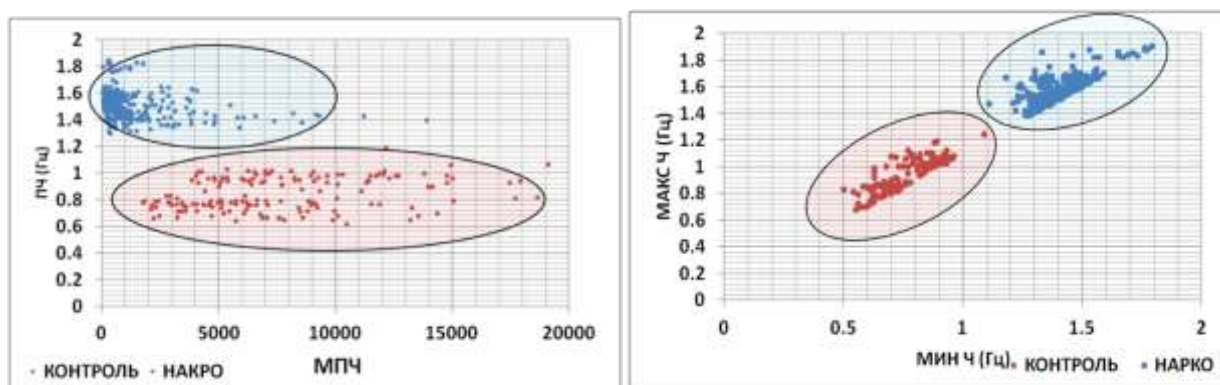


Рис. 37. Расположение 2-х кластеров: кластер «контроль» – здоровые испытуемые (чувствительность – 53%, специфичность – 100%), кластер «нарко» – наркозависимые испытуемые (чувствительность - 92%, специфичность – 83%) в пространстве параметров сверхвысокочастотной области спектра ВСР.

Таблица 10. Средние значения и ошибки средних показателей сверхвысокочастотной области спектра ВСР в группах здоровых испытуемых и наркозависимых (* - $p < 0,05$, критерий Стьюдента).

кластер	МПЧ ($мс^2$)*	ПЧ (Гц)*	Мин Ч (Гц)*	Макс Ч (Гц)*
«нарко»	1320,33±1796,09	1,51±0,11	1,41±0,11	1,58±0,1
«контроль»	8067±4772,0	0,85±0,12	0,76±0,13	0,93±0,12

Таким образом, при разрушении регуляторной функции эндогенной опиоидной системы (ЭОС) (группа наркозависимых) дисперсия параметров ВСР значимо ниже, то есть система становится менее лабильной и не меняет свои настройки при изменении внешнего информационного контекста. То есть подавление регуляторной функции ЭОС снижает уровень адаптивности вегетативной регуляции. Показатели сверхвысокочастотной области спектра ВСР (0,6-2 Гц) обладают высокой чувствительностью и специфичностью при распознавании состояния ЭОС.

В тесте «Часы» испытуемому предлагалось задание: установить часовую стрелку на пустом циферблате на определенное время. Далее, после выполнения данного задания, испытуемому предъявлялось значение ошибки, допущенной им, после чего у испытуемого есть выбор: перейти к следующему заданию, или повторить это задание снова. В инструкции изначально оговаривалось, что испытуемый может сколь угодно много раз повторять одну и ту же пробу до тех пор, пока не достигнет удовлетворяющего его результата, удовлетворяющей величины ошибки «установленного времени» (Рисунок 38).

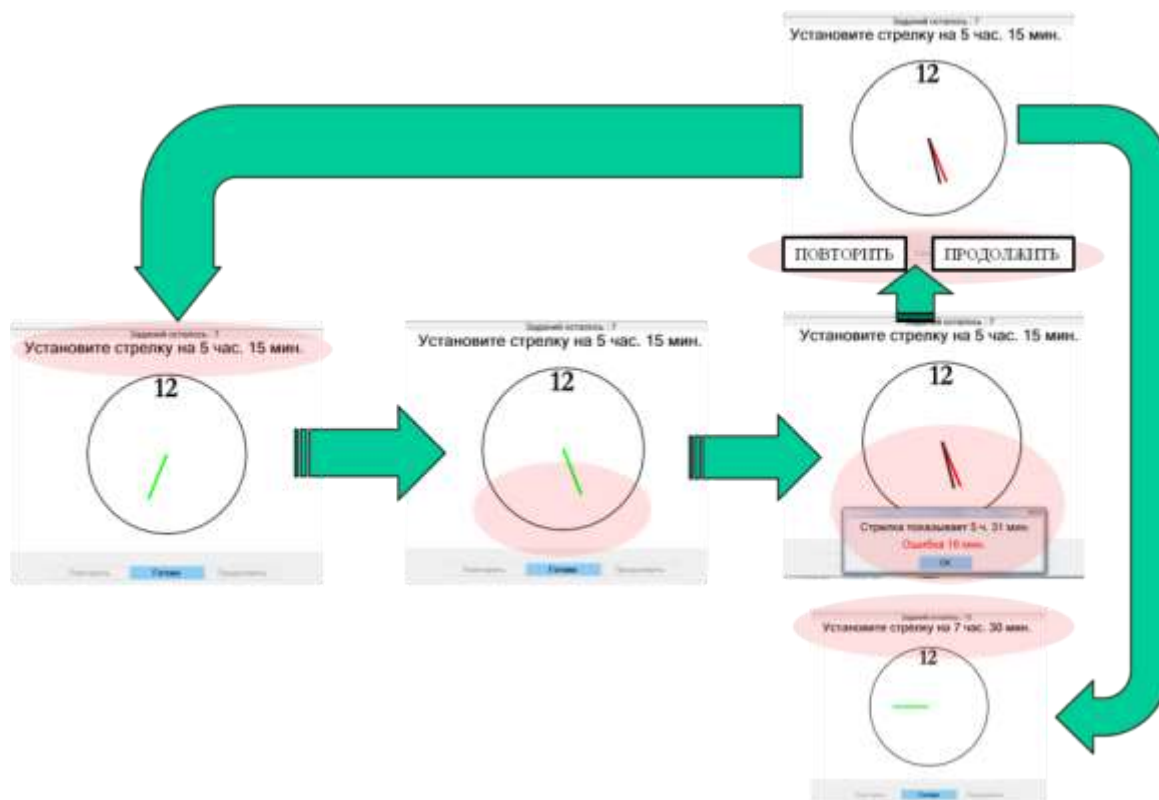


Рис. 38. Схема теста «Часы».

Таким образом, тест «Часы» моделирует процесс принятия решения на основе информации о рассогласовании заданного времени и установленного. По результатам данного теста были выявлены следующие особенности.

Динамики ошибок «установленного времени» при повторении проб одного задания (циклов обратной связи) разделились на два типа: линейные (снижение ошибки установленного времени при повторении пробы), нелинейные (циклическое (уменьшение - увеличение) изменение ошибки «установленного времени» при повторении пробы) (Рисунок 39).

При этом наблюдаются значимые различия в распределениях типов динамики ошибок в группах наркозависимых и контроля (Рисунок 40). В экспериментальной группе наиболее представлена нелинейная динамика ошибок – циклическое приближение к удовлетворяющему результату, в то время как в группе контроля наиболее распространена линейная динамика.

Кроме того обнаружено, что испытуемые в экспериментальной группе, в случаях если не удастся с первой попытки достигнуть нулевой ошибки, предпринимают большее количество попыток и добиваются в конечном итоге меньших ошибок «установленного времени». Большинство из них переходят к следующему заданию только при нулевой ошибке, в то время как большинству испытуемых из контрольной группы для перехода к следующему заданию достаточны ошибки от 2-х до 4-х мин (Рисунок 41). Этот эффект, возможно, отражает большую направленность испытуемых из экспериментальной группы на достижение результата, чем на избегание неудачи.

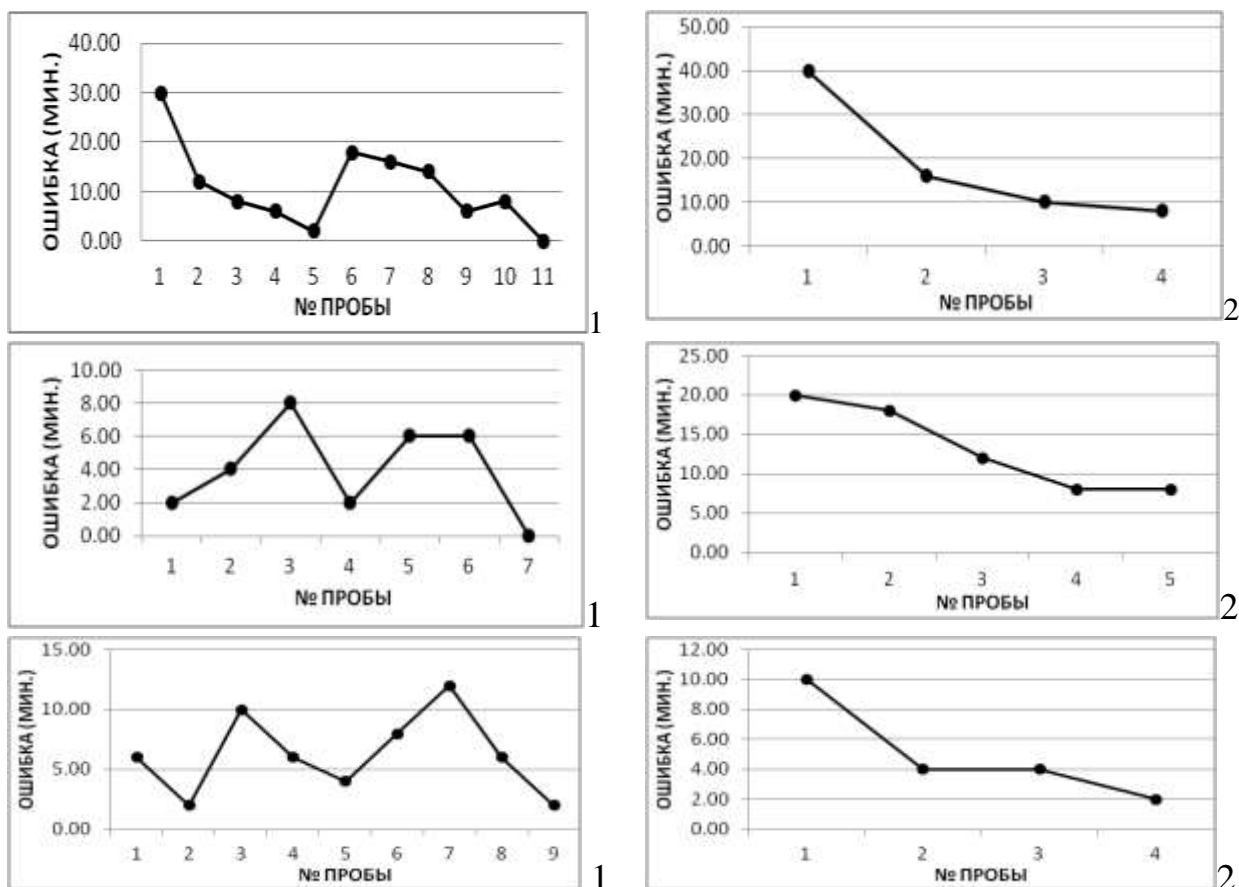


Рис. 39. Примеры динамики ошибок установленного времени при повторении проб: 1. – нелинейная динамика; 2. – линейная динамика.



Рис. 40. Диаграммы распределения типов динамики ошибок установленного времени в двух группах испытуемых.

Данный эффект предположительно может быть связан с участием ЭОС в управлении сигналами о рассогласовании, а именно их прерывании. Тогда нарушение ЭОС (группа наркозависимых) ведет к повышению субъективной значимости внешних объективных рассогласований.

При измерении времени сенсомоторной реакции испытуемым предъявлялись серии из 10 щелчков. При этом межстимульный интервал (МСИ) в каждой серии был постоянным и менялся от серии к серии с 5000 мс до 200 мс, для того что бы определить минимальный МСИ,

то есть тот МСИ, при котором человек безошибочно реагирует на стимулы (отсутствуют реакции до стимула и пропущенные стимулы). Таким образом, минимальный МСИ – это показатель, который отражает быстрдействие информационной системы человека.

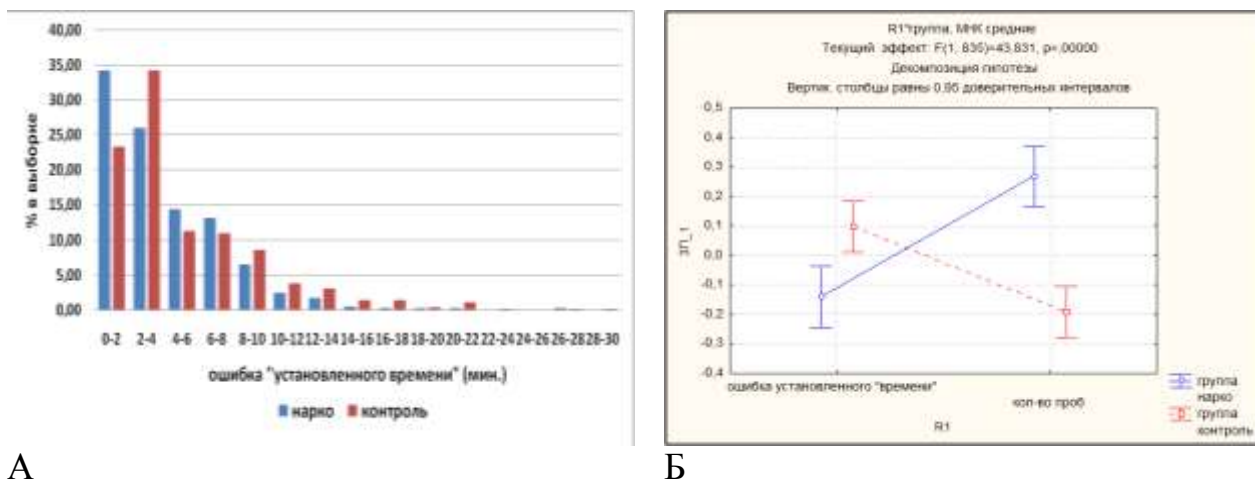


Рис. 41. А - Гистограмма величины ошибок «установленного времени» при переходе к следующему заданию в пробах, в которых при первой попытке ошибка составляла больше 0, в группах наркозависимых и контроля; Б - средние значения ошибок «установленного времени» при переходе к следующему заданию и количества попыток в группах наркозависимых и контроля.

В результате выявлено, что испытуемые из экспериментальной группы способны безошибочно реагировать при предъявлении событий с частотой 5 Гц (при МСИ=200 мс), тогда как предел быстрдействия испытуемых из выборки контроля - 2,5 Гц (при МСИ=550 мс) (Рисунок 42).

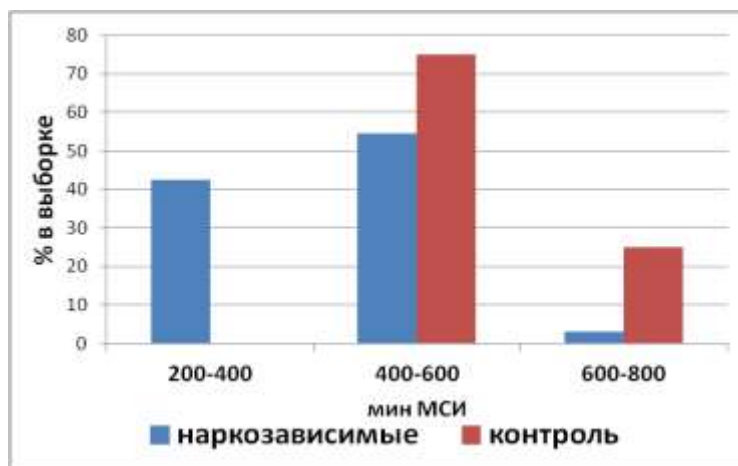


Рис. 42. Гистограмма распределения значений мин. МСИ в группах наркозависимых и контроля.

При этом наблюдается значимое увеличение времени моторного компонента реакции в группе наркозависимых (Рисунок 43).

Что касается не простой сенсомоторной реакции, а контекста сенсомоторной реакции выбора, реализованного в тесте Струпа, то в группе наркозависимых наблюдается достоверно более высокие времена реакций (Рисунок 44).

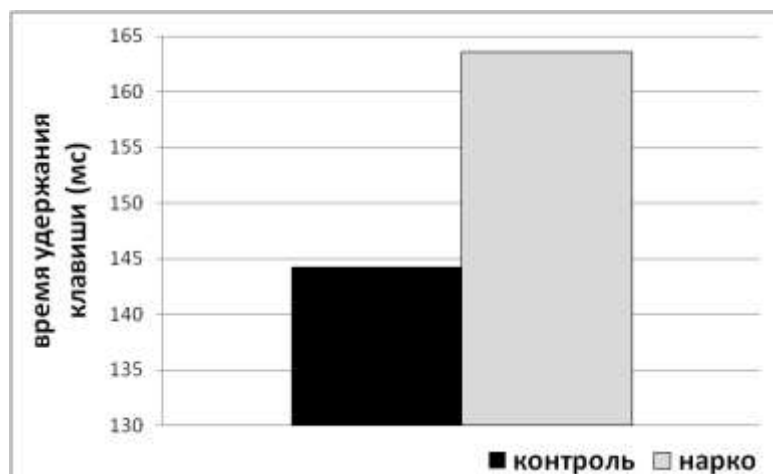


Рис. 43. Среднее время моторного компонента реакции в группах наркозависимых и контроля, $p < 0,05$, критерий Стьюдента.

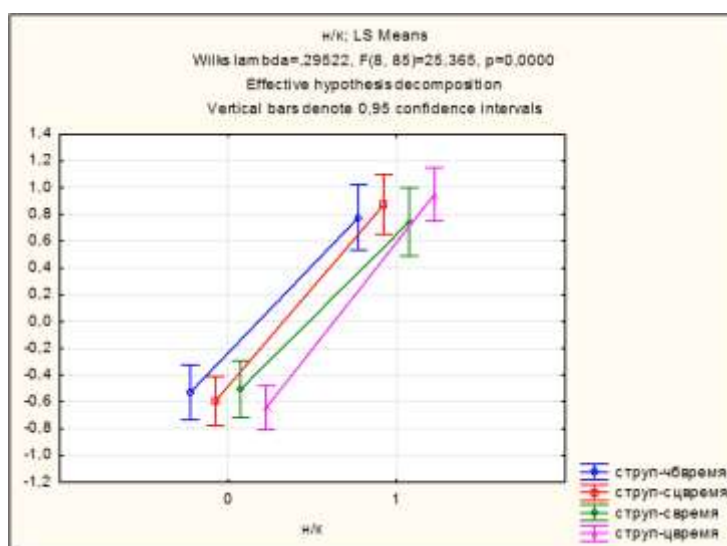


Рис. 44. Средние значения времени реакции в 4-х пробах теста Струпа. Ось X - группы: 0 – контроль; 1 – наркозависимые; ось Y – средние значения времени реакции, подсчитанные по стандартизованным данным (Z-стандартизация).

Таким образом, при нарушении ЭОС наблюдаются следующие особенности когнитивных процессов человека: 1. повышение быстродействия при простых сенсомоторных реакциях; 2. повышение требований к точности управления; 3. повышение времени моторного компонента сенсомоторной реакции на стимул; 4. увеличение времени сенсомоторных реакций выбора.

3.2.3. Анализ динамики ВСП при информационной нагрузке в виртуальной компьютерной среде

В данной серии экспериментов исследовалась связь между структурой поведенческой активности человека в виртуальной компьютерной среде и структурой вегетативных изменений в контексте закономерной и случайной динамики информационных образов.

Эксперименты включали измерение кардиоритма и внешнего аудиовизуального контекста в сложной динамической информационной среде. Данная среда реализована через 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» принимались 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.

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 ($TP\downarrow$, $LF/HF\uparrow$) (Рисунок 45). На рисунке 45 показана динамика спектральных показателей ВСП при прохождении 3-х раундов в гонки испытуемым. Важно сказать, что 1-й и 3-й раунды закончились победой испытуемого, 2-й – проигрышем.

Стоит отметить, что наблюдаемая динамика $TP\downarrow$, $LF/HF\uparrow$ в первых трех случаях связана с объективным рассогласованием (ошибки, проигрыш), в четвертом случае объективное рассогласование отсутствует – динамическая структура запускается с началом 3-го раунда, поэтому можно предположить, что в данном случае это результат чрезмерного субъективного рассогласования, или предсказания рассогласования (проигрыша).

Таким образом, ситуации рассогласований и ошибок управления информационными образами в виртуальной компьютерной среде вызывают снижение общей мощности спектра ВСП на фоне возрастания ИВБ. При этом такое напряжение регуляторных систем в данном контексте лишено биологической целесообразности и ведет к неоправданной редукции физиологической системы, характерной для стресса.

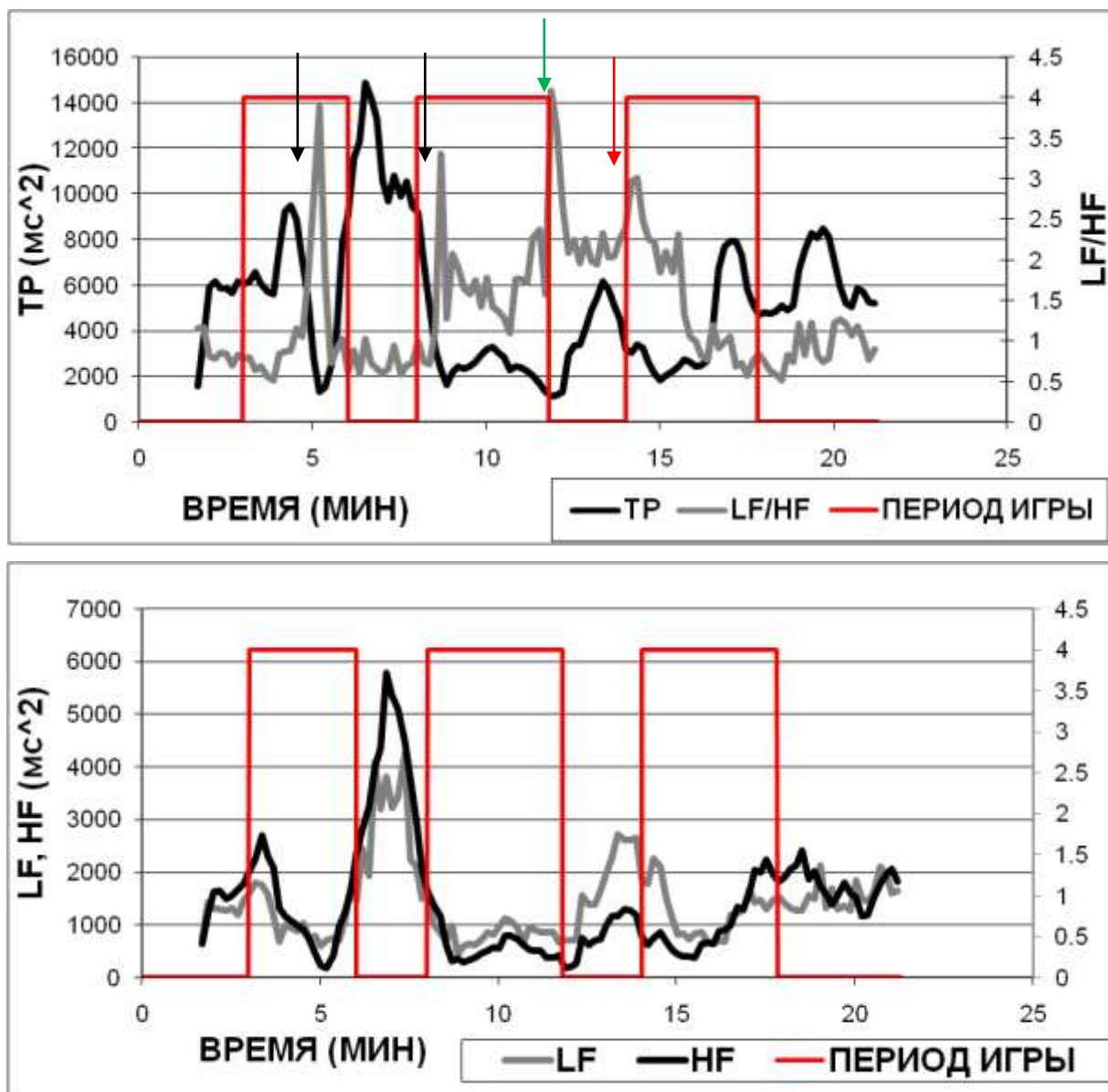


Рис. 45. Динамика спектральных показателей ВСР при игре в гонки: 1-й раунд – победа, 2-й – проигрыш, 3-й – победа. Стрелками обозначены моменты динамики (TP↓, LF/HF↑), которые соответствуют динамике внешнего контента: черные – ошибкам игрока; зеленая – окончание раунда проигрышем; красная – начало 3-го раунда.

3.2.4. Динамика вегетативной регуляции кардиоритма программистов в течение рабочей смены

Результаты наших исследований в данной серии детально описаны в публикациях [291; 277].

