

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ ИМ. Л.А. ОРБЕЛИ**

ТУМАНЯН АНУШ АРЗАНОВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ
ГОЛОВНОГО МОЗГА С ОЦЕНКОЙ СЕНСОМОТОРНОЙ И
ВЕГЕТАТИВНОЙ СФЕР РЕГУЛЯЦИИ**

ДИССЕРТАЦИЯ

**по специальности 03.00.09 “Физиология человека и животных”
на соискание ученой степени кандидата биологических наук**

**Научный руководитель:
кандидат биологических наук
Н.Э. Тадевосян**

Ереван – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	6
 ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	12
1.1. Некоторые положения исследования и оценки функционального состояния головного мозга.....	12
1.2. Оценка времени простой зрительно-моторной реакции как метод исследования функционального состояния центральной нервной системы.....	19
1.3. Математический анализ вариабельности сердечного ритма как метод оценки функционального состояния механизмов вегетативной регуляции.....	25
1.4. Биоритмологические особенности регуляторной деятельности мозга.....	32
1.5. Изучение основных форм проявления психологического состояния человека при оценке общего функционального состояния организма.....	36
1.6. Особенности психофизиологических и физиологических возрастных изменений при исследовании функционального состояния организма.....	41
 ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	46
2.1. Организация исследования.....	46
2.2. Методика проведения исследования.....	49
2.3. Методы обработки данных.....	56
 ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	57
3.1. Исследование возрастных особенностей психоэмоционального состояния испытуемых.....	57
3.2. Исследование времени ПЗМР до и после умственной нагрузки у исследуемых возрастных групп.....	61
3.3. Исследование показателей ВСР и системной гемодинамики до и после умственной нагрузки у исследуемых возрастных групп.....	76

3.3.1. Исследование показателей временного и гистографического анализа ВСР до и после умственной нагрузки у исследуемых возрастных групп.....	76
3.3.2. Исследование показателей спектрального и автокорреляционного анализа ВСР до и после умственной нагрузки у исследуемых возрастных групп.....	83
3.3.3. Исследование показателей системной гемодинамики до и после умственной нагрузки у исследуемых возрастных групп.....	99
3.4. Сравнительный анализ характеристик исследуемых процессов.....	105
3.4.1. Взаимосвязи показателей, характеризующих сенсомоторную и вегетативную сферы регуляции.....	105
3.4.2. Особенности временной организации регуляторных механизмов сенсомоторной и вегетативной сфер регуляции.....	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	120
ВЫВОДЫ.....	124
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	126
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	127

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

ФС	– функциональное состояние
УН	– умственная нагрузка
ЦНС	– центральная нервная система
ВНС	– вегетативная нервная система
ПЗМР	– простая зрительно-моторная реакция
ВР	– время реакции
M _t	– среднее время реакции
SD	– стандартное отклонение среднего
ПНП	– подвижность нервных процессов
СПВ	– сила процессов возбуждения
УФВ	– уровень функциональных возможностей ЦНС
ИФС	– индекс функционального состояния ЦНС
ПВ	– перевозбуждение
ПЗ	– пароксизмальная заторможенность
ПУ	– признаки утомления
ЭКГ	– электрокардиограмма
BCP	– вариабельность сердечного ритма
M _x	– среднее значение всех R-R интервалов в выборке
SDNN	– среднее квадратичное отклонение
Δx	– вариационный размах
M _o	– мода
AM _o	– амплитуда моды
ИВР	– индекс вегетативного равновесия
ВПР	– вегетативный показатель ритма
ПАПР	– показатель адекватности процессов регуляции
ИН	– индекс напряжения регуляторных систем
TP	– общая мощность спектра
VLF	– мощность волн очень низкой частоты

LF – мощность волн низкой частоты

HF –мощность волн высокой частоты

LF/HF – симпато-парасимпатический индекс

ИЦ – индекс централизации

ИАП – индекс активации подкорковых нервных центров

ПАРС – показатель активности регуляторных систем

k1 – автокорреляционный показатель (коэффициент корреляции после первого сдвига)

ЧСС – частота сердечных сокращений

САД – систолическое артериальное давление

ДАД – диастолическое артериальное давление

УО – ударный объем

МОК – минутный объем крови

ОПСС – общее периферическое сопротивление сосудов

ВПК – вегетативный показатель кровообращения

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Исследование функционального состояния (ФС) головного мозга человека является одной из важных задач науки, интересующей исследователей различных ее областей, таких как физиология, психология, медицина и др. (Данилова Н.Н., 1992; Машин В.А., 2010). Это, прежде всего, связано с тем, что именно от уровня ФС мозга зависит состояние психического и физического здоровья человека и его функциональные возможности (Медведев В.И., 1993; Ильин Е.П., 2005; Агаджанян и др., 2006; Сорокина М.А., 2008). Жизнь современного человека связана со многими негативными социально-психологическими факторами – ускоренным ритмом жизни, отсутствием правильной организации труда и отдыха, возрастающими социальными и психологическими нагрузками, объемом информации. Еще одним важным фактором является научно-технический прогресс, который, несмотря на свой огромный вклад, имеет и отрицательное влияние на человека. Все перечисленные факторы требуют от человека дополнительных психоволевых, умственных, эмоциональных усилий, заставляющих работать его в условиях физиологического и психологического напряжения. Это все приводит к изменению общего ФС, значительному напряжению регуляторных систем, снижению работоспособности организма, уровня умственной активности и, в целом, к снижению адаптивных возможностей человека, а иногда и их истощению, когда организм больше не способен противостоять влиянию стрессогенных факторов (Данилова Н.Н., 1985; Бехтерева Н.П., 1988).

Многообразие видов деятельности человека требует наличия различных сфер мозговой регуляции, обеспечивающих данную деятельность, и их единой, гармоничной работы. Как для регулирующих, так и для регулируемых процессов характерна волнообразность, изменчивость во времени, ритмичность, обеспечивающие приспособление к изменяющимся условиям внешней среды (Алякринский Б.С. и др., 1985; Степанова С.И., 1986; Комаров Ф.И., 1989). Поэтому необходимым условием оптимальной жизнедеятельности человека является не только иерархическая организация процессов регуляции, но и их временная организация, нарушение которой может привести к функциональным нарушениям.

Принимая во внимание вышесказанное, важной задачей является не только оценка ФС ЦНС, но и его прогнозирование, контроль и коррекция (Баевский Р.М., 1979; Ливанов М.Н. и др., 1988; Шутова С.В. и др., 2013). Однако для многосторонней оценки ФС необходимо комплексное исследование, включающее в себя те методики, которые позволят изучить различные сферы регуляции, такие как сенсомоторную, вегетативную и т.д., и с учетом уровня эффективности деятельности рассматривать взаимоотношения отдельных компонентов исследуемых сфер регуляции.

Среди множества существующих методов оценки ФС ЦНС и исследования нервных процессов следует выделить методику регистрации времени зрительно-моторной реакции, которая отличается своей простотой, доступностью и в то же время является информативным и достаточно точным методом оценки динамики нервных процессов (Лоскутова Т.Д., 1978; Мороз М.П. и др., 2001; Литовченко О.Г. и др., 2007; Королев С.А. и др., 2011). Время реакции служит чувствительным индикатором функциональных состояний, подвижности, устойчивости нервных процессов и уровня функциональных возможностей (Чельшкова Т.В. и др., 2008; Мантрова И.Н., 2010). Характеристики распределения времени реакции позволяют оценить степень напряжения и признаки утомления организма, а в некоторых случаях – и наличие функциональных нарушений деятельности ЦНС (Лупандин В.Я. и др., 1988; Зайцев А.В. и др., 2002).

Другим неинвазивным методом, с помощью которого можно произвести качественную и количественную оценку ФС ЦНС, является анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР). В отличие от других методов оценки состояния регуляторных систем, данный метод является наиболее простым и доступным методом, позволяющим вести непрерывный динамический контроль (Ноздрачев А.Д. и др., 2001; Котельников С.А. и др., 2002; Бокерия Л.А. и др., 2009; Malik M. et al., 1993; Nemanth Kumar.V et al., 2013). Известно, что именно сердечно-сосудистая система, с ее многоуровневой регуляцией является наиболее чувствительной к любым воздействиям, в том числе и стрессовым. Конечным результатом деятельности сердечно-сосудистой системы является обеспечение должного уровня функционирования целостного организма. Анализ ВСР дает оценку состоянию регуляторных механизмов вегетативных функций в организме человека, отражает степень напряжения центральных регуляторных систем, особенности нейрогуморальной

регуляции сердца, сдвиг равновесия в сторону преобладания одного из отделов автономной нервной системы, и в целом является методом оценки адаптационных возможностей организма. То есть, контролируя деятельность механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы, можно получить информацию об адекватности реакции приспособительных механизмов на различного рода воздействия изменяющихся условий окружающей среды (Бабунц И.В. и др., 2002; Михайлов В.М., 2002; Баевский Р.М., 2004; Филимонова Н.Б. и др., 2010; Montano N. et al., 1994; Murray N.P. et al., 2012).

Для оценки и прогнозирования ФС целостного организма важно также определить показатели системной гемодинамики, так как гемодинамические изменения в различных органах и системах возникают раньше, чем соответствующие функциональные нарушения. Адекватная гемодинамика является необходимым условием нормальной деятельности всех систем организма, в первую очередь – ЦНС (Антонов А.А., 2004; Цыганок А.В. и др., 2006).

Учитывая вышесказанное, актуальной проблемой является исследование функциональных изменений, происходящих в организме человека, а именно, изменений характеристик ЦНС, то есть силы, подвижности, уравновешенности, и эффективности выполнения деятельности в заданных условиях (в условиях умственной нагрузки). Особый интерес представляет изучение закономерностей возрастных изменений ФС ЦНС и возрастных аспектов психофизиологической адаптации, так как в онтогенезе человека имеет место не только чередование этапов постепенных количественных изменений, но и резких качественных преобразований (Чурилова Т.М. и др., 2004; Крылов А.А., 2005).

Спецификой данной работы являлось сравнительное исследование временной организации (волновой структуры) регуляторных механизмов сенсомоторной и вегетативной сфер регуляции путем спектрального анализа соответствующих интервалограмм.

Цель и задачи исследования.

В связи с актуальностью темы целью настоящего исследования явилось комплексное изучение особенностей функционального состояния головного мозга и временной организации регуляторных механизмов сенсомоторной и вегетативной сфер регуляции в условиях умственной нагрузки с учетом возрастных особенностей испытуемых.

В соответствии с целью исследования выдвинуты следующие задачи:

1. Определить психологический статус испытуемых по опросникам Т. Элерса, Тейлора и П. Пишо.
2. Оценить ФС головного мозга по времени простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) до и после умственной нагрузки.
3. Изучить ФС головного мозга по анализу ВСР до, во время и после выполнения теста ПЗМР, а также до и после умственной нагрузки.
4. Рассмотреть показатели системной гемодинамики до и после умственной нагрузки.
5. Обнаружить функциональные связи изучаемых процессов с оценкой параметров, характеризующих ФС головного мозга.
6. Выявить и сопоставить временную организацию регуляторных механизмов сенсомоторной и вегетативной сфер регуляции.

Научная новизна работы.

Впервые представлены результаты комплексного исследования ФС головного мозга с одновременной оценкой различных сфер мозговой деятельности (психологическая, психофизиологическая, вегетативная) с учетом возрастных особенностей испытуемых.

Впервые показаны изменения ФС ЦНС у различных возрастных групп в зависимости от характера и длительности функциональных нагрузок с сопоставлением механизмов регуляции двух сфер мозговой деятельности – сенсомоторной и вегетативной.

Впервые проведено исследование временной организации динамического ряда времени ПЗМР с выделением спектральных компонентов в частотных диапазонах, соответствующих общепринятым диапазонам спектрального анализа ВСР. Показано, что в динамике спектральных компонентов интервалограммы времени ПЗМР отражаются изменения ФС ЦНС. Установлено, что спектральные компоненты ПЗМР наряду с функциональными показателями могут служить информативным критерием при оценке ФС ЦНС.

Показаны результаты сравнительного исследования временной организации регуляторных механизмов сенсомоторной и вегетативной сфер регуляции. Выявлены различия в структуре колебательной динамики регуляторных механизмов сенсомоторной и

вегетативной сфер деятельности, а также во временной организации каждой сферы регуляции в зависимости от возраста и эффективности выполнения функциональной пробы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Представленное исследование имеет как научно-теоретическое, так и практическое значение.

Теоретическая значимость данного исследования заключается в том, что его результаты позволяют расширить и дополнить теоретические представления в области изучения и оценки ФС головного мозга у лиц разных возрастных групп при функциональных нагрузках различного характера и длительности. Изучение колебательной динамики механизмов регуляции сенсомоторной сферы с выделением соответствующих спектральных компонентов позволяет более глубоко и лучше оценить ФС ЦНС. Предполагается, что использование нового подхода в оценке ФС применительно не только для исследования сенсомоторных процессов, но и других психофизиологических функций, как в обычных, так и стрессовых условиях.

Практическая значимость данной работы заключается в получении данных, которые могут служить методологической основой для последующих научно-прикладных исследований. Комплексная экспресс-оценка исходного ФС у лиц различного возраста позволяет предвидеть реакцию организма в изменившихся условиях и предупредить негативные последствия. Оценка исходного ФС и в условиях функциональных нагрузок, в свою очередь, позволит прогнозировать надежность и эффективность деятельности человека при его профессиональной подготовке.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Комплексное и одновременное исследование различных сфер мозговой деятельности позволит получить подробное представление о текущем ФС головного мозга.
2. Исследование функциональных изменений при нагрузках различного характера и длительности и их возрастной специфики позволит прогнозировать динамику ФС в профессиональной деятельности.
3. Исследование временной организации (волновой структуры) регуляторных механизмов сенсомоторной и вегетативной сфер регуляции путем спектрального анализа

соответствующих интервалограмм может служить достаточно информативным критерием оценки общего ФС ЦНС.

Надежность и валидность диссертации.

Адекватность интерпретации результатов психологических и психофизиологических тестов по отношению к цели исследования соответствовала поставленным задачам, имела высокий уровень надежности и валидности. Сохранялось единообразие условий проведения исследования: одинаковая обстановка, однотипный характер инструкций, одинаковые для всех испытуемых временные ограничения и т.д. Следует отметить, что использованные психологические и психофизиологические тесты были апробированы и около 20 лет широко используются в ряде научно-исследовательских центров.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы были представлены на Международной юбилейной научной конференции, посвященной 130-летию со дня рождения академика Л.А. Орбели «Физиологические механизмы регуляции деятельности организма» (г. Ереван, 2012), Third Jubilee International Conference of Neuroscience and Biological Psychiatry (г. Ереван, 2013), Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов» (г. Москва, 2014, 2015), семинаре молодых ученых Института физиологии им. Л.А. Орбели НАН РА.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 146 страницах машинописного текста, состоит из списка сокращений, введения, глав обзора литературы, описания материалов и методов исследования, результатов исследования и их обсуждения, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы, включающего 234 источника. Диссертация иллюстрирована 12 таблицами и 30 рисунками.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Некоторые положения исследования и оценки функционального состояния головного мозга

Проблема функционального состояния (ФС) человека на протяжении многих лет занимает центральное место в физиологии, психофизиологии, психологии, в различных областях медицины, труде, педагогике. Это объясняется, прежде всего, тем, что во всех сферах деятельности человека физическое и психическое здоровье, успешность деятельности, обучения, творчества в основном зависят от его ФС (Хананашвили М.М., 1970; Леонова А.Б., 1984; Данилова Н.Н., 1985, 1992; Медведев В.И., 1993).

Несмотря на большой интерес к проблеме ФС со стороны исследователей, она до сих пор остается мало изученной. Не существует общепринятых определений, основных понятий, которыми оперируют специалисты в области ФС (Данилова Н.Н., 1985; Апчел В.Я. и др., 1999). Понятие «функциональное состояние» разными исследователями трактуется с разных точек зрения.

Согласно некоторым исследователям, ключевым звеном в структуре общего ФС организма является ФС центральной нервной системы (ЦНС), преимущественно головного мозга. Так, еще И.П. Павлов связывал ФС с тонусом коры больших полушарий или ее возбудимостью (Павлов И.П., 1951). Согласно П.С. Купалову динамика ФС отражается в изменении не только возбудимости головного мозга, но и уровня его реактивности и лабильности (Купалов П.С., 1962). Этот взгляд получил развитие в исследованиях А.М. Зимкиной, которая оценивает ФС по совокупности средних значений возбудимости, реактивности и лабильности нервной системы (Зимкина А.М., 1975, 1978).

По определению Т.Д. Лоскутовой ФС ЦНС, как специализированного органа управления, в значительной мере определяет характер протекания сенсорных, двигательных, вегетативных и поведенческих реакций. Исследование ФС ЦНС неизбежно опосредовано исследованием разнообразных физиологических систем организма и внешнего поведения, проявляющегося в параметрах его ответных реакций и являющегося конечным выражением деятельности нервной системы (Лоскутова Т.Д., 1975).

В.П. Зинченко с соавт. определяют ФС как систематизированную реакцию организма. При этом подчеркивается формирующий характер данной реакции в процессе деятельности.

Описывая ФС как системную реакцию, выделяют в качестве элементарных основных структур или звеньев системы функции и процессы разного уровня: физиологического, психологического и поведенческого, а также биофизического, биохимического (Зинченко В.П. и др., 1977).

Словарь физиологических терминов трактует ФС как интегральный комплекс наличных характеристик тех качеств и свойств организма, которые прямо или косвенно определяют деятельность человека. Примерно такое же определение ФС дают некоторые исследователи, изучающие психофизиологию человека на основе оценки его ФС. Согласно их научным взглядам ФС мозга является понятием интегральным, так как оно отражает состояние организованных для выполнения определенных функций систем организма в целом. ФС организма данными исследователями определяется как совокупность характеристик физиологических функций и психических качеств, которая обеспечивает эффективность выполнения человеком необходимых рабочих операций (Леонова А.Б., 1984; Загрядский В.П. и др., 1991; Медведев В.И., 1993).

Согласно концепции Н.П. Бехтеревой, существуют жесткие и гибкие звенья мозгового обеспечения психических функций. К первым относится анатомическая организация тех единиц, которые необходимы для осуществления функций мозга. Гибкие же звенья включаются в функциональную систему каждый раз заново в зависимости от конкретных условий (Бехтерева Н.П., 1988).

Во многих исследованиях ФС рассматривается как фон, на котором разворачиваются психические процессы, например, процессы приема и переработки информации, принятия решений и формирования управляющих воздействий. Однако, если рассматривать состояние как фон, обнаруживается, что его можно зарегистрировать или идентифицировать лишь как изменение, происходящее либо в свойствах, либо в структуре процессов, протекающих в человеческом организме, в его психике, в поведении и деятельности. Попытки идентификации ФС с помощью объективных показателей, в том числе с использованием разного рода психофизиологических, физиологических и биохимических индикаторов, говорят о том, что данные индикаторы не всегда адекватны целям исследования ФС. С другой стороны, наблюдаются реальные изменения в структуре и характере деятельности человека, в психологических механизмах, регулирующих эту деятельность, и эти изменения

связаны с ФС человека. Таким образом, ФС является не просто фоном, а существенной особенностью динамики реально наблюдаемых характеристик поведения и деятельности (Зимкина А.М., 1978; Забродин Ю.М., 1983; Данилова Н.Н., 1992).

Для более детального изучения ФС исследователями выделено два подхода: «психологический» и «физиологический». Сторонники «физиологического» подхода считают, что изменения уровня фоновой активности ЦНС отражаются в физиологических реакциях организма, таких как изменение ЧСС, АД, частоты и глубины дыхания, скоростных характеристик двигательных реакций, изменения в ЭКГ, ЭЭГ и т. д. То есть предлагается оценивать ФС по комплексу взаимосвязанных физиологических реакций, а изменения ФС рассматривать как смену одного комплекса реакций другим (Генкин А.А. и др., 1973). Однако определение ФС через перечень различных реакций, найденных эмпирическим путем, имеет свои ограничения, так как остается невыявленным отношение этих реакций к реальным механизмам формирования ФС.

Согласно сторонникам «психологического» подхода, главным критерием, отражающим изменение ФС, является повышение или снижение эффективности выполнения деятельности, то есть существует определенная зависимость эффективности деятельности от ФС. Эту зависимость можно выразить колоколообразной кривой, показывающей, что наилучшие результаты деятельности соответствуют некоторому среднему значению ФС, то есть оптимальному ФС. Сдвиг ФС в сторону от оптимального независимо от его направленности сопровождается снижением результативности выполняемого физического или психического действия (Купалов П.С., 1962). На этом основании они предлагают определять ФС по результативности деятельности, то есть рассматривать успешность выполняемых трудовых операций или решения некоторых когнитивных задач, используемых в качестве специальных тестов, как показатель или меру ФС. Эффективность труда является такой же мерой ФС, как и, например, показатели изменения: 1) в функционировании сердечной, дыхательной, эндокринной систем; 2) в протекании таких психических процессов, как восприятие, внимание, память, мышление и т.д. Однако эффективность труда как мера ФС, в отличие от отдельных физиологических реакций организма, обладает свойством интегративности. Поскольку изменения в ФС находятся в прямой зависимости от характера выполняемой деятельности, то способ диагностики ФС,

установленный для конкретной трудовой деятельности, не может быть распространен на другие виды деятельности и типы задач. Данный метод оценки ФС не является чувствительным к изменению ФС и, поэтому применяется при выявлении наиболее заметных и грубых его изменений (Леонова А.Б., 1984; Медведев В.И. 1982, 1993; Мороз М.П. и др., 2001).

Н.Н. Данилова рассматривает ФС как особое психофизиологическое явление со своими закономерностями, которое заложено в архитектуре модулирующих функциональных систем и которое проявляется на биохимическом, физиологическом, поведенческом и психологическом (субъективном) уровнях. К модулирующим функциональным системам она относит ретикулярную формацию с ее активирующими и инактивирующими отделами и лимбическую систему, от которой зависит мотивационное возбуждение. Она выделяет 5 групп явлений, которые регулируют ФС. Таковыми являются: 1) мотивация - то, ради чего выполняется конкретная деятельность. Чем интенсивнее, значимее мотивы, тем выше уровень ФС; 2) содержание самого труда, характер задания, степень его сложности. Это наиболее важный регулятор ФС. Сложность задания является главной детерминантой уровня активации нервной системы, на фоне которой осуществляется данная деятельность; 3) величина сенсорной нагрузки, которая может меняться от сенсорного перенасыщения, перегрузки до сенсорной депривации с крайним недостатком сенсорных воздействий; 4) исходный фоновый уровень, сохраняющий след от предшествующей деятельности субъекта; 5) индивидуальные особенности субъекта (Данилова Н.Н., 1985, 1992).

Во многих случаях уровень ФС приравнивается к понятию "уровень бодрствования". В. Блок первым предложил отличать понятие "уровень активности" нервных центров или ФС от понятия "уровень бодрствования", которое рассматривается им как поведенческое проявление различных уровней ФС. По его представлению между сном и крайним возбуждением непрерывно происходят изменения уровня бодрствования, с которыми монотонно связаны изменения в уровне активности нервных центров. Максимальная эффективность деятельности соответствует оптимальному уровню бодрствования. Таким образом, согласно В. Блоку уровень активации нервных центров обуславливает уровень бодрствования (Блок В., 1970).

По убеждению Б.В. Овчинникова ФС как психофизиологический феномен, организуемый и развивающийся в соответствии с внутренними механизмами, должно классифицироваться с учетом эндогенных, психофизиологических критериев, таких как общий уровень физиологической активности (напряженности) и доминирующая направленность – "окраска" переживаний. С учетом этих показателей Б.В. Овчинников с соавт. строит двумерный классификатор ФС человека:

1) состояние релаксации (пассивного отдыха) - переход от сна к бодрствованию. Для него характерны сниженная физиологическая активность и позитивная окраска переживаний. Релаксационное состояние обладает большой устойчивостью и является энергетическим антиподом стресса. Для удовлетворения потребностей через промежуточное состояние готовности и вработывания человек переходит к оптимальному рабочему состоянию функционального комфорта. Это состояние при дальнейшем своем развитии, как правило, переходит в стресс;

2) состояние стресса является очередным основным состоянием бодрствования. К главным его признакам относятся психологический дискомфорт, повышенная психическая и физиологическая активность. Закономерным исходом стресса является утомление, на фоне которого наблюдается снижение работоспособности, обусловленное уменьшением функциональных резервов. Ограничение всех видов активности способствует их восстановлению. В связи с этим, психологический дискомфорт уменьшается, и создаются предпосылки закономерного перехода к исходному состоянию бодрствования – релаксационному. В результате цикл замыкается и после периода сна возобновляется снова (Овчинников Б.В. и др., 1994).

Е.П. Ильин рассматривает ФС как целостные реакции личности на внешние и внутренние стимулы, направленные на достижение полезного результата. ФС включает в свою структуру различные функциональные системы и уровни регулирования, начиная с вегетативных и двигательных систем и кончая высшими психическими уровнями регулирования, связанными с мотивами, волей и т.п. (Ильин Е.П., 2005).

В.А. Машин под ФС понимает характеристику нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих согласованную активность различных функций в процессе деятельности или поведения человека. Приспособление субъекта к изменяющимся условиям внешней

среды, физическая и психическая активность требуют от неспецифических (надсегментарных) корково-лимбических структур головного мозга обеспечения согласованного ответа психических, соматических и вегетативных функций. При этом специфические (сегментарные) структуры головного мозга, образованные симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы (ВНС), способствуют поддержанию гомеостатического равновесия. В состоянии относительного покоя, когда нет возмущающих воздействий и отсутствует активная работа любого характера, сегментарные структуры головного мозга могут обеспечить существование организма на рефлекторном уровне. Показатели активности надсегментарных и сегментарных структур ЦНС, обеспечивающих согласованную активность компонентов деятельности и поведения, служат индикаторами ФС человека (Вейн А.М., 2003; Машин В.А., 2010).

Таким образом, суммируя все положения, можно выделить следующие уровни изучения ФС человека:

- 1) исследование состояний организма по комплексной оценке различных системных функций (поведенческих, психофизиологических и биохимических);
- 2) исследование состояний мозга, соотносимых с уровнями бодрствования организма, организацией целенаправленного поведения, обеспечением и поддержанием нормальных и патологических реакций организма;
- 3) исследование состояний структур мозга и межструктурных взаимоотношений как основы для формирования определенных интракортикальных, внутриподкорковых и корково-подкорковых связей, координирующих состояния целого мозга;
- 4) исследование состояний зон мозговых структур и их физиологической активности как звеньев мозговых систем обеспечения конкретных видов психической и двигательной деятельности;
- 5) определение состояний клеточных элементов нейронов и глиальных клеток (Илюхина В.А. и др., 1986).

Для оценки ФС используют три основных типа методов: физиологические, поведенческие и субъективные. Физиологические методы считаются базовыми. К ним относят электрокардиографию (ЭКГ), электроэнцефалографию (ЭЭГ), регистрацию электрической активности кожи (ЭАК), регистрацию вызванных потенциалов (ВП)

головного мозга. Несмотря на большое разнообразие методов исследования физиологических реакций, которые обычно используются для оценки ФС, все они в одинаковой мере связаны с активацией неспецифической системы мозга, и по динамике любой из этих реакций можно предсказать изменение всех остальных. Однако изучение динамики различных физиологических показателей активации выявило очень низкие коэффициенты корреляции между различными реакциями. Многочисленные данные о разнонаправленном изменении различных показателей активации были обобщены Дж. Лейси в его концепции «дирекционной фракционности активации». По Дж. Лейси существует не единая система неспецифической активации, а несколько субсистем, выражением которых являются вегетативные, моторные и ЭЭГ-реакции. Поэтому измерение неспецифической активации представляется возможным только на основе описания комплекса нескольких реакций — показателей разных субсистем активации (Данилова Н.Н., 1985; Lacey J.I. et al., 1970).

Поведенческие методы исследования ФС предусматривают использование коротких тестовых заданий, характеризующих эффективность различных психических процессов. При этом анализируется динамика таких показателей, как успешность и скорость выполнения заданий. Здесь описываются и оцениваются произошедшие под влиянием определенных причин сдвиги количественных и качественных характеристик эффективности работы, а также изменения психологических функций. Согласно многочисленным исследованиям, наиболее простым и надежным методом оценки ФС организма и ЦНС является регистрация времени простой сенсомоторной реакции. С помощью методик исследования эффективности процессов восприятия, внимания, памяти и мышления оценивается "интеллектуальный компонент ФС".

Результативность оценки ФС значительно возрастает при использовании методов субъективной оценки. Перспективность применения таковых в диагностических целях объясняется многообразием проявлений симптоматики различных состояний во внутренней жизни индивида. Субъективные методики объединены в два основных направления: метод опроса (опросник) и метод шкалирования субъективных переживаний. Среди субъективных методик оценки ФС наиболее часто применяют методики самооценки состояний по В.А. Доскину, Спилбергеру-Ханину и др.

То есть, можно сказать, что использование одной из методик в отдельности не дает полной и всесторонней информации. С целью повышения достоверности необходимо использовать комплекс методов диагностики ФС. При этом для оценки ФС рекомендуется использование интегральных оценок, коэффициентов или критериев работоспособности, которые учитывают изменение как психофизиологических параметров, так и прямых показателей эффективности деятельности (Апчел и др., 1999).

Таким образом, ФС в конечном итоге определяет состояние здоровья. Оценка ФС позволяет постоянно выявлять функциональные резервы организма и своевременно выделять группы риска состояния здоровья для последующей реабилитации. Контролируя и управляя ФС, человек может решать такие задачи, как нормирование труда, определение допустимых физических и нервных нагрузок, повышение устойчивости к стрессу (Ильин Е.П., 2005; Сорокина М.А., 2008; Машин В.А., 2010).

1.2. Оценка времени простой зрительно-моторной реакции как метод исследования функционального состояния центральной нервной системы

Исследование физиологических систем организма и внешнего поведения является необходимым элементом при исследовании ФС ЦНС. Внешнее поведение проявляется в параметрах его ответных реакций и является конечным выражением деятельности нервной системы. Эффективность любой деятельности, особенно когнитивной, определяется такими параметрами, как сила и уровень функциональной подвижности нервных процессов (Литвинова Н.А. и др., 1999; Казин Э.М. и др., 2002; Медведев В. И., 2003).

Функциональная подвижность отражает динамику корковых процессов, скорость переработки информации и эффективность интегративной деятельности мозга. Для каждого индивида она характеризует уровень выполнения работы, предусматривающий как положительные реакции, так и экстренное переключение действий, быструю поочередную смену возбуждительного и тормозного процессов. Данное свойство представляет собой скоростную реакцию работающей функциональной системы, отражает способность нервной системы к выполнению в единицу времени определенного количества рабочих циклов при действии положительных и тормозных сигналов (Челышкова Т.В. и др., 2008).

Первая классификация произвольных реакций человека принадлежит голландскому физиологу XIX века Ф. Дондерсу (Милов В.Н. и др., 2001). Вообще в зависимости от степени сложности выделяют следующие виды произвольных реакций человека: 1) простая сенсомоторная реакция, 2) сенсомоторная реакция различения, 3) сенсомоторная реакция выбора, 4) реакция на движущийся объект (РДО) (Gandhi P.H. et al., 2013). Простой сенсомоторной реакцией в психологии называют реакцию, которая осуществляется в условиях предъявления одного заранее известного сигнала и получения одного определённого ответа. Простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР) характеризует подвижность нервных процессов. Реализация сенсомоторной реакции связана с формированием сложной функциональной системы, включающей различные звенья, количество и степень вовлеченности которых зависит от типа осуществляемой реакции. Работа функциональной системы будет зависеть от согласованности, синхронности ее временных и пространственных параметров и совпадения ритмов возбуждения в нервных клетках (Водлозеров В.М. и др., 2002; Стрельникова И.Ю., 2010). Функциональная система, обеспечивающая выполнение сенсомоторных реакций, включает в себя следующие звенья: зрительный, кожно-кинестетический, слуховой анализаторы; нижнетеменные ассоциативные области коры; корковые зоны, связанные с функцией речи; ретикулярные образования ствола мозга и структуры заднего гипоталамуса; лимбическую систему; лобные ассоциативные зоны коры. При этом функцией нижнетеменных ассоциативных областей коры является симультанный синтез сигналов всех анализаторов. Корковые зоны, связанные с функцией речи, воспринимают инструкцию по выполнению задания и объединяют систему осознанного восприятия пускового сигнала и систему, реализующую целенаправленные движения. Ретикулярные образования ствола мозга и структуры заднего гипоталамуса обеспечивают определенный уровень бодрствования, необходимый для осуществления сенсомоторных реакций, а мотивационно-эмоциональный комплекс, включающий лимбические структуры, - успешное выполнение задания, т.е. реагировать на сенсорный сигнал как можно быстрее и точнее. Лобные ассоциативные зоны выполняют функцию программирования и контроля результата действия (Королев С.А. и др., 2011; Шутова С.В. и др., 2013).

Функциональные показатели сенсомоторных реакций рассматриваются в качестве характеристик сенсомоторной интеграции, под которой подразумевается согласование и

объединение моторных и сенсорных процессов, осуществляющееся на разных уровнях мозга. Другими словами, сенсомоторная интеграция – это проявление процессов конвергенции на кортикальных полях лобной коры нейрональной импульсации от структур сенсорных систем и от ядер двигательной системы (Александров Ю.И., 2003; Соколова Л.В. и др., 2015).

Для оценки временных показателей простой реакции определяют среднеарифметическую величину времени ПЗМР, а также дисперсию, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации. Впервые время реакции (ВР) человека на внезапный раздражитель было точно измерено астрономом Ф. Бесселем в 1823 г. Это послужило началом изучения ВР человека многими учеными. Термин «время реакции» введено З. Экснером. Он определил его как время, необходимое для того, чтобы «сознательным образом отвечать на определённое чувственное впечатление». Им же проведено систематическое исследование времени простой реакции и его зависимости от возраста, пола испытуемого, его индивидуальных особенностей (внутренние факторы), а также от интенсивности, сенсорной модальности и качества раздражителя, различного рода внешних условий эксперимента, действия алкогольных и фармакологических средств (внешние факторы), показано его удлинение при введении постороннего раздражителя (Бойко Е.И., 1964; Кирой В.Н., 2003). Измерение ВР – вариационная хронорефлексометрия, является одним из наиболее информативных, простых, доступных и распространенных методов оценки ФС человека в экспериментальной психофизиологии. Основателем данного метода является Ф. Дондерс, который впервые разработал принципиальную схему эксперимента, позволяющую определить временные параметры протекания психических процессов. В основе данного метода лежит статистический анализ латентных периодов простой сенсомоторной реакции (Мороз М.П. и др., 2001; Литовченко О.Г. и др., 2007). Метод оценки ФС ЦНС по статистическим параметрам распределения времени ПЗМР разработан Т.Д. Лоскутовой (Лоскутова Т.Д., 1975). Исследования ВР подразделяют на три типа в зависимости от целей: 1) ВР как зависимая переменная от внешних и внутренних факторов; 2) ВР как инструмент анализа когнитивной психологии; 3) ВР как единица анализа индивидуальных различий (Зайцев А. В. и др., 2002).

Время ПЗМР является достаточно точным нейрофизиологическим показателем скорости проведения возбуждения по различным элементам рефлекторной дуги, а именно по ее центральным структурам. Оно также отражает динамику скорости нервных процессов, их переключения, уровень зрительно-моторной координации, общий уровень работоспособности и активности ЦНС. Это позволяет рассматривать время ПЗМР как важный интегральный показатель ФС ЦНС, отражающий возбудимость, лабильность и реактивность нервной системы, поскольку в значительной степени определяется ФС и индивидуально-типологическими свойствами нервной системы обследуемого (Казин Э.М. и др., 2000; Александровский Ю. А., 2007; Губарева Л.И. и др., 2007; Мантрова И.Н., 2010; Королев С.А. и др., 2011).

Любая сенсомоторная реакция состоит из двух этапов: внутренний, «скрытый» (основная часть) и внешний, двигательный. Во время «скрытого» этапа происходит переработка сенсорной информации, её анализ и принятие решения об ответном действии, формирование системы команд по управлению этим действием. Внешний, двигательный этап – это собственно двигательная, моторная часть реакции, открытая прямому наблюдению. Таким образом, ВР выделяют два компонента – латентный период (ЛП) и моторный (МП), то есть $ВР = ЛП + МП$ (Милов В.Н. и др., 2001).

ЛП простой сенсомоторной реакции – это промежуток времени от начала подачи сигнала до мышечного ответа испытуемого, при условии, что от испытуемого требуется реагировать как можно быстрее. ЛП отражает определенное текущее состояние ЦНС и функциональной системы через его статистические особенности. Функциональная система, которая реализует простую двигательную реакцию, формируется после дачи инструкции в момент организации состояния готовности (Лоскутова Т.Д., 1975; Зайцев А.В. и др., 2002; Богданов В.Б. и др., 2004; Teichner W.H., 1954; Nene A.S. et al., 2010; Namita et al., 2010).

В ПЗМР на протяжении ЛП происходит обработка информации анализатором, состоящая из трех этапов: 1) восприятие раздражения и прохождение нервного импульса по проводящим путям; 2) обработка сигнала в коре; 3) формирование двигательного ответа. Во время первого этапа происходит возбуждение рецепторов сетчатки глаза (физико-химический процесс), проведение возбуждения по нервным волокнам и подкорковым центрам в зрительные центры затылочной области коры больших полушарий. Затем имеет

место возникновения ощущения при возбуждении первичных зрительных полей, опознание сигнала с участием вторичных полей, сопоставление с инструкцией и принятие решения о двигательном ответе с участием третичных полей коры - нижнетеменных и лобных областей, а также других областей коры - слуховых, центров речи и др. (второй этап). На заключительном, третьем этапе формируется программа движения в третичных лобных областях, премоторных и моторных областях коры, затем следует проведение возбуждения к мотонейронам спинного мозга и далее к мышцам руки, возбуждение мышцы и возникновение ее сокращения (Солодков А.С., 2011; Plainis S. et al., 2004). Таким образом, для зрительного анализатора характерным является проведение информации не только по основному, но и по дополнительным путям, одним из которых является ретино-текто-таламокортикальный путь (Киеня А.И. и др., 2001; Harting J.K. et al., 1973).

ВР человека не может быть ниже определённого физиологического предела или “несократимого” минимума простой реакции, составляющего около 100 мсек. ВР определяется в основном физической природой раздражителя и особенностями воспринимающего рецептора (Ломов Б.Ф., 1966; Карпенко А.В., 1988).

ВР также зависит от таких факторов как возраст, пол, физическая подготовка испытуемого, его индивидуально-типологические особенности (например, экстраверсия-интроверсия, сила НС, тип темперамента, профиль функциональной межполушарной асимметрии), сон, утомление, действие алкогольных и фармакологических средств (Маляренко Т.Н. и др., 2000; Gale A. et al., 1969; Dane S. et al., 1998; Moskowitz H. et al., 2000; Linder G.N., 2001; Donovan O.O. et al., 2006; Spierer D.K. et al., 2010; Bulent F., 2011; Nikam L.H. et al., 2012).

Сигналы, поступающие из внешней среды, и внутренние сигналы – процессы, происходящие в самом организме, приводят к вариабельности ВР (Никандров М.Г. и др., 1983). Установлено, что вариабельность ВР при измерении его средних значений с изменением контролируемых факторов у одного и того же испытуемого не столь значительна (не более 25 мсек), в то время как измерение ВР при неизменных условиях эксперимента на протяжении достаточного интервала времени выявляет значительные колебания этого параметра. При этом значения времени ПЗМР могут отличаться от среднего на сто и более миллисекунд (Лупандин В.Я. и др., 1988; Proverbio A.M. et al., 1998). Согласно

С.М. Блинкову с соавт., непрерывное изменение ВР человека является следствием неконтролируемых флуктуаций его внутреннего состояния (Блинков С.М. и др., 1968). Распределение последовательных значений времени ПЗМР изображается в виде вариационной кривой, форма и положение которой в системе координат варьируют в соответствии с изменением ФС ЦНС. А.М. Зимкиной с соавт. эмпирически получены три количественных критерия, с помощью которых при анализе форм вариационных кривых можно оценить особенности ФС ЦНС. Первый критерий - функциональный уровень системы (ФУС). Его величина определяется абсолютными значениями времени ПЗМР, т.е. положением вариационной кривой относительно абсциссы. Второй критерий - устойчивость реакции (УР). Величина этого показателя тем больше, чем меньше вариабельность значений времени ПЗМР. Показатель УР характеризует устойчивость состояний ЦНС. Третий критерий - уровень функциональных возможностей (УФВ) – говорит о способности ЦНС формировать и достаточно долго удерживать соответствующую функциональную систему. Между данными критериями существует жесткая взаимосвязь, например, состояние тем устойчивее, чем выше его уровень (Зимкина А.М. и др., 1974; Павлова Л.П., 1988; Байгузин П.А., 2011).

Один и тот же раздражитель может вызывать разную по времени и по силе реакцию в зависимости от ФС исследуемого. Например, при утомлении, когда наблюдается резко сниженный функциональный фон, оптимальные раздражители начинают вызывать пессимальные реакции, характерные для той или иной фазы парабитического торможения. По мере развития утомления способность правильно реагировать на предъявленные сигналы снижается, увеличивается число ошибок (ошибки «опережения» – преждевременное нажатие и «запаздывания» – позднее нажатие). При увеличении нерегулярности появления сигнала, то есть увеличении вариативности интервалов между сигналами наблюдается удлинение ВР (Лоскутова Т.Д., 1978). Высокому уровню ФС организма соответствует преобладающий процент точных ответов, состоянию повышенной возбудимости – нарастание процента ошибок «опережения» при одновременном росте средней величины ошибки, а глубоким стадиям утомления – нарастание ошибок «запаздывания» и средней величины этих ошибок.

Удлинение времени реакции свидетельствует о снижении функциональной активности ЦНС, то есть данный показатель может служить для динамического контроля за

функциональным состоянием ЦНС. У лиц, обладающих низким уровнем функциональной подвижности нервных процессов, преобладают симпатические влияния, что объясняется более высокой чувствительностью слабой нервной системы, которая получает большие дозы сенсорного потока и имеет более интенсивную стимуляцию симпато-адреналовой системы (Афтанас Л.И., 2000; Березина М.Г., 2000). В работах Н.А. Литвиновой показано, что студенты, обладающие высоким уровнем подвижности и силы нервных процессов, характеризуются успешностью в учебной деятельности, устойчивостью к стрессу и сбалансированной активностью симпатической и парасимпатической нервной системы (Литвинова Н.А., 2008).

Таким образом, измерение ВР является перспективным методом в психофизиологических исследованиях, который позволяет оценивать состояние ЦНС и функциональной системы. Все больший интерес к данной методике объясняется прежде всего ее объективностью, быстротой и простотой в использовании.

1.3. Математический анализ вариабельности сердечного ритма как метод оценки функционального состояния механизмов вегетативной регуляции

У здоровых людей интервал времени от начала цикла одного сердечного сокращения до начала другого не является одинаковым, он постоянно меняется. Данное явление получило название вариабельности сердечного ритма (ВСР), которое наблюдается даже в состоянии покоя в положении лежа. Характерно, что непостоянство интервала между кардиоциклами находится в пределах некой средней величины, являющейся оптимальной для определенного рассматриваемого ФС организма (Котельников С.А. и др., 2002).

Анализ ВСР начал активно развиваться в СССР в начале 60-х годов. В 1966 году в Москве состоялся первый в мире симпозиум по ВСР, на котором было представлено свыше 50 докладов (Парин В.В. и др., 1968). Наиболее интенсивное исследование ВСР отмечалось в конце 70-х – начале 80-х годов (Власов Ю.А. и др., 1971; Баевский Р.М., 1979; Воробьев В.И., 1980; Клецкин С.З., 1981; Жейматите Д.И. и др., 1982). В Западной Европе и США резкий рост числа исследований по ВСР начался в последние 25 - 30 лет. В настоящее время ежегодно публикуется до нескольких сотен работ. Важным этапом развития методологии ВСР явился итоговый доклад рабочей группы под председательством А.Ж. Camm и М. Malik,

которая включала 17 исследователей из Европейских стран, США и Канады. В результате этой работы Европейское общество кардиологов и Североамериканское общество кардиостимуляции и электрофизиологии опубликовали стандарт измерения, физиологической интерпретации и клинического использования методики ВСР (Heart rate variability: standards of measurement..., 1996).

Анализ ВСР является методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека и животных, в частности, общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы (Баевский Р.М. и др., 2001).

По степени напряжения регуляторных механизмов можно говорить об адаптационных возможностях всего организма. В свою очередь, о степени напряжения регуляторных систем можно судить с помощью многих методов, но наиболее перспективным, простым и доступным методом является математический анализ ритма сердца. Преимуществом данного метода является также его неинвазивность (Рябыкина Г.В. и др., 1996; Баевский Р.М. и др., 1997; Макаров Л.М., 2000; Ноздрачев А.Д. и др., 2001; Бабунц И.В. и др., 2002; Голухова Е.З., 2002; Михайлов В.М., 2002; Kleiger R.E. et al., 1992; Nemanth Kumar.V et al., 2013).

Динамический ряд кардиоинтервалов может анализироваться на основе использования различных теоретических концепций. Согласно первой концепции, изменения сердечного ритма рассматриваются в связи с адаптационной реакцией целостного организма, как проявление различных стадий общего адаптационного синдрома. Теория Г. Селье об общем адаптационном синдроме описывает фазовый характер адаптационных реакций и обосновывает ведущую роль истощения регуляторных систем при острых и хронических стрессорных воздействиях в развитии большинства патологических состояний и заболеваний (Селье Г., 1960).

Реакции системы кровообращения и, в частности, ее регуляторных механизмов можно рассматривать как чувствительный индикатор адаптационных реакций всего организма к большому числу разнообразных факторов внешней среды. ВСР хорошо отражает степень напряжения регуляторных систем, обусловленную возникающей в ответ на любое

стрессорное воздействие активацией гипотиз-надпочечниковой системы и реакцией симпато-адреналовой системы (Парин В.В. и др., 1967).

Регуляторные системы организма - это постоянно действующий аппарат слежения за состоянием всех систем и органов, их взаимодействием и за соблюдением равновесия между организмом и средой. Активность регуляторных систем зависит от ФС организма. Степень напряжения регуляторных систем - это интегральный ответ организма на весь комплекс воздействующих на него факторов, независимо от того, с чем они связаны. По степени напряжения регуляторных механизмов можно судить о функциональных резервах системы кровообращения и об адаптационных возможностях всего организма. Здоровый организм, обладая достаточным запасом функциональных возможностей, отвечает на стрессорное воздействие обычным, нормальным, так называемым рабочим напряжением регуляторных систем (Баевский Р.М., 2004).

Основываясь на положениях биологической кибернетики и теории функциональных систем, колебания длительностей кардиоинтервалов представляются как результат влияния многоконтурной, иерархически организованной многоуровневой системы управления физиологическими функциями организма (Парин В.В. и др., 1967; Анохин П.К., 1973). При этом изменения показателей ВСР обусловлены формированием различных функциональных систем, соответствующих требуемому на данный момент результату.

Наиболее полно в литературе представлена концепция двухконтурной модели регуляции сердечным ритмом в соответствии с которой выделяется центральный и автономный контур управления синусовым узлом с прямой и обратной связью (рис.1) (Баевский Р.М. и др., 1984).

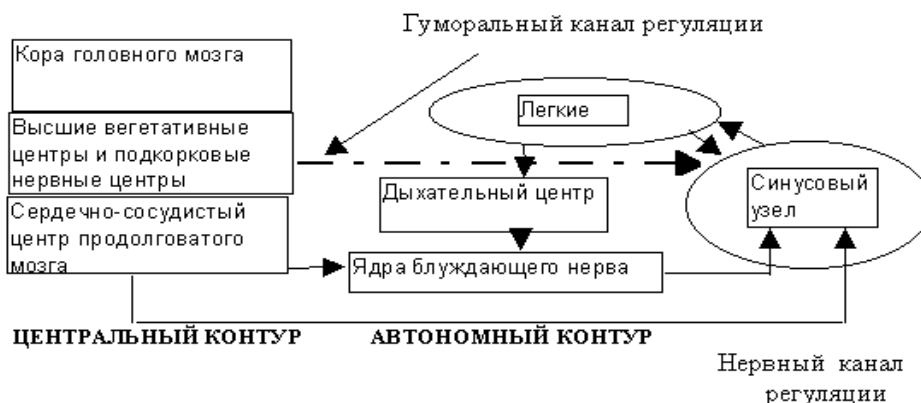


Рис.1. Схема двухконтурной модели регуляции сердечного ритма.

Автономный контур регуляции характеризуется выраженностью дыхательной синусовой аритмии и включает в себя синусовый узел, блуждающие нервы и их ядра в продолговатом мозгу. Элементом обратной связи в автономном контуре регуляции сердечного ритма является дыхательная система.

Центральный контур регуляции сердечным ритмом, в свою очередь, является сложнейшей многоуровневой системой нейрогуморальной регуляции физиологических функций, которая включает в себя такие звенья, как подкорковые центры продолговатого мозга, высшие вегетативные центры (гипоталамо-гипофизарная система) и кору головного мозга. Недыхательная синусовая аритмия отражает состояние центральных контуров управления.

В условиях покоя регуляция сердечным ритмом осуществляется автономным контуром. Во время сна центральные влияния на автономный контур регуляции уменьшаются и, соответственно, усиливаются дыхательные волны. При различных нагрузках на организм в процесс управления сердечным ритмом включается центральный контур регуляции. Это приводит к ослаблению дыхательного компонента синусовой аритмии и к усилению ее недыхательного компонента.

Основываясь на представлении о двухконтурной модели управления сердечным ритмом, Н.И. Шлык выделила четыре типа вегетативной регуляции: 1) умеренное преобладание центрального контура управления; 2) выраженное преобладание центрального контура управления; 3) умеренное преобладание автономного контура управления; 4) выраженное преобладание автономного контура управления. В данном случае за основу классификации берутся не отделы вегетативной нервной системы, а центральный и автономный контуры вегетативного управления физиологическими функциями. Этим подчеркивается участие в процессах вегетативной регуляции многих звеньев единого регуляторного механизма. Согласно Н.И. Шлык, оптимальным типом вегетативной регуляции является III тип, т.е. умеренное преобладание автономной регуляции, что подтверждает положение медицинской кибернетики о том, что именно управляемая саморегуляция позволяет достигнуть оптимума без перенапряжения системы управления. Когда в процесс управления включается центральный контур, то управляемая система дестабилизируется. Данный процесс наиболее выражен при II типе вегетативной регуляции,

когда процессы саморегуляции полностью подавлены. У людей с центральным типом регуляции существенно ниже функциональные и адаптивные возможности организма и более выражены различные дизрегуляторные проявления. В своих работах Н.И. Шлык также показала, что при динамическом исследовании ВСР в состоянии покоя у одних и тех же детей с разными типами вегетативной регуляции сердечного ритма тип регуляции у каждого индивидуума сохраняется и изменяется лишь при больших стрессовых нагрузках и заболеваниях. Данный факт дает основание предположить о генетической детерминированности типа вегетативной регуляции (Шлык Н.И. и др., 2007; Шлык Н.И., 2009).

Общеизвестно, что парасимпатическая и симпатическая отделы вегетативной нервной системы находятся во взаимодействии и определенном равновесии. Под влиянием некоторых факторов в процесс регуляции сердечной деятельности вовлекаются соответствующие отделы ЦНС и нейрогуморальной системы, в результате чего происходит смещение равновесия в сторону активности одного из отделов. Постоянное воздействие симпатических и парасимпатических влияний происходит на всех уровнях вегетативной нервной системы. Следует отметить, что взаимодействия этих двух нервных систем сложные, что проявляется в различной степени активности одного из отделов вегетативной системы при изменении активности другого. Часто, при достижении полезного приспособительного результата одновременно наблюдается снижение активности в одном отделе вегетативной нервной системы и возрастание в другом. Такой тип взаимодействия соответствует принципу “функциональной синергии”. Таким образом, текущая активность симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы является результатом системной реакции механизмов многоконтурной и многоуровневой регуляции (Баевский Р.М. и др., 2001; Ноздрачев А.Д. и др., 2001).

При анализе ВСР обычно учитывается длительность RR-интервалов ЭКГ. При этом ВСР можно представить графически либо в виде кардиоинтервалограммы, либо в виде ритмограммы. В обоих случаях по оси ординат откладывается длительность RR-интервалов. Однако в кардиоинтервалограмме по оси абсцисс откладывается номер кардиоинтервала, и она изображается в виде столбиковых диаграмм, а в ритмограмме – время, и она представляется в виде кривой

Изменение длительностей RR-интервалов происходит с определенной периодичностью, что соответствует волнам в ритмограмме. Выделяют три типа волн в ритмограмме: короткие с периодом колебаний от 2,5 до 9 с, средние, имеющие период колебаний от 10 до 20 с, и длинные, возникающие с периодом 30-90 с. Для точного и четкого выделения волновых составляющих в ритме сердца используют преобразования Фурье, в результате которых получается частотный спектр тех периодических колебаний, которые составляли исходную кривую (Парин В.В. и др., 1968; Баевский Р.М. и др., 1984; Бабунц И.В. и др., 2002; Котельников С.А. и др., 2002; Heart rate variability: standards of measurement, ..., 1996). Представление частотного спектра в графическом виде называется спектрограммой (по оси абсцисс откладываются частоты, по оси ординат – их амплитуды). Спектральный анализ позволяет не только выявить периодические составляющие ВСР, но и оценить их удельный вес в спектре частот. При анализе кратковременной записи ЭКГ (5 минут) в частотном спектре выделяют 3 диапазона: очень низкочастотный (VLF) с границами от 0 до 0,04 Гц, низкочастотный (LF) с границами от 0,04 до 0,15 Гц и высокочастотный (HF) с границами от 0,15 до 0,4 Гц (Sayers B.M., 1973; Hirsh J.A. et al., 1981; Pagani M. et al., 1986; Malik M. et al., 1993; Acharya U. R. et al., 2004; Murray N. P. et al., 2012).

Высокочастотные колебания сопряжены с дыханием и поэтому определяются частотой дыхания (Бокерия и др., 2009). По спектральной мощности в HF-диапазоне судят об активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Кроме того, эта составляющая спектра связана с активностью ядра блуждающего нерва, которая влияет на синусовый узел (Berntson G.O. et al., 1997). Некоторыми исследователями рассматривается возможный центральный механизм формирования высокочастотных колебаний в результате прямого взаимодействия дыхательного и сосудистого центров, а также барорефлекторный механизм за счет колебаний АД (Щербатых Ю.В., 1999; Чуян и др., 2008; Филимонова и др., 2010). Михайлов Н.Ю. с соавт. показали связь высокочастотных колебаний с адаптационными реакциями (Михайлов Н.Ю. и др., 2008).

В оценке низкочастотного (LF) компонента имеются противоречия. В ряде работ предполагается, что низкочастотные колебания связаны с активностью постганглионарных симпатических волокон и отражают модуляцию сердечного ритма симпатической нервной системой (Бабунц И.В. и др., 2002; Бокерия и др., 2009; Rimoldi O. et al., 1990; Malliani A. et

al., 1991; Montano A., 1994; Malfatto et al., 1998; Zhong et al., 2005). Другие исследователи не исключают роль парасимпатического отдела нервной системы в происхождении LF компонента, то есть рассматривают его как комбинацию симпатической и парасимпатической активности (Фонякин А.В. и др., 2007; Akselrod S. et al., 1981; De Boer R.W. et al., 1986). Также считается, что LF компонент является отражением активности вазомоторного центра и барорецепторных зон с дуги аорты (Вейн А.М., 2003). Происхождение этого компонента кардиоритма связывают с многоуровневым и нелинейным характером процессов регуляции сердечного ритма и наличием переходных процессов (Киселев А.Р. и др., 2005; Шевченко О.В., 2008). Для оценки баланса между симпатической и парасимпатической системами используют соотношение мощностей низкочастотного и высокочастотного диапазонов спектра (индекс LF/HF) (Montano N. et al., 1994; Heart rate variability: standards of measurement, ... 1996).

Природа возникновения очень низкочастотного составляющего спектра (VLF) остается неясной. Формирование данного компонента может быть обусловлено влиянием надсегментарных отделов автономной нервной системы, эндокринных или гуморальных факторов на синусовый узел, а также опосредованно метасимпатической нервной системой сердца. Согласно Р. М. Баевскому, основной пик данного диапазона связан с активностью надсегментарных, а именно, гипоталамических центров вегетативной регуляции. Эти центры генерируют медленные ритмы, которые передаются к сердцу через симпатическую нервную систему (Баевский и др., 1984). В работах многих исследователей подчеркивается роль активности высших отделов ЦНС в регуляции сердечного ритма при различных ФС (Хаспекова Н.Б., 1996; Мельников А.Х. и др., 2000; Richards J.E. et al., 1991; Lovallo W.R. et al., 2003; Berntson G.G. et al., 2004; Newell M.E., 2005).

Некоторые авторы предполагают также, что периодические составляющие этого диапазона могут быть обусловлены гормональными влияниями на сердечную мышцу. Влияния гормонов может осуществляться как непосредственным действием на структуры синусового узла, так и воздействием на мембранные рецепторы в ЦНС (Навакатилян А.О. и др., 1979; Van den Berg D.T.W.M. et al. 1989; Bealer S.L., 2000).

Таким образом, ВСР используется для общей оценки вегетативной регуляции сердечного ритма. С помощью анализа ВСР можно получить также прогностическую

информацию о ФС и особенностях адаптивных реакций всего организма. Динамика параметров ритма сердца является универсальной адаптационной реакцией целостного организма в ответ на любое воздействие факторов внешней среды (Машин В.А., 2007; Рунова Е.В., 2008; Агаджанян Н.А. и др., 2006; Берсенев Е.Ю., 2008; Антонова Л.К. и др., 2011).

1.4. Биоритмологические особенности регуляторной деятельности мозга

Известно, что ритмичность биологических процессов является фундаментальным свойством живой материи и составляет сущность организации жизни на всех ее уровнях – от молекулярного до целостного организма (Чибисов С.М. и др., 2013).

Биологический ритм – самоподдерживающийся и самовоспроизводящийся колебательный процесс, приводящий к воспроизведению биологического явления или состояния биологической системы через приблизительно равные промежутки времени.

Однако повторение биологического ритма относительно. Несмотря на то, что каждый новый цикл протекает в том же самом организме, однако он различается от предыдущих циклов по своим параметрам – длительности периода, амплитуде и т.д. Ритмические колебания в разных диапазонах частоты и амплитуды обнаруживаются на всех жизненных уровнях – биохимическом, физиологическом, поведенческом (Халберг Ф., 1964; Алякринский Б.С. и др., 1985; Комаров Ф.И., 1989).

Существуют различные биоритмы. У человека можно выделить биоритмы высокой частоты (до 0,5 часа), средней частоты (от 0,5 часа до 6 дней) и низкой частоты (недельные, лунные, годовые и более длительные). С.И. Степанова среди биоритмов выделяет главенствующие – водители и подчиненные – ведомые (Степанова С.И., 1986). В организме существуют биоритмы различного характера: инертные биоритмы, которые устойчивы к случайным воздействиям внешней среды и лабильные биоритмы, которые обеспечивают адаптацию организма, подстраиваясь к конкретным условиям среды.

Для сложных организмов характерна иерархическая структура циклических колебаний, в которой согласованность и интеграция ряда мелких колебаний являются необходимыми условиями нормального функционирования более крупных биоритмов функциональной системы (Тимченко А.Н., 2012).

Ритмичность непосредственно связана с механизмами обратной связи, саморегуляции и адаптации. Сам адаптационный процесс есть процесс ритмический. Если адаптационный процесс протекает спокойно, без особых потрясений организма, когда действующие на организм стресс-факторы не выходят за рамки обычного, то при описании колебательных процессов используется понятия «ритм» или «периодичность». В тех случаях, когда адаптационный процесс протекает бурно, с выраженными и быстро развивающимися изменениями в организме, что может быть обусловлено, например, действием сильных раздражителей, в этих случаях состояние организма от цикла к циклу изменяется очень заметно и колебательные процессы утрачивают свою нормальную периодичность и регулярность.

Искажение биологического ритма, трансформация его в непериодические колебания свидетельствует о резком обострении внутренних противоречий адаптационного процесса. Изменения исходной периодичности при стрессе характеризуются не только нарушением постоянства периода, но и увеличением амплитуды колебательного процесса вследствие активации расхода и восстановления энергетических и пластических ресурсов организма (Степанова С.И., 1986).

Увеличение амплитуды периодических процессов организма при стрессе показано в многочисленных работах. Так, Н.А. Аладжалова сообщает о закономерном увеличении амплитуды сверхмедленных электрических колебаний потенциалов мозга после таких стрессорных воздействий на организм, как сильные, повторно предъявляемые или длительные раздражения различных рецепторов, систематически повторяемые стимуляции гипоталамической области, эмоциональные нагрузки (Аладжалова Н.А., 1979). Увеличение амплитуды биопотенциалов в лобной области при психоэмоциональном стрессе отмечает и Л.Я. Зыбковец (Зыбковец Л.Я., 1973). По мнению Е.Л. Канаброцки с соавт. при оценке ФС человека амплитуда биологического ритма имеет очень важное и определяющее значение (Kanabrocki E.L. et al., 1973).