В данной серии экспериментов была обследована группа инженеров-программистов в процессе рабочего дня. Все обследуемые занимались умственным трудом, характеризующимся интеллектуальными и сенсорными монотонными нагрузками, при длительном использовании (до 6 часов и более) видеодисплейных терминалов. Исследование включало дискретный и

непрерывный режимы регистрации кардиосигналов. 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 популяционной оценке измеренных и расчётных показателей variability сердечного ритма на момент начала рабочего дня выяснилось, что более 85% испытуемых имеют значительные отклонения от нормы [125] таких базовых параметров кардиоинтервалограммы, как общая мощность спектра variability сердечного ритма, мощность LF-компонента спектра, ИВБ и, в ряде случаев, мощность HF-компонента спектра ВСР. Характерно, что выраженность нарушений вегетативной регуляции оказалась статистически значимо ($p=0,04$) больше в группе со стажем работы 10 и более лет. На рисунке 46 представлено распределение испытуемых в выборке по динамике наличия или отсутствия в показателях ВСР отклонений от нормы (0 - нет отклонений; 1 – есть отклонения) за 3 среза в течение рабочего дня.

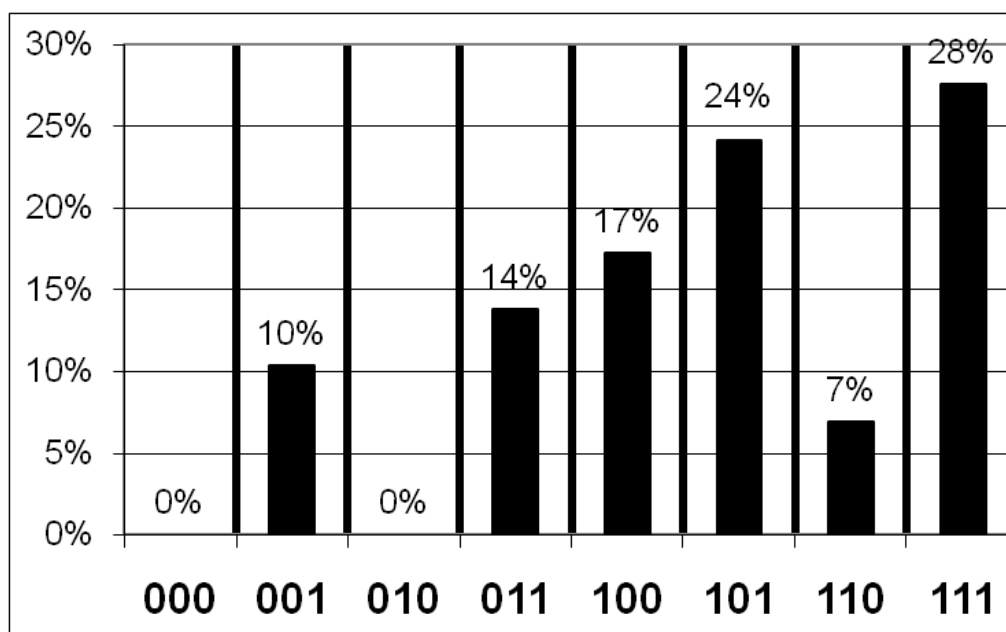


Рис. 46. Распределение динамики функциональных состояний в течение одного рабочего дня в условиях интенсивной информационной нагрузки в исследуемой группе по оси X - коды состояний (0 – норма, 1 – отклонения от нормы в начале, середине и конце смены, соответственно); по оси Y - доля в популяции из 29 человек.

К середине рабочего дня выраженность вегетативных нарушений незначительно уменьшалась, однако в конце смены вновь достигала исходных значений. Наиболее существенным было падение показателя общей мощности спектра variability сердечного ритма (Рисунок 47), причем средний стаж работников со значимым снижением этого параметра

составил $8,3 \pm 2,7$ года против $5,4 \pm 1,5$ ($p=0,02$) у инженеров с сохранением нормального уровня общей мощности спектра variability сердечного ритма. При этом в обследуемой возрастной группе достоверных корреляций наблюдаемых отклонений от возраста не выявлено. Эти настораживающие данные подтверждают известный тезис о хронизации стресс-индуцированных нарушений при систематических информационных нагрузках.

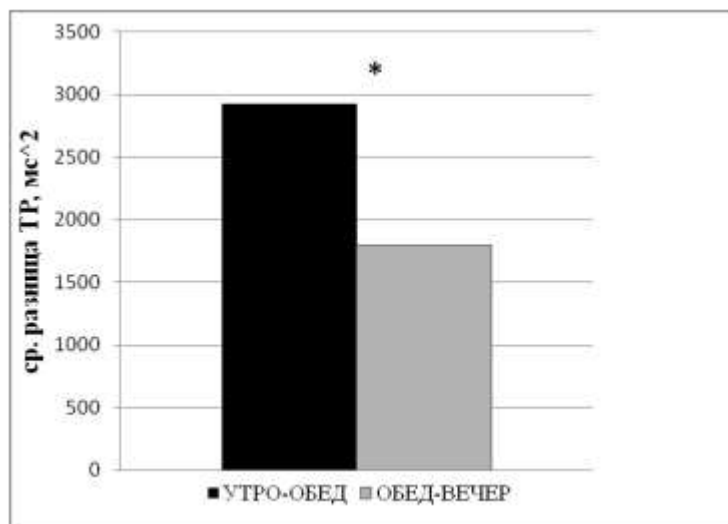


Рис. 47. Средневыборочное изменение общей мощности variability сердечного ритма (TP) в течение рабочего дня. * – $p < 0,05$.

В целом, регрессионный анализ динамики практически всех базовых показателей, характеризующих вегетативную регуляцию сердечной деятельности, позволил выявить линейный характер связей между этими показателями, зарегистрированными в начале рабочего дня и в его середине, или в середине дня и в конце рабочей смены (Рисунок 48). Это свидетельствует о значительной прогностической ценности начальных параметров вегетативной регуляции для оценки уровня работоспособности и стрессоустойчивости операторов сложных информационных систем на протяжении рабочей смены.

При дальнейшем анализе полученных данных это предположение получило существенное подкрепление. Разделив всю популяцию обследованных по динамике показателя общей мощности спектра variability сердечного ритма на группы с выраженным падением этого показателя к концу смены и сохранением данного интегрального параметра на уровне нормы, мы убедились в возможности прямого прогнозирования динамики функционального состояния испытуемых по уровню начальных показателей регуляции. При этом наиболее информативными, по нашим результатам, параметрами оказались как нативные (TP, LF), так и структурные и расчетные (LF/HF, %LF, %HF, ЧСС, R-R_{min}, RRNN) показатели variability сердечного ритма. Например, если в группе, характеризующейся нормальным функциональным состоянием в конце смены, показатели TP и LF/HF и в начале рабочего дня соответствовали

норме (Рисунок 49), то в группе с выраженным финальным истощением регуляторных ресурсов эти параметры и в начале смены были значимо снижены.

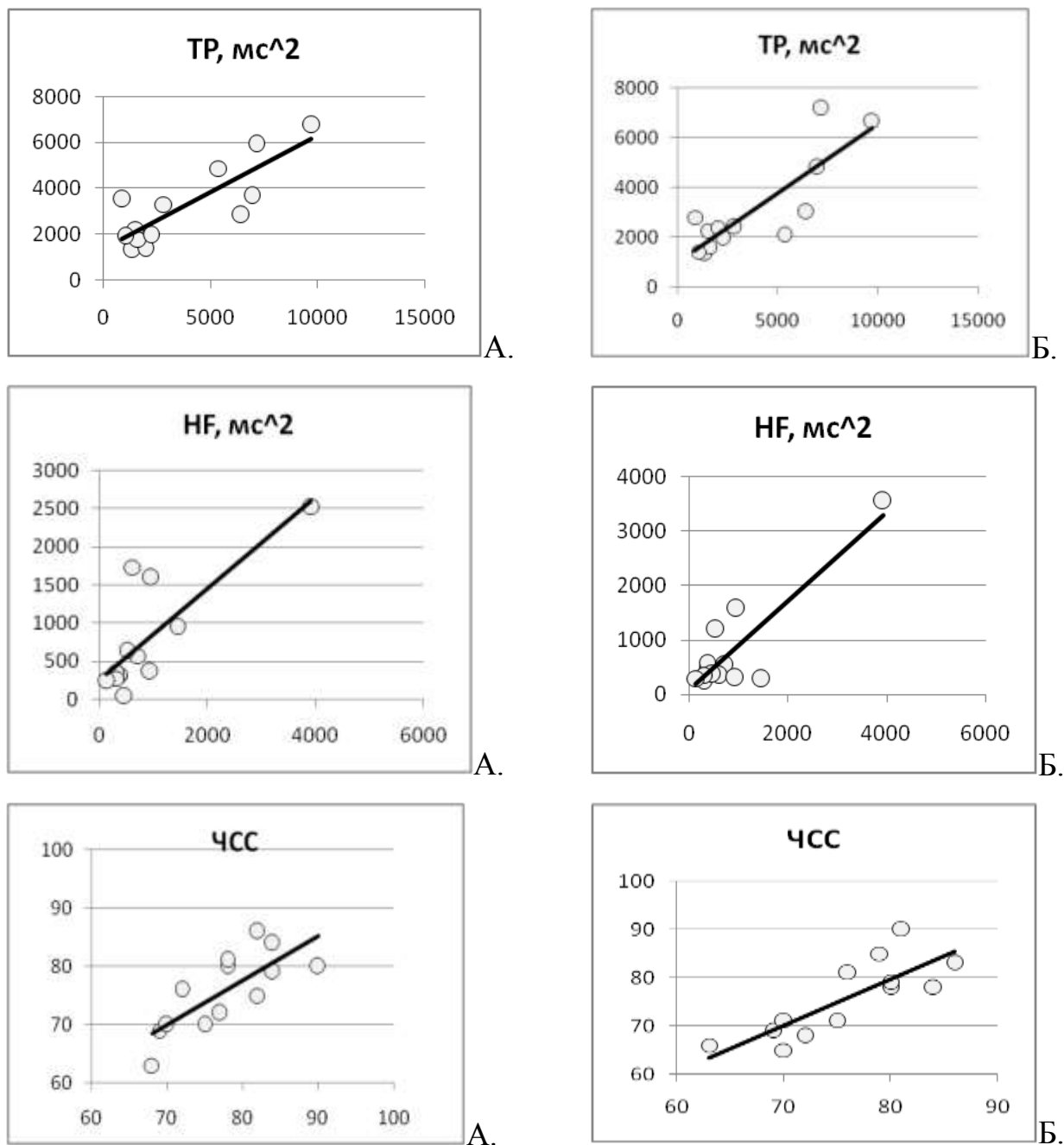


Рис. 48. Линейный характер связей между значениями показателей ВСП в начале и середине рабочего дня (А), в середине и в конце рабочего дня (Б).

Однако нетрудно заметить, что выявленные закономерности, при всей их ценности, имеют исключительно популяционный, статистический характер. Для персонифицированного мониторинга на втором этапе экспериментальной серии была использована технология беспроводного неинвазивного мониторинга вариабельности сердечного ритма.

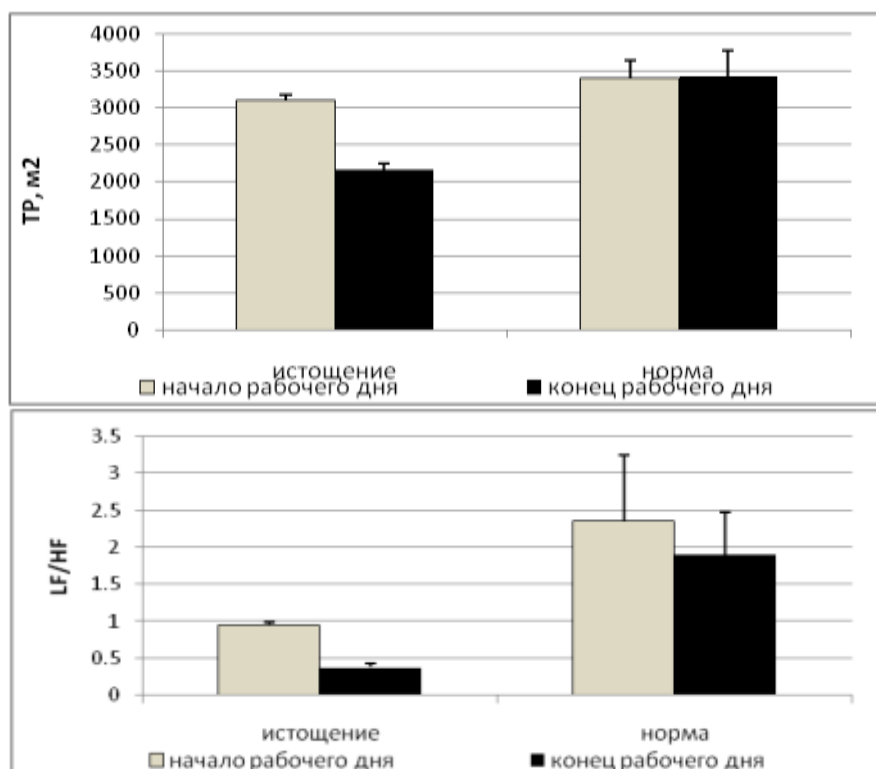


Рис. 49. Динамика изменений показателя общей мощности спектра (TP) и индекса ваго-симпатического взаимодействия (LF/HF) в течение рабочей смены.

В целом, полученные на этом этапе результаты подтвердили наши предположения. Так, при мониторинге 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. Также было отмечено, что у лиц, проводящих в середине рабочего дня физкультурную паузу, общее физиологическое напряжение во второй половине рабочего дня было ниже, чем в первой ($p < 0,01$).

Однако в процессе исследования был обнаружен ряд индивидуальных особенностей, не укладывающихся в обобщённую статистическую картину: почти у четверти обследованных характер динамики параметров вегетативной регуляции сердечного ритма при непрерывном мониторинге отличался от усреднённых популяционных показателей, полученных при дискретных измерениях. Например, при сходных начальных параметрах ВСП (Рисунок 50), его динамика в течение рабочего дня существенно различалась у двух испытуемых, что в итоге привело к сохранению нормальной регуляторной функции у одного из обследованных (Рисунок 50, Б) и грубым нарушениям регуляции сердечной деятельности – у другого (Рисунок 50, А).

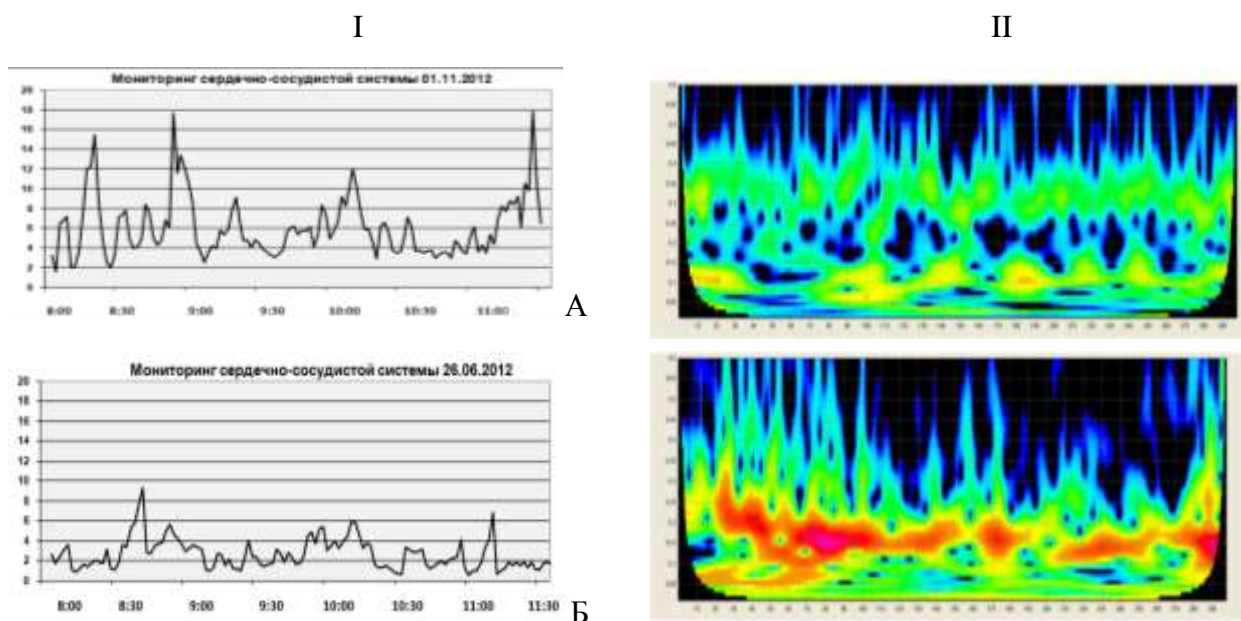


Рис. 50. Телеметрия динамики индекса вегетативного баланса в течение рабочего дня. А - исходное состояние в норме: в конце рабочего дня ухудшение функционального состояния; Б - в начале и в конце рабочего дня состояние в норме. I - временная диаграмма индекса вегетативной регуляции; по оси x - время суток, по оси y - ИВБ; II - частотно-временная динамика (вейвлет) сердечного ритма в конце рабочего дня.

Таким образом, полученные данные указывают на развитие функционального напряжения и перенапряжения систем регуляции у работников данной профессиональной группы. В возрастной группе от 24 до 38 лет риск развития отклонений не связан с возрастом, а зависит от общего стажа работы в условиях интенсивных информационных нагрузок. Результаты исследования позволили применить индивидуальный подход при разработке рекомендаций и организации перерывов для снижения нервно-эмоционального напряжения при работе с ПЭВМ.

В целом параметры вегетативной регуляции кардиоритма не стационарны в течение дня, динамика их изменений носит нелинейный, квазипериодический характер. Можно заключить, что вегетативная регуляция сердечного ритма меняется в зависимости от контекста целевой функции системы. Таким образом, невозможно по стационарным записям в покое оценить уровень вегетативной регуляции и его изменения при последующей смене контекста.

3.2.5. Динамика вегетативной регуляции кардиоритма шахматистов в процессе партии

Игра в шахматы является удобным контекстом для исследования динамики вегетативной регуляции кардиоритма (и других психофизиологических функций) при информационной нагрузке, так как включает процесс принятия решений, который можно зафиксировать по времени.

Данная экспериментальная серия разделилась на 2 этапа: 1. – оценка динамики вегетативной регуляции кардиоритма под влиянием информационной нагрузки у спортсменов во время шахматного турнира; 2. – синхронизированная регистрация кардиоритма и динамики партии при игре человека с компьютером.

При анализе динамики вариабельности сердечного ритма в процессе турнира был выделен максимально чувствительный показатель – ИВБ, который отражает уровень симпатической активации вегетативной нервной системы по отношению к уровню парасимпатической активации. По данным предыдущих исследований мы связываем данный показатель с уровнем эмоционального напряжения человека, что позволяет говорить об измерении неосознанной оценки значимости контекстных событий.

При разделении контекста на периоды партий и периоды между партиями была выявлена неожиданная тенденция: в процессе игры средние показатели ИВБ ниже ($LF/HF_{cp}=5$), чем во время паузы между партиями ($LF/HF_{cp}=9$). Достоверные отличия ($p<0,05$, критерий Стьюдента) наблюдаются при сравнении ИВБ за данные периоды персонально по каждому человеку. Данный эффект может быть связан с ситуацией неопределённости между партиями, которая вызывает эмоциональное напряжение игрока.

Был проведён анализ неосознаваемой оценки значимости событий (увеличение или уменьшение уровня LF/HF) в процессе одной партии двух соперников. Наблюдается присутствие как однонаправленных, так и противоположно-направленных изменений индекса вегетативного баланса у соперников в течение партии (Рисунок 51). При этом максимальная концентрация противоположно-направленных изменений приходится на середину партии, а также характерна для окончания игры, что соответствует этапам максимального противостояния в партии.

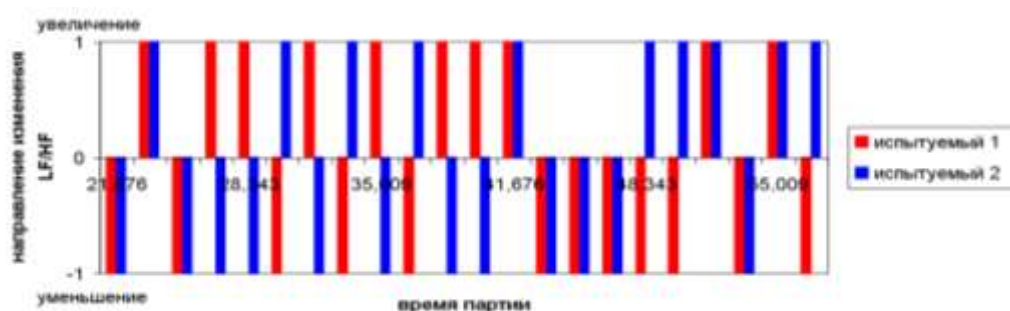


Рис. 51. Динамика направление изменения LF/HF для двух соревнующихся соперников в процессе шахматной партии.

Недостатком первого этапа экспериментальной серии оказалось отсутствие данных о динамике событий в контексте партий, что поставило ограничение на детальный анализ причин вегетативных физиологических реакций. Данная проблема была решена на втором этапе экспериментальной серии, в котором исследовалась динамика вегетативной регуляции

кардиоритма при игре в шахматы, при этом испытуемый играл в шахматы с компьютером – динамика игры фиксировалась с помощью программы, обеспечивающей видеозапись контента монитора компьютера.

В ходе исследования были получены следующие результаты.

При сравнении показателей вегетативной регуляции кардиоритма ($TP(m^2)$, $LF(m^2)$, $HF(m^2)$, LF/HF) в процессе партий с разным исходом обнаружены значимые различия ($p < 0,05$, критерий Стьюдента) между победными и проигранными партиями, а так же между победными партиями и партиями, сыгранными в ничью (Рисунок 52).

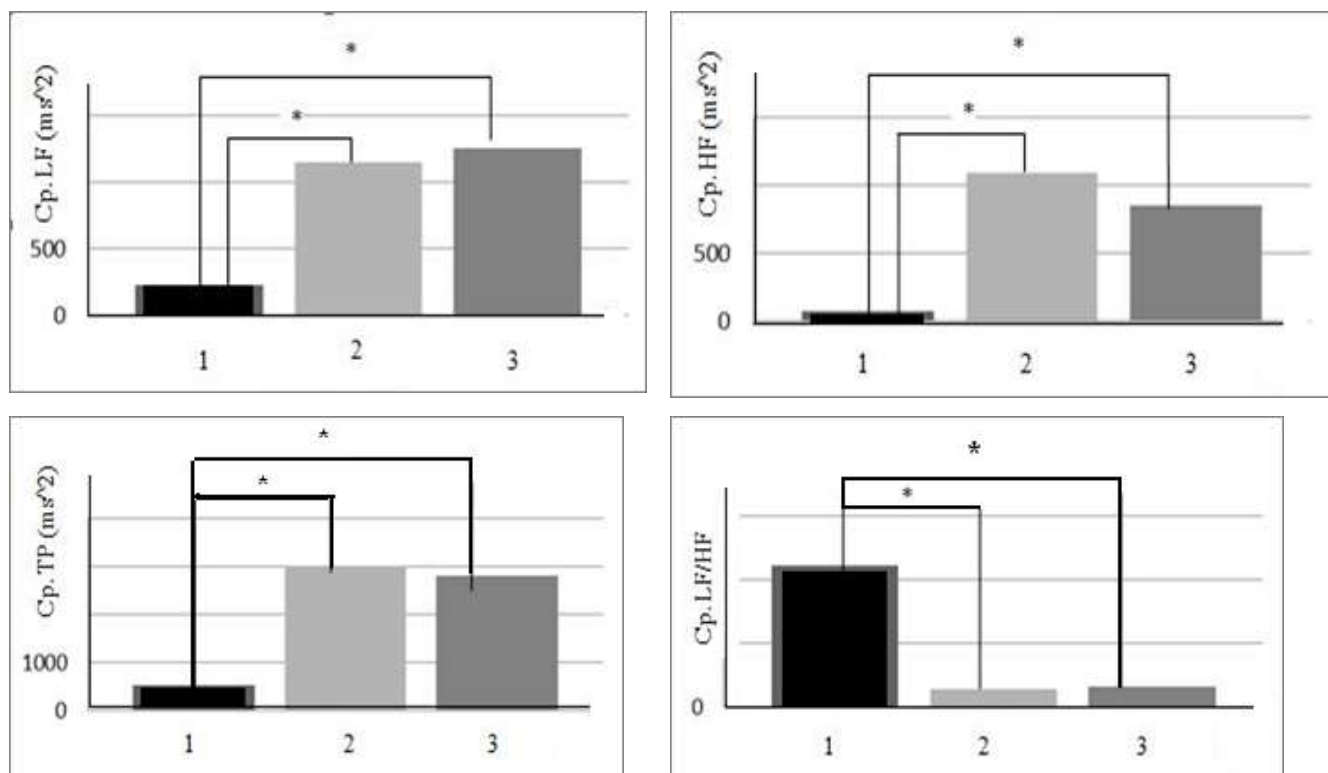


Рис. 52. Средние значения спектральных показателей ВСП для партий с разным исходом: 1 – победа, 2 – поражение, 3 – ничья (*- $p < 0,05$, критерий Стьюдента).

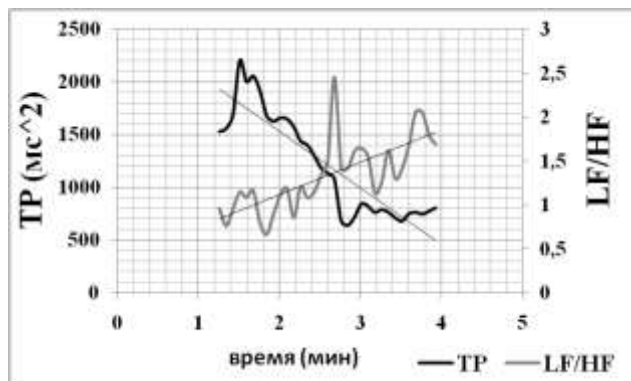
При этом для победных партий характерны редукция активности центрального контура регуляции и смещение вегетативного баланса в сторону симпатической активации. Можно предполагать, что такое напряжение регуляторных систем оптимально для принятия решений в процессе шахматной партии, так как актуализирует большее количество ресурсов.