Увеличение амплитуды биологических колебаний наблюдается и при внезапном прекращении какого-либо воздействия после достижения резистентности к нему (выключение раздражителя), что тоже является стрессогенным фактором.

Одним из возможных механизмов увеличения амплитуды жизненных ритмов при стрессе является взаимная синхронизация ритмов отдельных функциональных структур, вследствие чего создается особо напряженный ритм работы отдельных органов и организма в целом. Такая взаимная синхронизация приводит к формированию единого, и по-видимому, высокоамплитудного ритма. Для «стрессогенного раздражения» характерна не только внутриорганный, но и межорганный синхронизация ритмических процессов. Взаимная синхронизация ритмов функциональных структур является показателем напряженной работы системы, причем напряженности высокого уровня, интенсивного стресса. В результате увеличения амплитуды жизненных ритмов в состоянии стресса отчетливая, подчеркнутая периодичность может быть обнаружена там, где до этого она не регистрировалась (Степанова С.И., 1986). Увеличение синхронизации ритмов электроэнцефалограммы у человека наблюдается при нарушениях нормального ФС и заболеваниях нервной системы (Аладжалова Н.А., 1979).

Однако при стрессе происходит не только увеличение амплитуды ритмических процессов организма, но и ее уменьшение. В работах Э.А. Матлиной выявлено резкое падение амплитуды суточных колебаний экскреции катехоламинов, ДОФА и дофамина у спортсменов в состоянии хронического утомления, вызванного чрезмерными тренировочными нагрузками (Матлина Э.А., 1978)

При стрессорном воздействии на организм, кроме амплитуды, меняется и частота периодических процессов. Организм отвечает на раздражение увеличением длительности периода жизненных ритмов, в чем проявляется одна из важнейших закономерностей адаптационного процесса.

А.О. Навакатилян с соавт. установили увеличение периодов волн автокорреляционной функции сердечного ритма у лиц, занятых на производстве, к обеденному перерыву и к концу рабочего дня. Ими также обнаружена медленноволновая периодика длительности интервалов R-R ЭКГ у преподавателей средней школы, которая в ряде случаев становилась особенно подчеркнутой к концу учебного года. Подобные изменения авторы связывают с увеличением напряжения и утомления (Навакатилян и др., 1980). Л.М. Смирновым с соавт. показано увеличение выраженности медленных и сверхмедленных колебаний

электроэнцефалографических показателей при напряженной умственной деятельности (Смирнов Л.М. и др., 1988).

Таким образом, биологические колебания, характеризующиеся избыточно высокой амплитудой, появление низкочастотных составляющих в их спектре, синхронизация ритмов отдельных функциональных структур свидетельствуют об активации адаптационного процесса при наличии стрессогенных ситуаций.

Как уже отмечалось выше, адаптация есть процесс колебательный, волнообразный. Волнообразность стрессовых реакций характерна для широкого круга проявлений жизнедеятельности организма, а именно для гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, метаболических процессов, иммунных реакций, показателей белкового и водно-солевого обмена, вегетативных реакций и т.д.

Так, в своей фундаментальной работе Ф. Хофф описывает характер вегетативных реакций на различные терапевтические воздействия, заболевания, травмы и т.д. При этом он квалифицирует совокупность возникающих общих, т.е. не зависящих от характера воздействия, реакций как проявление неспецифического защитного процесса, выступающего всегда в виде смены двух взаимно противоположных состояний – ваготонии и симпатотонии. В процессе этой смены установлены по крайней мере 3 фазы. Первую, ваготоническую, фазу не всегда удастся обнаружить, так как ее выраженность зависит от силы раздражителя и от индивидуальных особенностей организма. Вторая, симпатотоническая, и третья, ваготоническая, фазы более постоянны и лучше выражены. Смену фаз Ф. Хофф называет «полным вегетативным переключением» (Hoff F., 1957).

Волнообразные феномены наблюдаются в физиологических процессах, протекающих в ЦНС при стрессе, в биоэлектрической картине различных отделов головного мозга при умственной деятельности. Так, Дж. Ловетт с соавт. зарегистрировали у человека 4-15-минутные колебания скорости сенсомоторных реакций (Lovett-Douse J.W. et al., 1978). А.О. Навакатикян с соавт. обнаружили ритмические (с периодом 20-40 мин) изменения производительности в процессе решения несложных арифметических задач (Навакатикян и др., 1980).

Таким образом, есть все основания говорить об общебиологическом законе волнообразности адаптационного процесса, согласно которому этот процесс в любой его

стадии, в любом проявлении – обязательно протекает в колебательном (волнообразном) режиме. Эти колебания являются выражением внутренней противоречивости адаптационного процесса, выражением единства и борьбы его ведущих антагонистических сторон – разрушения и созидания (Степанова С.И., 1986).

Что касается возрастных изменений биоритмов, то у пожилых людей уменьшается амплитуда ритмов, некоторые ритмы могут вообще исчезнуть, а некоторые менять свою продолжительность. Причинами подобных нарушений биоритмов человека являются, прежде всего, возрастные изменения в органах, тканях и физиологических системах, снижение двигательной и психической активности, болезни, изменение привычного биоритма человека труда и отдыха. То есть, к признакам старения можно добавить и распад биоритмической системы (Комаров Ф.И., 1989).

1.5. Изучение основных форм проявления психологического состояния человека при оценке общего функционального состояния организма

Согласно концепции индивидуального здоровья И.Б. Ушакова с соавт., состояние психоэмоционального статуса является одной из составных частей индивидуального здоровья (Ушаков И.Б. и др., 2004).

Психологическое состояние является результатом динамики психических процессов, специфики их протекания и взаимодействия на данном отрезке времени и характеризуется целостностью, подвижностью, относительной устойчивостью, индивидуальным своеобразием и крайним многообразием. Оно возникает под воздействием внешних или внутренних факторов. Непрерывно сменяясь, психологические состояния сопровождают протекание всех психических процессов и видов деятельности человека, оказывая при этом влияние на успешность выполнения данной деятельности.

Психологическое состояние взаимодействует с соматическими функциями организма. Его проявления связаны с динамичностью нервной системы, сбалансированной работой обоих полушарий мозга, четким функционированием коры и подкорки головного мозга, индивидуальными особенностями психической саморегуляции. Психологические состояния могут быть представлены характеристиками четырех уровней: 1) самый нижний, физиологический, уровень включает нейрофизиологические характеристики,

морфологические и биохимические изменения, сдвиги физиологических функций; 2) психофизиологический уровень – вегетативные реакции, изменения психомоторики, сенсорики; 3) психологический уровень – изменения психических функций и настроения человека; 4) социально-психологический уровень – характеристики поведения, деятельности и отношения человека в том или ином состоянии (Ганзен В.А. и др., 1991).

Особой формой психологического состояния человека с преобладанием эмоционального реагирования по типу доминанты является психоэмоциональное состояние. Эмоциональные проявления в реагировании на действительность регулируют самочувствие и общее ФС человека. Дефицит эмоций снижает активность ЦНС и может явиться причиной снижения работоспособности. Известно, что оптимальное эмоциональное возбуждение является условием готовности к деятельности и ее благоприятному для здоровья осуществлению (Безруких М.М. и др., 2006). По влиянию на жизнедеятельность человека эмоции делятся на две группы: стенические – повышающие жизнедеятельность организма и астенические – понижающие их. Отсутствие эмоций – это тоже целое эмоциональное состояние, которое характеризуется некоторыми особенностями в поведении человека. От эмоционального состояния человека зависит его жизнь, здоровье, семья, работа, все его окружение, а изменение эмоционального состояния человека приводит к коренным изменениям в его жизни. Существует набор неизменных реакций, соответствующих каждому эмоциональному состоянию (Середина Н.В. и др., 2003).

Одним из проявлений психоэмоционального состояния является тревожность. Тревожность – это индивидуальная психологическая особенность, проявляющаяся в склонности человека к частым интенсивным переживаниям состояния тревоги, а также в низком пороге его возникновения, что является одним из основных параметров индивидуальных различий.

В книге В.В. Суворовой "Психофизиология стресса" под понятием «тревожность» понимается психическое состояние внутреннего беспокойства, неуравновешенности и в отличие от страха может быть беспредметной и зависеть от чисто субъективных факторов, приобретающих значение в контексте индивидуального опыта. Автор относит тревожность к отрицательному комплексу эмоций, в которых доминирует физиологический аспект (Суворова В. В., 1975). А.М. Прихожан определяет тревожность, как устойчивое личностное

явление, сохраняющееся на протяжении достаточно длительного периода времени (Прихожан А.М., 2000).

Известно, что воздействия неблагоприятных факторов и их последствия в значительной степени опосредуются личностными особенностями человека, в первую очередь – уровнем тревожности (Астапов В.М., 2002). У каждого человека существует свой оптимальный уровень тревожности (полезная тревожность), который, по мнению ряда авторов, в определенной степени играет положительную роль в плане мобилизации сил, что, в свою очередь, способствует достижению наибольшей успешности деятельности. Повышенный уровень тревожности отрицательно влияет на ФС ЦНС и организма в целом. Постоянное увеличение уровня тревожности может стать причиной высокой чувствительности к стрессу, стабильно высокой степени эмоционального возбуждения, затруднений интеллектуальной деятельности в напряженных ситуациях, разнообразных психосоматических заболеваний (Кулагин Б.В., 1984; Щербатых Ю.В., 1999; Криволапчук И.А., 2006; Schuch B., 2009).

При исследовании тревожности в психофизиологии выделяют две ее составляющие: ситуативную (реактивную) тревожность – определенное эмоциональное состояние человека в текущий момент времени и личностную тревожность – свойство личности постоянно проявлять данное состояние (Афтанас Л.И., 2000). При высокой реактивной тревожности наблюдается снижение внимания, ухудшение воспроизведения информации, а иногда и нарушение тонкой координации. Такое состояние возникает как эмоциональная реакция на стрессовую ситуацию и может быть разным по интенсивности и динамичным во времени. В отличие от реактивной тревожности, высокая личностная тревожность может быть связана со склонностью к невротическому конфликту, с возможностью появления эмоциональных и невротических расстройств (Вербицкий Е.В., 2003).

Существуют половые различия уровня тревожности. Во многих исследованиях выявлен факт большей тревожности у лиц женского пола по сравнению с лицами мужского пола (Ильин Е.П., 2011). Состояние тревожности может проявляться у людей любого возраста, однако, согласно статистике, чаще всего от тревожного расстройства страдают молодые женщины в возрасте 20-30 лет.

Другими видами психологического состояния человека являются депрессия, астения и ипохондрия. Длительные и трудно переносимые нагрузки, непреодолимые конфликты

вызывают у человека состояние депрессии – аффективное состояние, характеризующееся отрицательным эмоциональным фоном, изменениями мотивационной сферы, когнитивных представлений и общей пассивностью поведения. Различают функциональное состояние депрессии, возможное у здоровых людей в рамках нормального психического функционирования, и патологическую депрессию, являющуюся одним из основных психиатрических синдромов. В состоянии депрессии индивид испытывает тоску, отчаяние, подавленность, раздражительность, тревогу, потерю интереса ко всему окружающему. Весь социум осознается индивидом как нечто враждебное, вследствие чего происходит избегание общения. Резко снижается самооценка личности. Физиологическими проявлениями депрессии являются нарушение сна, изменение аппетита, боли в сердце, желудке, в мышцах, снижение энергии (Пери А. и др., 2009).

Депрессия, по мнению американского психотерапевта Ш. Трикетт, часто является следствием тревоги. В состоянии тревоги действия человека ускоряются, а при депрессии – наоборот, замедляются. Депрессия выступает вынужденным отдыхом организма после тревоги. Кроме того, по мнению Ш. Трикетт, человек в депрессии может испытывать трудности с сосредоточением, вниманием, памятью и принятием решений (Трикетт Ш., 2002).

Несмотря на то, что депрессивные проявления в подростковом возрасте и юности в большинстве случаев сходны с таковыми у взрослых, однако имеются и возрастные различия. Так, у детей и подростков состояние депрессии проявляется чаще в форме раздражительности, повышенной реакции на внешние ситуации или источники стресса (Иовчук Н.М. и др., 1999). Взрослые в состоянии депрессии бывают скорее ворчливыми и даже враждебными, чем печальными. Пожилые же чаще жалуются не на подавленное настроение, а на неприятные физические ощущения и боли.

Астения – это состояние организма, характеризующееся качественными изменениями ФС и проявляющееся усталостью, снижением психической и физической работоспособности, нарушениями сна, повышенной раздражительностью или, наоборот, вялостью, эмоциональной неустойчивостью, вегетативными нарушениями. Ведущее значение в развитии астенического синдрома принадлежит нарушению функции ретикулярной формации. Появление симптомов астении рассматривается как сигнал о

перегрузке ретикулярной активирующей системы, аутоинтоксикации продуктами метаболизма, о нарушении регуляции выработки и использования энергетических ресурсов организма, информирующий регуляторные системы организма о необходимости временного прекращения умственной или физической деятельности.

Несмотря на то, что основным проявлением астении является утомляемость, однако следует отличать астению от физиологической усталости, обозначаемой иногда как донозологическая астения. Донозологическая астения (утомление) часто возникает после чрезмерных физических, психических или умственных нагрузок, при неправильном чередовании работы и отдыха, систематическом недосыпании, смены часовых поясов или климата. Данное физиологическое состояние развивается, как правило, быстро и проходит после отдыха и не требует медицинской помощи. В отличие от физиологической усталости, астения развивается постепенно, длится месяцы и годы, не проходит после полноценного отдыха и нуждается в вмешательстве врача (Воробьева А.А., 2009).

Ипохондрия — это состояние чрезмерного внимания к своему здоровью, страх перед неизлечимыми болезнями. При ипохондрии человек переоценивает тяжесть менее серьезного заболевания или убежден в том, что он страдает тяжелым недугом. Часто ипохондрия развивается на основе первично возникшего астенического состояния. Ипохондрия является результатом нарушения слаженной работы коры головного мозга, искаженного восприятия корой импульсов от внутренних органов, нарушения между работой вегетативного отдела нервной системы и корой.

В основном ипохондрики встречаются среди пожилых людей, хотя ими могут быть и подростки, их психологическое состояние еще нестабильно, и они легко впитывают в себя негативную и лишнюю информацию. Ипохондрией в равной степени страдают как женщины, так и мужчины (Бочанов Е.В. и др., 2003).

Надо отметить, что в нашей работе рассматривался уровень функционального состояния депрессии, донозологической астении и ипохондрии, которые проявляются у здоровых людей в рамках нормального психического функционирования и выражаются у них в различной степени.

1.6. Особенности психофизиологических и физиологических возрастных изменений при исследовании функционального состояния организма

Проблема периодизации развития относится к числу наиболее сложных и до сих пор не имеющих однозначного решения проблем психологии и физиологии. В основе построения любой из периодизаций возрастного развития лежит критерий, то есть признак, на основании которого производится определение или классификация отдельных периодов развития. В биологии и психофизиологии периодизация строится с учетом критических или сенситивных периодов, когда организм отличается повышенной чувствительностью к внешним и внутренним факторам, воздействие которых именно в данной точке развития имеет особенно важные необратимые последствия. Возрастные классификации делятся на частные и общие. Частные классификации посвящены отдельным отрезкам жизни, чаще детским и школьным годам. Общие классификации охватывают весь жизненный путь человека.

К частным относятся, например, классификации Ж. Пиаже и Д.Б. Эльконина. В классификации развития интеллекта Ж. Пиаже выделяется три основных периода его становления с момента рождения и до 15 лет. Д.Б. Эльконин рассматривает три эпохи жизни – раннее детство, детство и подростковый возраст. В каждой эпохе происходит смена ведущих типов деятельности, которые обуславливают изменения в развитии ребенка и переход его в новую эпоху. Существуют следующие общие возрастные классификации. Согласно периодизации Э. Эриксона, в жизни человека от рождения до старости существует 8 стадий – критических периодов, которые должны быть преодолены в течение всей жизни. Э. Эриксон обратил внимание на развитие человеческого «Я» на протяжении всей жизни, на изменения личности по отношению к социальному окружению и к себе, включающие как позитивные, так и отрицательные моменты. Основой возрастной периодизации И.А. Аршавского является способ взаимодействия организма с условиями среды. При этом под возрастным периодом понимается отрезок времени онтогенеза, характеризующийся стабильным характером физиологических функций. Каждый возрастной период характеризуется своими специфическими особенностями, связанными с доминированием тех или иных функций организма, обеспечивающих те или иные параметры поведения во взаимодействии с условиями среды и социума. Наиболее полной и детализированной

является возрастная периодизация Д. Бромля. Человеческую жизнь он рассматривает как совокупность пяти циклов: утробного, детства, юности, взрослости и старения. Каждый из циклов состоит из ряда стадий. Возрастная периодизация В.В. Бунака основана на морфологических и антропологических признаках. Согласно ему, изменение размеров тела и связанных с ними структурнофункциональных признаков отражают преобразования метаболизма с возрастом. Развернутая схема возрастной онтогенетической периодизации человека, охватывающая весь его жизненный цикл, была принята на 7-й Всесоюзной конференции по проблемам возрастной морфологии, физиологии и биохимии, АПН СССР в 1965 г. (Алейникова Т.В., 2002, с. 5-10; Чурилова Т.М. и др., 2004, с. 32-44; Крылов А.А., 2005, с. 210-213).

Юношеский возраст (17-21 лет). В этот период резко возрастает умственная и физическая работоспособность. В регуляции психической деятельности возрастает роль коры, в том числе устанавливается контроль над эмоциональным состоянием. Восстанавливается способность вырабатывать внутреннее торможение. Увеличивается скорость выработки положительных условных рефлексов, происходит дифференцировка между функциями правого и левого полушарий. Успешно отрабатываются механизмы стратегии работы мозга, в том числе определения наиболее экономного пути. ФС мозга близко к таковому у взрослого человека. Окончательное формирование ритмологической активности мозга происходит к 16-18 годам. Наилучшие показатели баланса нервных процессов у юношей отмечаются в 16 и 18 лет, у девушек - в 15 лет, наихудшие - у юношей в 17 лет и у девушек 16-18 лет. Уровень силы нервной системы юношей всех возрастов отличаются от девушек более высокими показателями этого свойства. Повышение силы нервной системы до уровня взрослых у юношей происходит в 18 лет, а у девушек - в 19 лет. Подвижность нервных процессов (по показателям переработки зрительной информации) у подростков-юношей хуже, чем у взрослых мужчин, у девушек, наоборот, лучше, чем у взрослых женщин. Снижение возбудимости у юношей до уровня взрослых мужчин происходит постепенно от 15 к 18 годам. Возрастная динамика подвижности нервных процессов у девушек характеризуется постоянным снижением уровня от года к году. Объем внимания, способность длительно сохранять его интенсивность и переключать его с одного предмета на другой с возрастом увеличивается. Вместе с тем внимание становится более

избирательным, зависящим от направленности интересов. Восприятие, память, воображение и другие психические процессы все больше приобретают черты произвольности. Более продуктивной становится произвольная память (Алейникова Т.В., 2002, с. 31-32, 103-104; Чурилова Т.М. и др., 2004, с. 116-124; Крылов А.А., 2005, с. 222-224).

Период зрелости (22-35 лет). В период зрелости заканчивается общесоматическое развитие, достигает своего оптимума физическое и половое созревание, наступает стабилизация возбудительно-тормозных отношений. У людей данного периода отмечается существенное влияние словесных сигналов на ориентировочные и двигательные условные рефлексы. Одновременное повышение уровня развития памяти, мышления и внимания обнаружено лишь в двух микропериодах - 22-25 лет и 30-33 года, одновременное снижение уровня - только в одном микропериоде между 34 и 35 годами. Возрастные изменения объема и скорости зрительных восприятий в первую половину периода зрелости носят прогрессивный характер, достигая наивысшего развития в возрасте между десятилетиями жизни человека, а затем начинается медленное инволюционное изменение этих параметров. Исследование функции внимания показало, что объем, переключение и избирательность внимания нарастают постепенно до 33 лет, после 34 лет начинают постепенно снижаться. При изучении концентрированности внимания у людей от 19 до 50 лет выявлено, что точность несколько повышается в возрасте от 19 до 29 лет, в то время как темп выполнения задания может нарастать до 35-40 лет, а затем начинает снижаться. В целом же концентрация внимания находится на высоком уровне длительный период зрелости. В процессе психомоторных реакций наблюдается постепенное сокращение времени реакции на различные стимулы с возрастом (от 20 до 29 лет), достигая оптимума в возрасте 20-24 года. В последующие годы начинается постепенное и все более ускоряющееся снижение скоростных и точностных характеристик реакций (Алейникова Т.В., 2002, с. 60-61, 76-77; Чурилова Т.М. и др., 2004, с. 126-132; Крылов А.А., 2005, с. 222-224).

Возраст инволюции (36-60 лет). С 35 лет и до 50-55 лет в организме женщин и до 55-60 лет у мужчин, происходят изменения, приводящие к начальной инволюции. Возрастные изменения связаны с нейрогуморальными, сосудистыми изменениями, которые выражаются снижением умственной и физической работоспособности, ухудшением памяти,

эмоциональной неустойчивостью, уменьшением подвижности нервных процессов, неадекватными сосудистыми реакциями. Одним из наиболее существенных в цепи изменений, определяющих процесс старения, является нарушение передачи информации в различных звеньях систем регуляции. Причем эти изменения затрагивают не только сами системы регуляции функций организма, но и передачу их информационных сигналов на уровне регуляторных структур. Наиболее мощное воздействие на весь организм оказывает нарушение нейрогуморальной регуляции.

С возрастом снижается мозговой кровоток, уменьшается способность нейронов утилизировать глюкозу. Уменьшение активности ферментов, участвующих в синтезе медиаторов, в различных отделах головного мозга, приводит к снижению уровня ацетилхолина, дофамина, серотонина, норадреналина, гамма-аминомасляной кислоты, гомованилиновой кислоты и других нейромедиаторов. Это объясняет инволюционные изменения ВНД человека.

Морфологические и функциональные возрастные изменения в меньшей степени характерны для мозжечка, ствола мозга и спинного мозга. В коре больших полушарий, лимбической системе (в том числе в гиппокампе), базальных ганглиях они выражены наиболее интенсивно. При старении организма функциональные возможности нейронов в целом снижаются, что обусловлено частичной атрофией их тел и дендритов. Особенно наглядно это проявляется при необходимости их максимальной активности. Снижается интенсивность работы натрий-калиевого и кальциевого насосов, повышается длительность потенциала действия и абсолютной рефрактерной фазы, снижается скорость проведения возбуждения по нервным волокнам (в том числе за счет уменьшения толщины миелиновой оболочки).

К дальнейшему углублению деструктивных изменений в нейронах приводит затруднение обмена между кровью и тканями мозга, вызванные существенными перестройками гематоэнцефалического барьера, составной частью которого являются нейроглиальные элементы - астроциты. Число капилляров в различных структурах мозга с возрастом меняется неодинаково: может увеличиваться, уменьшаться или оставаться без изменения при существенных изменениях стенки капилляров во всех случаях. Утолщение базального слоя, частичная гибель эндотелиальных клеток затрудняют процессы обмена

между кровью и нервными тканями (Чурилова Т.М. и др., 2004, с. 134-145; Крылов А.А., 2005, с. 222-224).

Возрастные изменения ВСР. С возрастом происходит закономерное снижение ВСР. Согласно работам многих авторов наблюдается также снижение спектральной мощности всех трех частотных диапазонов, значения которых выражены в абсолютных единицах (Веневцева Ю.Л. и др., 2011; Bigger J.T. et al., 1995; Jensen-Urstad K. et al., 1997; Ziegler D. et al., 1999). Как показали исследования М.М. Демидовой с соавт., у испытуемых 15-29 лет величина мощности LF компонента спектра в три раза выше, а мощность HF компонента в четыре раза выше, чем у испытуемых 46-60 лет (Демидова М.М. и др., 2001). В работе А.В. Писарук также было показано уменьшение мощности колебаний в диапазоне VLF в 1,7, LF – в 2,0 и HF – в 3,2 раза у людей старше 60 лет по сравнению с группой 20-39 лет. То есть, можно сказать, что изменения для разных спектральных компонентов неодинаковы. (Писарук А.В., 2000). Ими также выявлено возрастание АМо, ИН и LF/HF и уменьшение SDNN. Ночью возрастные различия более выражены, чем днем. Циркадные колебания спектральных показателей ВСР при старении снижаются. Подобные возрастные изменения показателей ВСР свидетельствуют об уменьшении парасимпатических влияний на синусовый узел и смещении вегетативного баланса в сторону доминирования симпатического отдела вегетативной НС. Умеренное снижение колебаний ритма сердца очень низкой частоты (VLF) с возрастом свидетельствует о большей сохранности гуморальной регуляции, по сравнению с нервно-рефлекторной.

Между большинством показателей ВСР имеются высокие коррелятивные связи, например, между показателями SDNN и TP, VLF, LF, HF – сильные положительные связи, а между показателями SDNN и АМо, ИВР, ПАПР, ВПР, ИН – сильные отрицательные связи. Возрастные различия корреляционных связей между показателями ВСР незначительны. Так, например, симпато-парасимпатический индекс LF/HF у молодых людей отрицательно связан с HF и не связан с LF, а у пожилых людей – положительно с LF и не связан с HF. Это объясняется тем, что молодые люди сильнее различаются между собой по величине HF, а пожилые и старые – по LF (Писарук А.В., 2000).

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Организация исследования

Процедура проведения исследования

Исследование проводилось с помощью специально разработанной Э.Г. Геворкяном автоматизированной системы, в программное обеспечение которой были включены несколько блоков комплексного исследования (Геворкян Э.Г., 1995). Исследование состояло из двух этапов – психологического и психофизиологического. На первом (психологическом) этапе исследования оценивалось психоэмоциональное состояние испытуемых с помощью трех опросников (компьютерно-модифицированные реализации опросников):

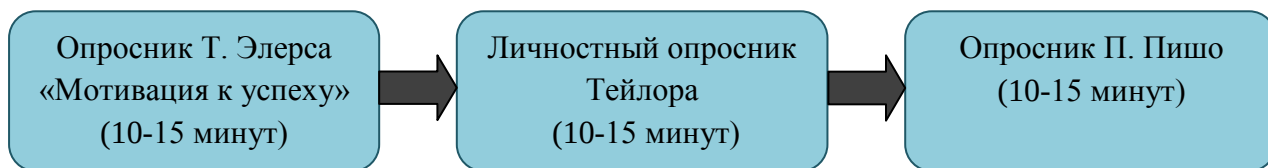
- ✓ опросник Т. Элерса «Мотивация к успеху», предназначенный для измерения уровня мотивации;
- ✓ личностный опросник Тейлора, предназначенный для измерения уровня тревожности;
- ✓ опросник П.Пишо, предназначенный для измерения уровня депрессии, астении и ипохондрии.

На втором (психофизиологическом) этапе исследования до и после умственной нагрузки оценивалось:

- время простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) с помощью теста «Рефлексометрия»;
- состояние сердечно-сосудистой системы с помощью регистрации электрокардиограммы (ЭКГ) и последующего анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР);
- основные показатели системной гемодинамики на основе измерения частоты сердечных сокращений (ЧСС) и артериального давления (АД).

Умственная нагрузка продолжительностью 60 минут представляла собой тестовые задания умственного характера – тест на внимание “Clocks Carrousel” и тест на память “Memory Capacity Biotester”, требующие высокой сосредоточенности внимания и умственных усилий для достижения высокой результативности, тем самым вызывая напряжение (Геворкян Э.Г., 1995). Порядок проведения исследования и продолжительность каждого этапа представлены на рисунке 2. В целом, длительность всего цикла исследования составила около 2 ч 15 мин.

I этап – Психологическое исследование (30-45 минут)



II этап – Психофизиологическое исследование (1 час 30 минут)

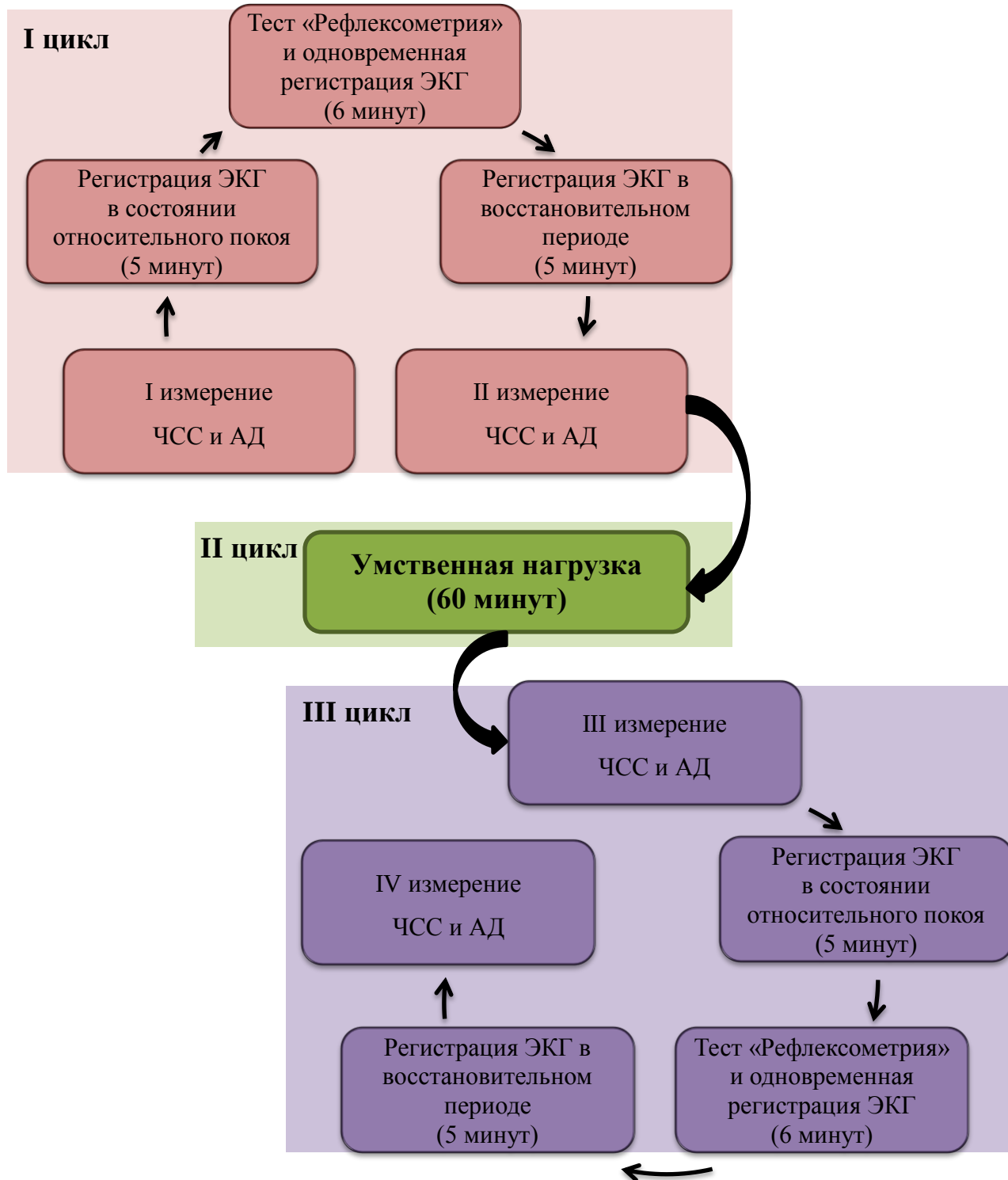


Рис.2. Порядок и продолжительность исследования.

Испытуемые

В исследовании принимали участие 98 практически здоровых испытуемых-добровольцев обоего пола в возрасте 17–60 лет. В зависимости от возраста испытуемые были разделены на 3 группы согласно принятой возрастной периодизации (табл.1) (Крылов А.А., 2005). В I группу входили студенты Национального политехнического университета Армении, а в состав II и III групп были выбраны те испытуемые, которые имели высшее образование.

Таблица 1

Возрастная периодизация и количество испытуемых

Исследуемые группы	I группа	II группа	III группа	IV контрольная группа
Возраст испытуемых (лет)	17-21 (юношеский возраст)	22-35 (средний возраст: I период)	36-60 (средний возраст: II период)	22-35
Средний возраст по выборке (лет)	19,4±1,1	25,1±3,7	46,4±8,1	25,0±3,1
Общее количество испытуемых	n=29	n=33	n=26	n=10

Для выявления фактора воздействия умственной нагрузки на динамику изучаемых показателей была составлена контрольная группа. В состав контрольной группы входили испытуемые, возраст которых соответствовал возрасту испытуемых второй группы. Для испытуемых контрольной группы из схемы исследования была исключена только умственная нагрузка. В этот отрезок времени им предоставлялся отдых в тихой комнате, без отвлекающих факторов.

Перед началом обследования испытуемые были ознакомлены с ходом эксперимента, была проведена подробная инструкция, во время которой разъяснялись задачи и правила проведения эксперимента. Эксперимент проводился в изолированной, бесшумной комнате в условиях комфортной температуры. Испытуемые принимали участие в исследовании на добровольной основе и дали письменное согласие на участие. Все процедуры соответствовали этическим принципам, указанным в Хельсинской декларации 1983 г.

2.2. Методика проведения исследования

Опросник Т. Элерса «Мотивация к успеху»

По опроснику Т. Элерса «Мотивация к успеху» определялся уровень мотивации у испытуемых (Розанова В.А., 1999). Опросник состоит из 41 утверждения. Испытуемым было предложено либо соглашаться с утверждением, нажатием кнопки пробела на клавиатуре, либо, при отрицательном ответе, пропускать данное утверждение. По 1 баллу начисляется за ответ "да" на вопросы: 2–5, 7–10, 14–17, 21, 22, 25–30, 32, 37, 41 и "нет" — на следующие вопросы: 6, 13, 18, 20, 24, 31, 36, 38 и 39. Ответы на вопросы 1, 11, 12, 19, 23, 33–35 и 40 не учитываются. После выполнения тестового задания проводился подсчет общей суммы баллов. Шкала опросника выглядит следующим образом:

- 1-10 баллов – низкая мотивация к достижению успеха,
- 11-16 баллов – средний уровень мотивации к достижению успеха,
- 17-20 баллов – умеренно высокий уровень мотивации к достижению успеха,
- свыше 21 балла - слишком высокий уровень мотивации к достижению успеха.

Продолжительность тестирования составляла 10-15 мин.

Личностный опросник Тейлора

Личностная шкала проявлений тревоги Тейлора была применена для оценки уровня тревожности испытуемых (Дерманова И.Б., 2002). Шкала состоит из 50 вопросов, на которые испытуемый должен ответить «да» (нажать кнопку пробела на клавиатуре) или «нет» (пропустить данный вопрос). Оценка результатов исследования по опроснику производится путем подсчета количества ответов испытуемых, отражающих уровень тревожности. Оценка по шкале тревоги следующая:

- 0-5 баллов – низкий уровень тревожности,
- 6-15 баллов – средний (с тенденцией к низкому) уровень тревожности,
- 16-25 баллов – средний (с тенденцией к высокому) уровень тревожности,
- 26-40 баллов – высокий уровень тревожности,
- 41-50 баллов – очень высокий уровень тревожности (рис. 3).

Продолжительность тестирования составляла 10-15 мин.

Опросник П. Пишо

Опросник П. Пишо на определение уровня депрессии, астении и ипохондрии позволяет провести исследование самооценки психологического состояния испытуемых (Нафтульева А.И., 2003). Опросник состоит из 39 утверждений. Испытуемому было предложено либо соглашаться с утверждением, нажатием кнопки пробела на клавиатуре, либо, при отрицательном ответе, пропускать данное утверждение. После выполнения тестового задания проводился компьютерный анализ результатов по столбальной системе. Шкала оценки уровня депрессии, астении и ипохондрии выглядит следующим образом:

0-30 баллов – низкий уровень,

31-70 баллов – средний уровень,

71-100 баллов – высокий уровень (рис. 3).

Продолжительность тестирования составляла 10-15 мин. Опросник П.Пишо обладает высокой чувствительностью и специфичностью.

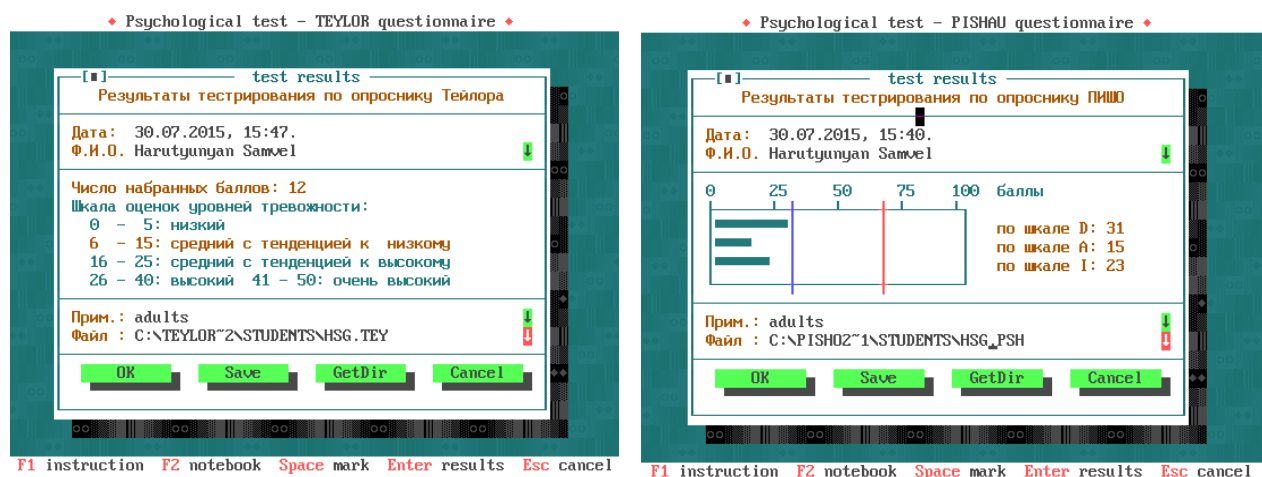


Рис.3. Скриншоты окна результатов личностного опросника Тейлора и опросника П. Пишо.

Тест «Рефлексометрия»

Для регистрации времени ПЗМР и оценки показателей использовался психофизиологический тест «Рефлексометрия», входящий в автоматизированную систему. Испытуемому последовательно предъявлялись стимулы – квадрат желтого цвета, размером 3х3см в центре монитора на синем фоне экрана. При появлении стимула необходимо было как можно быстрее нажать на соответствующую кнопку клавиатуры. Стимулы предъявлялись аритмично с межстимульным интервалом от 1 до 3 сек. Количество полезных сигналов

составляло 256. Средняя продолжительность теста составляла примерно 6,5 минут, что зависело от количества ошибок опережения (в случае опережения заданного временного лимита) и запаздывания (в случае превышения заданного временного лимита).

По завершении теста программа выдавала графический отчет о результатах теста – интервалограмму и гистограмму распределения времени зрительно-моторных реакций (рис 4).

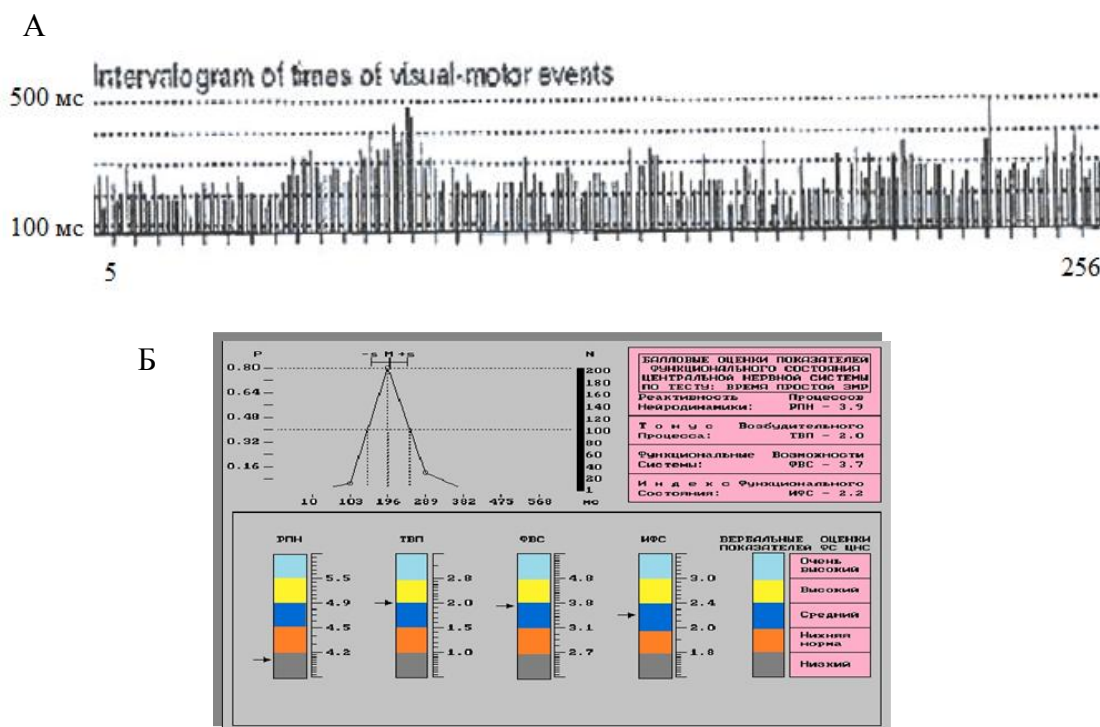
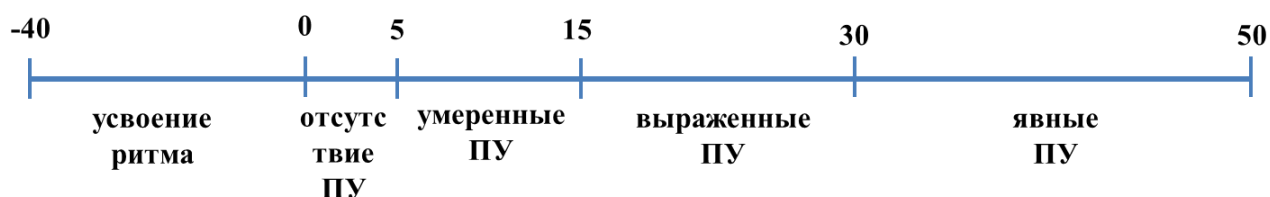


Рис. 4. А - пример интервалограммы распределения времени ПЗМР. По оси абсцисс – количество реакций, по оси ординат время реакции по шкале 100-500 мсек. Б - гистограмма распределения времени ПЗМР и шкала оценки функциональных показателей.

По времени ответных реакций рассчитывались среднее время реакций (M_t) и стандартное отклонение среднего (SD). С учетом времени реакции был получен ряд функциональных показателей: подвижность нервных процессов (ПНП), сила процессов возбуждения (СПВ), уровень функциональных возможностей ЦНС (УФВ) и обобщающий показатель – индекс функционального состояния ЦНС (ИФС). По количеству ошибок рассчитывались показатели, свидетельствующие о перевозбуждении (ПВ) или пароксизмальной заторможенности (ПЗ) соответственно. Также определялись признаки утомления (ПУ) при выполнении теста, рассчитанные по уравнению линейной регрессии. Как видно из представленной шкалы, значения ПУ от -40 до 0 и от 0 до 5 соответствуют усвоению

ритма и отсутствию ПУ. Значения ПУ от 5 до 50 говорят о наличии утомления, причем возрастание числового значения свидетельствует об усилении утомления.

Шкала значений ПУ:



Регистрация ЭКГ и анализ ВСР

У испытуемых проводилась регистрация ЭКГ в положении сидя в первом стандартном отведении (правая рука - левая рука). Для оценки состояния вегетативной регуляции был проведен математический анализ ВСР посредством аппаратно-программного комплекса "Elephys" на базе персонального компьютера, соединенного с полиграфом, анализирующего не только стандартные показатели состояния сердечно-сосудистой системы, но и волновую структуру сердечного ритма в состоянии относительного покоя и при различного рода нагрузках (Геворкян Э.Г., 2001). Метод ВСР основан на распознавании и измерении временных интервалов между R-зубцами ЭКГ (R-R-интервалы), построении динамических рядов кардиоинтервалов (кардиоинтервалограмма) и последующего анализа полученных числовых рядов различными математическими методами.

В работе были использованы следующие методы анализа ВСР:

- статистический и временной анализ;
- гистографический анализ или вариационная пульсометрия;
- спектральный анализ (исследование волновой структуры кардиоинтервалограммы);
- автокорреляционный анализ (исследование внутренней организации динамического ряда кардиоинтервалов).

С помощью **статистического и временного анализа** проводилась количественная оценка ВСР в исследуемый промежуток времени. Оценивались среднее значение всех R-R интервалов в выборке (Mx , мсек), среднее квадратичное отклонение ($SDNN$, мсек).

Гистографический анализ или вариационная пульсометрия

На основе полученной кривой распределения кардиоинтервалов (гистограмма) нами определялись основные числовые характеристики вариационной пульсометрии: вариационный размах (Δx , мсек), мода (M_o , мсек), амплитуда моды (AM_o , %). По данным вариационной пульсометрии вычислялся также ряд вторичных показателей: индекс вегетативного равновесия (ИВР, усл.ед.), вегетативный показатель ритма (ВПР, усл.ед.), показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР, усл.ед.), индекс напряжения регуляторных систем (ИН, усл.ед.).

Спектральный анализ

Для количественной и качественной оценки различных частотных составляющих колебаний ритма сердца нами применялся спектральный анализ по методу быстрого преобразования Фурье с построением спектрограммы и выделением трех частотных компонентов в соответствующих диапазонах.

По данным спектрального анализа сердечного ритма вычислялись следующие спектральные показатели: общая мощность спектра (TP , mc^2), мощность волн очень низкой частоты в диапазоне 0,003-0,04 Гц, период 25–66 сек (VLF , mc^2), мощность волн низкой частоты в диапазоне 0,04-0,15 Гц, период 7–25 сек (LF , mc^2), мощность волн высокой частоты в диапазоне 0,15-0,4 Гц, период – 2,5-7 сек (HF , mc^2). Из общей мощности спектра рассчитывались относительные значения мощности волн всех рассмотренных частот в процентах ($VLF\%$, $LF\%$, $HF\%$). Нами также рассчитывались симпатопарасимпатический индекс (LF/HF), индекс централизации (ИЦ, усл.ед.), индекс активации подкорковых нервных центров (ИАП, усл.ед.) по соответствующим формулам. Для комплексной оценки ритма сердца рассматривался показатель активности регуляторных систем (ПАРС, баллы).

Автокорреляционный анализ

Для выявления внутренней структуры динамического ряда кардиоинтервалов нами применялся автокорреляционный анализ. В данной работе рассмотрен автокорреляционный показатель k_1 (коэффициент корреляции после первого сдвига).

Обозначения показателей ВСР приводятся с учетом опубликованных рекомендаций Европейского кардиологического общества и Северо-Американского общества электрофизиологии (Heart rate variability: standards of measurement,..., 1996).

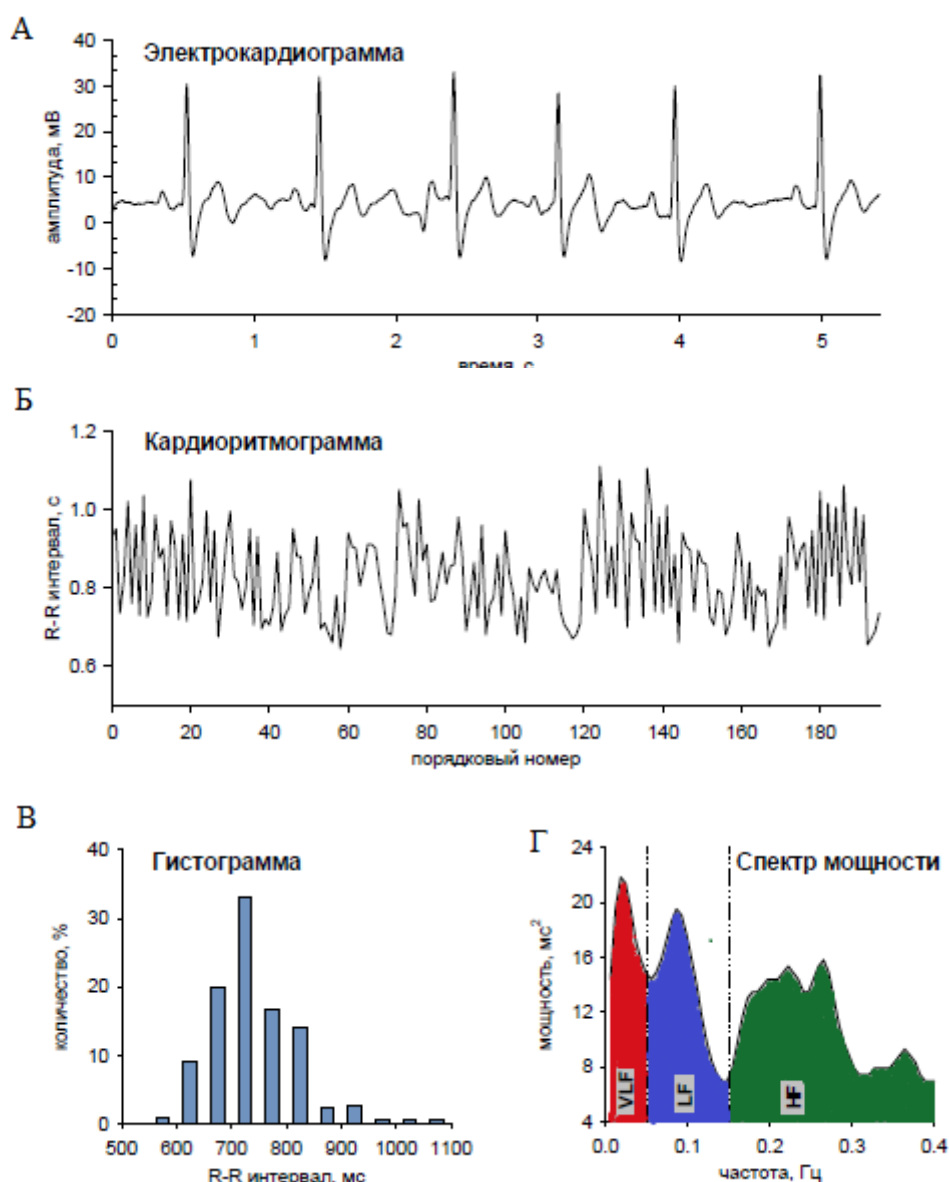


Рис. 5. Методы обработки и анализа кардиоритма. А – электрокардиограмма, Б – кардиоритмограмма, В – гистограмма, Г – спектрограмма.

Оценка основных показателей системной гемодинамики

Для расчета основных показателей системной гемодинамики, с целью выявления их динамики в зависимости от этапа исследования, нами измерялись частота сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин), систолическое артериальное давление (САД, мм.рт.ст.) и диастолическое артериальное давление (ДАД, мм.рт.ст.) по методу Короткова.

Оценивались следующие показатели:

- **ударный объем (УО)** – количество крови, выбрасываемое левым желудочком сердца при каждом сокращении. УО рассчитывался по формуле Старпа (Stair I., 1954):

$$УО = (90,97 + 0,54 * ПД - 0,57 * ДАД - 0,61 * В) * k \text{ (мл)} \quad (1),$$

где ПД – пульсовое давление, вычисляемое по формуле $ПД = САД - ДАД$ (мм.рт.ст.), ДАД – диастолическое давление (мм.рт.ст.), В – возраст (годы), k – коэффициент возрастного периода: I возрастной период (юноши 17-21 лет, девушки 16-20 лет) коэффициент равен 1, II возрастной период (мужчины 21-35 лет, женщины 20-35 лет) коэффициент равен 1,25, III возрастной период (мужчины 36-60 лет, женщины 36-55 лет) - 1,55.

- **минутный объем крови (МОК)** – количество крови, выбрасываемое желудочком сердца в минуту. МОК определялся по формуле:

$$МОК = УО * ЧСС \text{ (мл/мин)} \quad (2),$$

где УО – ударный объем (мл), ЧСС – частота сердечных сокращений в минуту (уд/мин).

- **общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС)**, которое обуславливает постоянство среднединамического давления (или его отклонение от нормы). ОПСС рассчитывался по формуле Савицкого:

$$ОПСС = СрАД * 1333 * 60 / МОК \text{ (дин/с*см}^5\text{)} \quad (3),$$

где СрАД – среднее артериальное давление, вычисляемое по формуле $СрАД = (2 * ДАД + САД) / 3$ (мм.рт.ст.), МОК – минутный объем крови (мл/мин).

- **вегетативный показатель кровообращения (ВПК)**, который позволяет оценить состояние вегетативного тонуса сердечно-сосудистой системы количественно и в динамике. Расчет ВПК производился по формуле:

$$ВПК = k (ЧСС / 60 \text{ мин}^{-1})^2 * ПД / САД \text{ (усл.ед.)} \quad (4),$$

где k – размерный эмпирический коэффициент, равный 2 с^2 , ЧСС – частота сердечных сокращений в минуту (уд/мин), ПД – пульсовое давление (мм.рт.ст.), САД – систолическое артериальное давление (мм.рт.ст.).

По значению ВПК определялся тип вегетативного тонуса испытуемого – симпатикотонический, эйтонический или ваготонический. Шкала значений ВПК выглядит следующим образом: <0,50 – резко выраженная ваготония; 0,64-0,50 – выраженная ваготония; 0,79-0,65 – умеренно выраженная ваготония; 0,94-0,80 – легко выраженная ваготония; 0,95-1,05 – эйтония; 1,06-1,29 – легко выраженная симпатикотония; 1,30-1,55 – умеренно выраженная симпатикотония; 1,56-2,0 – выраженная симпатикотония.

2.3. Методы обработки данных

Сравнительный анализ исследуемых процессов

Проводился сравнительный анализ характеристик исследуемых процессов. Рассматривался коэффициент корреляции Пирсона. Также был проведен спектральный анализ интервалограмм динамического ряда времени реагирования ПЗМР и R-R интервалов сердечного ритма методом быстрого преобразования Фурье.

Статистическая обработка и данных

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с помощью компьютерных программ Microsoft Excel 2010, GraphPad Prism 5, SPSS 16.0.2. Нормальность распределения выборки определялась по тесту Колмогорова-Смирнова. Для оценки различий между группами с нормальным распределением применялся t-критерий Стьюдента, а для оценки различий между группами с гауссовским приближением применялся U-критерий Манна-Уитни. Уровень достоверности оценивался как между группами, так и между этапами исследования.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Исследование возрастных особенностей психоэмоционального состояния испытуемых

До начала проведения эксперимента испытуемые оценивали собственное состояние здоровья и самочувствие. Экспресс-оценка была проведена методом опроса, при котором учитывались такие факторы, как наличие хронических заболеваний, частые головные боли и боли другого характера, качество и продолжительность сна (обычно и в последнюю ночь перед проведением эксперимента), употребление алкоголя и медикаментов за последние 24 часа. Данные факторы послужили критериями исключения из эксперимента тех, кто не соответствовал им.

Далее проводилась многосторонняя оценка психоэмоционального состояния испытуемых. Анализ теста Т. Элерса «Мотивация к успеху» показал, что у большинства испытуемых всех возрастных групп уровень мотивации был умеренно высокий. Однако если по среднему показателю уровня мотивации межгрупповых различий не наблюдалось, то в процентном распределении испытуемых по каждой шкале выявлены некоторые различия (табл. 2).

Таблица 2

Среднегрупповое значение уровня мотивации и процентное распределение испытуемых по каждой шкале ($M \pm SD$)

Группы	Группа I (n=29)	Группа II (n=33)	Группа III (n=26)	Контрольная группа IV (n=10)
Мотивация к успеху				
Среднее значение (баллы)	18,5±4,8	19,2±5,7	17,8±4,6	19,6±5,2
Слишком высокая (%)	5,7	5,1	5,2	5,8
Умеренно высокая (%)	63,4	68,7	56,2	66,1
Средняя (%)	29,8	25,4	37,3	27,5
Низкая (%)	1,1	0,8	1,3	0,6

Примечание: n – количество испытуемых.

При расчете процентного распределения испытуемых в каждой группе по каждой шкале за 100% принималось количество испытуемых в соответствующей группе. Наиболее высокий процент испытуемых по шкале «умеренно высокая» мотивация наблюдался у II

группы, а по шкале «средняя мотивация» – у III группы. Так, испытуемые с умеренно высоким уровнем мотивации у I группы составили 63,4%, у II группы – 68,7%, у III группы – 56,2% и у IV контрольной группы – 66,1%. Испытуемые со средним уровнем мотивации у I группы составили 29,8%, у II группы – 25,4%, у III группы – 37,3% и у IV контрольной группы – 27,5%. По остальным шкалам различий не обнаружено.

Результаты исследования психоэмоционального состояния испытуемых по опроснику Тейлора и П. Пишо приведены в таблице 3.

Таблица 3

Статистические показатели тревожности, депрессии, астении и ипохондрии у исследуемых групп (M±SD)

Группы Показатели (баллы)	Группа I (n=29)	Группа II (n=33)	p	Группа III (n=26)	p	Контрольная группа IV (n=10)	p
Тревожность	17,0±5,5	16,3±5,9	-	19,1±5,6	##	17,0±3,3	-
Депрессия	20,5±16,0	14,9±11,0	-	29,5±17,6	* ##	17,0±11,4	-
Астения	28,5±19,0	19,0±12,7	*	40,6±19,6	* ###	23,3±14,7	-
Ипохондрия	14,7±10,2	11,0±9,9	-	11,4±10,3	-	12,4±6,6	-

Примечание: n – количество испытуемых. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами. Достоверность: *, **, *** – $p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$ соответственно.

Анализ результатов личностного опросника Тейлора показал, что у всех четырех групп уровень тревожности соответствовал среднему с тенденцией к высокому. При этом у III группы уровень тревожности был достоверно выше на 17,2%, чем у II группы ($p < 0,01$). Других межгрупповых различий по уровню тревожности не обнаружено.

Согласно результатам опросника П. Пишо, среднегрупповые показатели депрессии, астении и ипохондрии у испытуемых находились в пределах нормы (не выше 70 баллов). Однако наблюдались некоторые возрастные различия по уровню депрессии и астении, которые наиболее четко изображены на рис. 6.

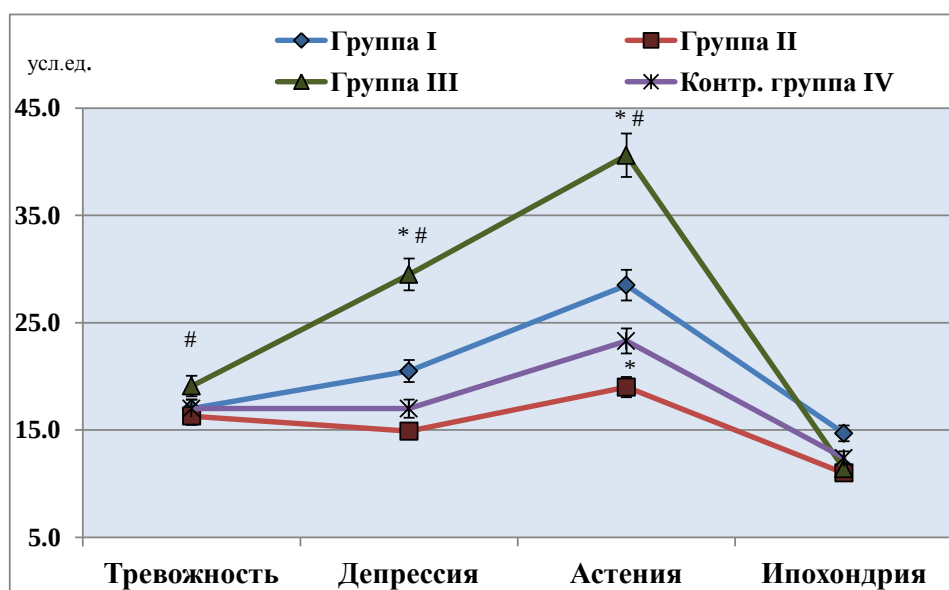


Рис. 6. Линейная диаграмма психологических показателей у исследуемых групп. Линии погрешности даны с 5% – ой значимостью. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами.

У III группы уровень депрессии был достоверно выше на 43,9% ($p < 0,05$) и на 98,0% ($p < 0,01$) по сравнению с I и II группами соответственно. Однако если уровень депрессии у всех групп был низким, то уровень астении у III группы, в отличие от I и II групп, характеризовался средним уровнем. Так, уровень астении у III группы превышал таковой у I и II групп на 42,5% ($p < 0,05$) и на 113,7% ($p < 0,001$) соответственно. Также выявлены достоверные различия по показателю уровня астении между I и II группами. У I группы уровень астении выше на 50,0% по сравнению со II группой ($p < 0,05$). По показателю уровня ипохондрии достоверных межгрупповых различий не обнаружено. Между II и контрольной группами достоверных различий по всем показателям психоэмоционального состояния не наблюдалось.

Таким образом, у испытуемых всех групп выявлен достаточно высокий уровень мотивации, что говорит об их готовности к предстоящей деятельности и о желании достичь ее высоких результатов. Известно, что мотивация является динамическим психофизиологическим процессом побуждения человека к деятельности для достижения целей. В то же время она управляет поведением человека и определяет его организованность, направленность, устойчивость и активность (Егоршин А.П., 2014). Выявленные нами некоторые возрастные различия уровня мотивации, а именно, меньший

процент испытуемых III группы по шкале «умеренно высокая мотивация», по всей вероятности, обусловлен низким уровнем психоэмоционального состояния.