Было произведено сопоставление динамики частотных показателей ВСП и событий в партии по времени.

В динамике показателей вегетативной регуляции выделялись моменты времени, соответствующие одновременному падению общей мощности вариабельности сердечного ритма на фоне ИВБ (Рисунок 53). Далее по видеозаписи игры определялась игровая ситуация, соответствующая данному моменту времени. Выявлено 77% случаев согласованности крестообразной динамики общей мощности спектра ВСП и ИВБ ($TP \downarrow$, $LF/HF \uparrow$) со сложными

игровыми ситуациями – ситуациями рассогласования цели игрока и наличествующего положения. Это, например, такие моменты игры, в которые было потеряно качество, эндшпили и ситуации, ознаменованные безысходностью, когда победа требует от игрока большего, нежели то, чем он располагает, ситуации, связанные с потерей инициативы.

А



Б

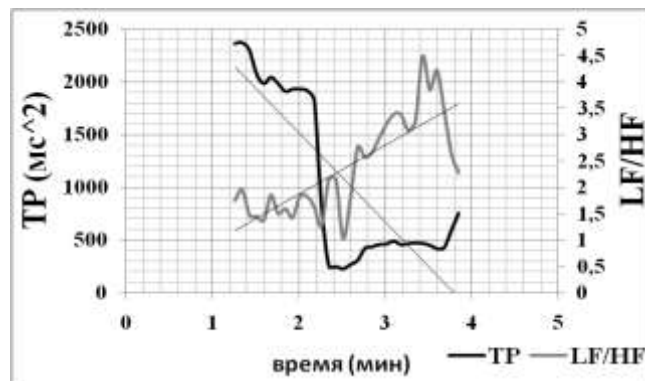


Рис. 53. Динамика TP и LF/HF в игровых ситуациях. А - когда игрок атакует с последующим поражением: менял, жертвовал фигуры с целью выиграть, но фигуры закончились; Б - когда игрок теряет инициативу, и партия завершается поражением.

Таким образом, при игре в шахматы процесс принятия решений в короткие промежутки времени в ситуациях рассогласования, в ситуациях неопределенности, являясь фактором запуска стресс-активации, отражается в динамике показателей ВСР в виде падения общей мощности на фоне возрастания ИВБ ($TP \downarrow$, $LF/HF \uparrow$).

3.2.6. Динамика вегетативной регуляции кардиоритма водителей общественного транспорта в контексте рабочей смены

Результаты наших исследований в данной серии детально описаны в публикациях [276; 300].

В данной серии экспериментов была реализована синхронизация мониторинга кардиоритма и фиксации событий внешнего контекста в процессе рабочей смены водителей общественного транспорта (автобусов). Выборку составили 11 человек: 10 муж., 1 жен. Возраст 45-56 лет.

В контексте вождения автотранспорта было 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 с соответствии с сигналами 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 опозданием.

4. - внезапный манёвр. Моменты нестандартных, сложных дорожных ситуаций: неожиданной вынужденной 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. Мощности всех компонент спектра ритмограммы (TP, LF, HF) возрастают значимо выше при наступлении непредсказуемых событий, при этом ИВБ сохранен (Таблица 11).

Таблица 11. Значение спектральных показателей ВСР при предсказуемых и непредсказуемых событиях (* - $p < 0,01$, критерий Стьюдента).

Показатели	Предсказуемые события	Непредсказуемые события
TP, мс ²	649,1 (313,0)	1396,2 (459,4)*
LF, мс ²	137,5 (78,9)	423,7 (233,8)*
HF, мс ²	39,2 (12,8)	109,3 (38,9)*
LFn, %	75,0 (8,7)	75,6 (11,8)
HFn, %	25,0 (8,7)	24,4 (11,8)
LF/ HF	3,7 (2,3)	4,3 (2,7)

По типичной динамике общей мощности спектра TP и ИВБ у водителей общественного транспорта во время движения были идентифицированы максимально непредсказуемые события – внезапный маневр со стороны соседей по движению, которые являются объективными источниками о рассогласовании предсказываемого со случившимся, а также требуют принятия решений в короткие промежутки времени. В динамике частотных характеристик ВСР испытуемых максимально непредсказуемое событие – «манёвр» сопровождается возрастанием общей мощности спектра ВСР и ИВБ (TP↑, LF/HF↑), с последующим снижением общей мощности спектра ВСР на фоне возрастания ИВБ (TP↓, LF/HF↑) (Рисунок 54, 55). В среднем цикл TP↓, LF/HF↑ - TP↑, LF/HF↓ занимает от 3 до 12 минут.

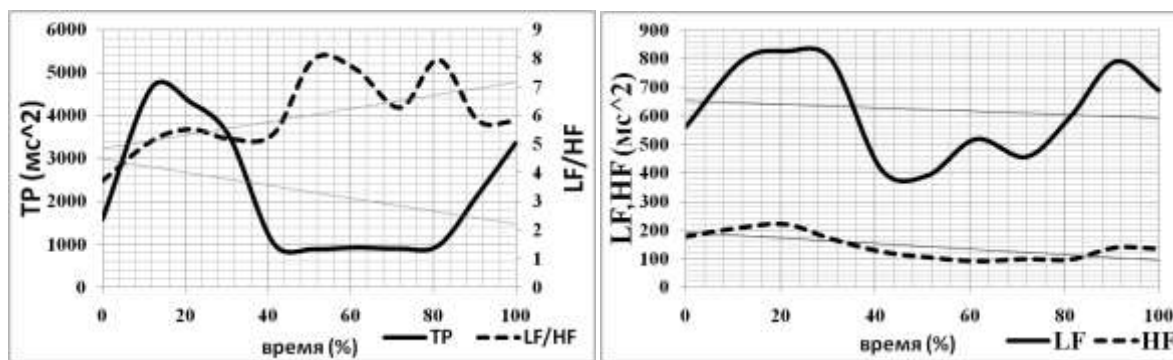


Рис. 54. Средняя динамика спектральных показателей ВСП водителей общественного транспорта при возникновении внезапных маневров (ось x – масштабированное время в % относительно времени цикла $TP\downarrow$, $LF/HF\uparrow$ - $TP\uparrow$, $LF/HF\downarrow$, принятого за 100%).

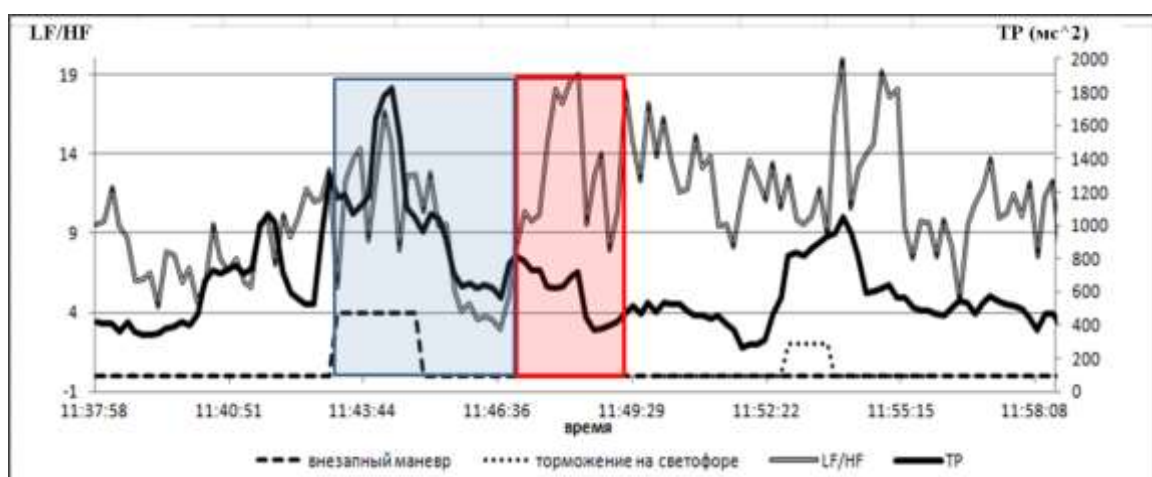


Рис. 55. Динамика спектральных характеристик ВСП (TP, LF/HF) водителя общественного транспорта и контекста внешних событий; синяя область – 1-я фаза динамической структуры $TP\uparrow$, $LF/HF\uparrow$, красная область – 2-я фаза динамической структуры $TP\downarrow$, $LF/HF\uparrow$.

Таким образом, непредсказуемые события при информационной нагрузке в контексте естественной деятельности управления автотранспортом сопровождаются двухфазной динамикой спектральных показателей ВСП: 1. Возрастание общей мощности спектра ВСП (TP) и ИВБ; 2. Возрастание ИВБ с одновременным снижением общей мощности спектра ВСП, что отражает последовательную смену режимов нервно-гуморальной регуляции кардиоритма в условиях стрессогенной нагрузки.

3.3. Вегетативное обеспечение моторных функций

Для исследования вегетативного обеспечения моторных функций человека было проведено несколько экспериментальных серий в контексте спортивных тренировок и тренировок специалистов экстремального профиля в газовой-дымовой камере. Помимо анализа ВСП в некоторые из них были включены дополнительные методы оценки когнитивных функций и оценки уровня тревожности спортсменов.

3.3.1. Динамика показателей функционального состояния спортсменов до и после тренировочной нагрузки

Результаты наших исследований в данной серии детально описаны в публикациях [293; 170; 245; 246].

В первой экспериментальной серии был проведен анализ динамики показателей функционального состояния спортсменов (уровень функциональной межполушарной асимметрии (по методике компьютерной латерометрии), спектральные показатели ВСР, уровень тревожности (по методике Спилбергера-Ханина)) разной квалификации и специализации до и после тренировочной нагрузки. Выборку составил 31 человек (возраст: 18-24 лет).

В результате исследования влияния физических нагрузок на уровень функциональной межполушарной асимметрии было выявлено статистически достоверное снижение уровня асимметрии после тренировочной нагрузки по суммарным коэффициентам ASmin ($p < 0,01$), ASmax ($p < 0,01$), AS ($p < 0,01$) (Рисунок 56, 57).

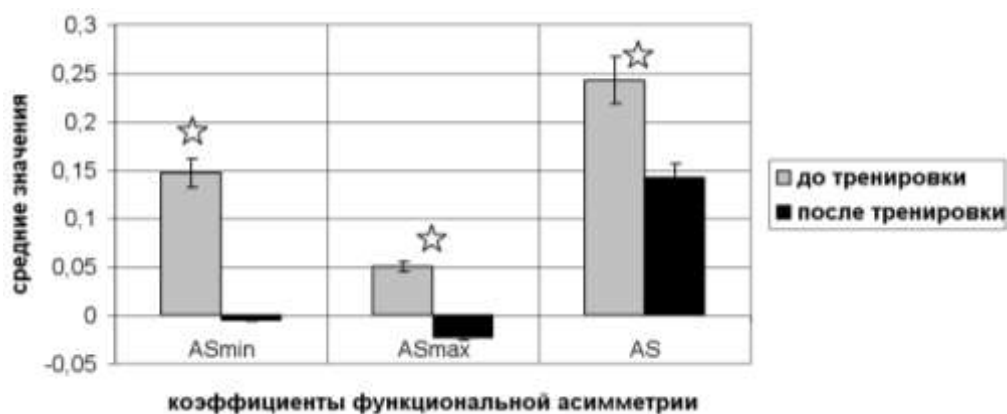


Рис. 56. Средние значения суммарных коэффициентов функциональной межполушарной асимметрии (ASmin, AS max, AS (у.е.)) до и после физической нагрузки (* - $p < 0,01$, критерий Стьюдента).

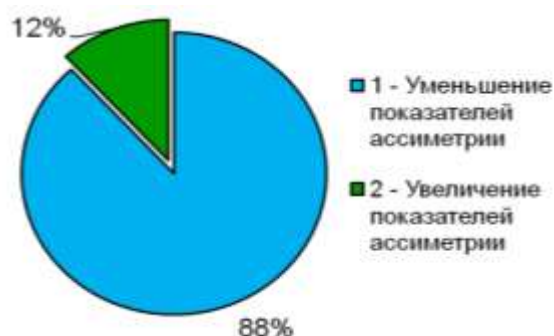


Рис. 57. Распределение испытуемых по типам динамики показателей функциональной межполушарной асимметрии до и после тренировки.

Анализ спектральных показателей ВСР показал статистически достоверное снижение суммарной мощности спектра ВСР и мощностей LF и HF-компонентов спектра после тренировочной нагрузки ($p < 0,05$) (Рисунок 58,А), а также возрастание ИВБ (Рисунок 58,Б.).

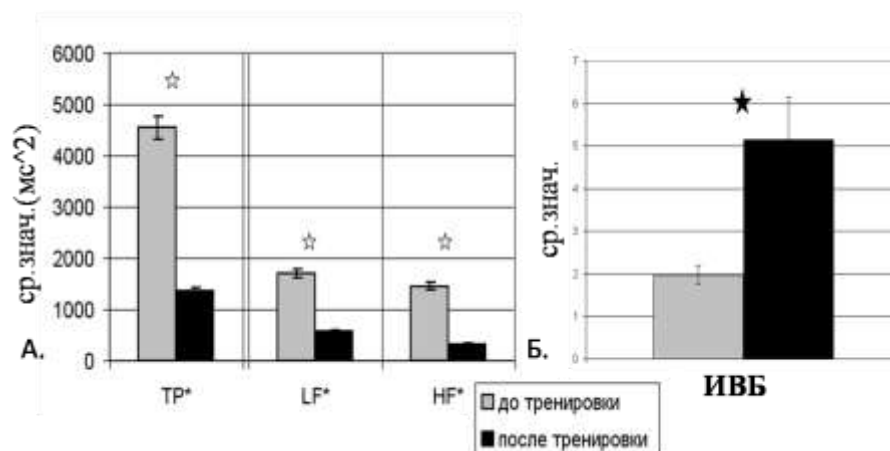


Рис. 58. Средние значения спектральных показателей ВСР: А. TP, LF, HF (ms^2), Б. ИВБ до и после физической нагрузки (* - $p < 0,05$, критерий Стьюдента).

Таким образом, снижение функциональной межполушарной асимметрии как маркер стресса [287] после физической нагрузки согласовано с возрастанием ИВБ на фоне снижения общей мощности спектра ВСР и мощностей LF и HF-компонентов спектра. Важно отметить, что уровень ситуативной тревожности по шкале Спилбергера-Ханина не отличается в выборках до и после физической нагрузки, что говорит не в пользу чувствительности данного метода к напряжению функционального состояния, связанному с физической нагрузкой.

3.3.2. Вегетативные предстартовые корреляты профессиональной эффективности

Во второй экспериментальной серии был проведен индивидуальный мониторинг предстартовых показателей функционального состояния (спектральные показатели ВСР, уровень функциональной межполушарной асимметрии (по методике компьютерной латерометрии), пороги цветоразличения (по методике компьютерной кампиметрии), уровень ситуативной тревожности (по методике Спилбергера-Ханина)) и эффективности в игре баскетболистов. Выборку составили 10 игроков мужской сборной по баскетболу при ННГУ им. Н.И.Лобачевского, возраст 17-23 года. Каждый испытуемый проходил измерения перед 4-5 играми подряд.

Коэффициент эффективности игрока подсчитывался следующим образом: в течение игры в протоколе фиксировались правильные и ошибочные действия игрока (критерии отнесения действий в ту или иную группу взяты из положения о правилах игры Национальной Баскетбольной Ассоциации США 1984 года). Каждое действие получает определённое

количество баллов (от -1 до 2). Затем подсчитывался коэффициент эффективности игрока по приведённой ниже формуле:

$$КЭ = (кПД-кОД)/t$$

КЭ – коэффициент эффективности;

ПД – положительные действия;

ОД – ошибочные действия;

t – общее игровое время спортсмена.

При сопоставлении значений коэффициентов эффективности в игре с показателями исходного состояния игрока, были получены следующие результаты. При анализе общей выборки баскетболистов и усреднении показателей не было получено значимых корреляций и связей, однако индивидуальный анализ данных мониторинга по каждому спортсмену в отдельности позволил выявить персонифицированные зависимости ситуативной профессиональной эффективности от показателей предстартового функционального состояния (Рисунок 59).

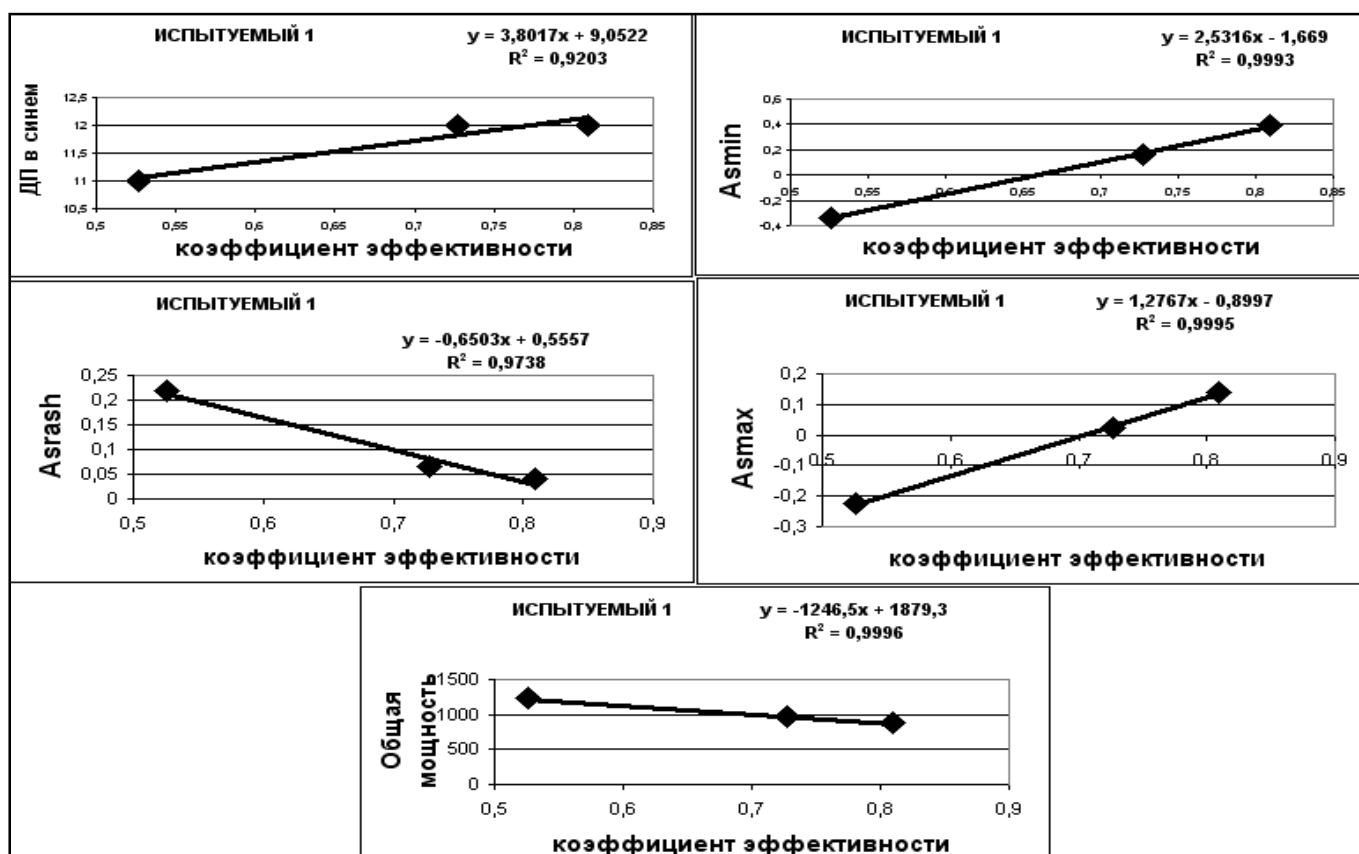


Рис. 59. Индивидуальные корреляционные зависимости эффективности в игре от параметров исходного функционального состояния для испытуемого №1.

При этом набор психофизиологических параметров, детерминирующих эффективность в игре, и направленность связей оказались индивидуальными и не повторялись у разных испытуемых. В таблицах 12, 13, 14, 15 приведены значения коэффициентов корреляции

Спирмена между предстартовыми психофизиологическими параметрами и коэффициентом эффективности в игре для каждого испытуемого.

Таблица 12. Значения коэффициентов корреляции Спирмена между предстартовыми показателями тестовых методик (УСГ – уровень субъективной готовности к игре; ЛТ – личностная тревожность, СТ – ситуативная тревожность) и коэффициентом эффективности в игре (* - значимые корреляции).

№ исп-го	УСГ	ЛТ	СТ
1	-0,6	0,39	0,96*
2	0,49	-0,26	-0,20
3	-0,60	-0,74	0,05
4	-0,38	0,79	-0,99*
5	0,77	-0,73	-0,62
6	-0,32	0,61	0,64
7	-0,83	0,06	0,71
8	0,5	-0,48	-0,48

Таблица 13. Значения коэффициентов корреляции Спирмена между предстартовыми максимальными порогами цветоразличения в диапазонах основных цветов и коэффициентом эффективности в игре (* - значимые корреляции).

№ исп-го	Максимальные пороги цветоразличения в диапазонах основных цветов		
	красный	зелёный	синий
1	0,6	-0,49	-0,72
2	0,75	-1,0*	1,0*
3	0,57	-0,36	0,25
4	-0,61	-0,59	-0,5
5	0,32	-0,89	0,96*
6	-0,8	-1,00*	-0,8
7	-0,65	0,67	-0,78
8	-0,5	1,00*	0,71

Таблица 14. Значения коэффициентов корреляции Спирмена между предстартовыми коэффициентами функциональной межполушарной асимметрии и коэффициентом эффективности в игре (* - значимые корреляции).

№ исп-го	Показатели функциональной межполушарной асимметрии									
	Dtminл.	Dtmaxл.	Dtrashл.	Dtminп.	Dtmaxп.	Dtrashп.	ASmin	ASmax	Asrash	AS
1	0,99*	1,00*	-0,09	-0,6	-0,72	-0,6	-0,89	-0,92	0,6	-0,84
2	-0,94	0,38	0,62	-0,9	-0,47	-0,84	-0,74	-0,83	0,97*	0,9
3	-0,57	0,92	-0,52	-0,96*	-0,72	-0,33	-0,92	-0,92	-0,23	0,94
4	0,70	0,69	0,5	0,4	0,83	0,87	0,04	0,91	-0,96*	-0,18
5	-0,74	-0,52	-0,94	0,80	0,76	0,84	1,00*	1,00*	-0,99*	-0,37
6	0,8	0,92	-0,98*	0,8	0,38	-0,33	-0,55	-0,8	0,28	-0,10
7	-0,30	0,84	0,85	-0,61	0,59	0,28	-0,24	-0,77	0,60	0,12
8	-0,30	-0,03	-0,90	0,99*	0,26	-0,86	0,85	0,37	-0,95	0,5

Таблица 15. Значения коэффициентов корреляции Спирмена между предстартовыми спектральными показателями ВСР и коэффициентом эффективности в игре (* - значимые корреляции).

№ исп-го	Спектральные показатели ВСР			
	TP	LF	HF	LF/HF
1	-0,95	-0,95	-0,97*	1,00*
2	1,00*	-0,96*	0,97*	-0,96*
3	-0,62	-0,33	-0,73	0,08
4	0,31	0,22	0,50	-0,98*
5	-1,0*	-0,86	-0,92	-0,51
6	-0,89	-1,00*	-0,93	-0,71
7	-0,77	-0,81	-0,79	0,69
8	1,00*	1,00*	1,00*	-0,87

На основе данных, приведенных в таблицах, были построены индивидуальные психофизиологические профили детерминированности ситуативной профессиональной эффективности (Рисунок 60).



Рис. 60. Психофизиологический профили детерминации ситуативной профессиональной эффективности А. – испытуемый №1; Б. – испытуемый №3.

В результате получены однофакторные (Рисунок 60, Б) и многофакторные (Рисунок 60, А) (2 и более фактора) персонифицированные профили, отражающие психофизиологические детерминанты ситуативной профессиональной эффективности спортсменов.

Таким образом, выявлены персонифицированные связи между психофизиологическими показателями функционального состояния человека и уровнем эффективности целевой деятельности. Показано отсутствие универсальных систем оптимизации процесса реализации целевой функции.

3.3.3. Динамика ВСР спортсменов в процессе тренировки

В данной серии экспериментов был проведен непрерывный мониторинг кардиоритма и динамики нагрузки спортсменов в процессе тренировки в контексте естественной деятельности.

Выборку составили 23 спортсмена академической гребли, возраст 14-18 лет, воспитанники училища Олимпийского резерва, квалификация 1 разряд – мастер спорта (13 человек женского пола, 10 - мужского).

Коэффициент уровня нагрузки присваивался по следующей шкале:

покой, отдых – 0;

растяжка – 1;

разминочная, заминочная нагрузки – 2;

комплексная нагрузка – 3;

тренировочная нагрузка – 4.

Данные мониторинга сердечного ритма и уровня тренировочной нагрузки были синхронизированы по времени (Рисунок 61), в результате чего удалось выделить контекстно-зависимые режимы вегетативной регуляции кардиоритма.