Нами также обнаружен более высокий уровень тревожности, депрессии и астении у испытуемых старшей группы. Несмотря на то, что люди пожилого возраста более подвержены депрессиям, однако депрессивные состояния могут возникать в любом возрастном периоде (Михайлова Н.М., 2004). Известно, что в основе депрессии лежат личностные конституциональные факторы, а ее триггерами являются негативные жизненные события. С возрастом происходит накопление негативных жизненных событий, снижается качество жизни, что и объясняет сравнительно высокий уровень депрессии у испытуемых старшей возрастной группы. Повышенный уровень астении у них можно связать с быстро возникающими признаками утомления, что проявляется в сниженном пороге чувствительности, уровне мотивации, в падении продуктивности деятельности и умственной работоспособности. Все это, в свою очередь, приводит к повышенному уровню тревожности.

Следует отметить, что у II группы выявлено наиболее благоприятное психоэмоциональное состояние, на что указывает наименьшая выраженность исследуемых показателей.

3.2. Исследование времени ПЗМР до и после умственной нагрузки у исследуемых возрастных групп

Определение и анализ времени ПЗМР является наиболее практикуемым и объективным методом, который позволяет оценивать различные стороны ФС ЦНС и ее интегральные характеристики.

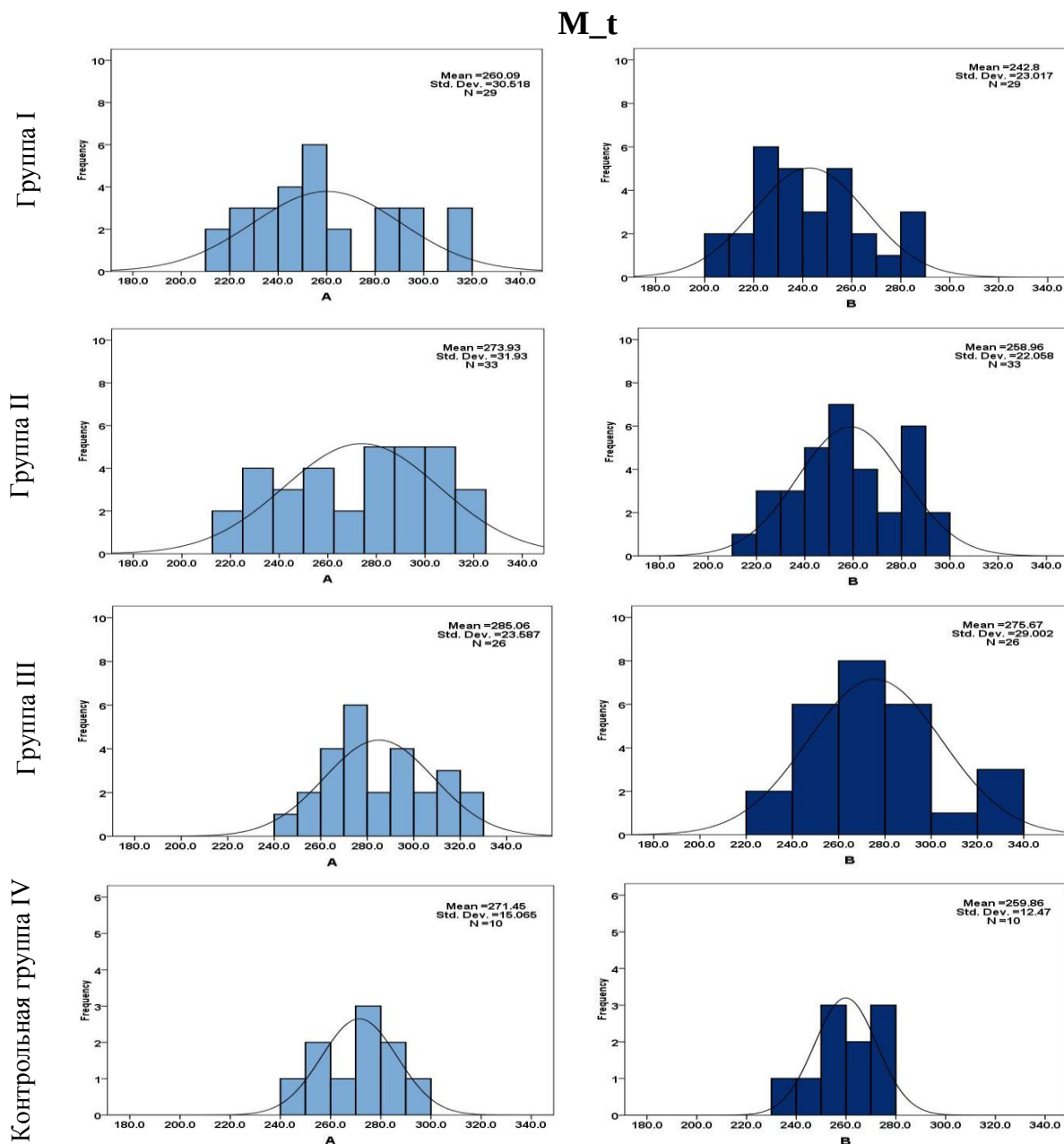


Рис. 7. Гистограммы частотного анализа. Представлено частотное распределение и кривая плотности распределения показателя времени реакции (M_t) у исследуемых групп до (A) и после (B) УН. По оси абсцисс – значения M_t в мсек с определенными частотами, по оси ординат – количество повторяющихся ответов в выборке с соответствующим значением показателя. Доверительный интервал выборки 0,95% вероятности.

Динамика показателя времени реакции (M_t) изображена на гистограммах частотного анализа, описывающего изменение данного показателя до и после умственной нагрузки (УН) у изучаемых групп (рис. 7). Кривые, отображающие плотность распределения показателя M_t , соответствуют кривым нормального распределения. Результаты частотного анализа выявили некоторые межгрупповые различия. Из рисунка 7 видно, что до УН у I и II групп большинство значений показателя M_t в выборке находится в зоне меньших значений, а у III группы – в зоне сравнительно больших значений. Об этом свидетельствуют и кривые распределения. Статистические показатели частотного анализа M_t представлены в таблице 4.

Таблица 4

Статистические показатели частотного анализа времени ПЗМР у исследуемых групп до (А) и после (Б) умственной нагрузки

Группы Показатели	Группа I (n=29)	Группа II (n=33)	Группа III (n=26)	Контрольная группа IV (n=10)
А				
M_t (мсек)	260,1	273,9	285,1	271,5
Медиана	251,1	277,8	279,8	272,0
Мода	254,0	278,4	274,3	276,5
SD	30,5	31,9	23,6	15,1
Дисперсия	931,3	1019,5	556,3	226,9
Зона нормы	238,0-284,6	247,3-297,7	268,7-299,7	258,9-282,4
Б				
M_t (мсек)	242,8	259,0	275,7	259,9
Медиана	238,5	258,0	272,1	259,4
Мода	226,3	254,2	270,6	257,4
SD	23,0	22,1	29,0	12,5
Дисперсия	529,8	486,6	841,1	155,5
Зона нормы	227,4-256,4	240,7-275,1	251,5-289,5	252,4-269,6

Примечание: n – количество испытуемых, M_t – время реакции.

До УН у I группы наблюдалось достоверно низкое значение M_t по сравнению со II и III группами. Так, у II группы оно было больше на 5,3% ($p < 0,05$), а у III группы на 9,6% ($p < 0,001$). Структурные средние – медиана и мода также наименьшие у I группы. У II и III групп данные показатели до УН не отличались. До УН показатели вариативности – SD и дисперсии наименьшие у III группы. Зона нормы для каждого наблюдения определялась с помощью функции перцентиля. До УН значения нижней и верхней границы нормы также наименьшие у I группы. У II и III групп разница наблюдалась лишь между нижней границей нормы, с ее большим значением у III группы.

После УН кривые распределения показателя M_t у I и II групп сдвинулись влево, то есть в сторону укорочения времени ответных реакций. Также имело место увеличение амплитуды и сужение кривой, что свидетельствует об уменьшении рассеивания времени реакции. У III группы, напротив, выявлен некоторый сдвиг кривой распределения вправо и ее растяжение (рис. 7).

Как видно из таблицы 4, после УН у I и II групп наблюдалось значимое увеличение скорости реагирования, на что указывает достоверное уменьшение среднего значения M_t на 6,7% у I группы ($p < 0,01$) и на 5,4% у II группы ($p < 0,05$). Достоверное различие M_t между данными группами сохранялось и после УН, с его большим значением у II группы ($p < 0,05$). У данных групп после УН обнаружено также уменьшение медианы и моды. У I группы медиана уменьшилась на 5,0%, мода – на 10,9%, у II группы – на 7,1% и на 8,7% соответственно. У III группы как M_t , так и структурные средние не изменялись и превышали таковые по сравнению с I и II группами. Так, M_t у III группы, по сравнению с I группой, больше на 13,6% ($p < 0,001$) и, по сравнению со II группой, на 6,4% ($p < 0,01$). Если SD и дисперсия у I и II групп уменьшились после УН, то у III группы наблюдалось их увеличение. В тоже время значения SD и дисперсии у III группы после УН были больше, чем у I и II групп.

После УН у всех трех групп наблюдалось смещение нижних и верхних предельных значений нормы в сторону меньших значений. Здесь уже отмечается тенденция увеличения значений как нижней, так и верхней границы нормы от I к III группе. Также надо отметить, что если у I и II групп наблюдалось уменьшение разницы между верхним и нижним предельными значениями нормы, то у III группы обнаружено ее увеличение.

В контрольной группе выявленные изменения показателей ПЗМР при повторном выполнении теста аналогичны изменениям во II группе. У испытуемых контрольной группы наблюдалось достоверное уменьшение M_t на 4,3% ($p < 0,05$), структурных средних и показателей вариативности. У данной группы отмечалось смещение диапазона нормы в сторону меньших значений и уменьшение разницы между границами нормы. У IV группы также выявлен сдвиг кривой распределения влево, увеличение ее амплитуды и значительное суживание. При сравнении данных показателей ПЗМР II и контрольной групп, как при первом, так и при втором выполнении, достоверных межгрупповых различий не выявлено.

Статистический анализ функциональных показателей ПЗМР выявил достоверные межгрупповые различия, результаты которого приведены в таблице 5.

Таблица 5

Функциональные показатели ПЗМР у исследуемых групп до (А) и после (Б) умственной нагрузки (M±SD)

Группы Показатели	Группа I (n=29)	Группа II (n=33)	р	Группа III (n=26)	р	Контрольная группа IV (n=10)	р
А							
M _t (мсек)	260,10±30,52	273,93±31,93	*	285,10±23,59	***	271,50±15,06	-
SD (мсек)	53,13±9,14	50,85±8,99	-	52,71±5,96	-	48,93±8,40	-
ПНП (усл.ед.)	3,63±0,27	3,64±0,28	-	3,48±0,27	*#	3,66±0,28	-
СПВ (усл.ед.)	1,48±0,33	1,43±0,35	-	1,32±0,35	-	1,46±0,33	-
УФВ (усл.ед.)	2,87±0,38	2,75±0,44	-	2,63±0,39	*	2,78±0,38	-
ИФС (усл.ед.)	1,81±0,21	1,75±0,24	-	1,68±0,21	*	1,79±0,33	-
ПВ (усл.ед.)	1,17±0,73	0,96±0,61	-	0,97±0,64	-	0,94±0,40	-
ПЗ (усл.ед.)	0,50±0,36	0,79±0,55	*	0,75±0,52	-	0,76±0,42	-
Б							
M _t (мсек)	242,80±23,02	259,00±22,06	*	275,70±29,00	***##	259,90±12,47	-
SD (мсек)	47,81±6,51	45,67±7,89	-	50,81±8,04	##	45,59±5,36	-
ПНП (усл.ед.)	3,69±0,24	3,75±0,18	-	3,60±0,22	##	3,72±0,21	-
СПВ (усл.ед.)	1,52±0,32	1,63±0,32	-	1,23±0,53	**###	1,60±0,30	-
УФВ (усл.ед.)	2,93±0,35	3,01±0,35	-	2,65±0,44	**###	2,97±0,26	-
ИФС (усл.ед.)	1,85±0,18	1,89±0,19	-	1,72±0,26	*##	1,86±0,20	-
ПВ (усл.ед.)	1,30±0,58	1,12±0,60	-	1,11±0,57	-	0,64±0,43	#
ПЗ (усл.ед.)	0,45±0,34	0,52±0,37	-	0,60±0,42	-	0,67±0,31	-

Примечание: расшифровку аббревиатур см. в разделе «Материал и методы». n – количество испытуемых. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III, II и контрольной группами. Достоверность: *, **, *** – $p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$ соответственно.

До УН для показателя SD межгрупповых различий не выявлено. Надо отметить, что в данном случае SD является стандартным отклонением времени ответных реакций каждого испытуемого, которое, по сущности, отражает стабильность нервных процессов. Однако после УН у испытуемых I и II групп наблюдалось уменьшение значений этого показателя на 10,0% и на 10,2% соответственно ($p < 0,01$ для обеих групп). Подобное изменение показателя SD говорит об увеличении стабильности нервных процессов у испытуемых данных групп. У III группы после УН показатель стабильности сенсомоторного реагирования оставался неизменным и превышал таковой по сравнению с I и II группами на 6,3% и на 11,3% ($p < 0,01$) соответственно.

До УН среднее значение показателя ПНП у III группы было достоверно ниже по сравнению с I и II группами на 4,1% и на 4,4% соответственно ($p < 0,05$ для обеих групп). Значения показателей УФВ и ИФС у III группы также достоверно меньше на 8,4% и на 7,2% соответственно, чем у I группы ($p < 0,05$ для двух показателей). Между II и III группами по данным показателям значимых различий не обнаружено. Показатель СПВ у трех групп не различался. У I и II групп значения всех функциональных показателей не отличались.

На рисунке 8 приведена динамика изменения функциональных показателей у изучаемых групп после УН.

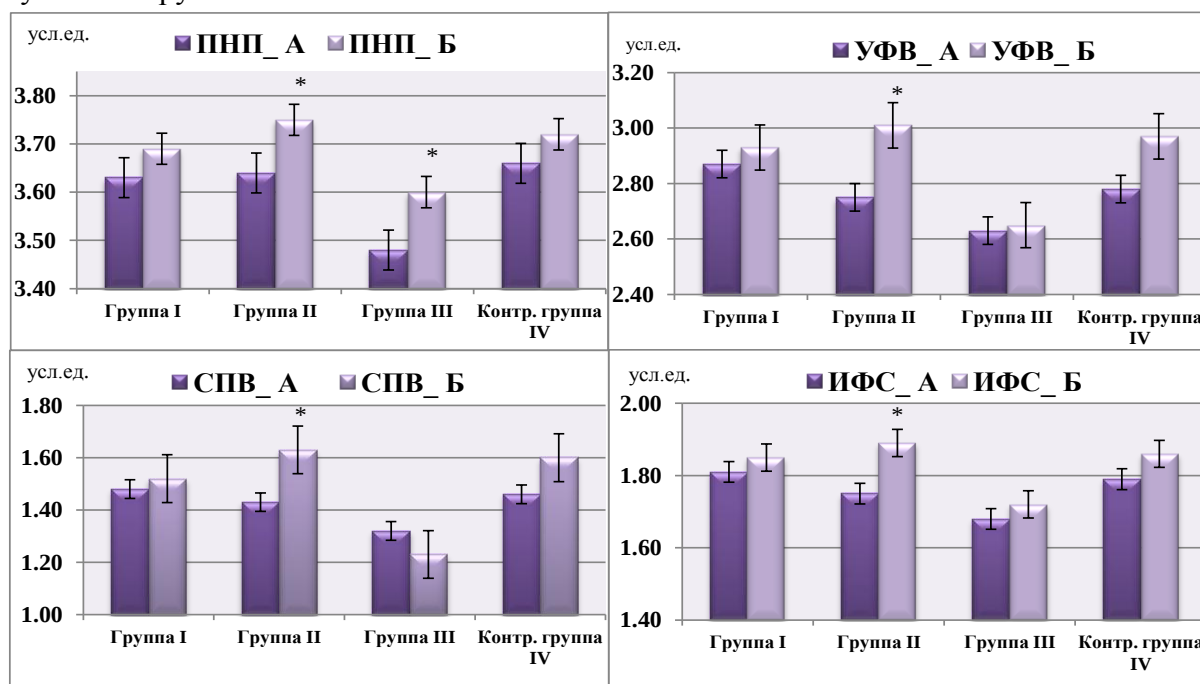


Рис. 8. Диаграммы функциональных показателей ПЗМР у исследуемых групп до (А) и после (Б) умственной нагрузки. Обозначения: ПНП – подвижность нервных процессов, УФВ – уровень функциональных возможностей, СПВ – сила процессов возбуждения, ИФС – индекс функционального состояния. Линии погрешности даны с 5% – ой значимостью. * – достоверность различий между этапами А и Б.

Из рисунка видно, что после УН средние значения всех функциональных показателей у II группы достоверно увеличиваются. Так, показатель ПНП увеличился на 3,0% ($p < 0,05$), СПВ – на 14,0% ($p < 0,01$), УФВ – на 9,5% ($p < 0,01$) и ИФС – на 8,0% ($p < 0,01$). У I группы между этапами исследования по всем функциональным показателям значимой разницы не обнаружено. У III группы достоверное увеличение наблюдалось лишь по показателю ПНП ($p < 0,05$). Выявлено, что после УН показатели ПНП, СПВ, УФВ и ИФС были наименьшими у III группы. Так, по сравнению с I группой показатель СПВ был меньше на 19,1% ($p < 0,01$), УФВ – на 9,6% ($p < 0,01$), ИФС – на 7,0% ($p < 0,05$). По сравнению со II группой у III группы

показатель ПНП был меньше на 4,0% ($p<0,01$), СПВ – на 24,5% ($p<0,001$), УФВ – на 12,0% ($p<0,001$) и ИФС – на 9,0% ($p<0,01$). После УН между I и II группами значимой разницы по всем функциональным показателям не обнаружено.

У контрольной группы, также как и у II, при повторном выполнении теста ПЗМР наблюдалось некоторое увеличение как стабильности реагирования, так и функциональных показателей, однако оно не имело достоверного характера. Как при первом, так и при втором выполнении теста, между обеими группами разницы в данных показателях не обнаружено.

На рисунке 9 представлена динамика показателя перевозбуждения (ПВ) и пароксизмальной заторможенности (ПЗ) у исследуемых групп до и после УН.

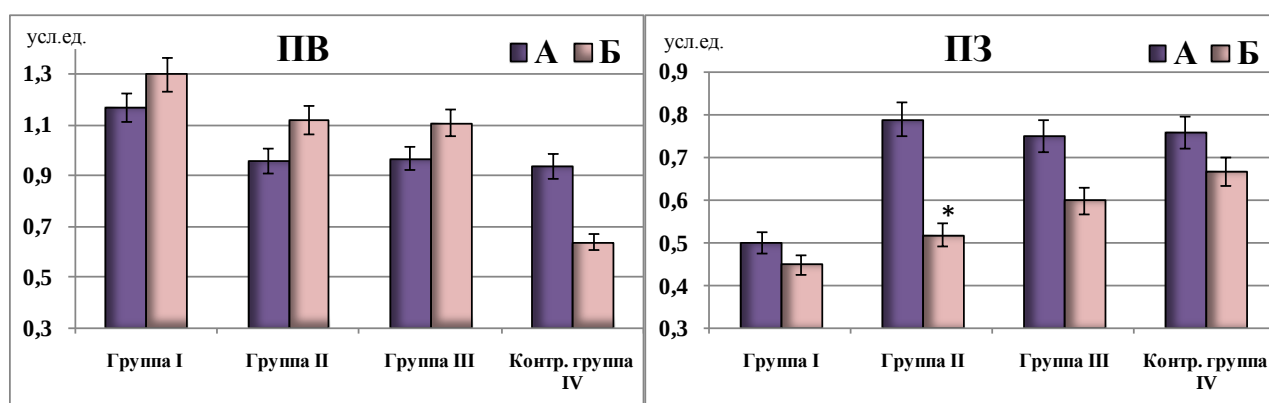


Рис. 9. Диаграммы динамики показателя перевозбуждения (ПВ) и пароксизмальной заторможенности (ПЗ) у исследуемых групп до (А) и после (Б) умственной нагрузки. Линии погрешности показаны с 5% – ой значимостью. * – достоверность различий между этапами А и Б.

Как видно из рисунка, в I группе до УН значение ПВ незначительно превышало таковое во II и III группах, и наоборот, показатель ПЗ у нее был наименьшим. Причем разница показателя ПЗ между I и II группами была значимой ($p<0,05$). У II и III групп значения обоих показателей не отличались. При рассмотрении соотношения ПВ и ПЗ у I группы обнаружено достоверное преобладание ПВ над ПЗ на 134% ($p<0,01$). У II и III групп подобной картины не наблюдалось.

После УН у всех трех групп значение ПВ несколько возросло, что говорит об увеличении количества ошибок опережения. Однако в отношении показателя ПЗ наблюдалась обратная тенденция, то есть его снижение (уменьшение количества ошибок запаздывания). У II группы данное уменьшение имело достоверный характер ($p<0,05$). После УН в отношении межгрупповых различий ПВ и ПЗ сохранялась та же картина. Соотношение ПВ и ПЗ после УН у исследуемых групп менялось. У всех трех групп наблюдалось преобладание ПВ над

ПЗ: у I группы ПВ больше, чем ПЗ на 188,9%, у II группы – на 115,4% и у III группы – на 85,0% ($p < 0,001$ для всех групп). Разница между ПВ и ПЗ в большей степени была выражена у I группы и в меньшей – у III группы.

В контрольной группе, как и во II, при первом выполнении теста ПЗМР наблюдался баланс между показателями ПВ и ПЗ. При втором выполнении теста у испытуемых контрольной группы обнаружено снижение как ПВ (на 31,9%), так и ПЗ (на 11,8%), причем уменьшение ПВ носило достоверный характер ($p < 0,05$). В отличие от II группы, в контрольной группе баланс между ПВ и ПЗ сохранялся и при повторном тестировании. Если при первом тестировании между II и контрольной группами в показателях ПВ и ПЗ не выявлено значимой разницы, то при втором выполнении теста между группами проявлялась достоверная разница в показателе ПВ ($p < 0,01$), с его большим значением у II группы.

Нами также рассматривался показатель признаков утомления (ПУ) у исследуемых групп до и после УН. Как было указано в главе «Материал и методы исследования», изменение числового значения ПУ по каждой шкале соответствует определенному ФС испытуемых. Как видно из рисунка 10, у всех групп, кроме контрольной, после УН наблюдалось некоторое изменение средних значений практически по всем шкалам ПУ, свидетельствующее об увеличении степени утомления.

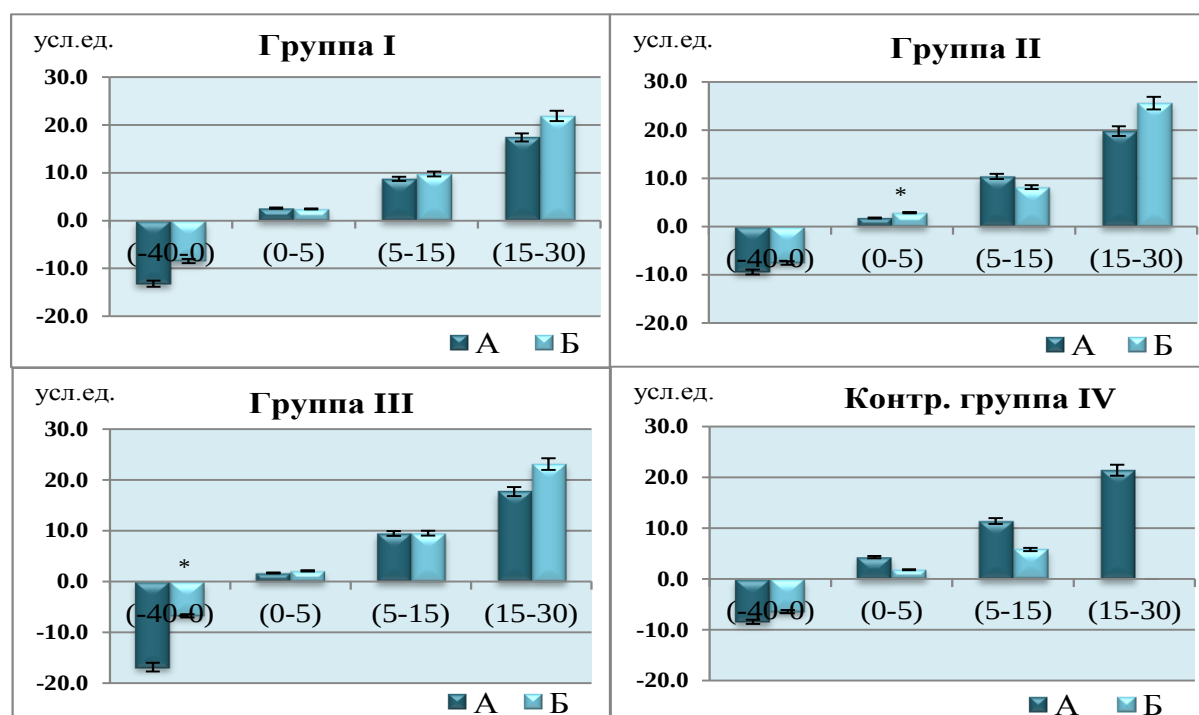


Рис. 10. Диаграммы средних значений показателя признака утомления (ПУ) по каждой шкале у исследуемых групп до (А) и после (Б) умственной нагрузки. Линии погрешности показаны с 5% – ой значимостью. * – достоверность различий между этапами А и Б.

В таблице 6 приведены числовые значения ПУ и количественное распределение испытуемых по каждой шкале ПУ до и после УН.

Таблица 6

Средние значения ПУ у исследуемых групп и количественное распределение испытуемых по каждой шкале ПУ до (А) и после (Б) умственной нагрузки

Группы Шкала ПУ (усл.ед.)	Группа I (n=29)		Группа II (n=33)		Группа III (n=26)		Контрольная группа IV (n=10)	
	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
-40-0 (усвоение ритма)	-13,2 n=16	-8,5 n=9	-9,4 n=22	-7,5 n=13	-16,8 n=9	-6,7 n=7	-8,4 n=4	-6,5 n=5
0-5 (отсутствие ПУ)	2,6 n=6	2,4 n=8	1,8 n=4	2,9 n=6	1,7 n=5	2,1 n=3	4,3 n=3	1,8 n=3
5-15 (умеренные ПУ)	8,7 n=6	9,8 n=10	10,4 n=5	8,2 n=10	9,5 n=9	9,5 n=12	11,4 n=2	5,8 n=2
15-30 (выраженные ПУ)	17,4 n=1	21,9 n=2	19,8 n=2	25,6 n=4	17,7 n=3	23,1 n=4	21,4 n=1	0 n=0

Примечание: n – количество испытуемых.

У большинства испытуемых I группы (76%) при первом выполнении теста ПЗМР значения показателя ПУ соответствовали шкале «усвоение ритма» и «отсутствие ПУ» со средними значениями -13,2 усл.ед. и 2,6 усл.ед. соответственно. У 21% испытуемых отмечались умеренные ПУ и лишь у 3% – выраженные. После УН происходило некоторое увеличение средних значений ПУ по всем шкалам, кроме шкалы «отсутствие ПУ». Также наблюдалось значительное уменьшение процента испытуемых по шкале «усвоение ритма» (с 55% до 31%) и увеличение по шкалам «умеренные ПУ» и «выраженные ПУ»: с 21% до 34% и с 3% до 7 % соответственно.

У II группы отмечалась схожая картина. До УН здесь также у большинства испытуемых (79%) выявлено усвоение ритма и отсутствие ПУ со средними значениями -9,4 усл.ед. и 1,8 усл.ед. соответственно, а у остальных – умеренные и выраженные ПУ (21%). После УН отмечалось изменение показателя ПУ – увеличение средних значений по всем шкалам, кроме шкалы «умеренные ПУ». Причем увеличение показателя ПУ по шкале «отсутствие ПУ» носило достоверный характер ($p < 0,05$). Изменения наблюдались и в процентном распределении испытуемых. Так, по шкале «усвоение ритма» процент испытуемых снизился с 67% до 39%. Несмотря на то, что среднее значение по шкале «умеренные ПУ» уменьшилось, однако процент испытуемых увеличился вдвое (с 15% до 30%). Также обнаружено увеличение процента испытуемых по шкале «выраженные ПУ» с 6% до 12%.

В III группе до УН лишь у половины испытуемых (54%) отмечалось усвоение ритма и отсутствие ПУ со средними значениями -16,8 усл.ед. и 1,7 усл.ед. соответственно. То есть, можно сказать, что еще до УН у III группы ПУ более выражены, чем у I и II групп. После УН в III группе наблюдалось увеличение средних значений ПУ по всем шкалам, кроме шкалы «умеренные ПУ». Здесь данное значение оставалось неизменным. Увеличение среднего значения по шкале «усвоение ритма» имело достоверный характер ($p < 0,05$). Также выявлено уменьшение процента испытуемых по шкалам «усвоение ритма» (с 35% до 27%) и «отсутствие ПУ» (с 19% до 12%). Несмотря на то, что среднее значение по шкале «умеренные ПУ» оставалось неизменным, однако процент испытуемых здесь увеличился на 11%. По шкале «выраженные ПУ» также наблюдалось некоторое увеличение процента испытуемых (на 3%).

При первом выполнении теста ПЗМР в контрольной группе у 70% испытуемых наблюдалось усвоение ритма и отсутствие ПУ и лишь у 30% – умеренные и выраженные ПУ. При повторном выполнении теста у испытуемых данной группы отмечалось снижение средних значений по всем шкалам ПУ (по шкале «отсутствие ПУ» снижение имело достоверный характер, $p < 0,05$), кроме шкалы «усвоение ритма». Однако здесь увеличился процент испытуемых с 40% до 50%. В шкалах «отсутствие ПУ» и «умеренные ПУ» в процентном распределении испытуемых изменений не обнаружено. В шкале «выраженные ПУ» процент испытуемых с 10% дошел до 0%.

Таким образом, до УН наибольшая скорость реагирования выявлена у I группы. От II к III группе наблюдалась некоторая тенденция уменьшения скорости реагирования. Известно, что время ПЗМР отражает динамичность нервных процессов, интенсивность процессов восприятия информации и аналитико-синтезирующую функцию высших отделов нервной системы (Будук-оол Л.К. и др., 2014; Мыльникова и др., 2015). В наших исследованиях с возрастом наблюдалось снижение скорости реагирования, что, в свою очередь, обуславливает уменьшение скорости восприятия и обработки информации, принятия решения, а также усиление инертности нервных процессов. Факт уменьшения скорости реагирования с возрастом показан и в других работах (Wilkinson R.T. et al., 1989; Fozard J.L. et al., 1994; Ferreira D. et al., 2015). Однако, если в отношении скорости реагирования

наблюдались возрастные изменения, то стабильность сенсомоторного реагирования не имела возрастной зависимости.