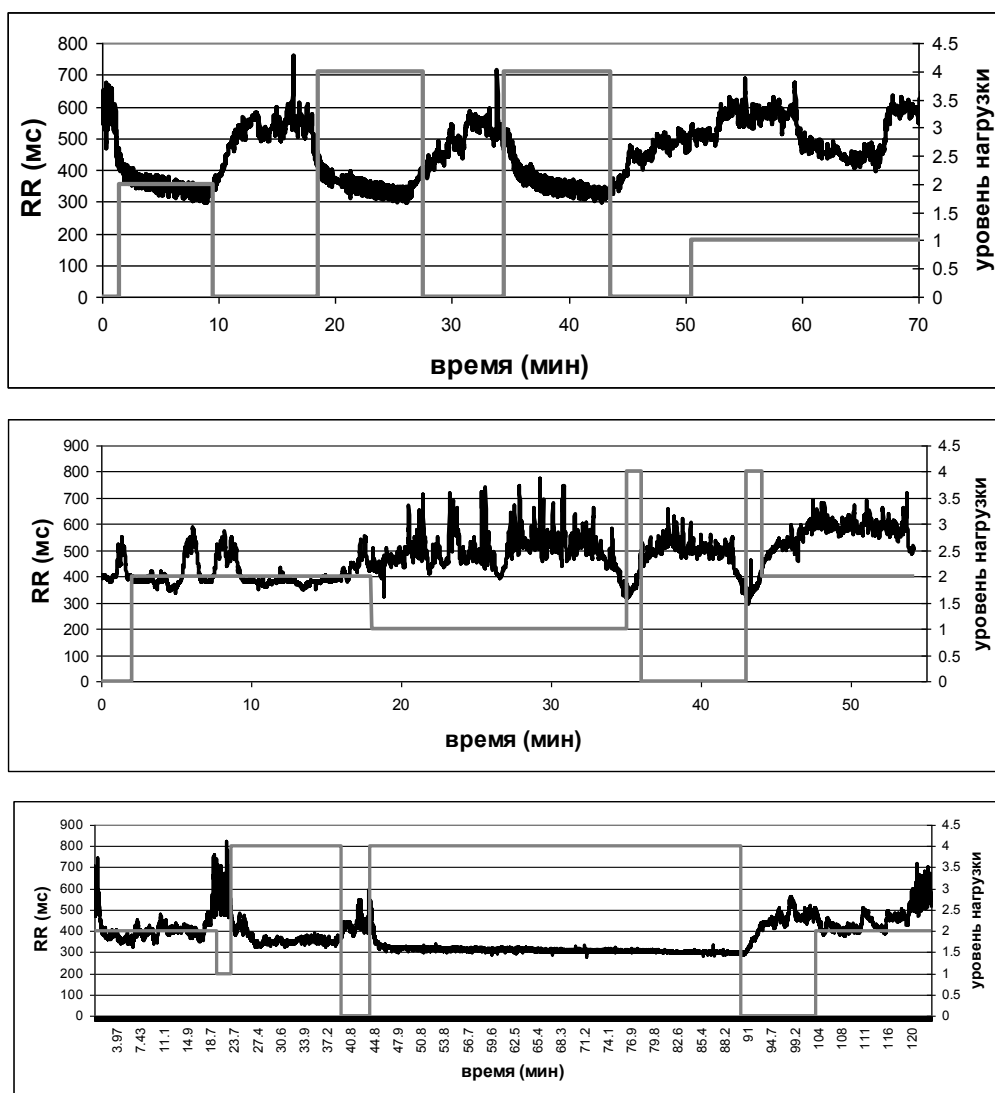


Рис. 61. Примеры динамики RR-интервалов и уровня нагрузки спортсменов в процессе тренировки.

При анализе динамики спектральных показателей ВСР в процессе тренировочной нагрузки выборка спортсменов была разделена на 2 группы, исходя из данных конечного состояния в период отдыха после тренировки: Группа I – спортсмены, устойчивые к тренировочным нагрузкам (спектральные показатели ВСР после тренировки не выходят за границы нормы [125]; Группа II - спортсмены, у которых тренировочная нагрузка привела к истощению ресурсов вегетативной регуляции (спектральные показатели ВСР значимо ниже нормы) (Рисунок 62).

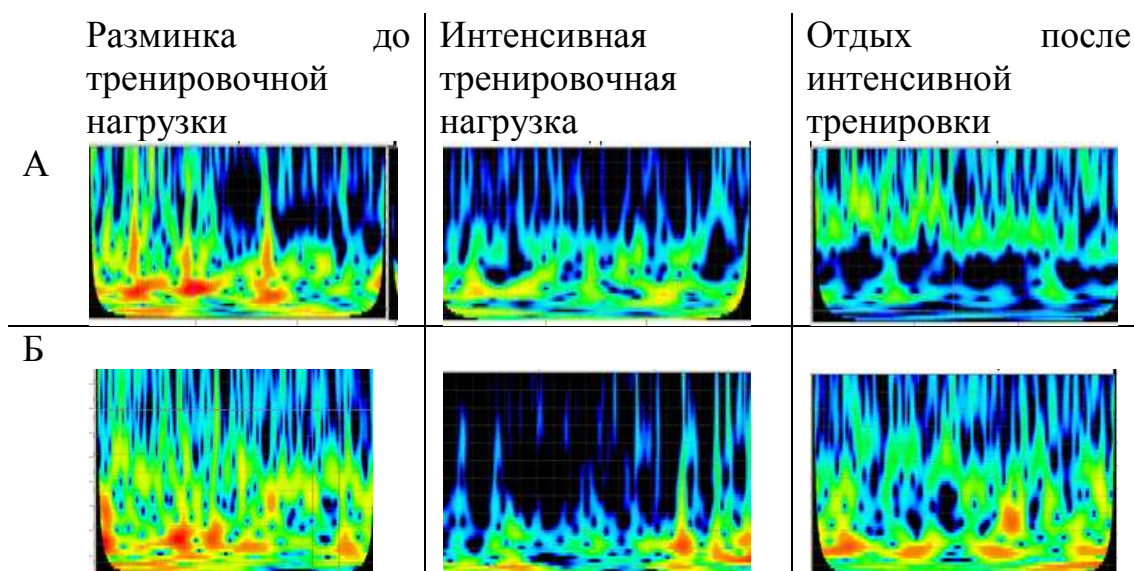


Рис. 62. Динамика вегетативной регуляции кардиоритма спортсменов из I (Б) и II (А) группы на разных этапах тренировки (данные вейвлет-анализа ритмограмм (вейвлеты Морле)).

Выявлено, что различие между спортсменами 2-х групп проявляется ещё на этапе разминки. Сопоставляя значения спектральных показателей ВСР за период разминки, удалось выделить оптимальные диапазоны исходных (на этапе разминки) параметров variability сердечного ритма, при которых минимизирован индивидуальный риск истощения регуляторных ресурсов в процессе тренировки (Таблица 16).

Таблица 16. Оптимальные параметры вегетативной регуляции спортсменов в период разминки.

ВСР	ср.знач.		ст.ош.
ЧСС, уд./мин.	78,40	±	4,53
TP, мс ²	3653,82	±	211,81
LF, мс ²	1604,49	±	87,59
HF, мс ²	573,29	±	61,01
LF/HF	3,09	±	0,86

Был проведен анализ динамики вегетативной регуляции кардиоритма в зависимости от типа нагрузки. В тренировочном процессе выделяется 2 типа нагрузок: 1. Периодическая нагрузка – последовательная смена коротких периодов нагрузки высокой и низкой степени

(Рисунок 63, А); 2. – непериодическая нагрузка – одноразовое длительное предъявление высокой нагрузки (Рисунок 63, Б). Вычисляя разности спектральных показателей ВСР за периоды до и после тренировки (ТРдо-ТРпосле; LFдо-LFпосле; HFдо-HFпосле), и сравнивая их для двух типов тренировок, удалось определить, что контекст периодической тренировочной нагрузки вызывает большее снижение спектральных показателей ВСР, по сравнению с непериодической нагрузкой (Рисунок 64).

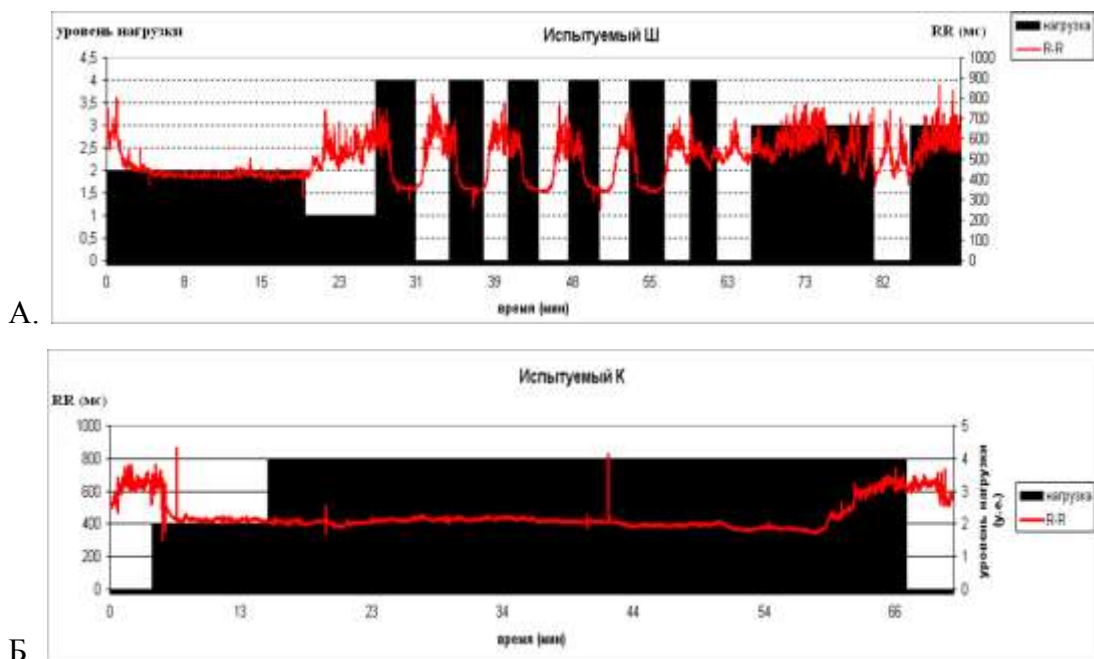


Рис. 63. Примеры периодической (А) и непериодической (Б) динамики нагрузки в процессе спортивной тренировки.

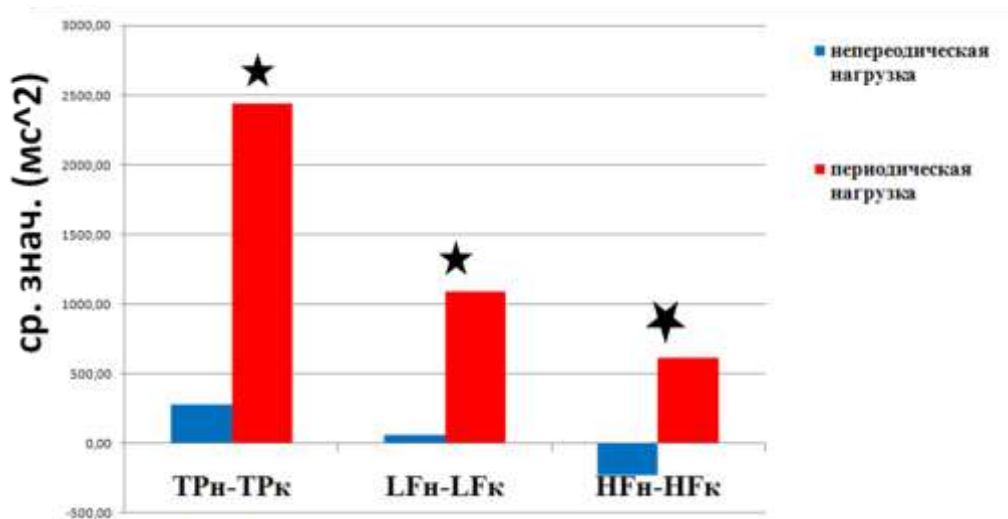


Рис. 64. Средние значения разности спектральных показателей до (н) и после (к) тренировки для разных типов тренировочной нагрузки.

Так, при непериодической нагрузке наблюдается незначительное снижение общей мощности спектра ВСР ($\Delta TR_{ср.} = 289 \text{ мс}^2$), мощности LF-компонента спектра ($\Delta LF_{ср.} = 89 \text{ мс}^2$) и возрастание мощности HF-компонента спектра после тренировки, в то время как при

периодической нагрузке общая мощность и мощности LF, HF – компонентов спектра ВСР снижаются на порядок больше ($\Delta TP_{\text{ср.}}=2489 \text{ мс}^2$; $\Delta LF_{\text{ср.}}=1101 \text{ мс}^2$; $\Delta HF_{\text{ср.}}= 596 \text{ мс}^2$).

Анализ непрерывной динамики спектральных показателей ВСР в процессе тренировки показал наличие динамической структуры общей мощности спектра ВСР и ИВБ, типичной для предъявления нагрузки высокой степени (4-й уровень нагрузки). При переходе к нагрузке 4-го уровня в 100 % случаев наблюдается 2-стадийная согласованная динамика общей мощности спектра ВСР и ИВБ: 1. стадия – согласованное возрастание общей мощности спектра ВСР и ИВБ ($TP \uparrow$, $LF/HF \uparrow$); 2 стадия – согласованное снижение общей мощности спектра ВСР и ИВБ ($TP \downarrow$, $LF/HF \downarrow$), при этом сниженные значения общей мощности спектра ВСР и ИВБ наблюдаются до конца выполнения спортсменом тренировочной нагрузки – до момента отдыха (Рисунок 65).

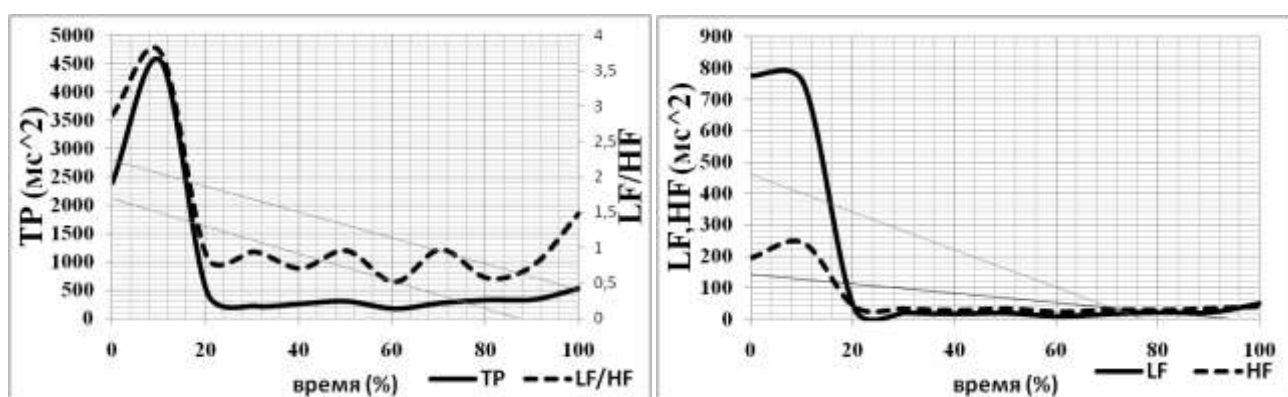


Рис. 65. Средняя динамика спектральных показателей ВСР (А – TP (мс^2), LF/HF; Б – LF (мс^2), HF (мс^2)) для спортсменов, выполняющих тренировочную нагрузку (нагрузка 4 уровня) (ось x – масштабированное время в % относительно времени выполнения нагрузки, принятого за 100%).

Таким образом, переходный процесс в структуре сердечного ритма, вызванный физической нагрузкой, сопровождается согласованным возрастанием общей мощности спектра ВСР и ИВБ и последующим их снижением.

3.3.4. Динамика ВСР специалистов экстремального профиля при тренировке в газовой камере

В данной серии экспериментов проводился мониторинг сердечного ритма сотрудников экстремального профиля в процессе тренировки в газовой камере в контексте естественной деятельности. Тренировка в газовой камере включает в себя физическую нагрузку высокой интенсивности в условиях ограниченных ресурсов (недостаток кислорода, сниженная видимость, ограничения времени и др.), поэтому является моделью чрезмерных физических нагрузок – стресса. Выборку составили 72 человека мужского пола в возрасте от 19 до 42 лет.

На рисунке 66 представлен пример динамики RR-интервалов при входе испытуемого в газово-дымовую камеру (красным маркером отмечен момент входа испытуемого в газово-дымовую камеру). Важно отметить, что в 100% случаев у испытуемых наблюдается значимое снижение RR-интервалов после входа в газово-дымовую камеру, при этом в 63% случаев зафиксированы случаи аритмии и экстрасистолии.

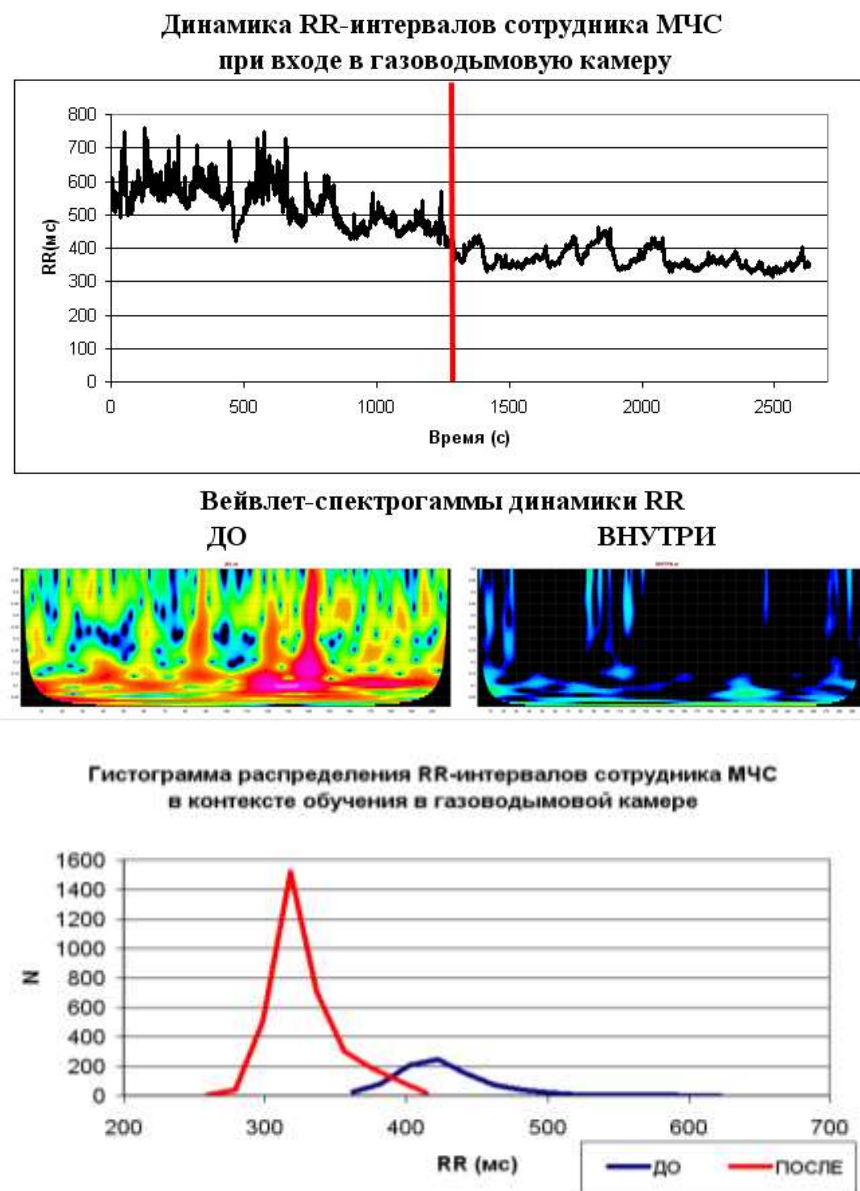


Рис. 66. Пример динамики RR-интервалов в контекстах до входа и внутри газовойдымовой камеры.

При анализе динамики спектральных показателей ВСР у испытуемых была выявлена характерная динамическая структура общей мощности спектра ВСР и ИВБ (97% случаев), а именно снижение общей мощности спектра ВСР и возрастание ИВБ ($TP\downarrow, LF/HF\uparrow$) при начале тренировки. Данная динамическая структура следует за всплеском общей мощности колебаний, который согласован по времени с моментом входа в камеру (Рисунок 67).

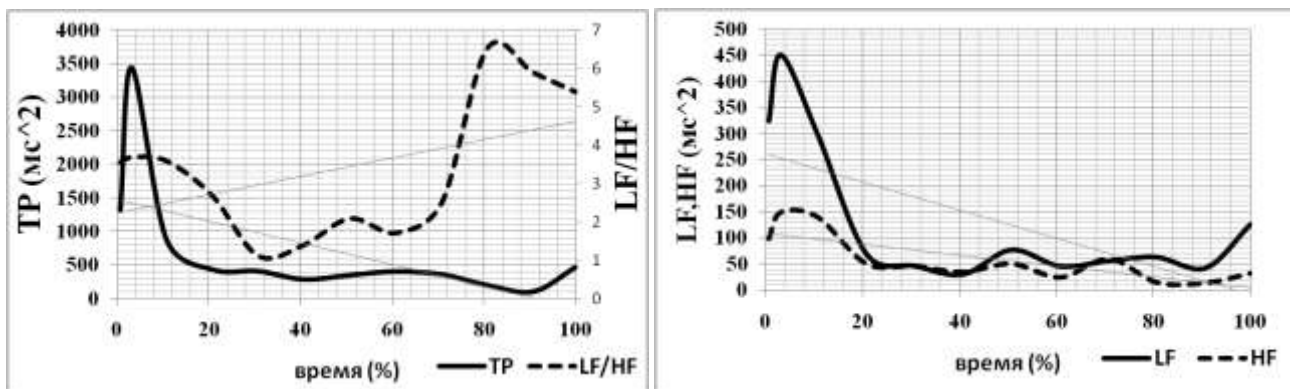


Рис. 67. Средняя динамика спектральных показателей ВСП испытуемых при входе в газовой-дымовую камеру (ось x – масштабированное время в % относительно времени пребывания в газовой-дымовой камере, принятого за 100%).

Важно отметить, что не усредненная – индивидуальная динамика общей мощности спектра ВСП и ИВБ более нестационарна. Внутри газовой-дымовой камеры часто наблюдаются дополнительные относительно периодические модуляции ИВБ, нередко встречаются повторные крестообразные структуры $TP\downarrow, LF/HF\uparrow$ (Рисунок 68). По всей видимости, это может быть связано с факторами внешнего контекста внутри камеры.

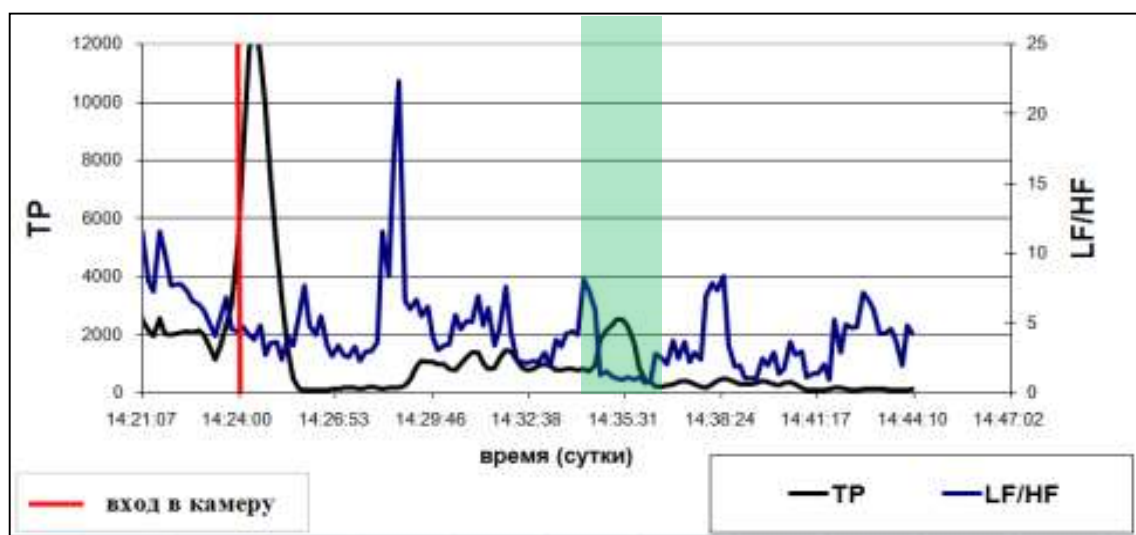


Рис. 68. Пример динамики общей мощности спектра ВСП и ИВБ испытуемого в контексте тренировки в газовой-дымовой камеры (красным маркером отмечен момент входа в камеру, зеленой заливкой выделена повторная динамическая структура $TP\downarrow, LF/HF\uparrow$).

Таким образом, стресс-реакция, связанная с чрезмерной физической нагрузкой, сопровождается 2-стадийной динамикой спектральных показателей ВСП: 1. возрастание общей мощности спектра ВСП и ИВБ, 2. снижение общей мощности спектра ВСП на фоне возрастания ИВБ. При этом напряжение регуляторных систем, связанное с физической нагрузкой, сопровождается согласованными по времени возрастанием общей мощности спектра ВСП и ИВБ и последующим их снижением.

3.4. Обсуждение результатов

Результаты исследования динамики вегетативной регуляции кардиоритма при нагрузках разного рода, в первую очередь, воспроизводят и подтверждают данные о высокой чувствительности системы регуляции к различным изменениям во внутреннем и внешнем контекстах живой системы [279].

Использование нового инструментария – системы беспроводной регистрации сердечного ритма, который был разработан специально под задачи измерения режимов работы живой системы в условиях естественной деятельности, открыло новые возможности для исследований [291; 293]. В результате многообразных экспериментальных серий измерений в различных контекстах естественной деятельности нам удалось выяснить, что динамика параметров вегетативной регуляции кардиоритма является нелинейной, квазипериодической и не имеет прямых взаимосвязей с режимом вегетативной регуляции в стационарных контекстах – сидя, лежа. Это ставит под сомнение адекватность такой характеристики, как вегетативный статус человека, который во многих работах трактуется как режим вегетативной регуляции, типичный для данного субъекта [305; 237]. Мы считаем, что все режимы вегетативной регуляции специализированы под конкретные функциональные контексты. Конечно, нет оснований полностью отрицать возможность выявления зависимостей между показателями вегетативной регуляции в покое и в контексте естественной деятельности. Однако их, видимо, стоит искать персонально, для конкретного человека посредством многократного длительного мониторинга, что, возможно, позволит с определенной точностью предсказывать вегетативные реакции конкретного человека в богатой стимульной среде естественной деятельности.

Использование алгоритмов спектрального анализа, специализированных для неравномерных временных рядов (каким, собственно и является последовательность RR-интервалов), позволило выявить новый, не рассматриваемый в классической физиологии и медицине, диапазон спектра ВСП – очень высокочастотные колебания от 0,6 до 2 Гц. Показатели данного диапазона оказались чувствительными к функциональному состоянию стресса и уровнем активности ЭОС. Поэтому есть все основания полагать, что в структуре нервно-гуморальной регуляции сердечного ритма присутствуют механизмы быстрой, краткосрочной регуляции.

Математические методы динамического спектрального анализа позволяют масштабировать дискретность получаемых параметров, поэтому появляется возможность наблюдать изменения структуры нервно-гуморальной регуляции сердечного ритма, согласованные по времени с динамикой внешних событий. Это шаг к исходному пониманию состояний как функции от времени, который приближает к возможности выявлять

закономерные динамические структуры и предсказывать динамику событий эндогенного контекста живой системы в более короткие сроки. В нашей работе также продемонстрировано подтверждение того, что для спектрального анализа ритмограмм необходимо применять методы, специализированные под неравномерно дискретизированные сигналы. Только в таком случае, без применения алгоритмов интерполяции, в получаемых спектрах ритмограмм наблюдается очень высокочастотный компонент (0,6-2 Гц), характеристики которого, как оказалось, чувствительны для распознавания функциональных состояний и наркозависимости. Этот результат дает возможность использовать для анализа более короткие фрагменты ритмограмм (15-20 с), чем приняты в классических методах анализа ВСР (300 с).

Полученные нами результаты сравнения динамики вегетативной регуляции кардиоритма при когнитивной нагрузке подтверждают литературные данные, в которых демонстрируются вегетативные эффекты когнитивного напряжения, отражающиеся в снижении вариабельности сердечного ритма [105; 106; 26; 131; 151; 173; 132; 65; 260; 12; 103; 202; 211; 1; 9; 157; 27; 84]. Принципиально новым в нашем исследовании стало сравнение разных контекстов когнитивной нагрузки, которые отличаются между собой не степенью сложности (все контексты задействовали первичные когнитивные функции), а характером целевой задачи. Соответственно, такой подход дал очень интересный результат, который заключается в том, что режим вегетативной регуляции меняется и при смене типа когнитивной задачи. Это указывает на наличие очень тонких механизмов регуляции. Кроме того, показаны быстрые изменения сердечного ритма, согласованные с динамикой информационного образа и движением живой системы в когнитивном пространстве по циклу определенность-неопределенность. Увеличение уровня дезорганизации сердечного ритма в контексте неопределенности, возможно, связано с активизацией дополнительных нейрональных модулей обработки информации и их проекциями на систему нервно-гуморальной регуляции сердечного ритма.

Результаты, полученные нами при исследовании связей между вегетативной регуляцией кардиоритма и эмоциональным состоянием, также находят подтверждение в литературных данных. Угнетенное эмоциональное состояние (в нашем случае повышение уровня эмоциональной дезадаптации), нарушения эмоционально-волевой сферы сопровождаются редукцией вегетативной регуляции кардиоритма [10; 37; 207; 128]. Относительно этого факта возникает вопрос первичности, так как исследования вегетативных расстройств (вегетососудистая дистония) демонстрируют ухудшение эмоционального состояния больных [252] (как будто при других болезнях наблюдается улучшение эмоционального состояния). По-видимому, в основе механизмов этих эффектов лежит взаимное влияние, и даже включенность в единый системный процесс двух модулей – эмоционального и вегетативного.

Вообще, снижение variability сердечного ритма как признак наличия какой-либо болезни встречается во многих работах [58; 43; 14]. Список болезней при этом очень широкий: нарушения сердечно-сосудистой системы (дисфункция миокарда, тетраплегия, гипертензия, застойная недостаточность кровообращения, хроническая митральная регургитация, кардиомиопатия, желудочковые аритмии, наджелудочковые аритмии и др.), психоневрологические нарушения (посттравматическое стрессовое расстройство, депрессия, тревожность), онкологические заболевания, инфекционные заболевания (грипп, ОРВИ). Важным является то, что в исследованиях экспериментальную выборку составляют больные с тем или иным диагнозом, а контрольную – здоровые испытуемые, то есть, нет попыток дифференцировать по variability сердечного ритма больных с разными диагнозами. По всей видимости, снижение variability сердечного ритма является неспецифическим признаком наличия болезни. Тогда, предполагается возможным расширить знаменитую триаду Г. Селье – комплекс симптомов, отражающих стресс: гипертрофия надпочечников, инволюция тимуса, язвообразование в ЖКТ, - включив в нее четвертым пунктом снижение variability сердечного ритма.

Наши данные позволяют предположить, что не только автономный контур регуляции снижает активность при повышении уровня эмоциональной дезадаптации, но и центральный контур меняет свою структуру: циклы регуляции становятся более локализованными. Можно предположить, что это связано с формированием узкой доминанты активности нейрональных структур, задействованных в эмоциональных процессах и процессах вегетативного обеспечения поведения.

Полученные нами данные о динамике вегетативной регуляции кардиоритма до и после физической нагрузки воспроизводят результаты многих предыдущих исследований, которые демонстрируют снижение уровня variability сердечного ритма спортсменов после тренировки или после соревновательного периода [31; 146; 192; 61; 205]. Принципиально новыми стали результаты непрерывного мониторинга сердечного ритма спортсменов в процессе тренировки, синхронизированные по времени с динамикой тренировочной нагрузки. При их анализе было выявлено, что максимальное напряжение наблюдается на этапе короткого по времени перехода от низкоинтенсивной активности к высокоинтенсивной. По всей видимости, это напряжение регуляторных систем связано с необходимостью быстрой актуализации большого количества ресурсов. Наличие в структуре тренировочного процесса частых переходных моментов (от низкоинтенсивной к высокоинтенсивной нагрузке и наоборот) ведет к срыву механизмов нейрогуморальной регуляции сердечного ритма и проявляется в наличии случаев аритмии и экстрасистолии.

Важный практически ценный результат был получен при попытке выявить структуру связей между исходным состоянием и эффективностью деятельности спортсменов. Отсутствие среднестатистических, универсальных и наличие персонифицированных зависимостей, вероятно, объясняется тем, что совокупность функциональных систем, реализующая эффективное выполнение целевой задачи, не одинакова у спортсменов. Это значит, что и значения показателей, отражающих оптимизированное ресурсообеспечение сформированной иерархии функциональных систем, будут разные. То есть структура функциональных модулей, включенных в систему, оптимизированную для выполнения профессиональных задач, персональная, а не универсальная и сформирована в процессе индивидуального опыта обучения и тренировок.

Таким образом, предсказание эффективности в игровой деятельности по психофизиологическим показателям должно производиться на основе индивидуальных моделей оптимальной реализации профессиональных навыков. Соответственно, выбор необходимых мер для активизации нужного игрока и приведения его в индивидуальную зону максимальной эффективности по параметрам функционального состояния должен осуществляться на основе индивидуальных психофизиологических профилей, соответствующих максимальной эффективности.

На основании этих результатов можно предположить, что они воспроизведутся и в других областях деятельности, не обязательно связанных с моторной активностью. Такой подход (персонифицированный мониторинг в контексте естественной деятельности) открывает новые возможности для оптимизации условий и режимов учебной и профессиональной деятельности конкретно для каждого человека.

Таким образом, при предъявлении разнообразных когнитивных, моторных и эмоциональных нагрузок, не выходящих на уровень стрессогенности, мы получили различные варианты динамики ВСР, общим для которых стало синхронное нарастание ИВБ и общей мощности спектра ВСР.

При поиске динамического вегетативного маркера стресса в работе исследована динамика вегетативной регуляции кардиоритма в широкой группе контекстов естественной деятельности, которые содержат разнообразные стресс-факторы: информационные, эмоциональные, физические. В итоговой таблице 17 представлены обобщенные результаты наших экспериментов. По этим данным можно заключить наличие динамической структуры общей мощности спектра ВСР и ИВБ, которая возникает в ситуациях чрезмерного рассогласования между целевой функцией и наличествующим результатом независимо от природы контекста (эмоциональный, информационный, моторной активности). Это дает

основания утверждать, что данный паттерн активности систем регуляции сердечного ритма является маркером стресс-реакции.

Таблица 17. 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	-	↑↓-	↑↓-	↑↓-	↑↓-	↓--	↑--

Напомним, что эта структура включает следующие последовательные фазы: 1) возрастание общей мощности спектра ВСП и ИВБ, 2) возрастание ИВБ при снижении общей мощности спектра ВСП (Рисунок 69, А).

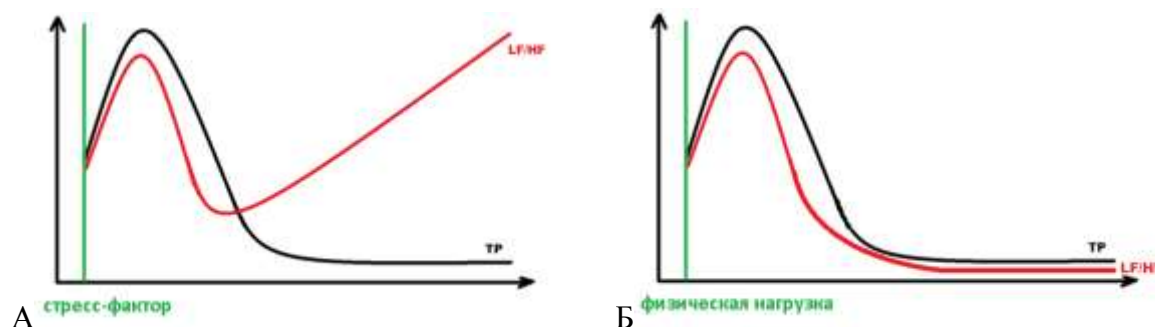


Рис. 69. Обобщенная схема динамики спектральных показателей ВСП: общей мощности спектра и ИВБ при стресс-активации (А) и физической нагрузке (Б).

Важно, что по динамике показателей общей мощности спектра ВСП и ИВБ можно разделить стресс-активацию от напряжения регуляторных систем, связанного с моторной активностью. Различие заключается в том, что моторная активность в контексте спортивной тренировки сопровождается однонаправленными изменениями этих показателей. Стоит

отметить, что изменения длительности RR-интервалов и значений ЧСС в этом случае неинформативны: и при стрессе и при моторной активности наблюдается их уменьшение.

Естественно, встает вопрос о психофизиологических механизмах такой динамики показателей ВСР при стрессе. Чтобы попробовать в них разобраться, для начала проанализируем, от чего зависит показатель мощности колебаний RR-интервалов.

Во-первых, имеет значение диапазон изменений RR-интервалов, который численно можно выразить в формуле $RR_{max}-RR_{min}$. По сути, этот показатель отражает количество степеней свободы в сигнале. Соответственно, чем он выше, тем больше возможных регуляторных команд могут влиять на сигнал и отражаться в нем различными амплитудно-фазовыми модуляциями, которые дают прирост мощности в спектре. Если данный диапазон узкий, что наблюдается при высоких значениях ЧСС, то команды могут поступать, но не обрабатываться.

Во-вторых, колебания сердечного ритма содержат модуляции, связанные с командами от системы нервно-гуморальной регуляции. Соответственно, мощность спектра в таком сигнале может зависеть от сложности структуры управляющей системы. Снижение мощности, в таком случае, связано либо со снижением активности центров управления (стало меньше команд), или с реструктуризацией системы управления в сторону локализации источника команд (команд столько же, но они исходят только от одного модуля системы, при этом прочие модуляции, отражающиеся в других частотных диапазонах спектра, подавляются). Нельзя исключать из рассмотрения и совместное действие обоих алгоритмов.

Таким образом, можно объяснить первую фазу динамики общей мощности спектра ВСР и ИВБ в стресс-активации и моторной активности ($TP\uparrow LF/HF\uparrow$) активизацией всех контуров системы нервно-гуморальной регуляции сердца. Это, в свою очередь, может быть обусловлено потребностью в короткие сроки активировать максимум ресурсов и перестроить систему в новый режим (физической нагрузки).

Тогда вторая фаза динамики общей мощности спектра ВСР и ИВБ при стрессе ($TP\downarrow LF/HF\uparrow$) соответствует переходу системы управления в редуцированный режим, структура системы упрощается. По сути, это согласовано с представлениями о стрессе, как о древней, сугубо упрощенной реакции [280; 296]. Как показано в исследованиях [287], при стрессе стираются индивидуальные различия.

Снижение же общей мощности спектра ВСР и ИВБ при моторной нагрузке, по-видимому, связано с сильным ограничением степеней свободы в регуляции работы сердца. Перейдя в режим максимального ресурсообеспечения мышечного аппарата организма, центры регуляции становятся не способными к дополнительным модуляциям процесса.

Обобщенно данные механизмы представлены в схеме на рисунке 70.

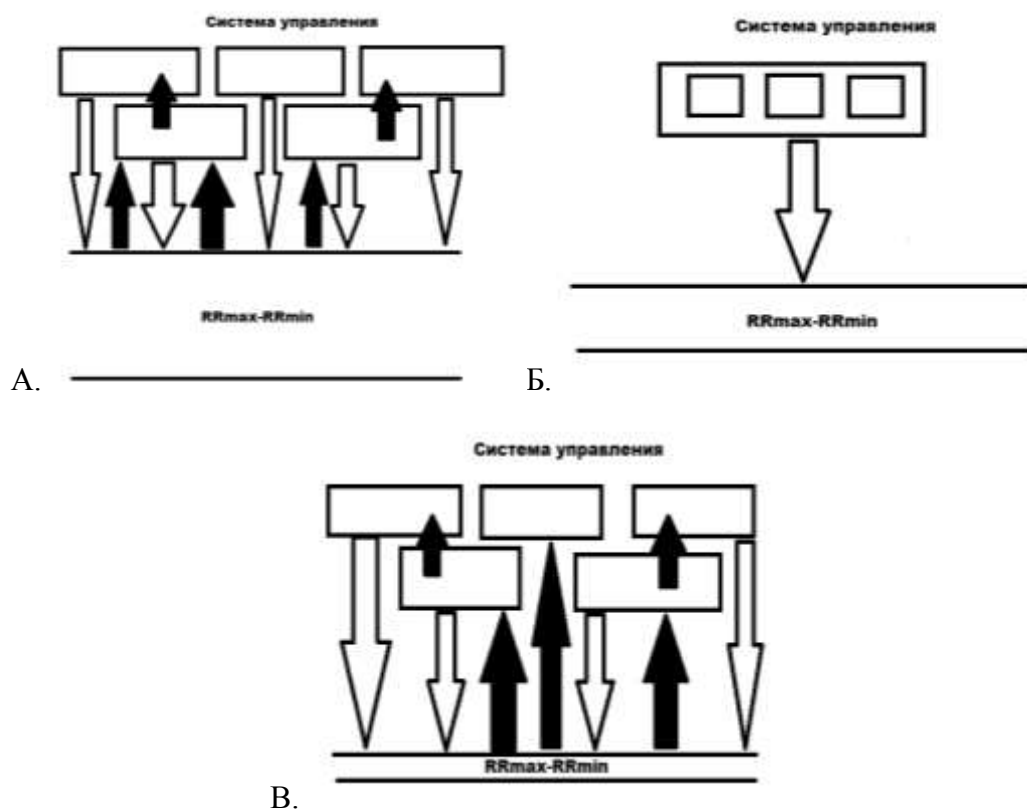
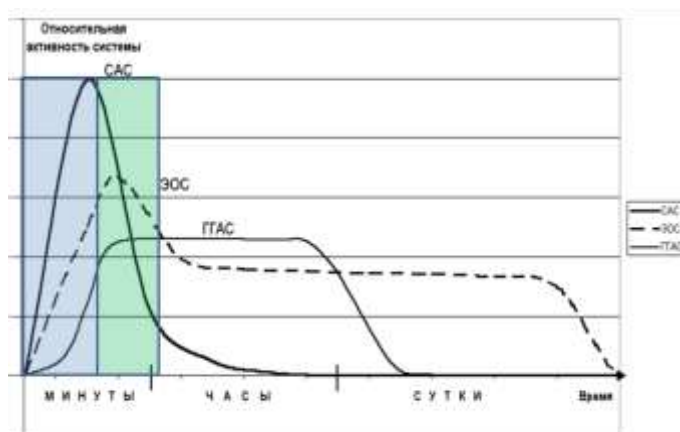


Рис. 70. Система управления сердечным ритмом в покое (А), при стрессе (Б), при моторной активности (В). Стрелки отображают богатство нисходящих и восходящих нейровисцеральных связей.

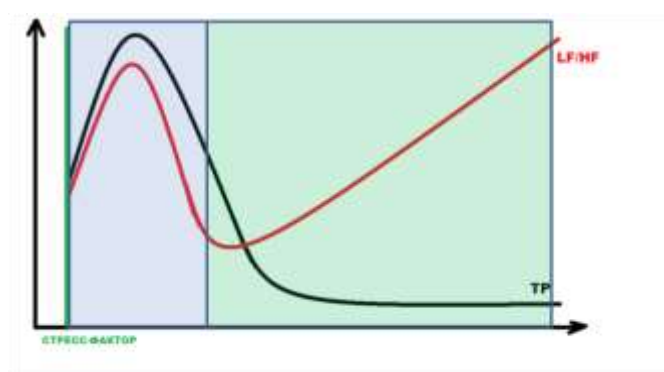
Переводя приведенную логику на язык теории функциональных систем, можно сказать, что мощность спектра ВСР отражает сложность структуры иерархии функциональных систем, задействованных в данный момент. Тогда снижение общей мощности спектра ВСР при стрессе ещё раз подтверждает предположение о том, что стресс является низкодифференцированной эволюционно древней функциональной системой.

Опираясь на 3-компонентную теорию стресса [280] и данные эмпирических исследований вегетативной регуляции кардиоритма при нейрохимических и гуморальных изменениях организма [263; 212; 119; 45], мы предполагаем, что первая фаза динамики связана с активацией всех регуляторных контуров, и особенно симпатической подсистемы, и согласована с первой стадией стресса – активацией САС. «Симпатоадреналовая система – это нейроэндокринный комплекс, направленный на активацию висцеральных систем» [цит. по: 285]. Симпатический компонент автономной нервной системы (основные медиаторы – норадреналин и адреналин) и гормоны мозгового вещества надпочечников (адреналин и норадреналин) обеспечивают комплекс одноплановых реакций: активизацию сердечной деятельности и перераспределение кровотока «в пользу» скелетной мускулатуры, сердца и мозга. Вторая фаза динамики может быть связана с включением быстрого компонента динамики ЭОС ещё на первой стадии стресса. «Эндогенная опиоидная система - это комплекс

морфиноподобных пептидов (эндорфины, энкефалины, динорфины и др.) с выраженным тормозным действием на большинство систем организма, реализующимся через опиатные рецепторы (в основном, через пресинаптическое торможение)» [цит. по: 285] (Рисунок 71). Дополнительным аргументом в пользу такой трактовки динамики являются характерные для нее времена (от 1 до 20 мин.).



А.



Б.

Рис. 71. Соответствие фаз динамической структуры общей мощности спектра ВСП и ИВБ (Б) при стрессе и первой стадии динамики стресс регуляторных систем (А) [по: 280; 244].

Безусловно, полученный в ходе исследования динамический маркер стресса необходимо воспроизвести в лабораторных экспериментах на животных с использованием методов фармако-физиологического анализа.

Важно обратить внимание на противоречие, которое может возникнуть при трактовке наших результатов и в принципе наблюдается в кругу исследователей данной области [82]. Противоречие обнаруживается при сопоставлении двух признаков активности симпатического отдела ВНС – мощности низкочастотного компонента спектра ВСП (LF) и ЧСС. Так, принято считать, что повышение ЧСС и увеличение показателя LF отражают активность симпатической ВНС. В нашем случае при повышении ЧСС наблюдается снижение мощности LF компонента (например, у спортсменов), то есть два признака противоречат друг другу. Мы нашли следующее объяснение такого эффекта. Эксперименты в исследованиях LF компонента, как признака, отражающего активность симпатической ВНС, исторически проводились в

контекстах покоя или на наркотизированных животных, то есть не рассматривались активные контексты. В таких случаях действительно наблюдаются прямые корреляции между мощностью LF и ЧСС, которые исчезают при рассмотрении активных контекстов. Однако, в контексте покоя можно наблюдать периодическое повышение ЧСС при высокой мощности HF компонента спектра ВСР, который отражает активность парасимпатического звена ВНС (например, при выраженной дыхательной волне в ритмограмме). В итоге получается, что изменения ЧСС и мощности LF не всегда связаны именно с активностью симпатического отдела ВНС. По всей видимости, они отражают разные режимы симпатического воздействия на сердечный ритм. Тогда LF отражает фазические модуляции сердечного ритма симпатической ВНС в контексте покоя, а повышение ЧСС – однократное сильное возрастание симпатической активации в активном контексте. То есть, отвечая на вопрос: является ли повышение ЧСС маркером симпатической активации, следует уточнить: насколько и за какое время снизилось ЧСС, а в отношении LF – компонента при трактовке результатов следует учитывать характеристики контекста, в котором проводились измерения. По сути, такие противоречия являются лишь малой частью крупной проблемы выработки норм по физиологическим параметрам и границ их применения.

Завершая обсуждение, перейдем к роли ЭОС в регуляции сердечного ритма. Известно, что длительное употребление опиатных наркотиков ведет к разрушению рецепторного аппарата ЭОС [190]. Поэтому наркозависимые больные в период отмены являются испытуемыми, у которых нарушена регуляторная функция ЭОС. Сравнивая их показатели с показателями здоровых испытуемых, мы выделили характерные особенности (Рисунок 72). В частности, принципиально важным оказалось снижение эффективности нервно-гуморальной регуляции сердечного ритма у наркозависимых. Мощностные характеристики ВСР в экспериментальной группе значимо ниже во всех контекстах (покой, когнитивная нагрузка). Такой эффект может иметь два объяснения. Во-первых, из структуры нервно-гуморальной регуляции сердечного ритма исключается одна из базовых нейрохимических систем мозга – ЭОС. Тогда система управления сердечным ритмом существенно сужается. Во-вторых, нарушение ЭОС ведет к устранению тормозных механизмов, ввиду чего симпатоадреналовые воздействия становятся гиперактивированными.

Такой эффект также может быть связан и с изменениями на информационном уровне живой системы. Исходя из того, что ЭОС является одним из главных звеньев в управлении сигналами о рассогласовании, а конкретнее, ингибитором таких сигналов, можно предположить, что нарушение ЭОС ведет к возникновению многочисленных сигналов о рассогласовании, что в свою очередь приводит к снижению степеней свободы в настройках режима вегетативного обеспечения организма.