Для количественных критериев, отражающих разные стороны ФС ЦНС, выявлены следующие межгрупповые различия. Подвижность нервных процессов между испытуемыми I и II групп не отличалась, однако у испытуемых III группы, по сравнению с испытуемыми I и II групп, она была значительно меньше. То есть испытуемые старшей группы характеризуются низкой скоростью центральной переработки информации, сравнительно медленным возникновением и прекращением процессов возбуждения и торможения, их медленной сменяемостью, а также медленным образованием новых условных связей (Миловзорова М.С., 1972; Бартош Т.П. и др., 2011). Если ухудшение подвижности нервных процессов наблюдалось лишь у III группы, то некоторое снижение уровня функциональных возможностей ЦНС и интегрального показателя – индекса функционального состояния отмечалось уже у II группы, с дальнейшим их уменьшением у III группы. По всей вероятности, с возрастом происходит постепенное снижение данных показателей, первый из которых позволяет судить о способности ЦНС формировать в соответствии с задачей функциональную систему и достаточно длительно ее удерживать (Зимкина А.М. и др., 1978; Мантрова И.Н., 2010). Для показателя силы процессов возбуждения межгрупповых различий не обнаружено.

Таким образом, можно сказать, что возрастные изменения функциональных показателей ЦНС носят неравномерный характер. Тем не менее, основные изменения данных показателей, а именно их снижение, происходят у старшей возрастной группы. У испытуемых этой группы сочетание низкой скорости реакции, инертности нервных процессов с низким уровнем функциональных возможностей, по всей вероятности, свидетельствует о рассогласовании взаимоотношений между центрами зрительного и моторного анализаторов. Подобная картина показана и в работе И.В. Мыльниковой (Мыльникова И.В. и др., 2015).

При рассмотрении показателей перевозбуждения и пароксизмальной заторможенности были выявлены следующие межгрупповые различия и их внутригрупповое соотношение. Несколько высокое значение показателя перевозбуждения и низкое значение показателя пароксизмальной заторможенности у I группы, по сравнению со II и III группами, а также

преобладание перевозбуждения над пароксизмальной заторможенностью свидетельствуют о неуравновешенности нервных процессов с преобладанием силы возбуждения у данной группы. У II и III групп наблюдался баланс между перевозбуждением и пароксизмальной заторможенностью, что говорит об уравнивании нервных процессов у испытуемых данных групп. То есть с возрастом происходит установление равновесия нервных процессов с некоторым сопутствующим уменьшением силы возбуждения и увеличением процессов торможения. Подобные возрастные различия баланса нервных процессов были описаны в исследованиях Б.Г. Ананьева с соавт. (Ананьев Б.Г. и др., 1977). Они объяснили данную картину следующим образом. Генерирование возбудительного процесса ретикулярной формацией определяет высокий кортикальный тонус. Однако сочетание недостаточного уровня работоспособности корковых клеток, формируемый по мере накопления опыта и развития тормозного процесса, с высокой динамичностью возбудительного процесса приводит к возрастающему развитию возбудительного процесса в раннем возрасте. У испытуемых 22-23 лет по сравнению с испытуемыми 18-21 года происходит снижение динамичности возбуждения и некоторое увеличение динамичности торможения, то есть имеет место снижение кортикального тонуса и усиление тормозных функций коры. При наступлении зрелости достигается соответствие между динамичностью возбудительного процесса и работоспособностью корковых клеток.

Известным предиктором утомления является показатель времени реакции. В отношении изменения скорости реагирования после УН существуют противоречивые работы. В ряде работ показано уменьшение скорости ПЗМР и снижение точности (Trejo L.J. et al., 2005; Boksem M.A. et al., 2006; Lorist M.M. et al., 2009). Однако в работах других авторов обнаружено увеличение скорости реагирования при выполнении реакции выбора с одновременным увеличением количества ошибок (Wickelgren W.A., 1977; Sternberg S., 2004).

В нашей работе после УН у I и II групп выявлено увеличение скорости и стабильности реагирования. Однако у III группы как скорость, так и стабильность реагирования оставались неизменными. Существует несколько теорий, объясняющих уменьшение времени реакции при повторных выполнениях теста. Согласно одной из них, увеличение скорости реагирования связывают с фактором привыкания. Появление нового раздражителя вызывает ориентировочную реакцию с обширной и длительной иррадиацией возбудительного

процесса по коре больших полушарий. Затем наступает фаза концентрации. При повторных раздражителях возникает привыкание, сопровождающееся ослаблением иррадиации возбуждения и повышением динамичности возникающих нервных процессов. По мере упрочения условных связей увеличивается и стойкость корковых очагов возбуждения (Кирой В.Н., 2003). Другим объяснением увеличения скорости реагирования является уменьшение отрицательно-индукционных задерживающих влияний на время реакции, то есть, происходит, так называемая, выработка «иммуности» к внешнему раздражителю (Бойко Е.И., 1964). Еще одним фактором, объясняющим снижение времени реакции выбора с одновременным возрастанием количества ошибок уже при утомлении после длительной когнитивной нагрузки, является, так называемый, феномен «Компромисс скорости и точности» (Wood C.C. et al., 1976; Osman A., 2000). При усилении утомления происходит смещение соотношения контролируемого ответа на стимул и случайного ответа на него, который по латенции гораздо короче контролируемого, в сторону случайных ответов. Существует также гипотеза, согласно которой во время выполнения задания у испытуемого постоянно копится информация о уже выполненных заданиях. Это позволяет ему быстрее отвечать на стимул. Однако под влиянием утомления происходит увеличение количества ошибок (Knight J.L. et al., 1974).

Тем не менее увеличение скорости реагирования у испытуемых I и II групп и ее неизменность у испытуемых III группы не говорит об отсутствии у них утомления. М.К. Ржепецкая характеризует первую фазу снижения работоспособности как мобилизационную, отличающуюся высокой концентрацией внимания на фоне улучшения и сохранения качества деятельности (Ржепецкая М.К., 1995). Увеличение скорости реагирования в условиях утомления у испытуемых I и II групп происходит за счет мобилизации функциональных резервов организма, что отражается в увеличении стабильности реагирования. У испытуемых II группы формирование адаптивного ответа выражается также увеличением всех функциональных показателей. Данный факт свидетельствует о больших мобилизационных возможностях у испытуемых II группы. Однако реализация физиологических резервов может осуществляться и за счет ограничения деятельности сформированных функциональных систем, что и наблюдается у испытуемых III группы (Байгужин П.А., 2011). Неизменность скорости и стабильности реагирования у данной

группы это не только негативная реакция на нагрузку, но и способность ЦНС экономично расходовать энергию и осуществлять регуляцию путем охранительного торможения (Челышкова Т.В. и др., 2008).

Полагаем, что возрастание (у испытуемых I и II групп) и сохранение (у испытуемых III группы) определенного уровня работоспособности происходит за счет мобилизации функциональных резервов организма и увеличения физиологической «цены» деятельности. Данный процесс у исследуемых групп подтверждается увеличением показателя перевозбуждения, уменьшением показателя пароксизмальной заторможенности и проявлением дисбаланса процессов возбуждения и торможения, а также увеличением показателя признаков утомления у большинства испытуемых. Увеличение показателя перевозбуждения и снижение показателя пароксизмальной заторможенности у них объясняется тем, что при длительной работе, когда происходит последовательная смена возбудительного и тормозного процессов, ослабевает внутреннее торможение, ведущее к уравниванию нервных процессов. Это приводит к иррадиации процесса возбуждения с вовлечением в деятельность других центров коры головного мозга (Редько А.В. и др., 2008). То есть, сохранив высокую скорость реагирования при утомлении, вместе с тем у испытуемых данных групп снизилась точность выполнения задания.

После УН нами выявлено наличие четкой возрастной динамики времени реакции в сторону его удлинения, то есть наименьшая скорость реагирования наблюдалась у III группы. Меньшая скорость у нее сочеталась также с меньшей стабильностью реагирования. Испытуемые III группы отличались также низкими функциональными показателями. Работы А.О. Навакатикина с соавт. показали, что низкие значения показателя подвижности нервных процессов приводят к более быстрому развитию признаков утомления, что является следствием рассинхронизации течения физиологических процессов (Навакатикин А.О. и др., 1987). Это подтверждается и результатами нашей работы, которые выявили у III группы по сравнению с I и II группами большие значения показателя признаков утомления при низких показателях подвижности нервных процессов как до, так и после УН.

Все это находит объяснение в возрастных сосудистых, нейрогуморальных, морфофункциональных изменениях ЦНС у испытуемых старшей группы. Так, в работе О.В. Коркушко и Е.Д. Осьмак показано снижение церебрального кровотока с возрастом, которое

они связывают с потерей эластичности мозговых сосудов и снижением метаболизма в тканях головного мозга (Коркушко О.В. и др., 2013). Все это говорит о постепенном снижении функционального резерва церебральной гемодинамики с возрастом.

Помимо изменений церебральной гемодинамики при старении происходят и неравномерные изменения центральной регуляции функций организма. Снижается центральный нервный контроль, что приводит к сокращению адаптационных возможностей организма. Ухудшается передача информации в различных звеньях систем регуляции. Результатом неравномерных изменений различных структур ЦНС является сложная регуляторная перестройка и образование нового уровня приспособления организма к среде (Ананьев Б.Г. и др., 1977).

Все вышеперечисленные возрастные изменения отражаются в снижении синтетической деятельности коры головного мозга, проявляющейся в образовании временных условно-рефлекторных связей, снижении психической активности, умственной работоспособности, устойчивости к психоэмоциональным стрессовым воздействиям и т.д. Однако наряду с определенным ограничением нейрофизиологических механизмов психических процессов формируется ряд новых приспособительных механизмов, обеспечивающих продуктивность умственной деятельности (Белозерова Л.М. и др., 2008).

При первом выполнении теста ПЗМР между II и контрольной группами по всем показателям ПЗМР различий не обнаружено. При повторном выполнении теста у контрольной группы, как и у II, наблюдалось увеличение скорости реагирования. Однако у испытуемых данной группы, в отличие от испытуемых II группы, выявлено лишь незначительное увеличение стабильности реагирования и функциональных показателей. У них также уменьшился как показатель перевозбуждения, так и пароксизмальной заторможенности, сохранив при этом баланс процессов возбуждения и торможения. Данные изменения у испытуемых контрольной группы при втором выполнении теста ПЗМР, по всей вероятности, обусловлены отсутствием необходимости мобилизации физиологических резервов в условиях отсутствия умственной нагрузки. Это подтверждается и уменьшением показателя признаков утомления у большинства испытуемых при повторном выполнении теста ПЗМР.

Таким образом, согласно полученным результатам, можно сказать, что возрастные изменения представляют собой неоднородный процесс, развитие которого протекает неравномерно. Возрастная динамика психофизиологических функций представляет сложную структуру различных процессов: повышение функционального уровня различных механизмов деятельности (у испытуемых I группы), стабилизация этих уровней (у испытуемых II группы) и их понижение (у испытуемых III группы). Геронтология рассматривает зрелость как серию сложных постепенно и гетерохронно развивающихся инволюционных процессов. То есть это не простая сумма превращений, наступающих на определенном уровне, а сложное взаимодействие, охватывающее различные структуры и функции организма (Семенюк Л.М., 1996; Осьмак Е.Д. и др., 2011).

3.3. Исследование показателей ВСР и системной гемодинамики до и после умственной нагрузки у исследуемых возрастных групп

Для оценки адаптационных реакций и функциональных возможностей организма применяется метод анализа ВСР. Данный метод позволяет нам получить информацию о состоянии систем, регулирующих ритм сердца, оценить состояние вегетативного обеспечения, общую активность регуляторных механизмов. При этом необходимо также учитывать и текущий уровень функционирования системы кровообращения и сердечно-сосудистой системы в целом. Параметры гемодинамики являются важнейшими показателями ФС организма, а их изучение позволяет объективно оценивать состояние системы кровообращения.

Исследование показателей ВСР, как уже отмечалось в главе «Материал и методы исследования», проводилось комплексно, учитывая результаты временного, гистографического, спектрального и автокорреляционного анализов.

3.3.1. Исследование показателей временного и гистографического анализов ВСР до и после умственной нагрузки у исследуемых возрастных групп

В состоянии относительного покоя (T_0) до УН у исследуемых групп наблюдалась следующая картина: у I и II групп значения показателей Mx , $SDNN$, Δx , Mo , повышение которых отражает преобладание парасимпатического звена регуляции, были в пределах возрастной нормы, описанной в литературных источниках (Бабунц И.В. и др., 2002). У испытуемых III группы значения Mx и Mo находились в пределах их возрастной нормы, однако показатели $SDNN$ и Δx выражались низкими значениями по сравнению с нормой. Значения показателей, повышение которых характеризует усиление симпатической активности, а именно, AMo , IBP , $ВПР$ и $ПАПР$, у I и II групп находились в нижних пределах нормативных данных. У III группы перечисленные показатели, в отличие от I и II групп, выражались сравнительно высокими значениями (табл. 7).

Таблица 7

Показатели временного и гистографического анализов ВСР у исследуемых групп до умственной нагрузки (M±SD)

Группы Показатели	Группа I (n=29)	Группа II (n=33)	p	Группа III (n=26)	p	Контрольная группа IV (n=10)	p
T ₀							
Mx (мсек)	730,1±67,6	726,0±76,5	-	793,6±67,8	** ##	729,8±74,9	-
SDNN (мсек)	52,5±12,0	47,1±10,0	*	35,6±6,0	*** ###	47,3±11,6	-
Δx (мсек)	305,1±69,4	279,6±49,6	-	199,6±42,2	*** ###	260,5±71,6	-
Мо (мсек)	700,0±75,6	698,3±78,5	-	771,1±77,0	** ##	703,8±84,3	-
АМо (%)	38,5±7,7	42,0±9,2	-	49,6±6,1	*** ##	41,0±5,7	-
ИВР (усл.ед.)	136,3±49,6	160,4±65,2	-	260,9±69,8	*** ###	171,5±64,1	-
ВПР (усл.ед.)	5,0±1,5	5,3±1,2	-	6,9±1,8	*** ###	5,6±1,1	-
ПАПР(усл.ед.)	56,0±14,1	61,2±17,4	-	64,5±8,3	*	59,3±10,4	-
ИН (усл.ед.)	100,0±45,3	116,9±52,5	-	170,3±48,3	*** ###	110,1±46,2	-
T ₁							
Mx (мсек)	731,0±76,7	716,0±75,1	-	759,9±57,2	#	718,4±53,6	-
SDNN (мсек)	45,5±11,6	41,2±10,9	-	30,6±5,4	*** ###	39,9±7,7	-
Δx (мсек)	268,9±67,9	252,5±58,5	-	184,9±32,1	*** ###	225,8±33,9	-
Мо (мсек)	702,2±85,9	693,1±81,0	-	738,9±58,3	#	695,5±69,4	-
АМо (%)	43,0±8,4	45,8±9,3	-	55,0±10,7	*** ##	48,3±5,8	-
ИВР (усл.ед.)	168,7±64,2	197,0±78,8	-	303,1±85,8	*** ###	214,1±49,3	-
ВПР (усл.ед.)	5,7±2,0	6,2±1,8	-	7,6±1,8	** ##	6,4±0,7	-
ПАПР(усл.ед.)	62,7±17,0	67,2±16,7	-	75,3±17,5	*	65,3±12,6	-
ИН (усл.ед.)	131,5±71,2	146,8±64,9	-	213,1±78,3	*** ##	149,6±42,2	-
T ₂							
Mx (мсек)	719,5±72,4	732,2±67,3	-	789,5±82,4	** ##	736,9±63,1	-
SDNN (мсек)	51,7±13,2	49,9±11,1	-	35,8±7,1	*** ###	52,6±13,2	-
Δx (мсек)	304,0±69,4	296,6±57,3	-	207,1±36,4	*** ###	281,3±63,3	-
Мо (мсек)	693,5±84,4	705,4±73,7	-	765,9±86,5	** ##	711,5±69,4	-
АМо (%)	40,5±8,4	41,9±9,0	-	48,8±5,8	*** ##	39,9±4,9	-
ИВР (усл.ед.)	144,1±59,3	150,4±55,0	-	245,7±75,6	*** ###	150,6±55,5	-
ВПР (усл.ед.)	5,1±1,6	5,0±1,2	-	6,6±1,6	** ###	5,1±0,9	-
ПАПР(усл.ед.)	59,3±15,8	60,1±15,9	-	65,0±14,7	*	55,5±11,7	-
ИН (усл.ед.)	108,3±53,3	108,1±44,9	-	165,9±53,3	*** ###	94,6±40,2	-

Примечание: расшифровку аббревиатур см. в разделе «Материал и методы». T₀ – состояние покоя, T₁ – выполнение теста ПЗМР, T₂ – период восстановления. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами, II и контрольной группами. Достоверность: *, **, *** – p<0,05, p<0,01, p<0,001 соответственно.

Следует отметить, что в T_0 между I и II группами достоверная разница наблюдалась лишь в показателе SDNN с его меньшим значением у II группы. У III группы в T_0 значения всех показателей достоверно отличались от таковых у I и II групп. Так, у III группы, по сравнению с I и II, значение Mx было больше на 8,7% и на 9,3% ($p < 0,01$, для обеих групп), а значение SDNN – меньше на 32,2% и на 24,4%, Δx – на 65,4% и на 28,6% соответственно ($p < 0,001$, для двух показателей обеих групп). У испытуемых III группы значения АМо, ИВР, ВПР, ПАПР были достоверно выше, чем у испытуемых I и II групп. Показатель АМо у III группы был больше на 28,8% ($p < 0,001$) и на 18,1% ($p < 0,01$), а ИВР – на 91,4% и на 62,7% ($p < 0,001$ для обеих групп), чем у I и II групп соответственно. То есть в состоянии относительного покоя у I и II групп отмечалось отсутствие напряжения в регуляторных системах, а у III группы – наличие некоторого напряжения. Об этом свидетельствует и ИН, характеризующий степень преобладания симпатических влияний над парасимпатическими, значение которого у III группы в состоянии покоя уже несколько превышало нормативные значения, характерные для данной возрастной группы (табл. 7).

При первом выполнении теста ПЗМР (T_1) до УН у I и II групп выявлено достоверное уменьшение SDNN и Δx . Так, у I группы SDNN уменьшилось на 13,3%, а Δx – на 11,9%, у II группы – на 12,5% и на 9,7% соответственно ($p < 0,05$ для двух показателей обеих групп). Вместе со снижением показателей SDNN и Δx у данных групп отмечено также значительное увеличение ИВР на 23,8% и на 22,8% соответственно ($p < 0,05$ для обеих групп). У I группы также наблюдалось увеличение АМо на 11,7% ($p < 0,05$). У III группы в T_1 отмечалось изменение некоторых показателей, а именно, уменьшение SDNN на 14,0% ($p < 0,01$) и увеличение АМо и ПАПР на 10,9% ($p < 0,05$) и на 16,7% ($p < 0,01$) соответственно. То есть, можно сказать, что при выполнении теста ПЗМР у трех групп произошел некоторый сдвиг вегетативного баланса в сторону преобладания симпатической активности. Данное изменение подтверждается и достоверным увеличением ИН. У I группы он увеличился на 31,5%, у II группы – на 25,6% и у III группы – на 25,1% ($p < 0,05$ для всех групп). Несмотря на некоторое увеличение ИН у I и II групп, данный показатель у них оставался в пределах нормы.

При первом выполнении теста ПЗМР (T_1) до УН между группами I-III и II-III сохранялась та же разница в анализируемых показателях, что и в состоянии относительного

покоя (T_0). Однако если в T_0 достоверные различия в показателях Мх и Мо отмечались как между I и III, так и между II и III группами, то здесь данные различия наблюдались только между II и III группами. Так, у III группы значения Мх и Мо были больше, чем у II группы, в частности, значение Мх у нее было больше на 6,1% ($p < 0,05$). Между I и II группами в T_1 до УН межгрупповых различий в показателях ВСП не наблюдалось.

После выполнения теста ПЗМР, в период восстановления (T_2), у исследуемых групп значения показателей, изменившихся при выполнении теста ПЗМР, были близки к таковым в T_0 . В T_2 между группами I-III и II-III выявлена та же разница в показателях, что и в T_0 . Между I и II группами достоверных различий в показателях не отмечено.

После УН в T_0 между I и II группами выявлены достоверные различия в показателях Мх, Мо, Δx и ПАПР (табл. 8). Так, у II группы значения Мх и Мо были больше на 6,3% и на 7,6%, а Δx и ПАПР – меньше на 9,8% и на 12,3% соответственно, чем у I группы ($p < 0,05$ для всех показателей). У III группы, как и на предыдущих этапах исследования, значение Мх было достоверно выше, а SDNN и Δx – ниже, чем у I и II групп. Значение Мх у III группы было больше на 10,8% ($p < 0,001$) и на 4,3% ($p < 0,05$), а значение SDNN – меньше на 41,8% и на 38,1%, Δx – на 42,2% и на 35,9% ($p < 0,001$, для двух показателей обеих групп), чем у I и II групп соответственно. Испытуемые III группы отличались также достоверно высокими значениями АМо, ИВР, ВПР, ПАПР и ИН по сравнению с испытуемыми I и II групп. Так, у III группы, по сравнению с I и II группами, показатель АМо был больше на 37,7% и на 42,0%, ИН – на 101,5% и на 116,3% ($p < 0,001$ для двух показателей обеих групп).

Второе выполнение теста ПЗМР (T_1) после УН у I группы вызвало достоверное увеличение Мх и Мо. При этом значения SDNN и Δx у данной группы снизились на 17,0% и на 15,4% соответственно ($p < 0,01$ для обоих показателей). У I группы также наблюдалось увеличение ИВР на 26,8% ($p < 0,05$). Изменения показателей у II и III групп в T_1 после УН имели схожий характер. На данном этапе исследования у испытуемых обеих групп отмечалось достоверное уменьшение SDNN и Δx и увеличение АМо, ИВР, ВПР, ПАПР и ИН. Так, у II группы SDNN снизилось на 16,9%, а Δx – на 15,1% ($p < 0,001$ для обоих показателей), у III группы – на 18,9% и 16,7% соответственно ($p < 0,01$ для обоих показателей). Значения АМо, ИВР и ИН у II группы повысились на 19,4%, на 42,0%, на 41,4% ($p < 0,001$ для всех показателей) и у III группы – на 12,1%, на 30,8%, на 31,0% ($p < 0,01$

для всех показателей) соответственно. То есть при втором выполнении теста ПЗМР после УН у II и III групп наблюдались более выраженные изменения показателей, чем при первом его выполнении.

Таблица 8

Показатели временного и гистографического анализов ВСР у исследуемых групп после умственной нагрузки ($M \pm SD$)

Группы Показатели	Группа I (n=29)	Группа II (n=33)	p	Группа III (n=26)	p	Контрольная группа IV (n=10)	p
T ₀							
Mx (мсек)	711,8±67,0	756,0±60,9	*	788,7±71,5	*** #	725,7±58,5	-
SDNN (мсек)	61,7±16,5	58,0±10,3	-	35,9±8,1	*** ###	45,6±10,5	#
Δx (мсек)	375,7±87,7	338,7±53,8	*	217,1±42,7	*** ###	251,0±40,5	#
Mo (мсек)	678,9 ±75,1	730,4±71,2	*	765,9±79,3	***	694,4±63,6	-
AMo (%)	36,1±8,6	35,0±6,4	-	49,7±9,3	*** ###	43,0±6,9	#
ИВР (усл.ед.)	105,8±51,0	109,0±39,9	-	244,0±85,3	*** ###	180,2±42,8	#
ВПР (усл.ед.)	4,2±1,3	4,2±0,9	-	6,3±1,4	*** ###	5,8±0,7	#
ПАПР(усл.ед.)	54,4±16,3	47,7±10,0	*	65,7±14,9	* ###	61,6±14,8	#
ИН (усл.ед.)	80,4±43,2	74,9±30,7	-	162,0±61,2	*** ###	118,6±34,8	##
T ₁							
Mx (мсек)	757,0±85,4	764,7±72,1	-	789,4±70,6	-	720,0±57,9	-
SDNN (мсек)	51,2±12,2	48,2±10,7	-	29,1±6,0	*** ###	40,4±8,1	#
Δx (мсек)	318,0±81,5	287,4±53,8	-	180,9±34,7	*** ###	218,8±34,8	##
Mo (мсек)	727,3±81,3	732,3±66,5	-	765,9±77,8	-	690,3±62,3	-
AMo (%)	39,5±8,2	41,8±9,6	-	55,7±6,3	*** ###	49,8±5,5	#
ИВР (усл.ед.)	134,2±52,7	154,8±60,2	-	319,1±85,0	*** ###	210,2±56,4	#
ВПР (усл.ед.)	4,7±1,6	4,9±1,1	-	7,6±2,0	*** ###	6,2±0,6	#
ПАПР(усл.ед.)	55,4±16,5	56,2±13,1	-	73,2±14,0	*** ###	69,5±12,3	#
ИН (усл.ед.)	98,0±50,4	105,9±44,1	-	213,8±69,3	*** ###	135,0±41,3	##
T ₂							
Mx (мсек)	714,6±81,1	760,2±63,7	*	794,2±71,3	** #	730,4±57,2	-
SDNN (мсек)	60,2±15,2	60,6±9,2	-	37,9±7,3	*** ###	48,0±9,8	#
Δx (мсек)	343,8±76,0	342,8±49,5	-	220,9±39,8	*** ###	267,6±45,6	#
Mo (мсек)	679,4±86,7	739,7±71,2	**	772,7±75,2	***	706,0±65,5	-
AMo (%)	34,1±6,9	34,3±6,2	-	48,6±8,9	*** ###	41,3±4,3	##
ИВР (усл.ед.)	106,0±41,8	102,4±28,8	-	228,5±65,3	*** ###	170,2±27,8	#
ВПР (усл.ед.)	4,6±1,3	4,0±0,8	-	6,1±1,3	*** ###	5,4±0,7	#
ПАПР(усл.ед.)	51,7±14,4	45,6±8,9	*	64,4±14,4	** ###	57,3±9,0	#
ИН (усл.ед.)	81,4±37,8	68,8±21,5	-	152,2±49,1	*** ###	105,3±24,0	#

Примечание: расшифровку аббревиатур см. в разделе «Материал и методы». T₀ – состояние покоя, T₁ – выполнение теста ПЗМР, T₂ – период восстановления. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами, II и контрольной группами. Достоверность: *, **, *** – $p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$ соответственно.

При втором выполнении теста ПЗМР испытуемые III группы отличались достоверно низкими значениями SDNN и Δx и высокими значениями АМо, ИВР, ВПР, ПАПР и ИН по сравнению с испытуемыми I и II групп. Для показателей Мх и Мо межгрупповых различий не отмечалось. Также не было выявлено различий по всем показателям между I и II группами.

После выполнения теста ПЗМР (T_2) у исследуемых групп отмечалось восстановление значений всех показателей, изменившихся при выполнении теста ПЗМР. Межгрупповые различия в T_2 были аналогичны таковым в T_0 после УН.

Проводился сравнительный анализ показателей ВСР до и после УН, то есть между соответствующими этапами исследования (T_0 - T_0 , T_1 - T_1 , T_2 - T_2). На рисунке 11 представлены диаграммы изменения SDNN у исследуемых групп до и после УН.

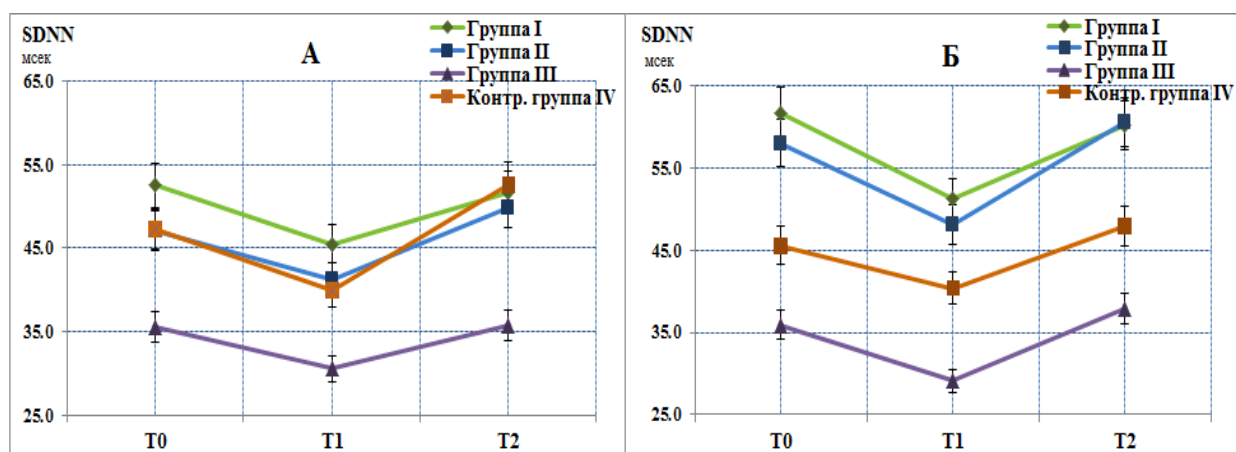


Рис. 11. Линейные диаграммы динамики SDNN у исследуемых групп до (А) и после (Б) умственной нагрузки. Обозначения: T_0 – состояние покоя, T_1 – выполнение теста ПЗМР, T_2 – период восстановления. Линии погрешности показаны с 5% – ой значимостью.

Как видно из рисунка, у I группы после УН как в T_0 , так и в T_2 наблюдалось увеличение SDNN на 17,5% и на 16,4% по сравнению с T_0 и T_2 до УН ($p < 0,05$ для обоих этапов). В T_1 достоверного изменения данного показателя не отмечалось. У II группы значение SDNN после УН также достоверно увеличивалось на 23,1% ($p < 0,001$), на 17,0% ($p < 0,01$) и на 21,4% ($p < 0,001$) в T_0 , в T_1 и в T_2 соответственно. Для показателя Δx у I и II групп отмечалась та же динамика изменения, что и для SDNN, то есть его достоверное увеличение на всех трех этапах после УН. У I группы после УН отмечалось также уменьшение ИВР в T_0 на 22,4%, в T_1 на 20,5% и в T_2 на 26,4% по сравнению с соответствующими этапами до УН ($p < 0,05$ для всех этапов). У I группы после УН значение ВПР в T_0 и в T_1 было достоверно меньше на

16,0% и на 22,8% ($p < 0,05$ для обоих этапов) и значение АМо в T_2 – на 15,8% ($p < 0,01$), чем на соответствующих этапах до УН. В отношении значений показателей Мх, Мо и ПАПР у данной группы на всех этапах исследования после УН, по сравнению с их значениями до УН, значительных изменений не наблюдалось. У II группы изменения значений показателей на трех этапах исследования после УН, по сравнению с их значениями до УН, имели схожий характер. Значение Мо достоверно увеличивалось, а значения АМо, ИВР, ВПР и ПАПР уменьшались на трех этапах исследования после УН, по сравнению со состоянием до УН. Величина показателя Мх достоверно увеличивалась лишь при T_1 - T_1 . Подобные изменения значений показателей у I и II групп после УН, по сравнению с их значениями до УН, свидетельствуют о сдвиге вегетативного баланса в сторону парасимпатической активности, что в большей степени выражено у II группы. Это подтверждается и динамикой ИН, который у I группы после УН достоверно уменьшался только в T_1 на 25,5% ($p < 0,05$), а у II группы – на всех трех этапах после УН: на 35,9%, на 28,0% и на 36,4% в T_0 , в T_1 и в T_2 соответственно ($p < 0,001$ для всех этапов) (рис. 12).