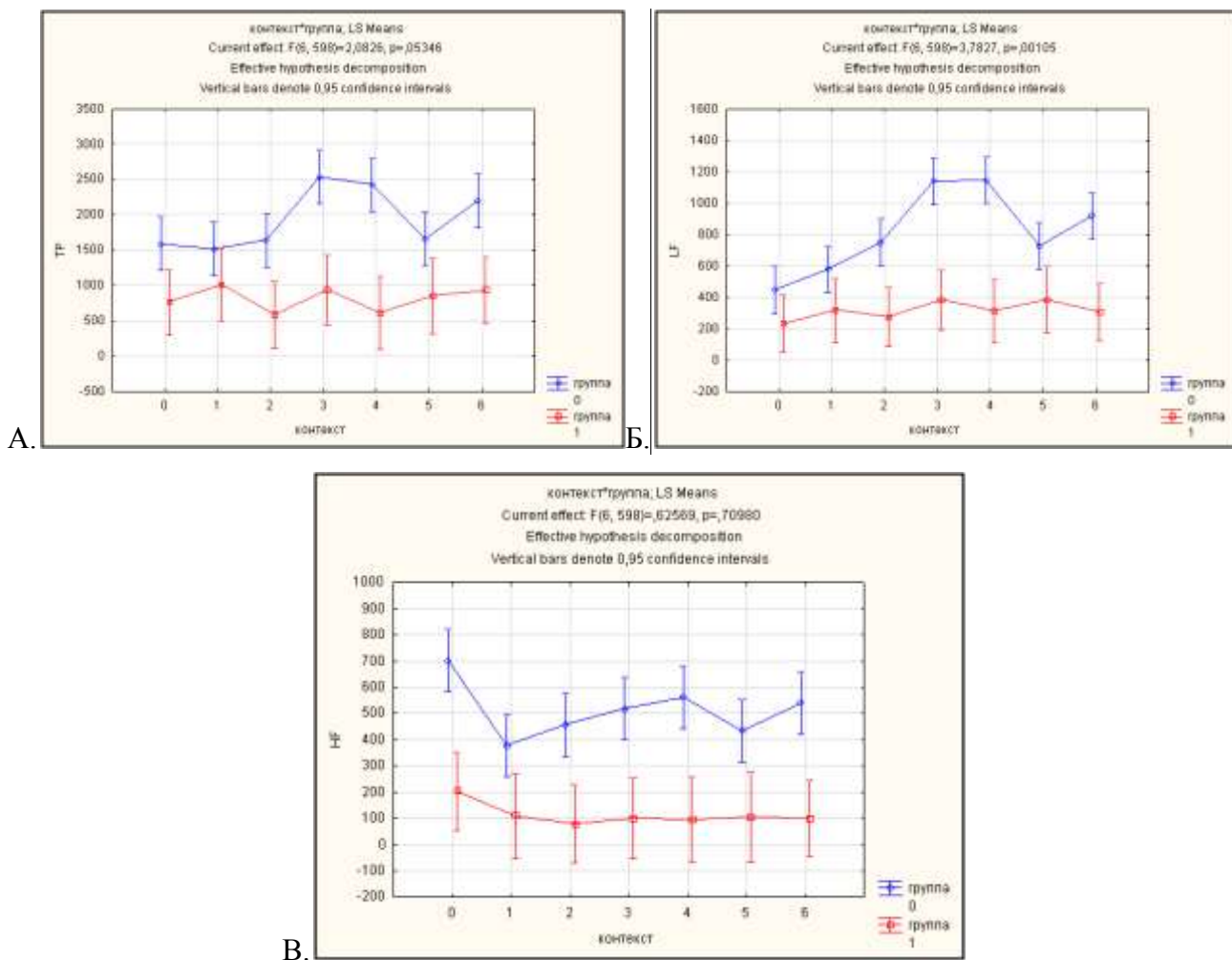


Рис. 72. Динамика параметров ВСП (А – TP (мс²); Б – LF (мс²); В – HF (мс²)) в 6 пробах (ось x – контекст: 0. – лежа; 1– компьютерная латерометрия; 2 - компьютерная кампиметрия; 3 - тест Струпа; 4 - тест «Часы»; 5 – тест «Управление углом наклона отрезка»; 6 - измерение времени сенсомоторной реакции) в группах: 0-здоровые (синим), 1- наркозависимые (красным).

Результаты сравнения показателей когнитивных функций наркозависимых и здоровых испытуемых, по сути, подтверждают такую трактовку. Так, в тесте «Часы» наркозависимые в большинстве случаев переходят к следующему заданию только при достижении нулевой ошибки «установленного времени», то есть при достижении ситуации отсутствия объективного рассогласования между заданным и установленным временем, чего не наблюдается у здоровых испытуемых. Это ведет к выводу о том, что у наркозависимых испытуемых в сравнении со здоровыми ниже порог допустимого рассогласования, ввиду чего одни и те же объективные рассогласования субъективно воспринимаются по-разному.

Такое утверждение подтверждают результаты измерения времени простых сенсомоторных реакций. Мы выявили, что в группе наркозависимых испытуемых в сравнении со здоровыми значимо выше время моторного компонента реакции, то есть, проще говоря, они дольше удерживают клавишу, реагируя на звуковой стимул. Если учесть, что выполнение поведенческого акта заканчивается при устранении сигнала о рассогласовании, то наблюдаемая

разница времен может быть объяснена аналогично нарушением ЭОС – сигналы о рассогласовании дольше не устраняются. Такой же эффект воспроизводится и при сравнении времени сенсомоторной реакции испытуемых в тесте Струпа, в котором реализована модель когнитивного конфликта (в пробах, в которых значение слова не совпадает с цветом букв). Аналогично, рассогласование между смыслом слова и цветом букв субъективно для наркозависимых является более выраженным и тормозит процесс принятия решения при выборе.

Заключение

Главной задачей исследования был анализ непрерывной динамики вегетативной регуляции кардиоритма при разнородных нагрузках в контексте естественной деятельности и выявление динамических структур показателей вегетативной регуляции, специфичных для стресс-реакции – маркеров стресса.

В результате удалось выяснить, что снижение общей мощности спектра ВСР на фоне возрастания индекса вегетативного баланса, которое следует за их совместным возрастанием, сопровождается системными процессами в ответ на сигнал о чрезмерном рассогласовании в контекстах эмоциональной, информационной и физической нагрузки. Данная динамическая структура показателей ВСР отвечает всем выделенным критериям к маркерам стресса:

1. динамичностью,
2. неспецифичностью к природе стресс-фактора,
3. стадийностью.

В результате в нашей работе продемонстрированы прямые доказательства того, что функциональная система стресса на психофизиологическом обладает свойствами:

1. неспецифичности. Одна и та же структура режима вегетативной регуляции воспроизводится при эмоциональных (контекст публичного выступления), информационных (внезапные маневры при управлении автотранспортом, ошибки в компьютерных играх и др.) и физических (контекст тренировки в газовой-дымовой камере) стресс-факторах.
2. редуцированности. Общая мощность спектра variability сердечного ритма и мощности в низкочастотном и высокочастотном диапазонах спектра снижаются в разы.
3. динамичности. Стресс-реакция и ее отражение в вегетативной регуляции сердечного ритма имеют закономерную последовательность смены режимов работы живой системы.

Вторым 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 живой системы без нарушения и искажения формируемых функциональных систем дополнительными компонентами (лабораторные условия, наличие экспериментатора и др.). Это еще один шаг на пути отступления 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 [229].

В частности, в нашей работе показано, что спектр режимов живой биологической системы в контексте естественной деятельности значительно шире, чем таковой в стационарных контекстах, формируемых в лабораторных условиях.

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 сокращений

HF	high frequency
LF	low frequency
TP	total power
VHF	very high frequency
АД	артериальное давление
АПК	аппаратно-программный комплекс
ВНС	вегетативная нервная система
BCP	вариабельность сердечного ритма
ГГАС	гипоталамо-гипофизарно-адреналовая система
ДА	дыхательная аритмия
ИББ	индекс вегетативного баланса
НА	не дыхательная аритмия
НВИМ	нейровисцеральная интегративная модель
НВП	непрерывное вейвлет-преобразование
ПЭТ	позитронно-эмиссионная томография
СА	синусовая аритмия
САС	симпатоадреналовая система
CP	сердечный ритма
ССС	сердечно-сосудистая система
УЭД	уровень эмоциональной дезадаптации
фМРТ	функциональная магнитно-резонансная томография
ФС	функциональная система
ЦНС	центральная нервная система
ЧД	частота дыхания
ЧСС	частота сердечных сокращений
ЭОС	эндогенная опиоидная система

Список литературы

1. Aasman, J., Wijers, A.A., Mulder, G., Mulder, L.J. Measuring mental fatigue in normal daily working routines / In: P.A. Hancock, N. Meshkati (Ed.) Human mental workload - Amsterdam: North-Holland, 1988. - P. 117-138.
2. Ahs, F., Sollers, J.J., Furmark, T., Fredrikson, M., Thayer, J.F. High-frequency heart rate variability and corticostriatal activity in men and women with social phobia // *Neuroimage*. - 2009. - N 47. - P. 815-820.
3. Akil, H., Watson, S.J. The role of endogenous opiates in pain control // *Life Sci. Res. Repts.* - 1980. - № 17. - P. 201-222.
4. Akinola, M., Mendes, W.B. The dark side of creativity: biological vulnerability and negative emotions lead to greater artistic creativity // *Pers. Soc. Psychol. Bull.* - 2008. - N 34. - P. 1677-1686.
5. Akselrod, S. Components of heart rate variability // *Heart rate variability*. - N.Y.: Armonk., 1995. - P. 146-164.
6. Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F.A. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control // *Science*. - 1981. - Vol. 213, N 4503. - P. 220-222.
7. Allen, A.P., Kennedy, P.J., Cryan, J.F., Dinan, T.G., Clarke, G. Biological and psychological markers of stress in humans: Focus on the Trier Social Stress Test // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. - 2014. - N 38. - P. 94-124.
8. Altemus, M., Redwine, L.S., Leong, Y., Frye, C.A., Porges, S.W., Carter, C.S., Responses to laboratory psychosocial stress in postpartum women // *Psychosom. Med.* - 2001. - N 63. P. 814-821.
9. Althaus, M., Mulder, L.J., Mulder, G., Van Roon, A.M., Minderaa, R.B. Influence of respiratory activity on the cardiac response pattern to mental effort // *Psychophysiology*. - 1998. - Vol. 35., N 4. - P. 420-430.
10. Appelhans, B.M., Luecken, L.J. Heart rate variability as an index of regulated emotional responding // *Rev. Gen. Psychol.* - 2006. - N 10. - P. 229-240.
11. Aysin, B., Aysin, E. Effect of Respiration in Heart Rate Variability (HRV) // *Analysis. Conf Proc IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* - 2006. -N 1(1). - P. 1776-1779.
12. Backs, R.W., Seljos, K.A. Metabolic and cardiorespiratory measures of mental effort: the effects of level of difficulty in a working memory task // *Int. J. Psychophysiol.* - 1994. - Vol. 16., N 1. - P. 57-68.
13. Badra, L.J., Cooke, W.H., Hoag, J.B., Crossman, A.A., Kuusela, T.A., Tahvanainen, K.U., Eckberg, D.L. Respiratory modulation of human autonomic rhythms // *Am. J. Physiol. Heart Circ Physiol.* - 2001. - Vol. 280., № 6. - P. 2674-2688.
14. Becker, K., Görlach, I., Frieling, T., Häussinger, D. Characterization and natural course of cardiac autonomic nervous dysfunction in HIV-infected patients // *AIDS*. - 1997. - Vol. 11(6). - P. 751-757.
15. Belova, M.A., Paton, J.J., Morrison, S.E., Salzman, C.D. Expectation modulates neural responses to pleasant and aversive stimuli in primate amygdale // *Neuron*. - 2007. - N 55. - P. 970-984.
16. Ben Lamine, S., Calabrese, P., Perrault, H., Dinh, T.P., Eberhard, A., Benchetrit, G. Individual differences in respiratory sinus arrhythmia - *Am. J. Physiol. Heart Circ Physiol.* - 2004. - N 286(6). - P. 2305-2312.

17. Benarroch, E.E. The central autonomic network // In Low P.A. (Ed.) *Clinical Autonomic Disorders*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven. – 1997. - P. 17-23.
18. Billman, G. E. Heart rate variability—a historical perspective // Review Article. – 2011. - doi: 10.3389/fphys.2011.00086
19. Bloomfield, D.M., Magnano, A., Bigger, J.T.Jr., Rivadeneira, H., Parides, M., Steinman, R.C. Comparison of spontaneous vs. metronome-guided breathing on assessment of vagal modulation using RR variability // *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.* – 2001. – N 280(3). – P 1145-1150.
20. Bloomfield, D.M., Zweibel, S., Bigger, J.T.Jr., Steinman, R.C. R-R variability detects increases in vagal modulation with phenylephrine infusion // *Am. J. Physiol.* – 1998. – N 274(5 Pt 2). – P. 1761-1766.
21. Bodnar, R.J., Kelly, D., Spiyccia, A., Ehrenberg, C., Glusman, M. Dose-dependent reductions by naloxone of analgesia induced by cold-water stress // *Pharmacol. Biochem. And Behav.* - 1978. - Vol. 8., № 6. - P. 661-672.
22. Bodnar, R.J., Klein, G.E. Endogenous opiates and behavior: 2005. // *Peptides*. - 2006. - Vol. 27., № 12. - P. 3391-3478.
23. Bonnemeier, H., Richardt, G., Potratz, J., Wiegand, U.K., Brandes, A., Kluge, N., Katus, H.A. Circadian profile of cardiac autonomic nervous modulation in healthy subjects: differing effects of aging and gender on heart rate variability // *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* – 2003. – N 14(8). – P. 791-799.
24. Borchini, R., Ferrario, M.M. Job strain and heart rate variability. New evidence and new prospects // *G. Ital. Med. Lav. Ergon.* – 2012. - № 34. – P. 174-176.
25. Borst, C., Karemaker, J.M. Time delays in the human baroreceptor reflex // *J. Auton. Nerv. Syst.* – 1983. – Vol. 9, N 2/3. – P. 399 – 409.
26. Bowers, K.S., Keeling, K.R. Heart-rate variability in creative functioning // *Psychol. Rep.* – 1971. - Vol. 29., N 1. – P. 160-162.
27. Brinkman, W-P., Haakma, R., Bouwhuis, D.G. Memory Load: a Factor that Links the Usability of Individual Interaction Components Together / In: *Proceedings of the Conference HCI: Design for Life*. Leeds, UK., 2004. - Vol. 2 – P. 165-168.
28. Brondolo, E., Karlin, W., Bobrow, A.K., Schwartz J.A. Workday communication and ambulatory blood pressure: implications for the reactivity hypothesis // *Psychophysiology*. – 1999. – N 36. – P. 86–94.
29. Brunoni, A.R., Lotufo, P.A., Benseñor, I.M. Are Antidepressants Good for the Soul but Bad for the Matter? Using Noninvasive Brain Stimulation to Detangle Depression. Antidepressants Effects on Heart Rate Variability and Cardiovascular Risk // *Biological Psychiatry*. – 2012. – Vol. 71., № 7. – P. 27–28.
30. Buchanan, T.W., Tranel, D. Stress and emotional memory retrieval: effects of sex and cortisol response // *Neurobiol. Learn. Mem.* – 2008. N 89. - N 134–141.
31. Buchheit, M., Papelier, Y., Laursen, P.B., Ahmaidi, S. Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability? // *Am. J. Physiol, Heart Circ. Physiol.* – 2007. - N 293. – P. 8–10.
32. Burger, J.M., Arkin, R. Prediction, control, and learned helplessness // *Journal of Personality and Social Psychology*. - 1980. - N 38. – P. 482–491.
33. Burke, D., Sundlof, G., Wallin, B.G. Postural effects on muscle nerve sympathetic activity in man // *J. Physiol.* - 1977. - Vol. 272, N 2. - P. 399-414.

34. Burke, W.P. Development of predictors of performance under stress in Jumpmaster training // Research Report No. 1352. - Ft. Benning, GA: U.S. Army Research Institute. - 1980. - 24 p.
35. Buske-Kirschbaum, A., Geiben, A., Höllig, H., Morschhäuser, E., Hellhammer, D. Altered responsiveness of the hypothalamus-pituitary-adrenal axis and the sympathetic adrenomedullary system to stress in patients with atopic dermatitis // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* - 2002a. - N 87. - P. 4245–4251.
36. Buske-Kirschbaum, A., Geirens, A., Höllig, H., Hellhammer, D.H. Stressinduced immunomodulation is altered in patients with atopic dermatitis // *J. Neuroimmunol.* - 2002b. - N 129. - P. 161–167.
37. Butler, E.A., Wilhelm, F.H., Gross, J.J. Respiratory sinus arrhythmia, emotion, and emotion regulation during social interaction // *Psychophysiology.* - 2006. - N 43. - P. 612–622.
38. Campisi, J., Bravo, Y., Cole, J., Gobeil, K. Acute psychosocial stress differentially influences salivary endocrine and immune measures in undergraduate students // *Physiol. Behav.* - 2012. - N 107. - P. 317–321.
39. Carney, R.M., Saunders, R.D., Freedland, K.E. Depression is associated with reduced heart rate variability in patients with coronary heart disease // *Am. J. Cardiology.* - 1995. - 76. - N 562–564.
40. Cevese, A., Grasso, R., Poltronieri, R., Schena, F. Vascular resistance and arterial pressure low-frequency oscillations in the anesthetized dog // *Am. J. Physiol.* - 1995. - Vol. 268, N 1. - P. 7-16.
41. Chandola, T., Britton, A., Brunner, E., Hemingway, H., Malik, M., Kumari, M., Badrick, E., Kivimaki, M., Marmot, M. Work stress and coronary heart disease: what are the mechanisms? // *Eur Heart J.* - 2008. - N 29. - P. 640–648.
42. Chandola, T., Heraclides, A., Kumari, M. Psychophysiological biomarkers of workplace stressors // *Neurosci. Biobehav. Rev.* - 2010. - № 35(1). - P. 51–57.
43. Chang, H.A., Chang, C.C., Tzeng, N.S., Kuo, T.B., Lu, R.B., Huang, S.Y. Generalized anxiety disorder, comorbid major depression and heart rate variability: a case-control study in Taiwan // *Psychiatry Investig.* - 2013. - Vol. 10(4). - P. 326-335.
44. Chao, C.C., Hu, S., Sheng, W.S., Gekker, G., Peterson, P.K., Activation of mu opioid receptors inhibits microglial cell chemotaxis. // *J. Pharmacol. Exp. Ther.* - 1997. - Vol. 281., N 2. - P. 998–1004.
45. Che-Hao, H., Ming-Ya, T., Go-Shine, H., Tso-Chou, L., Kuen-Pao, C., Shung-Tai, H., Liang-Yu, S., Chi-Yuan, L. Poincaré plot indexes of heart rate variability detect dynamic autonomic modulation during general anesthesia induction // *Acta Anaesthesiologica Taiwanica.* - 2012. - № 50. - P. 12-18.
46. Chess, G. F., Tam, R.M., Carlaresu, F.R. Influence of cardiac neural inputs on rhythmic variations of heart period in cat // *Am. J. Physiol.* - 1975. - Vol. 228., N3. - P. 775 - 780.
47. Childs, E., Vicini, L.M., De Wit, H. Responses to the Trier Social Stress Test (TSST) in single versus grouped participants // *Psychophysiology.* - 2006. - N 43. - P. 366–371.
48. Cohen, S., Weinstein, N. Nonauditory effects of noise on behavior and health // *Journal of Social Issues.* - 1981. - N 37. - P. 36–70.
49. Collins, A., Karasek, A., and Costas, K. Job strain and autonomic indices of cardiovascular disease risk // *American Journal of Industrial Medicine.* - 2005. - N 48. - P. 183 – 193.
50. Cooley, R. L., Montano, N., Cogliati, C. Evidence for a central origin of the low-frequency oscillation in RR-interval variability // *Circulation.* - 1998. - Vol. 98, N 6. - P. 556-561.

51. Cottin, F. Heart rate comparative study by spectral analysis between two exercises: ergocycle vs. judo randori // *Sci. Sports.* – 2001. – N 16. – P. 295–305.
52. Cottin, F., Medigue, C., Papelier, Y. Effect of heavy exercise on spectral baroreflex sensitivity, heart rate, and blood pressure variability in well-trained humans // *Am. J. Physiol, Heart Circ. Physiol.* – 2008. – N 295. – P. 1150–1155.
53. Critchley, H.D., Mathias, C.J., Josephs, O., O'Doherty, J., Zanini, S., Dewar, B.K., Cipolotti, L., Shallice, T., Dolan, R.J. Human cingulate cortex and autonomic control: converging neuroimaging and clinical evidence // *Brain.* – 2003. – Vol. 126., N 10. – P. 2139-2152.
54. Curtis, M.T., Lefer, A.M. Actions of opiate antagonists with selective receptor interactions in hemorrhagic shock // *Circ. Shock.* - 1983. - Vol. 10., № 2. - P 131-145.
55. Curtis, M.T., Lefer, A.M. Beneficial action of naloxone in splanchnic artery occlusion shock // *Experientia.* - 1981. - Vol. 37., № 4. - P. 403-404.
56. Davig, J.P., Larkin, K.T., Goodie, J.L. Does cardiovascular reactivity to stress measured in the laboratory generalize to thesis and dissertation meetings among doctoral students? // *International Journal of Behavioral Medicine.* – 2000. - N 7. – P. 216–235.
57. De Boer, R.W., Karemaker, J.M., Strackee, J. Hemodynamic fluctuations and baroreflex sensitivity in humans: a beat-to-beat model // *Am. J. Physiol.* - 1987. - Vol. 253, N 3 (Pt.2). – P. 685-687.
58. De Couck, M., van Brummelen, D., Schallier, D., De Grève, J., Gidron, Y. The relationship between vagal nerve activity and clinical outcomes in prostate and non-small cell lung cancerpatients // *Oncology reports.* – 2013. – P. 2435-2441. - DOI: 10.3892/or.2013.2725
59. Devinsky, O., Morrell, M.J., Vogt, B.A. Contributions of the anterior cingulate cortex to behavior // *Brain.* – 1995. - N 118. – P. 279–306.
60. Di, C., Luft, B., Takase, E., Darby, D. Heart rate variability and cognitive function: Effects of physical effort // *Biological Psychology.* – 2009. - N 82. – P. 186–191.
61. Dietrich, A. Transient hypofrontality as a mechanism for the psychological effects of exercise // *Psychiatry Research.* – 2006. – N 145 (1). – P. 79–83.
62. Dietrich, A., Sparling, P.B. Endurance exercise selectively impairs prefrontal dependent cognition // *Brain Cognitive.* – 2004. – N 55 (3). – P. 516–524.
63. Domes, G., Heinrichs, M., Reichwald, U., Hautzinger, M. Hypothalamicpituitary- adrenal axis reactivity to psychological stress and memory in middle-aged women: high responders exhibit enhanced declarative memory performance // *Psychoneuroendocrinology.* – 2002. – N 27. – P. 843–853.
64. Eckberg, D.L. Respiratory modulation of human autonomic rhythms // *Am. J. Physiol. Heart Circ Physiol.* - 2001. - Vol. 280., № 6. - P. 2674-2688.
65. Egelund, N. Spectral analysis of heart rate variability as an indicator of driver fatigue // *Ergonomics.* – 1982. - Vol. 25., N 7. - P. 663-672.
66. Elghozi, J.L., Julien, C. Sympathetic control of short-term heart rate variability and its pharmacological modulation // *Fundam. Clin. Pharmacol.* – 2007. – N 21(4). – P. 337-347.
67. Faden, A.I., Holaday, J.W. Experimental endotoxin shock: the pathophysiologic function of endorphins and treatment with opiate antagonists // *J. Infect. Dis.* - 1980. - Vol. 142., № 2. - P. 229-238.
68. Faden, A.I., Holaday, J.W. Opiate antagonists: a role in the treatment of hypovolemic shock // *Science.* - 1979. - Vol. 205. - P. 317-318.

69. Faden, A.J., Holaday, J.W. Naloxone reversal of endotoxin hypotension suggests role of endorphins in shock // *Nature*. - 1978. - Vol. 275., № 5679. - P. 450-451.
70. Faden, A.J., Holaday, J.W. Naloxone treatment of endotoxin shock: stereospecificity of physiologic and pharmacologic effects in the rat // *J. Pharmacol. And Exp. Ther.* - 1980. - Vol. 212., № 3. - P. 441-447.
71. Feuerstein, G., Ailam, R., Bergman, F. Reversal by naloxone of hemorrhagic shock in anephric cats // *Eur. J. Pharmacol.* - 1980. - Vol. 65. - P. 93-96.
72. Feuerstein, G., Zerbe, R.L., Faden, A.J. Opiate receptors and cardiovascular control in conscious SHR and WKY rats // *Hypertension*. - 1983. - Vol. 5., № 5 (Pt 1). - P. 663-671.
73. Firk, C., Markus, C.R. Mood and cortisol responses following tryptophan-rich hydrolyzed protein and acute stress in healthy subjects with high and low cognitive reactivity to depression // *Clin. Nutr.* - 2009. - N 28. - P. 266-271.
74. Florez, J., Mediavilla, A., Pazos, A. Respiratory effects of beta-endorphin, d-ALA2-met-enkephalinamide, and met-enkephalin injected into the lateral ventricle and the pontomedullary subarachnoid space // *Brain Res.* - 1980. - Vol. 199. - P. 197-206.
75. Foley, P., Kirschbaum, C. Human hypothalamus-pituitary-adrenal axis responses to acute psychosocial stress in laboratory settings // *Neurosci. Biobehav. Rev.* - 2010. - N 35. - P. 91-96.
76. Frederiks, J., Swenne, C.A., Ten Voorde, B.J., Honzikova, N., Levert, J.V., Maan, A.C., Schali, M.J., Brusckhe, A.V. The importance of high-frequency paced breathing in spectral baroreflex sensitivity assessment // *J. Hypertens.* - 2000. - N 18(11). - P. 1635-1644.
77. Furlan, R., Pagani, M., Malliani, A. Effects of exercise and training on control of heart rate // *Cardiovasc. Res.* - 1993. - N 27. - P. 2286-2287.
78. Galluzzi, S., Nicosia, F., Geroldi, C., Alicandri, A., Bonetti, M., Romanelli, G., Zulli, R., Frisoni, G.B. Cardiac Autonomic Dysfunction Is Associated With White Matter Lesions in Patients With Mild Cognitive Impairment // *Journal of Gerontology: MEDICAL SCIENCES* - Cite journal as: *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* - 2009. - Vol. 64., N 12. - P. 1312-1315.
79. Gerra, G., Zaimovic, A., Mascetti, G., Gardini, S., Zambelli, U., Timpano, M., Raggi, M., Brambilla, F. Neuroendocrine responses to experimentally-induced psychological stress in healthy humans // *Psychoneuroendocrinology*. - 2001. - N 26. - P. 91-107.
80. Gianaros, P.J., Horenstein, J.A., Cohen, S., Matthews, K.A., Brown, S.M., Flory, J.D., Critchley, H.D., Manuck, S.B., Hariri, A.R. Perigenual anterior cingulate morphology covaries with perceived social standing // *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* - 2007. - N 2. - P. 161-173.
81. Goldberger, A. Is the normal heartbeat chaotic or homeostatic? // *News in Physiological Sciences*. - 1991. - N 6. - P. 87-91.
82. Goldstein, D.S. Neuroscience and heart-brain medicine: The year in review // *Cleveland and clinical journal of medicine*. - Vol. 77. - № 3. - 2010. - P. 34-39.
83. Grossman, P., Wilhelm, F.H., Spoerle, M. Respiratory sinus arrhythmia, cardiac vagal control, and daily activity // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* - 2004. - N 287(2). - P. 728-734.
84. Hansen, A.L., Johnsen, B.H., Thayer, J.F. Relationship between heart rate variability and cognitive function during threat of shock / *Anxiety, Stress & Coping: An International - Journal* Publication details, including instructions for authors and subscription information. - 2003. - <http://www.tandfonline.com/loi/gasc20>.
85. Hanson, E.K.S., Godaert, G.L.R., Maas, C.J.M., Meijman, T.F. Vagal cardiac control throughout the day: the relative importance of effort-reward imbalance and within-day measurements of mood, demand and satisfaction // *Biol. Psychol.* - 2001. - N. 56. - P. 23-44.

86. Hautala, A., Tulppo, M.P., Makikallio, T.H., Laukkanen, R., Nissila, S., Huikuri, H.V. Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise // *Clin. Physiol.* – 2001. – N 21. – P. 238–245.
87. Hidalgo, V., Villada, C., Almela, M., Espín, L., Gómez-Amor, J., Salvador, A. Enhancing effects of acute psychosocial stress on priming of non-declarative memory in healthy young adults – *Stress.* - 2012. – N 15. – P. 329–338.
88. Holaday, J.W., Faden, A.J. Naloxone acts at central opiate receptors to reverse hypotension, hypothermia and hypoventilation in spinal shock // *Brain Res.* - 1980. - Vol. 189. - P. 295-299.
89. Holaday, J.W., Faden, A.J. Naloxone treatment in shock // *Lancet.* - 1981. - Vol. 2. - P. 201.
90. Holland, P.C., Gallagher, M. Amygdala–frontal interactions and reward expectancy // *Curr. Opin. Neurobiol.* – 2004. – N 14. – P. 148–155.
91. Hsieh, C.W., Mao, C.W., Young, M.S., Yeh, T.L., Yeh, S.J. Assessment of parasympathetic control of blood vessel by pulsation spectrum and comparison with spectral method of RR intervals // *Biomed. Eng. Appl. Basis Comm.* – 2003. - Vol. 15., N 1. – P. 8-16.
92. Hughes, J., Smith, T.W., Kosterlitz, H.W., Fothergill, U.A., Morgan, B.A., Morris, H.R. Identification of two related pentapeptides from the brain with potent opiate agonist activity // *Nature.* - 1975. - Vol. 258. - P. 577-579.
93. Hunt, L.B., Reynolds, D.G., Gurll, N.J., Ganes, E.M. The efficacy of an opiate antagonist/analgesic drug in canine hemorrhagic shock // *Circ. Shock.* - 1983. - Vol. 10., № 3. - P. 235.
94. Ingjaldsson, J.T., Laberg, J.C., Thayer, J.F. Reduced heart rate variability in chronic alcohol abuse: relationship with negative mood, chronic thought suppression, and compulsive drinking // *Biol. Psychiatry.* – 2003. - N 54. – N 1427–1436.
95. Iversen, L. Chemical identification of a natural opiate receptor agonist in brain // *Nature.* - 1975. - Vol. 258., № 5536. - P. 567-568.
96. Iwamoto, Y., Kawanishi, C., Kishida, I., Furuno, T., Fujibayashi, M., Ishii, C., Ishii, N., Moritani, T., Taguri, M., Hirayasu, Y. Dose-dependent effect of antipsychotic drugs on autonomic nervous system activity in schizophrenia // *BMC Psychiatry.* – 2012. - № 12. – P. 199.
97. Jamieson, J.P., Mendes, W.B., Nock, M.K. Improving acute stress responses: the power of reappraisal // *Curr. Dir. Psychol. Sci.* – 2013. – N 22. – P. 51–56.
98. Janssen, B.J.A., Oosting, J., Slaff, D.W. Hemodynamic basis of oscillations in systemic arterial pressure in conscious rats // *Am. J. Physiol.* - 1995. - Vol. 269., N 1 (Pt.2). – P. 62-71.
99. Jeanne, M., Logier, R., De Jonckheere, J., Tavernier, B. Heart rate variability during total intravenous anesthesia: Effects of nociception and analgesia // *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical.* – 2009. - № 147. – P. 91–96.
100. Jezova, D., Makatsori, A., Duncko, R., Moncek, F., Jakubek, M. High trait anxiety in healthy subjects is associated with low neuroendocrine activity during psychosocial stress // *Prog. Neuro-Psychopharmacol. - Biol. Psychiatry.* – 2004. – N 28. – P. 1331–1336.
101. Joels, M., Baram, T.Z. The neuro-symphony of stress // *Nat. Rev. Neurosci.* – 2009. – N 10. – P. 459–466.
102. Johnson, A.W., Gallagher, M., Holland, P.C. The basolateral amygdala is critical to the expression of Pavlovian and instrumental outcome-specific reinforcer devaluation effects // *J. Neurosci.* – 2009. – N 29. – P. 696.
103. Jorna, P.G.A.M. Spectral analysis of heart rate and psychological state: a review of its validity as a workload index // *Biol. Psychol.* – 1992. - Vol. 34., N 2-3. – P. 237-257.

104. Juster, R., Perna, A., Marin, M., Sindi, S., Lupien, S.J. Timing is everything: anticipatory stress dynamics among cortisol and blood pressure reactivity and recovery in healthy adults // *Stress*. – 2012. – N 15. – P. 569–577.
105. Kalsbeek, J.W.H., Ettema, J.H. Scored regularity of the heart rate and the measurement of perceptual load // *Ergonomics*. – 1963. – N. 6. – P. 306-307.
106. Kalsbeek, J.W.H., Sykes, R.N. Objective measurement of mental load // *Acta Psychologica*. – 1967. - N 27. – P. 253-261.
107. Karemaker, J.M. Analysis of blood pressure and heart rate variability: theoretical consideration and clinical applicability // *Clinical autonomic disorders*. - 1993. - P. 315-330.
108. Kemp, A.H., Quintana, D.S., Gray, M.A., Felmingham, K.L., Brown, K., Gatt, J.M. Impact of Depression and Antidepressant Treatment on Heart Rate Variability: A Review and Meta-Analysis // *Biological Psychiatry*. – 2010. - Vol. 67., № 11. – P. 1067–1074.
109. Kirschbaum, C., Pirke, K.M., Hellhammer, D.H. The ‘Trier Social Stress Test’—a tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting // *Neuropsychobiology*. – 1993. - N 28. – P. 76–81.
110. Kryptos, A.M., Jahfari, S., van Ast, V.A., Kindt, M., Forstmann, B.U. Individual differences in heart rate variability predict the degree of slowing during response inhibition and initiation in the presence of emotional stimuli // *Front Psychol*. – 2011. - N 2. - Article 278. – 8 p.
111. Kuusela, T.A., Kaila, T.J., Kahonen, M. Fine structure of the low-frequency spectra of heart rate and blood pressure // *BMC Physiol*. – 2003. - Vol. 3., N 1. - 11 p.
112. Lackschewitz, H., Hüther, G., Kröner-Herwig, B. Physiological and psychological stress responses in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) // *Psychoneuroendocrinology*. – 2008. – N 33. – P. 612–624.
113. Lane, R.D., McRae, K., Reiman, E.M., Chen, K., Ahern, G.L., Thayer, J.F. Neural correlates of heart rate variability during emotion // *Neuroimage*. – 2009. – N 44. – P. 213–222.
114. Lanfranchi, P.A., Somers, V.K. Arterial baroreflex function and cardiovascular variability: interactions and implications // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol*. – 2002. – N 283(4). – P. 815-826.
115. Larsson, G. Personality, appraisal, and cognitive coping processes, and performance during various conditions of stress // *Military Psychology*. – 1989. - N 1. – P. 167–182.
116. Laude, D., Elghozi, J.L., Girard, A., Bellard, E., Bouhaddi, M., Castiglioni, P., Cerutti, C., Cividjian, A., Di Rienzo, M., Forrat, J.O., Janssen, B., Karemaker, J.M., Leftheriotis, G., Parati, G., Persson, P.B., Porta, A., Quintin, L., Regnard, J., Rudiger, H., Stauss, H.M. Comparison of various techniques used to estimate spontaneous baroreflex sensitivity // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol*. – 2004. – N 286(1). – P. 226-231.
117. Le Doux, J. Emotional networks and motor control: a fearful view // *Prog. Brain Res*. – 1996. – N 107. – P. 437–446.
118. Lechner, R.B., Gurl, N.J., Reynolds, D.G., Brody, M.J. Adrenergic mediation of the naloxone response in shock // *Circ. Shock*. - 1983. - Vol. 10., № 3. - P. 235.
119. Ledowski, T., Bein, B., Hanss, R., Paris, A., Fudickar, W., Scholz, J., Tonner, P.H. Neuroendocrine stress response and heart rate variability: A comparison of total intravenous versus balanced anesthesia // *Anesthetic pharmacology*. – 2005. – P 1700-1705.
120. Lee, M., Silverman, S.M., Hansen, H., Patel, V.B., Manchikanti, L. A comprehensive review of opioid-induced hyperalgesia // *Pain Physician*. – 2011. – Vol. 14. - N 2. – P. 145–161.

121. Lewinska, M., Biaub, S., Erberc, R., Illec, N., Aurichd, J., Faureb, J.M., Möstle, E., Aurichc, C. Cortisol release, heart rate and heart rate variability in the horse and its rider: Different responses to training and performance // *The Veterinary Journal*. – 2013. – Vol. 197., № 2. – P. 229–232.
122. Lombardi, F., Montano, N., Fnocchiaro, M.L. Spectral analysis of sympathetic discharge in decerebrate cats // *J. Auton. Nerv. Syst.* – 1990. – Vol. 30. – P. 97-100.
123. Lupien, S.J., Maheu, F., Tu, M., Fiocco, A., Schramek, T.E. The effects of stress and stress hormones on human cognition: implications for the field of brain and cognition // *Brain Cogn.* - 2007. – N 65. – P. 209–237.
124. MacDonald, R.R., Labuc, S. Parachuting stress and performance / Farnborough, England: Army Personnel Research Establishment., 1982. –82 p.
125. Malik, M., Bigger, J.T., Camm, A.J., Kleiger, R.E., Malliani, A., Moss, A.J., Schwartz, P.J. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // *Eur. Heart J.* – 1996. – N 17(3). – P. 354-381.
126. Malmo, R.B., Shagass, C. The variability of heart rate in relation to age, sex, and stress // *J. Appl. Psychol.* – 1949. - N 2. – P. 181-184.
127. Melillo, P., Bracale, M., Pecchia, L. Nonlinear Heart Rate Variability features for real-life stress detection. Case study: students under stress due to university examination // *Biomed. Eng. Online.* – 2011. – N 10(1). – P. 96.
128. Mikkil, W., Nielsen, A.H., Vuust, P., Dohn, A., Roepstorff, A., Lund, E.T. Amygdala and heart rate variability responses from listening to emotionally intense parts of a story // *NeuroImage.* – 2011. - N 58. – P. 963–973.
129. Milicevic, G. Low to high frequency ratio of heart rate variability spectra fails to describe sympatho-vagal balance in cardiac patients // *Coll. Antropol.* – 2005. - N 29(1). – P. 295-300.
130. Montano, N., Ruscone, T.G., Porta, A. Power spectrum analysis of heart rate variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt // *Circulation.* -1994. - Vol. 90., N 4. - P. 1826-1831.
131. Mulder, G., Mulder, L.J.M., Meijman, T.F., Veldman, J.B.P., Van Roon, A.M. A psychophysiological approach to working conditions / In: R.W. Backs, W. Boucsein (Ed.) *Engineering Psychophysiology: Issues and Applications*. Mahwah, N. J.: Lawrence Erlbaum., 2000. – P. 139-159.
132. Mulder, G., Mulder-Hajonides van der Meulen W.R.E.H. Heart rate variability in a binary choice reaction task: an evaluation of some scoring methods // *Acta. Psychol. (Amst.)* – 1972. - Vol. 36. - N 3. - P. 239-251.
133. Napadow, V., Dhond, R., Conti, G., Makris, N., Brown, E.N., Barbieri, R. Brain correlates of autonomic modulation: combining heart rate variability with Fmri // *Neuroimage.* – 2008. – N 42. – P. 169–177.
134. Nater, U.M., Moor, C., Okere, U., Stallkamp, R., Martin, M., Ehlert, U., Kliegel, M. Performance on a declarative memory task is better in high than low cortisol responders to psychosocial stress // *Psychoneuroendocrinology.* – 2007. - N 32. – P. 758–763.
135. Negoescu, R.M., Csiki, I.E., Pafnote, M., Wolf, S. Cortical control of sinus arrhythmia in man studied by spectral analysis // *Integr. Physiol. Behav. Sci.* – 1993. - Vol. 28, N 3. – P. 226-238.
136. Nikolova, R. Tzaneva, L., Danev, S., Investigation of noise exposure effect on heart rate variability parameters // *Cent Eur. J. Public Health.* - 2001. - Vol. 9, № 3. - P. 130-132.
137. Nilsson, M., Funk, P. A. Case-Based Classification of Respiratory Sinus Arrhythmia // P. Funk, P.A.G. Calero (Eds.) *7th European Conference on Case-Based Reasoning*, Springer, Madrid, 2004. - P. 673-685.

138. Nishith, P., Griffin, M.G., Poth, T.L. Stress-induced analgesia: prediction of posttraumatic stress symptoms in battered versus nonbattered women // *Biol. Psychiatry*. 2002. - Vol. 51., № 11. - P. 867-874.
139. Nugent, A.C., Bain, E.E., Thayer, J.F., Sollers, J.J., Drevets, W.C. Heart rate variability during motor and cognitive tasks in females with major depressive disorder // *Psychiatry Res.* – 2011. - N 191(1). – 19 p.
140. Oliverio, A., Castellano, C., Pavone, F. Transfer of conditioning in stress-induced analgesia // *Pharmacology Biochemistry and Behavior*. - 1986. - Vol. 25. - P. 181-183.
141. Pabst, S., Brand, M., Wolf, O.T. Stress and decision making: a few minutes make all the difference // *Behav. Brain Res.* – 2013. – N 250. – P. 39–45.
142. Pagani, M., Lombardi, E., Guzzetti, S. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker sympatho-vagal interaction in man and conscious dog // *Circ. Res.* – 1986. – Vol. 59, N 2. – P. 178-193.
143. Penttila, J., Helminen, A., Jartti, T., Kuusela, T., Huikuri, H.V., Tulppo, M.P., Coffeng, R., Scheinin, H. Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagal outflow: effects of various respiratory patterns // *Clin Physiol.* – 2001. – N 21(3). – P. 365-376.
144. Pert, C.B., Snyder, S.H. Opiate receptor: demonstration in nervous tissue // *Science.* – 1973a. - N 179 (4077). – P. 1011–1014.
145. Pert, C.B., Snyder, S.H., Properties of opiate-receptor binding in rat brain // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* – 1973b. – Vol. 70., N 8. – P. 2243–2247.
146. Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J.M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., Costes, F., Busso, T., Lacour, J.R., Barthelemy, J.C. Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2000 – N 32. – P. 1729–1736.
147. Piepoli, M., Coats, A.J., Adamopoulos, S., Bernardi, L., Feng, Y.H., Conway, J., Sleight, P. Persistent peripheral vasodilation and sympathetic activity in hypotension after maximal exercise // *J. Appl. Physiol.* – 1993. – N 75. – P. 1807–1814.
148. Plessow, F., Fischer, R., Krischbaum, C., Goschke, T. Inflexibly focused under stress: acute psychosocial stress increases shielding of action goals at the expense of reduced cognitive flexibility with increasing time lag to the stressor // *J Cognitive Neurosci.* – 2011. - № 23(11). – P. 3218–3227.
149. Plessow, F., Kiesel, A., Kirschbaum, C. The stressed prefrontal cortex and goal-directed behaviour: acute psychosocial stress impairs the flexible implementation of task goals // *Exp. Brain Res.* – 2012. - N 216. – P. 397-408.
150. Pomeranz, B., Macaulay, R.J.B., Caudill, M.A. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis // *Am. J. Physiol.* - 1985. - Vol. 248, N 1 (Pt.2). - P. 151-153.
151. Porges, S.W. Heart rate variability and deceleration as indexes of reaction time // *J. Exp. Psychol.* – 1972. - Vol. 92, N 1. – P. 103-110.
152. Preiss, G., Polosa, C. Patterns of sympathetic neuron activity associated with Mayer waves. // *Am. J. Physiol.* - 1974. - Vol. 226, N 3. - P. 724-730.
153. Pyetan, E., Akselrod, S. Do the high-frequency indexes of HRV provide a faithful assessment of cardiac vagal tone? A critical theoretical evaluation // *IEEE Trans Biomed Eng.* – 2003. – N 50(6). – P. 777-783.
154. Pyetan, E., Toledo, E., Zoran, O., Akselrod, S. Parametric description of cardiac vagal control // *Auton. Neurosci.* – 2003. – Vol. 28., N 109(1-2). – P. 42-52.

155. Quesada, A.A., Wiemers, U.S., Schoofs, D., Wolf, O.T. Psychosocial stress exposure impairs memory retrieval in children // *Psychoneuroendocrinology*. – 2012. – N 37. – P. 125–136.
156. Rachman, S.J. Fear and courage among military bomb-disposal operators // [Special Issue]. *Advances in Behaviour Research and Therapy*. - 1983. - N 4(3). – P. 43-51.
157. Redondo, M., Del Valle-Inclan, F. Decrements in heart rate variability during memory search // *Int. J. Psychophysiol.* – 1992. - Vol. 13, N 1. – P. 29-35.
158. Reid, G.B., Colle, H.A. Critical SWAT values for predicting operator overload // In: *Proceedings of the Human Factors Society 32nd annual meeting*. Santa Monica, CA: Human Factors Society., 1988. – P. 1414-1418.
159. Richter, D.W., Spyer, K.M. *Cardiorespiratory control. Central regulation of autonomic functions* / N.Y. : Oxford Univ. Press., 1990. - P. 189-207
160. Riganello, F., Giuliano, D., Walter, G.S. Heart rate variability and the central autonomic network in severe disorder of consciousness // Included in the special issue: *Consciousness and the vegetative state: today* – *J. Rehabil. Med.* – 2012. - N 44. –P. 481–516.
161. Rimmele, U., Seiler, R., Marti, B., Wirtz, P.H., Ehlert, U., Heinrichs, M. The level of physical activity affects adrenal and cardiovascular reactivity to psychosocial stress // *Psychoneuroendocrinology*. – 2009. - N 34. P. 190–198.
162. Rimmele, U., Zellweger, B.C., Marti, B., Seiler, R., Mohiyeddini, C., Ehlert, U., Heinrichs, M. Trained men show lower cortisol, heart rate and psychological responses to psychosocial stress compared with untrained men // *Psychoneuroendocrinology*. – 2007. - N 32. – P. 627–635.
163. Rimoldi, O., Pierini, S., Ferrary, A. Analysis of short - term oscillations of R - R and arterial pressure in conscious dogs // *Am. J. Physiol.* - 1990. - Vol. 258, N 4 (Pt.2). - P. 967 - 976.
164. Ritz, T., Thons, M., Dahme, B. Modulation of respiratory sinus arrhythmia by respiration rate and volume: stability across posture and volume variations // *Psychophysiology*. – 2001. – N 38(5). – P. 858-862.
165. Rohleder, N., Wolf, J.M., Maldonado, E.F., Kirschbaum, C. The psychosocial stress-induced increase in salivary alpha-amylase is independent of saliva flow rate // *Psychophysiology*. – 2006. – N 43. – P. 645–652.
166. Rohrman, S., Hennig, J., Netter, P. Changing psychobiological stress reactions by manipulating cognitive processes // *Int. J. Psychophysiol.* – 1999. – N 33. – P. 149–161.
167. Roscoe, A.H. Use of pilot heart rate measurement in flight evaluation // *Aviat. Space Environ Med.* – 1976. - Vol. 47., N 1. – P. 86-90.
168. Roy, B., Choudhuri, R., Pandey, A., Bandopadhyay, S., Sarangi, S., Ghatak, S.K. Effect of Rotating Acoustic Stimulus on Heart Rate Variability in Healthy Adults // *The Open Neurology Journal*. – 2012. - N 6. – P. 71-77.
169. Ruiz-Padial, E., Vila, J., Thayer, J.F. The effect of conscious and non-conscious presentation of biologically relevant emotion pictures on emotion modulated startle and phasic heart rate // *Int. J. Psychophysiol.* – 2011. – N 79. – P. 341–346.
170. Runova, E.V., Parin, S.B., Nekrasova, M.M., Bakhchina, A.V., Kovalchuk, A.V., Shyshalov, I.S., Poleyava, S.A. Monitoring and distant diagnostics of sportsmen's functional state based on information technologies and telemetry in the conditions of natural activity // *International Journal of Psychophysiology*. – September 2012. – V. 85. – Iss. 3. - P.420-421.
171. Saper, C.B. The central autonomic nervous system: conscious visceral perception and autonomic pattern generation // *Annu. Rev. Neurosci.* – 2002. - N 25. – P. 433–469.

172. Saul, J.P. Beat-to-beat variations of heart rate reflect modulation of cardiac autonomic outflow // *News in Physiol. Sci. (NIPS)*. - 1990. – Vol .5. - P. 32 - 37.
173. Sayers, B.McA. The analysis of cardiac interbeat interval sequences and the effect of mental work load / In: *Proceedings of the Royal Society for Medicine.*, 1971. - Vol. 64. – P. 707-710.
174. Schlotz, W., Kumsta, R., Layes, I., Entringer, S., Jones, A., Wüst, S. Covariance between psychological and endocrine responses to pharmacological challenge and psychosocial stress: a question of timing // *Psychosom. Med.* – 2008. – N 70. – P. 787–796.
175. Schwabe, L., Joëls, M., Roozendaal, B., Wolf, O.T., Oitzl, M.S. Stress effects on memory: an update and integration // *Neurosci. Biobehav. Rev.* – 2012. – N 36. – P. 1740–1749.
176. Singh, D., Vinod, K., Saxena, S.C. Sampling frequency of the RR interval time series for spectral analysis of heart rate variability // *J. Med. Eng. Technol.* – 2004. – N 28(6). – P. 263-272.
177. Smeets, T., Wolf, O.T., Giesbrecht, T., Sijstermans, K., Telgen, S., Joëls, M. Stress selectively and lastingly promotes learning of context-related high arousing information // *Psychoneuroendocrinology*. - 2009. - N 34. – P. 1152–1161.
178. Smith, T.W., Cribbet, M.R., Nealey-Moore, J.B., Uchino, B.N., Williams, P.G., Mackenzie, J., Thayer, J.F. Matters of the variable heart: Respiratory sinus arrhythmia response to marital interaction and associations with marital quality // *Journal of Personality and Social Psychology*. – 2011. – N 100. – P. 103–119.
179. Stanley, G.B., Poolla, K., Siegel, R.A. Threshold modeling of autonomic control of heart rate variability // *IEEE Trans Biomed Eng.* – 2000. – N 47(9). – P. 1147-1153.
180. Starcke, K., Brand, M. Decision making under stress: a selective review // *Neurosci. Biobehav. Rev.* – 2012. – N 36. – P. 1228–1248.
181. Steptoe, A., Hamer, M., Chida, Y. The effects of acute psychological stress on circulating inflammatory factors in humans: a review and meta-analysis // *Brain Behav. Immun.* – 2007. - N 21. – P. 901–912.
182. Stokes, A.F., Kite, K. On grasping a nettle and becoming emotional / In P.A. Hancock, &P.A. Desmond (Ed.), *Stress, workload, and fatigue*. Mahwah, NJ: L. Erlbaum. – 2001. – P. 162-181.
183. Staal, M.A. *Stress, Cognition, and Human Performance: A Literature Review and Conceptual Framework* // Ames Research Center Moffett Field, California., 2004. – 177 p.
184. Sugaya, N., Izawa, S., Kimura, K., Ogawa, N., Yamada, C.K., Shirotaki, K., Mikami, I., Hirata, K., Nagano, Y., Nomura, S. Adrenal hormone response and psychophysiological correlates under psychosocial stress in individuals with irritable bowel syndrome // *Int. J. Psychophysiol.* – 2012. – N 84. – P. 39–44.
185. Taelman, J., Vandeput, S., Vlemincx, E., Spaepen, A., Van Huffel, S. Instantaneous changes in heart rate regulation due to mental load in simulated office work // *Eur J Appl Physiol.* – 2011a. - № 111(7). – P. 1497-1505.
186. Taelman, J.; Katholieke, U., Leuven, L.B., Vandeput, S., Gligorijevic, I., Spaepen, A. Time-frequency heart rate variability characteristics of young adults during physical, mental and combined stress in laboratory environment // *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* – 2011b. – P. 1973-1976.
187. Tarvainen, M. P., Georgiadis, S., Laitio, T., Lipponen, J.A., Karjalainen, P.A., Kaskinoro, K., Scheinin, H. Heart Rate Variability Dynamics During Low-Dose Propofol and Dexmedetomidine Anesthesia // *Annals of Biomedical Engineering.* – 2012. - Vol. 40., N 8. - P. 1802–1813.
188. Taylor, J.A., Carr, D.L., Myers, C.W., Eckberg, D.L. Mechanisms underlying very low-frequency RR-interval oscillations in humans // *Circulation.* – 1998. - Vol. 98., N 6. – P. 547-555.