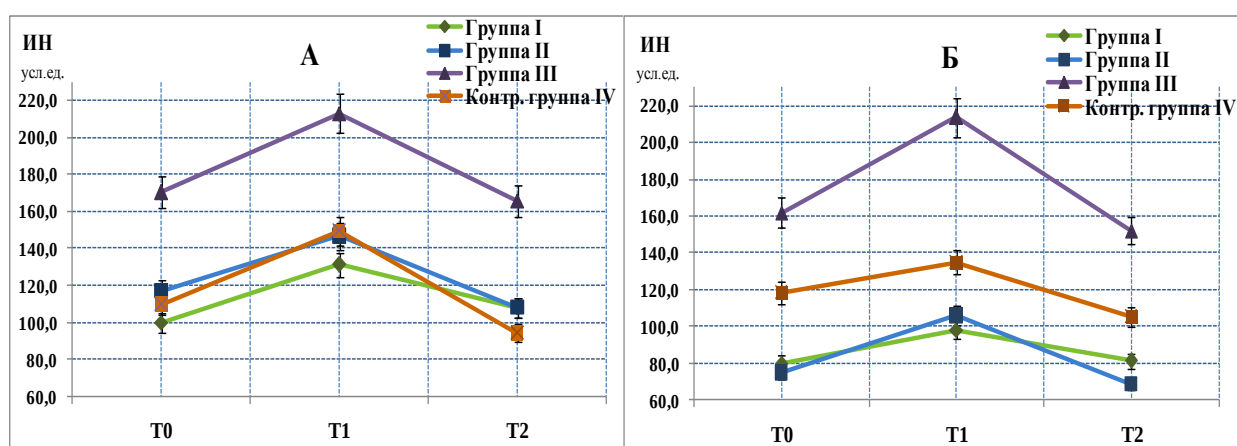


Рис. 12. Линейные диаграммы динамики индекса напряжения (ИН) у исследуемых групп до (А) и после (Б) умственной нагрузки. Обозначения: T_0 – состояние покоя, T_1 – выполнение теста ПЗМР, T_2 – период восстановления. Линии погрешности показаны с 5% – ой значимостью.

У III группы после УН на всех этапах исследования, по сравнению со состоянием до УН, достоверных различий между всеми рассмотренными показателями не выявлено.

На первых трех этапах исследования между II и контрольной группами достоверной разницы в показателях не обнаружено. У контрольной группы при первом выполнении теста ПЗМР до УН были схожие со II группой изменения показателей, а именно, уменьшение SDNN и увеличение АМо, ВПР, ПАПР и ИН. При втором выполнении теста ПЗМР у

контрольной группы, как и у II, наблюдалось уменьшение SDNN, Δx и увеличение АМо, ИВР, ВПР, ПАПР и ИН. Как после первого, так и после второго выполнения теста ПЗМР у контрольной группы происходило восстановление значений показателей, изменившихся в T_1 . При сравнении этапов исследования T_0 - T_0 , T_1 - T_1 , T_2 - T_2 , до и после отдыха соответственно, у контрольной группы значимых изменений показателей не происходило. После отдыха на трех этапах исследования у контрольной группы наблюдались достоверно низкие значения SDNN, Δx и высокие значения АМо, ИВР, ВПР, ПАПР и ИН по сравнению со II группой.

3.3.2. Исследование показателей спектрального и автокорреляционного анализ ВСР до и после умственной нагрузки у исследуемых возрастных групп

Наиболее информативным и эффективным методом математической оценки ФС является спектральный анализ ВСР. Данный подход позволяет выявить периодические составляющие сердечного ритма, отражающие активность определенных звеньев регуляторного механизма, и оценить влияние на работу сердца регуляторных систем, находящихся на разных уровнях управления.

Проведен анализ спектральных показателей ВСР до и после УН у разных возрастных групп. Для каждого спектрального компонента рассматривалось как значение абсолютной мощности соответствующего диапазона, так и относительное значение в процентах, вычисленное из общей мощности во всех диапазонах. Как показывают данные, представленные в таблице 9, в состоянии относительного покоя (T_0) до УН значение общей мощности – ТР, характеризующей суммарную мощность всех спектральных компонентов сердечного ритма, у I и II групп было в пределах нормы, то есть 2428-4464 ms^2 (Бабунц И.В. и др., 2002). Однако у III группы величина данного показателя находилась у нижней границы нормативных значений. Мощность очень низкочастотного компонента – VLF, высокие значения которой, по мнению ряда авторов, отражают активность центральных эрготропных и гуморально-метаболических механизмов регуляции сердечного ритма, у всех трех групп соответствовали значениям нормы, а именно 355-1175 ms^2 (Баевский Р.М. и др., 2001; Михайлов В.М., 2002).

Таблица 9

Показатели спектрального и автокорреляционного анализов ВСР у исследуемых групп до умственной нагрузки (M±SD)

Группы Показатели	Группа I (n=29)	Группа II (n=33)	p	Группа III (n=26)	p	Контрольная группа IV (n=10)	p
T ₀							
TP (мс ²)	2723,9±215,3	2645,0±233,0	-	2500,8±111,5	** #	2688,8±142,0	-
VLF (мс ²)	763,4±81,4	792,0±92,2	-	861,6±51,4	** #	784,4±43,6	-
LF (мс ²)	1072,7±95,2	1015,5±87,6	*	919,5±48,0	** ##	1056,3±71,4	-
HF (мс ²)	887,7±86,6	837,5±92,2	*	719,7±54,8	*** ##	848,1±47,7	-
LF/HF	1,2 ±0,1	1,2±0,1	-	1,3±0,1	-	1,2±0,1	-
ИЦ (усл.ед.)	2,1±0,2	2,2±0,2	-	2,5±0,2	** #	2,2±0,1	-
ИАП (усл.ед.)	1,42±0,21	1,30±0,13	-	1,10±0,11	** ##	1,32±0,14	-
k 1	0,44±0,06	0,47±0,07	-	0,67±0,07	*** ###	0,48±0,04	-
ПАРС (баллы)	2,3±0,9	2,5±0,9	-	3,3±0,9	** ##	2,6±0,5	-
T ₁							
TP (мс ²)	2097,6±126,6	2135,5±150,2	-	1698,1±127,3	*** ###	2181,9±136,6	-
VLF (мс ²)	614,1±55,9	660,5±49,1	*	639,2±64,8	-	653,8±66,2	-
LF (мс ²)	864,1±74,1	883,6±78,1	-	656,9±57,9	*** ###	876,3±35,1	-
HF (мс ²)	619,3±59,4	591,4±73,7	-	401,9±46,9	*** ###	651,9±73,8	-
LF/HF	1,4±0,2	1,5±0,2	-	1,7±0,2	** #	1,4±0,2	-
ИЦ (усл.ед.)	2,4±0,3	2,6±0,3	*	3,3±0,4	*** ###	2,4±0,3	-
ИАП (усл.ед.)	1,38±0,20	1,27±0,11	-	1,02±0,14	*** ##	1,28±0,12	-
k 1	0,62±0,06	0,66±0,07	*	0,89±0,07	*** ###	0,65±0,07	-
ПАРС (баллы)	3,3±1,1	3,6±0,8	-	4,2±1,0	** #	3,4±0,7	-
T ₂							
TP (мс ²)	2558,0±138,1	2624,8±171,0	-	2303,2±132,7	** ###	2668,1±146,0	-
VLF (мс ²)	727,2±68,0	758,0±75,1	-	815,7±54,0	** ##	746,9±63,5	-
LF (мс ²)	1016,1±70,3	981,1±102,6	-	857,0±64,2	*** ##	1049,4±81,5	-
HF (мс ²)	814,8±94,7	885,7±76,0	*	630,5±60,3	*** ###	871,9±58,1	-
LF/HF	1,3±0,2	1,1±0,1	*	1,4±0,1	* ##	1,2±0,1	-
ИЦ (усл.ед.)	2,2±0,3	2,0±0,2	*	2,7±0,3	** ###	2,1±0,1	-
ИАП (усл.ед.)	1,40±0,20	1,31±0,22	-	1,07±0,14	** ##	1,33±0,12	-
k 1	0,51±0,07	0,53±0,06	-	0,78±0,06	*** ###	0,51±0,05	-
ПАРС (баллы)	2,5±0,9	2,6±1,3	-	3,6±1,1	** ##	2,4±0,9	-

Примечание: расшифровку аббревиатур см. в разделе «Материал и методы». T₀ – состояние покоя, T₁ – выполнение теста ПЗМР, T₂ – период восстановления. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами, II и контрольной группами. Достоверность: *, **, *** – p<0,05, p<0,01, p<0,001 соответственно.

Значение мощности низкочастотного компонента – LF, выраженность которого характеризует активность вазомоторного центра продолговатого мозга, у всех групп находилось в пределах 754-1586 мс², что также соответствовало нормативным значениям. В отличие от I и II групп, у III группы значение мощности высокочастотного компонента – HF, характеризующий активность автономного контура регуляции, было несколько ниже, по сравнению с нормативными значениями – 772-1178 мс².

При межгрупповом анализе спектральных показателей до УН были выявлены следующие различия. В состоянии относительного покоя (T₀) между I и II группами достоверная разница наблюдалась только в показателях LF и HF, с их большими значениями у I группы. У III группы практически все показатели имели достоверные различия с показателями I и II групп. Так, значение TP у III группы было достоверно меньше на 8,2% (p<0,01) и на 5,5% (p<0,05), чем у I и II групп соответственно. Испытуемые данной группы отличались также достоверно высоким значением VLF и низкими – LF и HF по сравнению с испытуемыми I и II групп. Как уже отмечалось выше, рассматривались не только абсолютные, но и относительные значения спектральных компонентов, соотношение которых представлено на рисунке 13.

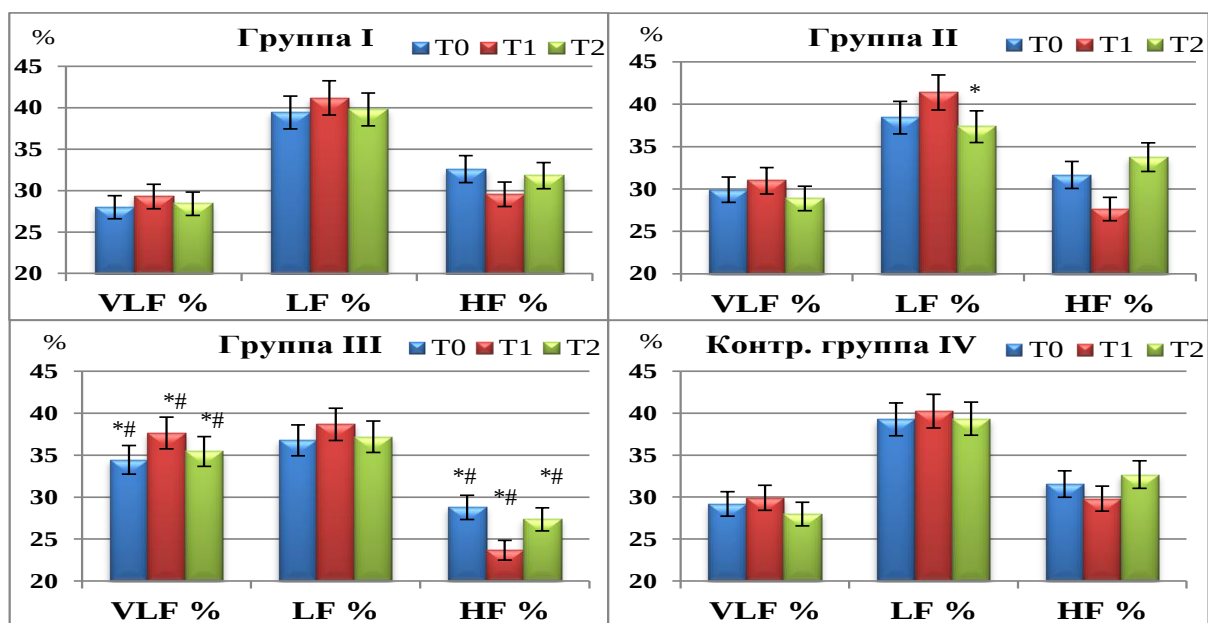


Рис. 13. Диаграммы относительных значений спектральных компонентов у исследуемых групп до умственной нагрузки. Обозначения: VLF – очень низкочастотный компонент, LF – низкочастотный компонент, HF – высокочастотный компонент, T₀ – состояние покоя, T₁ – выполнение теста ПЗМР, T₂ – период восстановления. Проценты определены из общей спектральной мощности компонентов. Линии погрешности показаны с 5% – ой значимостью. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами.

У всех групп до УН на трех этапах исследования в общем диапазоне спектра преобладала удельная доля LF компонента. В то же время выявлены некоторые межгрупповые различия. В T_0 значение VLF% в III группе превышало таковое у I и II групп на 6% ($p<0,01$) и на 4% ($p<0,05$) соответственно. Испытуемые III группы отличались также низкими значениями относительной мощности HF компонента. Показатель HF% у III группы был меньше на 4% и на 3%, чем у I и II групп соответственно ($p<0,05$ для обеих групп). Для показателя LF% между исследуемыми группами существенных различий не обнаружено. Для показателя LF/HF, характеризующего симпато-парасимпатический баланс, межгрупповых различий в T_0 не наблюдалось. В отношении ИЦ и ИАП были выявлены следующие межгрупповые различия. Значение ИЦ, отражающего степень преобладания центрального контура регуляции сердечного ритма над автономным, у III группы было достоверно выше на 19,0% ($p<0,01$) и на 13,6% ($p<0,05$) по сравнению с I и II группами соответственно (рис. 14).

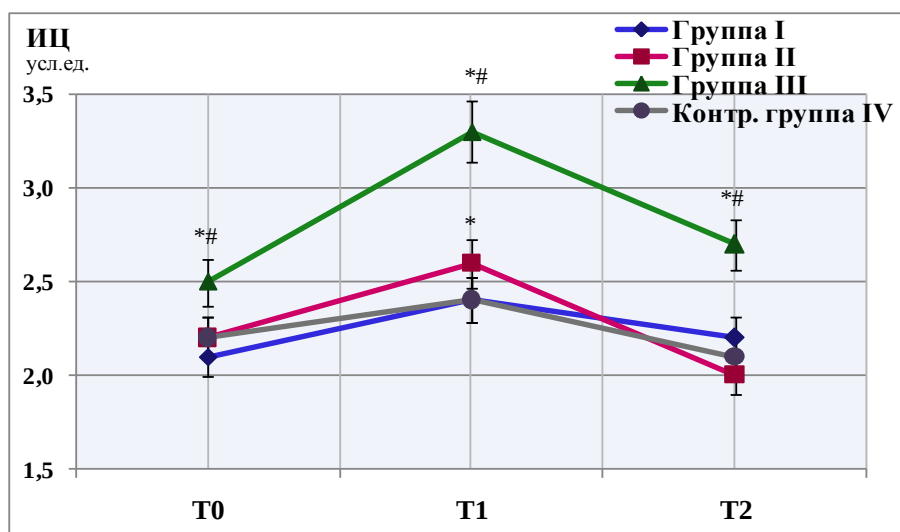


Рис. 14. Линейные диаграммы динамики индекса централизации (ИЦ) у исследуемых групп до умственной нагрузки. Обозначения: T_0 – состояние относительного покоя, T_1 – выполнение теста ПЗМР, T_2 – период восстановления. Линии погрешности показаны с 5% – ой значимостью. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами.

Для ИАП, характеризующего активность подкорковых нервных центров сердечно-сосудистой системы по отношению к более высоким уровням управления, наблюдалась обратная картина. Данный показатель у III группы был значительно меньше, чем у I и II групп. То есть, можно сказать, что III группа в состоянии относительного покоя

характеризовалась несколько высоким напряжением регуляторных систем по сравнению с испытуемыми I и II групп. Это подтверждается и значением показателя k_1 , вычисленного путем автокорреляционного анализа. Известно, что k_1 отражает степень и характер влияния центрального контура на автономный. Несмотря на то, что значение данного показателя у испытуемых III группы было в пределах их возрастной нормы, однако оно достоверно превышало таковое у I и II групп. Так, показатель k_1 у них был больше на 52,3% и на 42,6%, чем у испытуемых I и II групп соответственно ($p < 0,001$ для обеих групп) (рис. 15).

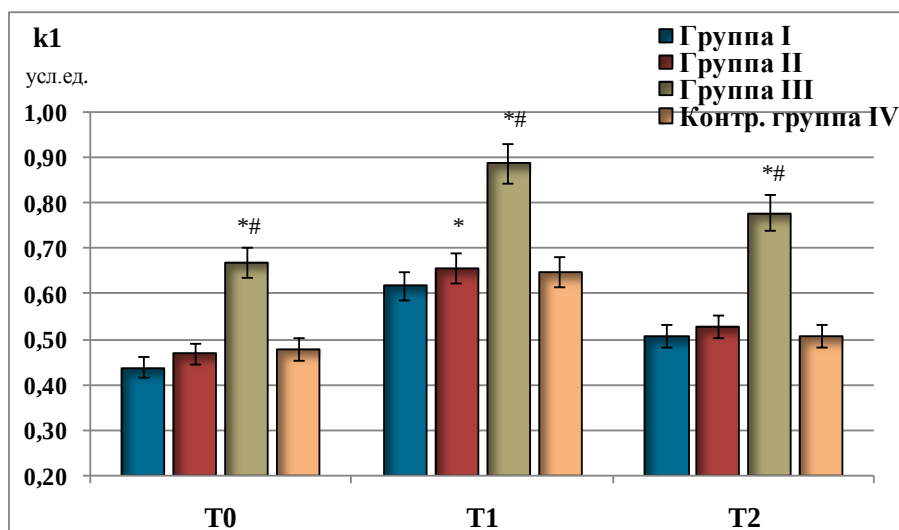


Рис. 15. Диаграммы изменения показателя k_1 у исследуемых групп до умственной нагрузки. Обозначения: T_0 – состояние относительного покоя, T_1 – выполнение теста ПЗМР, T_2 – период восстановления. Линии погрешности показаны с 5% – ой значимостью. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами.

При первом выполнении теста ПЗМР (T_1) до УН у всех групп наблюдалось значительное уменьшение показателя ТР. У I группы значение ТР уменьшилось на 23,0%, у II группы – на 19,3% и у III группы – на 32,1 % ($p < 0,001$ для всех групп). У трех групп также выявлено уменьшение значений абсолютной мощности всех спектральных компонентов. Однако изменения значений относительной мощности VLF, LF и HF у исследуемых групп в T_1 имели неодинаковый характер. У I группы наблюдалось уменьшение показателя HF% на 3% ($p < 0,05$). У II группы значение LF% увеличилось на 3%, а HF% уменьшилось на 4% ($p < 0,05$ для обоих показателей). У испытуемых III группы выявлено увеличение VLF% на 4% ($p < 0,05$) и уменьшение HF% на 5% ($p < 0,01$) (рис. 13). Выполнение теста ПЗМР у всех групп вызвало также увеличение LF/HF, ИЦ и незначительное изменение ИАП. Так, ИЦ у I группы увеличился на 14,3% ($p < 0,01$), у II группы – на 18,2% ($p < 0,01$), а у III группы – на

32,0% ($p < 0,001$) (рис. 14). То есть при выполнении теста ПЗМР у испытуемых трех групп имело место процесс централизации регуляции сердечного ритма, связанный с проявлением напряжения в регуляторных системах. Об этом свидетельствует и увеличение у них показателя k_1 . Как видно из рисунка 15, у I группы показатель k_1 увеличился на 40,9%, у II группы – на 40,4% и у III группы – на 32,8% ($p < 0,001$ для всех групп).

В T_1 II группа отличалась достоверно высоким значением абсолютной мощности VLF по сравнению с I группой. Также у II группы значения ИЦ и k_1 превышали таковые у I группы на 8,3% и на 6,5% соответственно ($p < 0,05$). При первом выполнении теста ПЗМР (T_1) до УН между группами I-III и II-III сохранялась практически та же разница в спектральных показателях, что и в состоянии относительного покоя (T_0). При этом на данном этапе исследования, в отличие от T_0 , для показателя VLF межгрупповых различий не наблюдалось, а для LF/HF была выявлена достоверная разница.

В период восстановления (T_2) у всех групп показатели, изменившиеся в T_1 , достигли значений, соответствующие значениям в состоянии относительного покоя (T_0), что свидетельствует о восстановлении регуляторных систем. В T_2 у II группы отмечалось достоверно высокое значение абсолютной мощности HF по сравнению с I группой. Значение LF% у II группы было на 3% меньше, чем I группы ($p < 0,05$). Испытуемые II группы отличались также низкими значениями LF/HF и ИЦ. Так, значение ИЦ у данной группы было на 9,1% меньше по сравнению с I группой ($p < 0,05$). В T_2 между группами I-III и II-III выявлена та же разница в показателях, что и в T_0 и T_1 .

Динамика спектральных показателей после УН представлена в таблице 10. После УН в T_0 у II группы значение TP было выше на 7,5%, чем у I группы ($p < 0,01$). Данная группа отличалась также значительно высоким показателем VLF по сравнению с I группой. У III группы на данном этапе исследования (T_0), как и на предыдущих, выявлено низкое значение TP, LF и HF по сравнению с I и II группами. Так, значение TP у нее было меньше на 16,6% и 22,4%, чем у I и II групп соответственно ($p < 0,001$ для обеих групп). Значение VLF у III группы достоверно отличалось от такового только по сравнению с I группой.

Таблица 10

Показатели спектрального и автокорреляционного анализов ВСР у исследуемых групп после умственной нагрузки (M±SD)

Группы Показатели	Группа I (n=29)	Группа II (n=33)	р	Группа III (n=26)	р	Контрольная группа IV (n=10)	р
T ₀							
TP (мс ²)	3099,5±189,1	3332,8±231,2	**	2585,5±102,1	*** ###	2682,9±114,7	##
VLF (мс ²)	805,5±52,0	921,9±106,7	*	885,7±62,5	*	775,7±54,4	##
LF (мс ²)	1113,2±82,5	1179,8±149,2	-	932,3±71,3	*** ###	1024,3±70,9	##
HF (мс ²)	1180,8±130,8	1231,0±101,5	-	767,5±48,2	*** ###	882,9±39,4	##
LF/HF	0,9 ±0,1	1,0±0,1	-	1,2±0,1	** ##	1,2±0,1	#
ИЦ (усл.ед.)	1,6±0,2	1,7±0,2	-	2,4±0,2	*** ###	2,0±0,2	##
ИАП (усл.ед.)	1,47±0,12	1,36±0,15	-	1,12±0,11	** ##	1,30±0,10	-
k 1	0,42±0,05	0,43±0,06	-	0,69±0,05	*** ###	0,45±0,04	-
ПАРС (баллы)	2,1±1,0	2,3±0,9	-	3,4±0,9	*** ##	2,4±0,8	-
T ₁							
TP (мс ²)	2627,5±163,7	2865,0±144,7	*	1814,3±117,0	*** ###	2250,0±87,0	##
VLF (мс ²)	737,5±58,2	818,6±72,1	*	671,4±75,2	** ###	698,8±40,2	##
LF (мс ²)	1012,7±83,3	1105,9±114,3	*	734,8±59,5	*** ###	913,1±41,1	#
HF (мс ²)	877,3±102,2	940,5±91,8	-	408,2±49,9	*** ###	638,1±49,8	##
LF/HF	1,2±0,2	1,2±0,2	-	1,8±0,3	*** ###	1,5±0,2	##
ИЦ (усл.ед.)	2,0±0,3	2,1±0,3	-	3,5±0,6	*** ###	2,5±0,2	#
ИАП (усл.ед.)	1,42±0,11	1,30±0,12	-	1,04±0,11	*** ##	1,27±0,13	-
k 1	0,58±0,06	0,60±0,06	-	0,86±0,06	*** ###	0,67±0,06	-
ПАРС (баллы)	3,0±0,9	3,2±1,0	-	4,4±1,2	*** ###	3,5±0,9	-
T ₂							
TP (мс ²)	3030,6±162,8	3297,0±213,4	**	2447,7±145,4	*** ###	2650,0±76,2	##
VLF (мс ²)	797,1±56,8	889,3±94,4	*	812,7±81,3	#	732,5±38,5	##
LF (мс ²)	1068,5±103,9	1133,3±147,4	-	932,7±119,3	** ###	990,6±63,5	##
HF (мс ²)	1165,0±118,7	1274,3±121,5	*	702,3±57,0	*** ###	926,9±45,1	##
LF/HF	0,9±0,1	0,9±0,1	-	1,4±0,2	** ##	1,1±0,1	#
ИЦ (усл.ед.)	1,6±0,2	1,6±0,2	-	2,5±0,3	*** ###	1,9±0,1	#
ИАП (усл.ед.)	1,46±0,20	1,38±0,15	-	1,10±0,22	** ##	1,33±0,14	-
k 1	0,48±0,06	0,46±0,04	-	0,73±0,05	*** ###	0,49±0,05	-
ПАРС (баллы)	2,2±0,9	2,3±0,9	-	3,3±0,8	*** ###	2,3±0,9	-

Примечание: расшифровку аббревиатур см. в разделе «Материал и методы». T₀ – состояние покоя, T₁ – выполнение теста ПЗМР, T₂ – период восстановления. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами, II и контрольной группами. Достоверность: *, **, *** – p<0,05, p<0,01, p<0,001 соответственно.

В отношении значений относительной мощности наблюдалась следующая картина. Значение VLF% у III группы было больше на 8% (p<0,001) и 6% (p<0,01), а значение HF% – меньше на 8% (p<0,001) и 7% (p<0,01), чем у I и II групп соответственно. Для показателя LF% достоверной разницы между группами не наблюдалось (рис. 16).

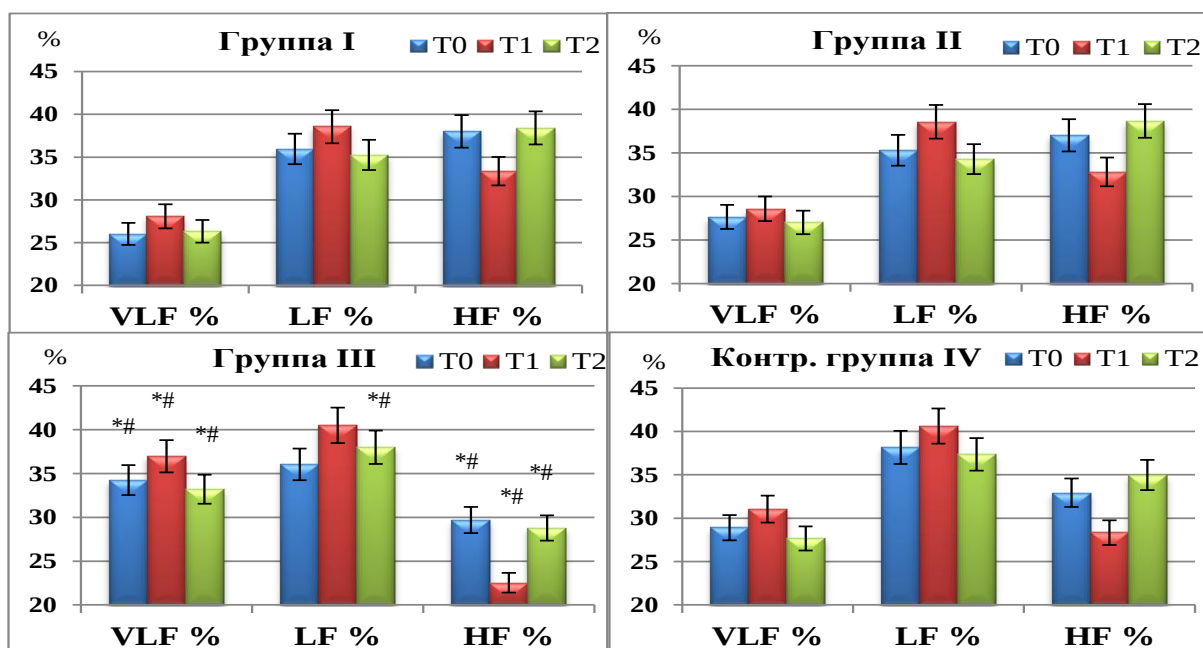


Рис. 16. Диаграммы относительных значений спектральных компонентов у исследуемых групп после умственной нагрузки. Обозначения: VLF – очень низкочастотный компонент, LF – низкочастотный компонент, HF – высокочастотный компонент, T₀ – состояние покоя, T₁ – выполнение теста ПЗМР, T₂ – период восстановления. Проценты определены из общей спектральной мощности компонентов. Линии погрешности показаны с 5% – ой значимостью. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами.

Испытуемые III группы в T₀ после УН отличались достоверно высокими значениями LF/HF, ИЦ и низким значением ИАП по сравнению с I и II группами. Так, значение ИЦ у III группы было больше на 50,0% и на 41,2%, чем у I и II групп соответственно (p<0,001 для обеих групп) (рис. 17).

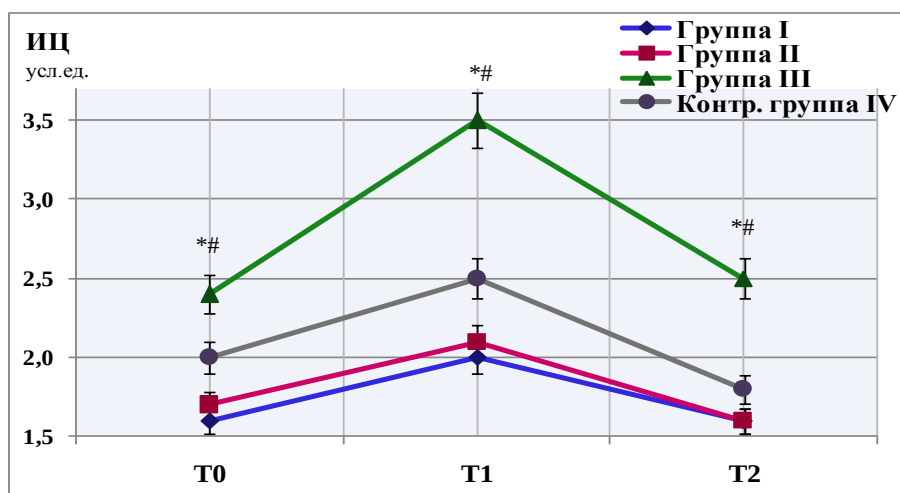


Рис. 17. Линейные диаграммы динамики индекса централизации (ИЦ) у исследуемых групп после умственной нагрузки. Обозначения: T₀ – состояние относительного покоя, T₁ – выполнение теста ПЗМР, T₂ – период восстановления. Линии погрешности показаны с 5% – ой значимостью. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами.