189. Taylor, J.A., Myers, C.W., Halliwill, J.R., Seidel, H., Eckberg, D.L. Sympathetic restraint of respiratory sinus arrhythmia: implications for vagal-cardiac tone assessment in humans // *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.* – 2001. – N 280(6). – P. 2804-2814.
190. Terenius, L. Stereospecific interaction between narcotic analgesics and a synaptic plasma membrane fraction of rat cerebral cortex // *Acta. Pharmacol. Toxicol. (Copenh.)* – 1973. – N 32. – P. 317–320.
191. Terhardt, J., Lederbogen, F., Feuerhack, A., Hamann-Weber, B., Gilles, M., Schilling, C., Lecei, O., Deuschle, M. Heart Rate Variability During Antidepressant Treatment With Venlafaxine and Mirtazapine // *Clinical Neuropharmacology*. – 2013. – Vol. 36., № 6. – P. 198-202.
192. Terziotti, P., Schena, F., Gulli, G., Cevese, A. Post-exercise recovery of autonomic cardiovascular control: a study by spectrum and cross-spectrum analysis in humans // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2001. – N 84. – P. 187–194.
193. Teschemacher, H., Breidenbach, T., Kwnig, A., Luckhardt, M., Davies-Osterkamp S. Plasma levels of β -endorphin/ β -lipotropin in humans under stress // *Endogen. And Exogen. Opiate Agonists and Antagonists. - Proc. Int. Narcotic Res., North Falmouth, Mass., 1979., N.-Y. 1980. - P. 307-308.*
194. Teschemacher, H., Opheim, K.E., Cox, B.M., Goldstein, A. A peptide-like substance from pituitary that acts like morphine // *Life Science. - 1975. - Vol. 16. - P. 1771-1776.*
195. Thayer, J.F., Åhs, F., Fredrikson, Sollers, M.J.J., Wager, T.D. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. – 2012. – N 36. – P. 747–756.
196. Thayer, J.F., Brosschot, J.F. Psychosomatics and psychopathology: looking up and down from the brain // *Psychoneuroendocrinology*. – 2005. - N 30. – P. 1050–1058.
197. Thayer, J.F., Lane, R.D. A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation // *J. Affect. Disord.* – 2000. - N 61. – P. 201–216.
198. Thayer, J.F., Lane, R.D. Claude Bernard and the heart–brain connection: further elaboration of a model of neurovisceral integration // *Neurosci. Biobehav. Rev.* - 2009. – N 33. – P. 81–88.
199. Tiinanen, S., Määttä, A., Silfverhuth, M., Suominen, K., Jansson-Verkasalo, E., Seppänen, T. HRV and EEG based indicators of stress in children with Asperger syndrome in audio-visual stimulus test // *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* – 2011. – P. 2021-2024.
200. Toledo, E., Pinhas, I., Aravot, D., Akselrod, S. Very high frequency oscillations in the heart rate and blood pressure of heart transplant patients // *Med. Biol. Eng. Comput.* – 2003. – N 41. – P. 432–438.
201. Toni, R. The neuroendocrine system: organization and homeostatic role // *J. Endocrinol. Invest.* – 2004. – N 27. – P. 35–47.
202. Tripathi, K.K., Mukundan, C.R., Mathew, T.L. Attentional modulation of heart rate variability (HRV) during execution of PC based cognitive tasks // *Indian Journal of Aerospace Medicine (Ind. J. Aerospace Med).* – 2003. – N 47(1). – P. 1-10.
203. Turner, J.R., Carroll, D., Dean, S., Harris, M.G. Heart rate reactions to standard laboratory challenges and a naturalistic stressor // *International Journal of Psychophysiology*. – 1987. – N 5. – P. 151–152.
204. Turner, J.R., Girdler, S.S., Sherwood, A., Light, K.C. Cardiovascular responses to behavioral stressors: laboratory-field generalization and inter-task consistency // *Journal of Psychosomatic Research*. – 1990. – N 34(5). – P. 581–589.
205. Uusitalo, A.L., Uusitalo, A.J., Rusko, H.K. Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete // *Int. J. Sports Med.* – 2000. – N 21. – P. 45–53.

206. Vaccarino, A.L., Kastin, A.J. Endogenous opiates: 1999 // *Peptides*. - 2000. - Vol. 21., № 12. - P. 1975-2034.
207. Valenza, G., Allegrini, P., Lanatà, A., Scilingo, E.P. Dominant Lyapunov exponent and approximate entropy in heart rate variability during emotional visual elicitation // *Frontiers in Neuroengineering*. – 2012. - N 5. - Article 3. – 7 p.
208. Van den Bos, R., Harteveld, M., Stoop, H. Stress and decision-making in humans: performance is related to cortisol reactivity, albeit differently in men and women // *Psychoneuroendocrinology*. – 2009. - N 34. – P. 1449–1458.
209. Van Doornen, L.J., Van Blokland, R.W. The relation to type a behavior and vital exhaustion with physiological reactions to real life stress // *Journal of Psychosomatic Research*. – 1989. – N 33. – P. 715–725.
210. Villoldo, A., Tarno, R.L. Measuring the performance of EOD equipment and operators under stress / Technical Rep. No. 270 - Indian Head, MD: Naval Explosive Ordnance Disposal Technical Center., 1984. – 128p.
211. Vincent, A., Craik, F.I., Furedy, J.J. Relations among memory performance, men-tal workload and cardiovascular responses // *Int. J. Psychophysiol*. – 1996. - Vol. 23, N 3. – P. 181-198.
212. Vlcek, M., Radikova, Z., Penesova, A., Kvetnansky, R., Imrich, R. Heart rate variability and catecholamines during hypoglycemia and orthostasis // *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*. – 2008. - № 143. – P. 53–57.
213. von Dawans, B., Kirschbaum, C., Heinrichs, M. The Trier Social Stress Test for Groups (TSST-G): a new research tool for controlled simultaneous social stress exposure in a group format // *Psychoneuroendocrinology*. – 2011. – N 36. – P. 514–522.
214. Vrijkotte, V.T.G.M., van Doornen, L.J.P., de Geus, E.J.C. Effects of Work Stress on Ambulatory Blood Pressure, Heart Rate, and Heart Rate Variability // *Am. J. Cardiol*. – 2004. – Vol. 74. – P. 298–300.
215. Warwick-Evans, L, Walker, J, Evans, J. A comparison of psychologically-induced cardiovascular reactivity in laboratory and natural environments // *Journal of Psychosomatic Research*. – 1988. - N 32. – P. 493–504.
216. Watkins, L.R., Mayer, D.J. Organization of endogenous opiate and nonopiate pain control systems // *Science*. - 1982. - Vol. 216. - P. 1185-1192.
217. Whalen, P.J., Kagan, J., Cook, R.G., Davis, F.C., Kim, H., Polis, S., McLaren, D.G., Somerville, L.H., McLean, A.A., Maxwell, J.S. Human amygdala responsivity to masked fearful eye whites. – *Science*. – 2004. – N 306. – P. 20-61.
218. Wiemers, U.S., Sauvage, M.M., Schoofs, D., Hamacher-Dang, T.C., Wolf, O.T. What we remember from a stressful episode ? // *Psychoneuroendocrinology*. – 2013. – N 38. – P. 2268–2277.
219. Winkler, C. Attention and respiration // *Proc. Acad. Sci. Amsterdam*, 1899. - Vol. 1. – P. 121-138.
220. Xhyheri, B., Manfrini, O., Mazzolini, M., Pizzi, C., Bugiardini, R. Heart rate variability today // *Prog. Cardiovasc. Dis*. – 2012. – N 55. – P. 321–331.
221. Yamakawa, K., Matsunaga, M., Isowa, T., Kimura, K., Kasugai, K., Yoneda, M., Kaneko, H., Ohira, H. Transient responses of inflammatory cytokines in acute stress // *Biol. Psychol*. – 2009. – N 82. – P. 25–32.
222. Yildiz, M., Ider, Y.Z. Model based and experimental investigation of respiratory effect on the HRV power spectrum // *Physiol. Meas*. – 2006. – N 27(10). – P. 973-988.

223. Yim, I.S., Quas, J.A., Cahill, L., Hayakawa, C.M. Children's and adults' salivary cortisol responses to an identical psychosocial laboratory stressor // *Psychoneuroendocrinology*. – 2010. – N 35. – P. 241–248.
224. Zaanstra, Y. J., Johnston, D. W. Cardiovascular reactivity in real life settings: Measurement, mechanisms and meaning. // *Biol. Psychol.* – 2011. – Vol. 86., N 2. - P. 98–105.
225. Zaza, A., Lombardi F. Autonomic indexes based on the analysis of heart rate variability: a view from the sinus node // *Cardiovasc Res.* – 2001. – N 50(3). – P. 434-442.
226. Zhang, A., Yang, H., Kong, L. Study on visual display terminal mental fatigue status based on physiological information // *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi.* – 2011. - № 28(5). – P. 1025-1034.
227. Ziegler, M.G. Psychological stress and the autonomic nervous system / In: David, R., Italo, B., Geoffrey, B., Phillip, A.L., Julian, F.R.P. (Ed.), *Primer on the Autonomic Nervous System.* , 3rd ed. Academic Press, San Diego., 2012. – P. 291–293.
228. Zigmond, A. S., Snaith, R.P. The Hospital Anxiety and Depression scale // *Acta Psychiatr. Scand.* - 1983. - Vol. 67. - P. 361-370.
229. Александров, Ю. И. Введение в системную психофизиологию // *Психология XXI века / Под ред. В. Н. Дружинина.* М.: Пер Се, 2004. С. 39—85.
230. Александров, Ю. И. Единая концепция сознания и эмоций: экспериментальная и теоретическая разработка (рус.) // *Первая Российская конференция по когнитивной науке : Тезисы докладов / Казань, 9-12 октября 2004 года.* — Казань: КГУ, 2004. — С. 14—15.
231. Александров, Ю.И. От эмоций к сознанию // *Психология творчества: школа Я.А.Пономарева.* // Под ред. Д.В. Ушакова.— М.: ИздМво «Институт психологии РАН», 2006. – С. 293-328.
232. Анохин, П. К. Очерки о физиологии функциональных систем // М.: Медицина, 1975. - С. 17-59.
233. Анохин, П. К. Философские аспекты теории функциональных систем. // М., 1979. – 23 с.
234. Антонец, В.А., Полевая, С.А., Казаков, В.В. Hand-trekking. Исследование первичных когнитивных функций человека по их моторным проявлениям // *Современная экспериментальная психология: в 2-х томах под ред. В.А. Барабанщикова* – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2011. - Т.2. – С.39-55.
235. Бабунц, И.В., Мириджанян, Э.М., Мшаех, Ю.А. Азбука variability сердечного ритма / Ставрополь: Принт-мастер, 2002. - 112 с.
236. Баевский, Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии / Р.М. Баевский. - М.: Медицина, 1979. – 298 с.
237. Баевский, Р.М. Анализ variability сердечного ритма: история и философия, теория и практика // *Клиническая информатика и телемедицина.* – 2004. – N 1(1). – С. 54-64.
238. Баевский, Р.М., Иванов, Г.Г. Variability сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // *Ультразвуковая функциональная диагностика.* - 2001. - № 3. - С.108-127.
239. Баевский, Р.М., Никулина, Г.А. Холтеровское мониторирование в космической медицине: анализ variability сердечного ритма // *Вестник аритмологии.* - 2000. - № 16. - С. 6-16.
240. Бань, А. С., Парамонова, Н. А., Загородный, Г. М., Бань, Д. С - Анализ взаимосвязи показателей variability ритма сердца // *Военная медицина: научно-практический*

рецензируемый журнал/ Белорусский государственный медицинский университет. - Минск: Красико-Принт, 2010. - № 4. - С. 21-24.

241. Барабанщиков, В.А. Экспериментальная психология в России. // М.:Институт психологии РАН, 2010. - С. 13-18.

242. 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.

243. Бахчина, А.В., Парин, С.Б., Полевая, С.А. Нелинейные компоненты сердечного ритма наркозависимых // Сборник научных трудов 16-й Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика 2014», часть 2 - М.: Изд-во «НИЯУ», 2014. – С. 66-76.

244. 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 // Труды 3-й Всероссийской конференции «Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях – 2013» - Нижний Новгород: ИПФ РАН – 2013.- С. 9-12.

245. Бахчина, А.В., Рунова, Е.В., Ковальчук, А.В., Шишалов, И.С., Филонов, Л.В., Канатьев, К.Н. Персонифицированные стратегии предсказания эффективности профессиональной деятельности баскетболиста на основе психофизиологических данных // 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.

246. 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 // Сборник трудов 11-й Международной научно-практической конференции «Оптимизация учебно-тренировочного процесса» / Нижний Новгород: ННГУ – 2012. - С. 68-69.

247. Бернар, К. Физиология сердца и отношение его к головному мозгу: лекция / перев. под ред. Н. Соловьева. - СПб., 1867. – 62 с.

248. Божокин, С.В., Лесова, Е.М., Самойлов, В.О., Толкачев П.И. Вейвлет-анализ нестационарной вариабельности сердечного ритма при проведении пассивной ортостатической пробы // Биофизика. – 2012. – Т. 57., № 4. – С. 696–712.

249. Бондарь, А.Т., Федотчев, А.И., Шубина, Л.В. Нелинейные взаимодействия ритмов в центральной нервной системе // Труды III Всероссийской конференции Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях. – 2013. – С. 16-19.

250. Бурлачук, Л.Ф. Словарь-справочник по психодиагностике // 3-е издание, под ред. Л.Ф. Бурлачука. - СПб.: Питер, 2007. — 688 с.

251. Вальдман, А.В., Медведев, О.С., Рожанская, Н.И. Блокировка налоксоном антигипертензивного действия клонидина у гипертензивных и нормотензивных животных. // Бюлл. exper. биол. мед. - 1981. - Т. 91., № 1. - С. 560-562.

252. Вейн, А.М. Вегетативные расстройства. Клиника, диагностика, лечение / Под ред. А. М. Вейна. - М.: МИА, 2003. – 117 с.

253. Голанов, Е.В., Калюжный, Л.В., Парин, С.Б., Судаков, К.В. Способ лечения шокового состояния. // Авторское свидетельство СССР № 1138165 от 08.10.84 (Приоритет от 07.05.80).

254. Голанов, Е.В., Парин, С.Б., Сучков, В.В. Влияние различных доз налоксона на течение геморрагического шока у крыс. // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. - 1983. - Т.96., №10. - С.70-73.

255. Голанов, Е.В., Парин, С.Б., Яснецов, В.В. Влияние налорфина и налоксона на течение электрошокового шока у кроликов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. - 1982 - Т.93., №6. - С.60-62.
256. Григорьева, В.Н., Тхостов, А.Ш. Способ оценки эмоционального состояния человека // Патент Российской Федерации RU 2291720 С1. Опубликовано 20.01.2007 в Б.И. №2
257. Джебрайлова, Т.Д., Коробейникова, И.И., Дудник, Е.Н., Каратыгин, Н.А. Вегетативные корреляты индивидуальных различий временных параметров и результативности интеллектуальной деятельности человека // Физиология человека. – 2013.- Т. 39, № 1. – С. 94–102.
258. Калягин, В.А. Логопсихология // учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.А.Калягин, Т.С.Овчинникова. - М.: Академия, 2006. — 320 с.
259. Каплан, А.Я. Вариабельность ритма сердца и характер обратной связи по результату операторской деятельности у человека // Журнал высшей нервной деятельности им. Павлова. – 1999. - Т. 48, № 6. – С. 345-350.
260. Коркушко, О.В., Шатило, В.Б., Шатило, Т.В. Анализ вегетативной регуляции сердечного ритма на различных этапах индивидуального развития человека // Физиология человека. – 1991. – Т. 17, № 2. – С. 31-39.
261. Котельников, С.А., Ноздрачев, А.Д., Одинак, М.М., Шустов, Е.Б., Коваленко, И.Ю., Давыденко, В.Ю. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах // Физиология человека. - 2002. - Т.28, №1. - С.130-143.
262. Кудря, С.Н. Физиологические особенности вегетативного обеспечения мышечной деятельности у спортсменов: дисс. ...докт. б. наук. – Томск – 2012. – 203 с.
263. Курьянова, Е.В. Влияние агониста $\alpha 1$ -адренорецепторов на вариабельность сердечного ритма самцов и самок белых крыс // Экспериментальная физиология, морфология и медицина. Естественные науки. – 2010. - №3. – С. 98-106.
264. Лишманов, Ю. Б. Взаимодействие опиоидной и симпатoadреналовой системы при ишемическом повреждении сердца // Рос. физиол. журн. - 1995. - Т. 81., № 5. - С. 77 - 85.
265. Лишманов, Ю. Б. Опиоидные нейропептиды, стресс и адаптационная защита сердца / Ю. Б. Лишманов, Л. Н. Маслов. - Томск, 1994. - 352 с.
266. Лишманов, Ю. Б. Противоаритмический эффект антиопиоидного пептида ноцицептина и его воздействие на быстрые Na^+ -каналы кардиомиоцитов / Ю. Б. Лишманов, А. В. Крылатов, Л. Н. Маслов // Бюлл. экспер. биол. и мед. - 1998. - Т. 126. - №11. - С. 655-657.
267. Лишманов, Ю.Б., Амосова, Е.Н., Слепушкин, В.Д., Яременко, К.В. Исследование антистрессорного эффекта Д-Ала2-Лей5-Арг6-энкефалина. // Бюлл. экспер. биол. мед. - 1984. - № 8. - С. 199-200.
268. Лукошкова, Е.В., Вабниц, А.В. Дыхательная волна в спектре колебаний частоты сокращений сердца и влияние дыхания на медленные волны этого спектра // Четвертая научно-практическая конференция "Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы" - Москва, Главный клинический госпиталь МВД России, 2002. – С. 163-171.
269. Лучицкая, Е.С., Фунтова, И.И., Катунцев, В.П., Баевский, Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма во время сна до и после работы в открытом космосе // Материалы 5-го всероссийского симпозиума с международным участием: Вариабельность сердечного ритма. Теоретические аспекты и практическое применение. – 2011. – С.532-537.

270. Маликов, Н.В. О некоторых методических подходах к оценке адаптивных возможностей сердечно-сосудистой системы организма. // Вестник Запорожского государственного университета (Биологические науки). – 2001. - №1. - С. 1-5.
271. Мамий, В.И., Хаспекова, Н.Б. О природе очень низкочастотной составляющей variability ритма сердца и роли симпатико-парасимпатического взаимодействия. // Росс. физиологич. Ж. им. И.М. Сеченова. – 2002. - Т.88., №2. - С.237-247.
272. Маслов, Л. Н. Антиаритмическая активность агонистов периферических μ -опиатных рецепторов // Экспер. и клин, фармакол. - 1999. - Т. 62., № 3. - С. 28 - 31.
273. Маслов, Л. Н. Стимуляция периферических δ -опиатных рецепторов как способ профилактики ишемических и реперфузионных аритмий: роль КАТР-каналов / Л. Н. Маслов, А. В. Крылатов, А. Ю. Лишманов // Экспер. и клин, фармакол. -2001. - Т. 64., № 6. - С. 27 - 30.
274. Машин, В. А. Трехфакторная модель variability сердечного ритма в психологических исследованиях функциональных систем человека-оператора: дисс. ... канд. псих. наук : [Электронный ресурс ФБ ННГУ] Москва, 2010. – 128 с.
275. Миронова, Т.Ф., Миронов, В.А. Клинический анализ волновой структуры синусового ритма сердца / Введение в ритмокардиографию и атлас ритмокардиограмм. – Челябинск : Дом печати, 1998. – 162 с.
276. 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.
277. 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 // 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.
278. Ноздрачев, А.Д., Погорелов, А.П. Нейрональная активность внутрисердечных ганглиев изолированного предсердия лягушки // Физиологический журн. – 1981. - Т. 68, № 2. - С. 192-198.
279. Парин, В.В., Меерсон Ф.З. Очерки клинической физиологии кровообращения / М.: Медицина. 1960. - 427 с.
280. Парин, С.Б. Люди и животные в экстремальных ситуациях: нейрохимические механизмы, эволюционный аспект // Вестник НГУ. - 2008. - Т. 2., Вып. 2. - С. 118-135.
281. Парин, С.Б., Голанов, Е.В. Механизмы воздействия зоотоксинов на антиноцицептивную систему // Механизмы действия зоотоксинов: Межвуз.сб. - Горький. - 1983. - С.17-20.
282. Парин, С.Б., Голанов, Е.В., Елифанов, Ю.Б. Возможные механизмы развития сердечно-сосудистой недостаточности при интоксикации животными ядами // Физиология и патология сердечно-сосудистой системы и почек: Межвуз.сб. - Чебоксары. - 1982. - С.36-38.
283. Парин, С.Б., Голанов, Е.В., Елифанов, Ю.Б., Яснецов, В.В. Возможная роль опиатной системы в интоксикации животными ядами // Механизмы действия зоотоксинов: Межвуз.сб. - Горький. - 1981 а. - С.111-116.
284. Парин, С.Б., Голанов, Е.В., Яснецов, В.В. Влияние налорфина и морфина на выживаемость белых мышей при электрошоке // МГУ им. М.В.Ломоносова - М. - 1981 в. - 4 с. - Деп. в ВИНТИ 02.12.81. - 5484-81

285. Парин, С.Б., Полевая, С.А. Особенности преобразования информации при стрессе и шоке // VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2006»: Сборник научных трудов / МИФИ. 2006. - Ч.1. - С.165-171.
286. Першина, Т.А., Спицин, А.П. Вариабельность ритма сердца у студентов в условиях экзаменационного стресса // Материалы 5-го всероссийского симпозиума с международным участием: Вариабельность сердечного ритма. Теоретические аспекты и практическое применение. – 2011. – С. 456-458.
287. Полевая, С. А., Парин, С. Б., Стромкова, Е. Г. Психофизическое картирование функциональных состояний человека // Экспериментальная психология в России: Традиции и перспективы. – 2010. - С. 534-538.
288. Полевая, С.А. Интегративные принципы кодирования и распознавания сенсорной информации. Особенности осознания световых и звуковых сигналов в стрессовой ситуации // Вестник Новосибирского государственного университета. – 2008. – Т. 2., Вып. 2 – С. 106-117.
289. Полевая, С.А. Интеграция эндогенных факторов в систему обработки экстероцептивных сигналов – автореферат дисс. ... док. б. наук С.А. Полевая. – Пушино. - 2009. – 51 с.
290. 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 // Сборник научных трудов 15-й Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика 2013», часть 1 - М.: Изд-во «НИЯУ», 2013. – С. 11-20.
291. 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.
292. Полевая, С.А., Парин, С.Б. Временные режимы формирования субъективного звукового образа // В кн.: Медицина в зеркале информатики - М.: Наука. – 2008. – С. 47-62.
293. 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.
294. Рунова, Е.В., Вейвлет-анализ вариабельности сердечного ритма в оценке функционального состояния регуляторных систем организма.: дисс. ... канд. б. наук. - 2008 - Нижний Новгород – 176 с.
295. 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.
296. Селье, Г. Очерки об адаптационном синдроме / Пер. с англ. М., Медгиз, 1960. – 275 с.
297. Сидоренко, Г.И., Фролов, А.В. Вариабельность сердечного ритма как мера адаптационных резервов сердечно-сосудистой системы // Шестая научно-практическая конференция "Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы". Москва, Главный клинический госпиталь МВД России, 2004. – С. 370-377.
298. Симонов, П. В. Эмоциональный мозг / М.: Наука, 1981. — 20 с.
299. Тарский, Н.А. Спектральный анализ сердечного ритма: проблемы оценки результатов // Анализ вариабельности ритма сердца в клин. практике - Материалы междунар. науч. конф. К., 2002. - С. 109.

300. 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.
301. Филатов, В.Н. Особенности variability сердечного ритма космонавтов при проведении специальных тренировок: автореф. дис. ... канд. мед. наук – 2008 - Санкт-Петербург – 43 с.
302. Флейшман, А.Н. Концептуальные модели анализа медленных колебаний гемодинамики. Медленные колебательные процессы в организме человека: теория, практическое применение в клинической медицине и профилактике // Сборник материалов II Симпозиума: Изд. НИИ КПП ПП СО РАМН, Новокузнецк, 1999. - С. 18-23.
303. Хаспекова, Н. Б. Регуляция вариативности ритма сердца у здоровых и больных с психогенной и органической патологией мозга.: дис. ... докт. мед. наук. - М., ИВНД и НФ РАН. – 1996. - 236 с.
304. Хаютин, В.М., Лукошкова, Е.В. Хроно- и инотропная регуляция деятельности сердца человека: исследования методом спектрального анализа // В кн.: Сборник трудов научной сессии "Фундаментальные исследования и прогресс кардиологии". - Москва: Изд. РК НПК., 2002. – С. 76-95.
305. Чуприкова, Н.И. Метод тестирующего стимула в изучении локальных функциональных состояний в мозговых проекциях зрительных и вербальных раздражителей при осуществлении умственной деятельности // Экспериментальная психология. – 2010. - № 4. – С. 72 – 86.
306. Шлык, Н.И., Алабужев, А.Е., Феофилактов, Н.З., Слепцов, А.О. Динамические исследования variability сердечного ритма у легкоатлетов-средневики в тренировочном процессе в условиях среднегорья // Материалы 5-го всероссийского симпозиума с международным участием: Variability сердечного ритма. Теоретические аспекты и практическое применение. – 2011. – С.384-389.
307. Яблучанский, Н.И., Мартыненко, А.В., Исаева, А.С. Основы практического применения неинвазивной технологии исследования регуляторных систем человека / Н.И. Яблучанский. – Харьков: Основа., 2000. - 88 с.
308. Ярош А.А. Нервные болезни / Под ред. проф. А.А. Яроша.- Киев: Вища школа, 1985. - 463 с.