Также выявлены достоверные межгрупповые различия для показателя k_1 . Значение k_1 у III группы превышало таковое у I и II групп на 64,3% и на 60,5% соответственно ($p < 0,001$ для обеих групп) (рис. 18).

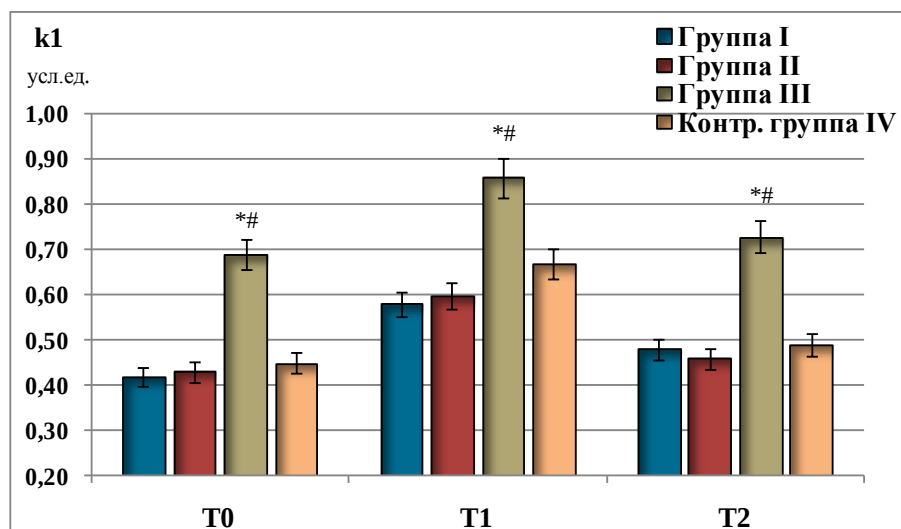


Рис. 18. Диаграммы изменения показателя k_1 у исследуемых групп после умственной нагрузки. Обозначения: T_0 – состояние относительного покоя, T_1 – выполнение теста ПЗМР, T_2 – период восстановления. Линии погрешности показаны с 5% – ой значимостью. * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами.

Второе выполнение теста ПЗМР после УН (T_1) привело к схожим изменениям показателей у исследуемых групп, что и первое выполнение. Здесь также наблюдалось уменьшение как общей мощности спектра (TP), так и абсолютной мощности всех спектральных компонентов. Значительные изменения в T_1 выявлены для показателей относительной мощности спектральных компонентов. У всех групп наблюдалось увеличение значений LF% и уменьшение HF%. Так, значение LF% у I группы увеличилось на 3% ($p < 0,05$), у II группы – на 4% ($p < 0,05$) и у III группы – на 5% ($p < 0,01$). При этом значение HF% у данных групп уменьшилось на 5% ($p < 0,01$), на 4% ($p < 0,05$) и на 7% ($p < 0,001$) соответственно. Увеличение значения VLF% отмечалось только у III группы на 3 % ($p < 0,05$) (рис. 16). При выполнении теста ПЗМР у трех групп наблюдалось также достоверное увеличение LF/HF и ИЦ и незначительное изменение ИАП. Так, у I группы ИЦ увеличился на 25,0% ($p < 0,01$), у II группы – на 23,5% ($p < 0,01$), а у III группы – на 45,8% ($p < 0,001$) (рис. 17). То есть второе выполнение теста ПЗМР у испытуемых трех групп привело к более выраженному изменению показателей ВСР, чем первое выполнение. Это подтверждается и

достоверным увеличением у них показателя $k1$: у I группы – на 38,1%, у II группы – на 39,5% и у III группы – на 24,6% ($p < 0,001$ для всех групп) (рис. 18).

В T_1 II группа отличалась высокими значениями TP, VLF и LF по сравнению с I группой. Между группами I-III и II-III в T_1 достоверная разница наблюдалась во всех показателях, кроме LF%. Значение как TP, так и VLF, LF, HF у III группы были значительно ниже, чем у I и II групп. Так, значение TP у III группы было меньше на 30,9% и на 36,7% по сравнению с I и II группами ($p < 0,001$ для обеих групп). Данная группа отличалась также высоким значением VLF% и низким – HF%. Значение VLF% у III группы превышало таковое у I и II групп на 9% и на 8% соответственно, а значение HF% было меньше на 10% по сравнению с обеими группами ($p < 0,001$ для двух показателей обеих групп). В отношении LF/HF, ИЦ, ИАП и $k1$ наблюдалась та же межгрупповая разница, что и на предыдущих этапах исследования.

К концу исследования в T_2 у всех групп наблюдалось восстановление значений всех показателей, изменившихся при выполнении теста ПЗМР. В период восстановления у II группы отмечались достоверно высокие значения TP, VLF и HF по сравнению с I группой. В отношении других показателей между данными группами различий не наблюдалось. Между группами I-III и II-III выявлены те же различия в показателях, что и в T_1 после УН, лишь с небольшим отличием. Достоверная разница в показателе VLF была обнаружена только между II и III группами, с его большим значением у II группы. Здесь также наблюдалось достоверно высокое значение LF% у III группы по сравнению с I и II группами.

При сравнении соответствующих этапов исследования до и после УН (T_0 - T_0 , T_1 - T_1 , T_2 - T_2) были обнаружены следующие изменения спектральных показателей у исследуемых групп. У I и II групп после УН в T_0 наблюдалось увеличение значений TP и абсолютной мощности всех спектральных компонентов по сравнению с T_0 до УН. Так, значение TP у I группы увеличилось на 13,8% и у II группы на 26,0% ($p < 0,001$ для обеих групп). Кроме этого, у обеих групп значение LF% снизилось на 3% ($p < 0,05$), а значение HF% повысилось на 5% ($p < 0,01$). Для показателя VLF% у I и II групп достоверной разницы между этапами не наблюдалось (рис. 13, 16). Также у двух групп отмечалось снижение значений LF/HF и ИЦ. В частности, значение ИЦ в T_0 после УН у I группы было меньше на 23,8% и у II группы на 22,7% по сравнению с T_0 до УН ($p < 0,001$ для обеих групп) (рис. 14, 17). У данных групп УН

не вызвала существенных изменений значений ИАП и k_1 . Характер изменения показателей у I и II групп на двух остальных этапах исследования после УН, по сравнению со состоянием до УН, был схожий. У III группы после УН на всех этапах исследования, по сравнению со состоянием до УН, достоверных различий между всеми рассмотренными показателями не выявлено.

На первых трех этапах исследования между II и контрольной группами достоверной разницы в спектральных показателях не обнаружено. У контрольной группы как при первом, так и при втором выполнении теста ПЗМР, изменения спектральных показателей имели практически одинаковый характер с таковыми у II группы. У испытуемых контрольной группы наблюдалось уменьшение как общей мощности спектра (TP), так и абсолютной мощности всех спектральных компонентов. Однако увеличение значения LF% и уменьшение HF% у данной группы происходило только при втором выполнении теста ПЗМР. При первом его выполнении данные показатели не изменялись. Кроме изменения вышеперечисленных показателей у контрольной группы выявлено также увеличение LF/HF, ИЦ и k_1 . Как после первого, так и после второго выполнения теста ПЗМР (T_2) у контрольной группы происходило восстановление значений показателей, изменившихся в T_1 . При сравнении этапов исследования T_0 - T_0 , T_1 - T_1 , T_2 - T_2 , до и после отдыха соответственно, у контрольной группы изменений показателей не происходило. После отдыха на трех этапах исследования у контрольной группы наблюдались достоверно низкие значения TP, VLF, LF, HF и HF% и высокие значения LF%, LF/HF и ИЦ по сравнению со II группой. В показателях VLF%, ИАП и k_1 между данными группами разницы не наблюдалось.

Таким образом, в состоянии относительного покоя до УН у испытуемых I и II групп наблюдалось оптимальное состояние регуляторных систем, о чем свидетельствует комплексный анализ показателей ВСР. Значения исследуемых показателей у двух групп находились в пределах возрастной нормы. Однако у испытуемых III группы уже в состоянии относительного покоя отмечалось некоторое напряжение регуляторных систем, на что указывают низкие значения SDNN, Δx и высокие значения АМо и ИН по сравнению с нормативными значениями. Испытуемые III группы отличались также низкими, по сравнению с нормой, значениями общей мощности спектра и абсолютной мощности высокочастотного компонента. Описанное состояние у исследуемых групп подтверждается и

интегральным показателем – ПАРС. Значения ПАРС у I и II групп соответствовали состоянию рабочего напряжения (ПАРС=2,3 балла и ПАРС=2,5 балла соответственно), а у III группы – состоянию умеренного напряжения регуляторных систем (ПАРС=3,3 балла).

Межгрупповой анализ состояния регуляторных систем сердечной деятельности показал, что в состоянии относительного покоя у старшей возрастной группы, по сравнению с I и II группами, отмечено статистически значимое снижение SDNN и Δx , что говорит об уменьшении вариативности сердечного ритма, то есть у испытуемых этой группы наблюдается стабилизация сердечного ритма. У испытуемых III группы обнаружено увеличение вклада симпатической нервной системы в регуляцию сердечного ритма, о чем свидетельствуют высокие значения АМо, ИВР, ВПР и ПАПР. С возрастом происходит также снижение общей мощности спектра (TP) за счет уменьшения LF и HF компонентов и увеличение как абсолютного, так и относительного значения VLF. Данные изменения у III группы говорят о преобладании центральных механизмов регуляции сердечной деятельности над автономными, на что указывали высокие значения ИН, ИЦ, k1 и низкое значение ИАП по сравнению с I и II группами. Итак, согласно полученным результатам, с возрастом происходят изменения в регуляторных механизмах сердечно-сосудистой системы. Данные возрастные изменения показателей ВСР согласуются с результатами работ других авторов (Балашова Н.В. и др., 2008; Acharya U.R. et al., 2004; Zhang J., 2007; Park S.B. et al., 2007; Voss A. et al., 2012).

При первом выполнении теста ПЗМР у всех групп выявлено уменьшение вариативности сердечного ритма, что подтверждается снижением у них SDNN и Δx . Выполнение теста вызвало повышение значений параметров, являющихся маркерами симпатического отдела ВНС, а именно АМо, ИВР и ПАПР. Во время выполнения теста у исследуемых групп отмечалось также снижение общей мощности спектра (TP) за счет уменьшения всех его компонентов, но в большей мере за счет уменьшения высокочастотного компонента. Ряд авторов рассматривает снижение общей мощности спектра как понижение уровня ФС организма (Михайлов В.М., 2002; Федорова М.З. и др., 2005; Синицкая Е.Ю. и др., 2012). Помимо уменьшения абсолютной мощности HF компонента у трех групп выявлено также снижение его относительной мощности. При выполнении теста ПЗМР увеличилось значение LF/HF. На усиление центральных влияний в регуляции сердечной

деятельности и снижение вклада парасимпатического отдела ВНС в регуляцию функций во время теста ПЗМР указывает и значительный рост ИН, ИЦ и k1 у трех групп. Кроме вышеперечисленных изменений показателей у II группы обнаружено увеличение LF%, а у III группы – VLF%. По мнению ряда авторов VLF компонент может использоваться как надежный маркер степени связи автономных (сегментарных) уровней регуляции сердечного ритма с надсегментарными, в том числе с гипоталамо-гипофизарным и корковым уровнями (Снежицкий В.А., 2004; Крылова И.Ф. и др., 2015). Амплитуда VLF компонента тесно связана с психоэмоциональным напряжением и ФС коры головного мозга, что в совокупности с динамикой ИЦ указывает на относительное усиление симпатического тонуса (Лямина А.В. и др., 2011). Подобные изменения показателей ВСР при функциональных нагрузках как ментального («счет в уме», реакция выбора и т.д.), так и психомоторного характера были показаны и в ряде других работ (Wang Z.L. et al., 2005; Cinaz B. et al., 2010; Murray N.P. et al., 2012; Pendleton D.M. et al., 2016).

Таким образом, описанные изменения показателей ВСР при выполнении теста ПЗМР свидетельствуют о повышении тонуса симпатического отдела ВНС, активности центрального контура регуляции сердечной деятельности, некотором напряжении регуляторных механизмов в процессе выполнения теста ПЗМР у исследуемых групп, что наиболее выражено у III группы. Это подтверждается и повышением ПАРС, значения которого при выполнении теста у I и II групп соответствовали состоянию умеренного напряжения регуляторных систем, когда для адаптации к изменяющимся условиям организму требуются дополнительные функциональные резервы (ПАРС=3,3 балла и ПАРС=3,6 балла соответственно), а у III группы – состоянию выраженного напряжения, которое связано с активной мобилизацией защитных механизмов (ПАРС=4,2 балла).

После выполнения теста ПЗМР у исследуемых групп наблюдалось восстановление работы регуляторных систем. Несмотря на это, у III группы в период восстановления центральные механизмы регуляции преобладали над автономными, как и в состоянии относительного покоя.

При втором выполнении теста ПЗМР после УН у всех исследуемых групп, как и при первом его выполнении, отмечался сдвиг вегетативного баланса в сторону преобладания симпатической активности и усиление централизации управления ритма сердца. Хотя

характер изменений показателей был одинаковый, но их выраженность была несколько больше при втором выполнении теста. Это, скорее всего, объясняется проявлением признаков утомления, при котором организму понадобилось больше функциональных резервов для достижения и сохранения определенного уровня работоспособности.

На последнем этапе исследования у всех групп наблюдалось полное восстановление показателей ВСР, изменившихся при втором выполнении теста ПЗМР, и возвращение к исходному состоянию (T_0 после УН), а именно, у I и II групп отмечалось оптимальное состояние регуляторных систем (ПАРС=2,2 балла и ПАРС=2,3 балла соответственно) и у III группы – умеренное напряжение регуляторных систем (ПАРС=3,3 балла).

Динамика показателей ВСР рассматривалась и после продолжительной УН (60 минут). Результаты исследования показали, что у испытуемых I и II групп отмечалось увеличение SDNN и Δx , что говорит об увеличении вариативности сердечного ритма. У обеих групп выявлено также уменьшение ИВР и ВПР, а у II группы еще и снижение АМо, ПАПР и ИН. Однако, если у I группы изменялись не все временные и гистографические показатели, по сравнению со II группой, то в отношении изменения спектральных показателей между данными группами разницы не наблюдалось. Здесь у обеих групп под влиянием длительной УН произошло увеличение общей мощности спектра (ТР) за счет увеличения всех его компонентов, а также увеличение относительной мощности высокочастотного компонента. Однако такие показатели, как относительная мощность низкочастотного компонента, соотношение LF/HF и ИЦ у них уменьшились. Полученные статистически значимые изменения показателей ВСР указывают на смещение вегетативного баланса в сторону преобладания парасимпатического влияния, усиление активности автономного контура регуляции сердечного ритма. Некоторые исследователи объясняют подобную реакцию как один из факторов индивидуальной устойчивости организма к возможным нарушениям работы сердечно-сосудистой системы в условиях информационной нагрузки, с одной стороны, а также как объективное снижение работоспособности и ощущение субъективного дискомфорта, с другой стороны (Артеменков А.А., 2007; Баринаева М.О. и др., 2009).

У испытуемых III группы после длительной УН показатели ВСР не изменялись, что говорит о стабильности сердечного ритма, связанной с наличием напряжения в

регуляторных системах. Подобное состояние, скорее всего, объясняется отсутствием у них достаточных функциональных резервов и, следовательно, низкими адаптационными возможностями. Это выражается и низкой ВСР, повышенным тонусом симпатического отдела ВНС и умеренным напряжением регуляторных систем даже в условиях относительного покоя.

У испытуемых контрольной группы после отдыха, в отличие от испытуемых II группы после длительной УН, показатели ВСР не изменялись, что говорит об отсутствии существенных изменений в системе регуляции сердечной деятельности. Очевидно, что вышеописанные изменения после УН у исследуемых групп обусловлены влиянием умственной деятельности.

Итак, полученные результаты изменения показателей ВСР позволяют нам выделить три варианта регуляции сердечного ритма. Первый тип регуляции, проявляющийся ростом АМо, ИВР, ИН, снижением SDNN и уменьшением спектральных составляющих сердечного ритма, то есть преобладанием симпатической активности, выявлен у всех групп при выполнении теста ПЗМР, который можно рассматривать как некий слабый стресс-фактор (рис. 19).

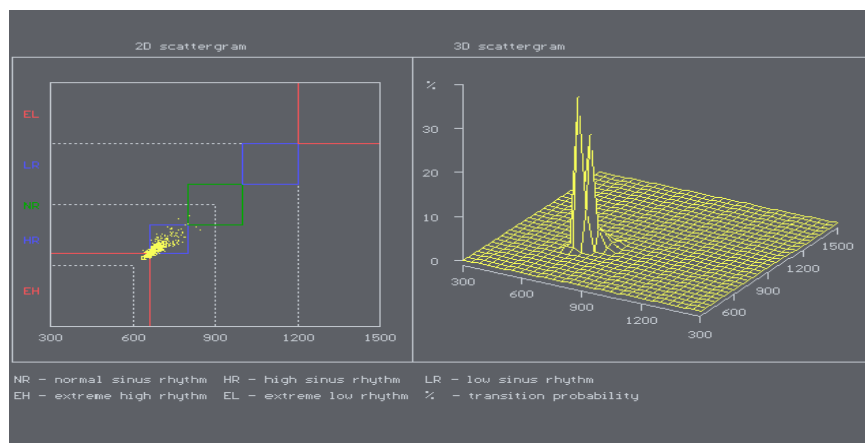


Рис. 19. Образец корреляционной ритмограммы сердечного ритма с преобладанием симпатической активности.

Второй тип регуляции проявлялся у испытуемых I и II групп при воздействии продолжительной УН в виде снижения АМо, ИВР, ИН, роста SDNN и усиления мощности двух или трех составляющих спектра, то есть преобладания парасимпатической активности (рис. 20). Подобный тип регуляции, скорее всего, связан с проявлениями признаков утомления.

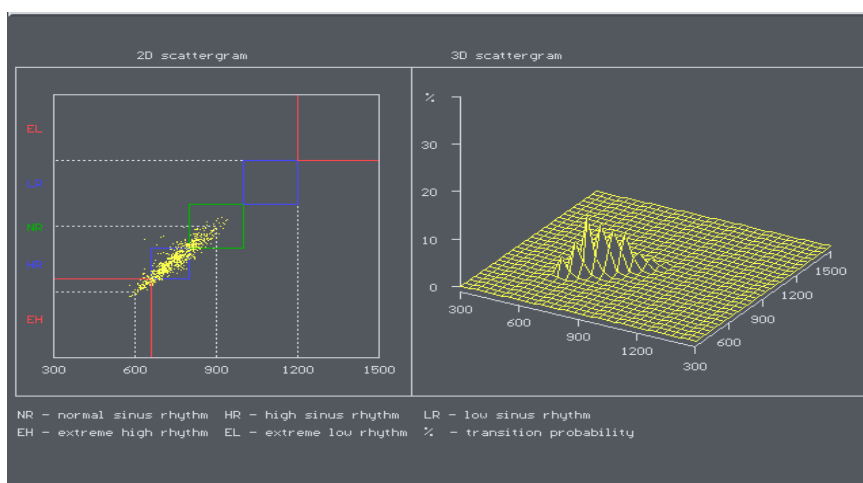


Рис. 20. Образец корреляционной ритмограммы сердечного ритма с преобладанием парасимпатической активности.

Подобные типы регуляции сердечного ритма с противоположными изменениями его параметров во время информационной нагрузки были описаны и в работах Е.Л. Ларионовой с соавт. и Е.Ю. Сеницкой, причем второй из них рассматривался как электрокардиографический компонент ориентировочного рефлекса (Ларионова Е.Л. и др., 2005; Сеницкая Е.Ю., 2006). Однако в их работах данные типы регуляции проявлялись у разных лиц при одной и той же информационной нагрузке. В нашей работе каждый вариант регуляции проявлялся у одних и тех же групп испытуемых при выполнении различных типов функциональных нагрузок с разной длительностью.

Нами выявлен и третий тип регуляции сердечного ритма, который был характерен для старшей возрастной группы (рис. 21).

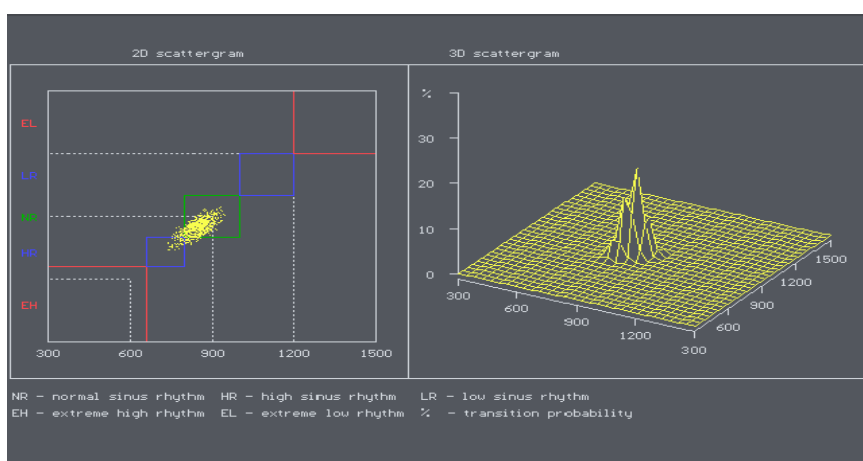


Рис. 21. Образец корреляционной ритмограммы сердечного ритма с сохранением определенного уровня централизации.

Данный тип регуляции проявлялся стабильностью показателей ВСР после длительной УН. Подобная реакция сердечного ритма в известных нам литературных источниках ранее не была описана.

Таким образом, комплексный анализ ВСР выявил как межгрупповые возрастные различия в механизмах регуляции сердечной деятельности, так и изменения ВСР при различных типах функциональных нагрузок с разной длительностью.

3.3.3. Исследование показателей системной гемодинамики до и после умственной нагрузки у исследуемых возрастных групп

Для многосторонней оценки ФС организма в работе рассматривались также возрастные особенности и изменения показателей системной гемодинамики, которые, как известно, являются универсальными индикаторами адаптационных процессов в организме. Следует отметить, что показатели гемодинамики рассчитывались исходя из результатов четырехразового измерения ЧСС и АД в определенные этапы исследования.

Анализ основных показателей системной гемодинамики выявил следующие межгрупповые различия до и после УН (табл. 11, 12). При первом измерении ЧСС в состоянии относительного покоя обнаружено достоверно низкое ее значение у I группы по сравнению со II и III группами ($p < 0,05$ для обеих групп). Для значений САД и ДАД межгрупповых различий не обнаружено. Испытуемые II группы отличались высокими значениями УО и МОК по сравнению с испытуемыми I и III групп. Так, показатели УО и МОК у них были больше на 25,5% и на 33,7% ($p < 0,001$ для обоих показателей), чем у испытуемых I группы и на 17,8% ($p < 0,001$) и на 15,1% ($p < 0,01$), чем у испытуемых III группы. При этом значение ОПСС у II группы было наименьшим. Надо отметить, что в показателях УО и ОПСС между I и III группами различий не наблюдалось. Однако значение МОК у III группы было больше на 16,2% ($p < 0,05$), чем у I группы.

При трех остальных измерениях ЧСС и АД были выявлены те же межгрупповые различия в показателях гемодинамики, что и при первом их измерении, лишь с небольшим отличием при третьем измерении (состояние покоя после УН). Здесь для показателя ЧСС межгрупповых различий не наблюдалось. Если в показателе УО между I и III группами не

было значимых различий, то на данном этапе исследования у III группы обнаружено достоверно высокое его значение ($p<0,05$) по сравнению с I группой.

Таблица 11

Показатели системной гемодинамики у исследуемых групп до умственной нагрузки
($M\pm SD$)

Группы Показатели	Группа I (n=29)	Группа II (n=33)	p	Группа III (n=26)	p	Контрольная группа IV (n=10)	p
I измерение ЧСС и АД (состояние относительного покоя)							
ЧСС (уд/мин)	72,4±8,1	77,0±8,1	*	78,4±9,6	**	77,±7,3	-
САД (мм.рт.ст.)	109,8±12,2	108,3±12,3	-	108,4±11,7	-	107,0±19,7	-
ДАД (мм.рт.ст.)	70,9±9,4	66,9±8,6	-	69,5±9,8	-	69,4±10,7	-
УО (мл)	59,7±7,9	74,9±9,5	***	63,6±14,8	###	70,6±8,8	-
МОК (мл/мин)	4311,8±696,4	5766,8±904,2	***	5009,4±942,2	*##	5447,8±869,5	-
ОПСС (дин/с*см ⁵)	1602,0±346,6	1157,2±286,4	***	1457,4±562,8	#	1224,4±249,0	-
ВПК (усл.ед.)	1,04±0,29	1,27±0,32	**	1,25±0,40	*	1,16±0,30	-
ПЕРВОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ТЕСТА ПЗМР							
II измерение ЧСС и АД (период восстановления)							
ЧСС (уд/мин)	72,8±7,8	77,3±8,2	*	77,5±9,2	*	72,6±6,8	-
САД (мм.рт.ст.)	101,2±10,8	102,8±11,1	-	105,6±12,2	-	106,0±15,0	-
ДАД (мм.рт.ст.)	66,5±8,7	66,0±8,8	-	69,3±9,3	-	67,5±9,7	-
УО (мл)	60,0±6,9	72,4±10,2	***	61,7±12,7	###	72,6±12,6	-
МОК (мл/мин)	4342,4±554,7	5576,7±853,9	***	4778,4±930,4	*##	5274,7±995,1	-
ОПСС (дин/с*см ⁵)	1464,2±269,0	1158,9±282,3	***	1479,7±553,2	##	1269,4±314,3	-
ВПК (усл.ед.)	1,00±0,22	1,18±0,29	**	1,16±0,30	*	1,06±0,33	-

Примечание: расшифровку аббревиатур см. в разделе «Материал и методы». * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами, II и контрольной группами. Достоверность: *, **, *** – $p<0,05$, $p<0,01$, $p<0,001$ соответственно.

То есть, можно сказать, что наименьшие показатели ЧСС и МОК были у I группы, причем значения ЧСС у II и III групп не отличались. Наибольшие значения УО, МОК и наименьшая величина ОПСС обнаружены у II группы. При этом параметры УО и ОПСС не имели различий между I и III группами.

Выявленная четкая закономерность межгрупповых различий показателей гемодинамики хорошо отражается и в ВПК, по которому, как отмечалось в главе «Материал и методы исследования», определяется тип вегетативной реакции испытуемого. Значение ВПК при первом измерении ЧСС и АД у I группы было достоверно меньше по сравнению со II и III группами на 18,1% ($p<0,01$) и на 16,8% ($p<0,05$) соответственно. При этом у I группы

значение данного показателя практически при всех измерениях ЧСС и АД соответствовало состоянию эйтонии, а у II и III групп – легко выраженной симпатикотонии.

Таблица 12

Показатели системной гемодинамики у исследуемых групп после умственной нагрузки
(M±SD)

Группы Показатели	Группа I (n=29)	Группа II (n=33)	p	Группа III (n=26)	p	Контрольная группа IV (n=10)	p
III измерение ЧСС и АД (состояние покоя после УН)							
ЧСС (уд/мин)	73,7±7,9	73,8±7,5	-	75,7±8,8	-	72,6±7,7	-
САД (мм.рт.ст.)	100,3±12,0	103,3±12,6	-	103,3±11,3	-	110,9±17,0	-
ДАД (мм.рт.ст.)	69,3±8,4	66,4±7,4	-	67,9±8,8	-	71,0±10,3	-
УО (мл)	56,3±6,1	72,2±8,4	***	62,1±11,1	*###	71,2±7,3	-
МОК (мл/мин)	4156,3±662,0	5331,2±851,9	***	4719,5±969,5	*#	5138,8±495,8	-
ОПСС (дин/с*см ⁵)	1579,5±352,6	1215,9±263,6	***	1449,0±465,1	##	1325,8±246,5	-
ВПК (усл.ед.)	0,94±0,27	1,08±0,28	*	1,11±0,35	*	1,04±0,22	-
ВТОРОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ТЕСТА ПЗМР							
IV измерение ЧСС и АД (период восстановления)							
ЧСС (уд/мин)	71,0±7,2	74,0±6,3	*	76,2±9,0	*	71,9±6,1	-
САД (мм.рт.ст.)	102,1±12,3	103,8±13,7	-	105,8±12,1	-	104,9±14,4	-
ДАД (мм.рт.ст.)	70,3±10,9	66,7±8,0	-	70,5±9,0	-	70,4±9,3	-
УО (мл)	56,2±8,1	72,1±8,8	***	59,6±10,7	###	67,8±5,7	-
МОК (мл/мин)	3986,1±696,1	5334,9±809,2	***	4539,9±965,9	*##	4861,0±461,9	-
ОПСС (дин/с*см ⁵)	1698,2±488,8	1225,3±313,6	***	1533,1±441,0	##	1362,3±252,8	-
ВПК (усл.ед.)	0,88±0,25	1,08±0,24	**	1,08±0,32	**	0,94±0,16	-

Примечание: расшифровку аббревиатур см. в разделе «Материал и методы». * – достоверность различий между I и II, I и III группами, # – достоверность различий между II и III группами, II и контрольной группами. Достоверность: *, **, *** – $p<0,05$, $p<0,01$, $p<0,001$ соответственно.

После первого выполнения теста ПЗМР до УН, в период восстановления, у I группы отмечалось достоверное снижение параметров САД, ДАД и ОПСС на 7,8% ($p<0,01$), на 6,2% ($p<0,05$) и на 8,6% ($p<0,05$) соответственно. У II группы обнаружено лишь уменьшение САД на 5,1% ($p<0,05$). У III группы достоверных изменений показателей гемодинамики после первого выполнения теста ПЗМР не выявлено. Второе выполнение теста ПЗМР после УН не привело к значимым изменениям показателей ни у одной группы.

При сравнении показателей гемодинамики при первом-третьем и втором-четвертом измерении АД и ЧСС, до и после УН соответственно, были обнаружены следующие их изменения у исследуемых групп. У испытуемых I группы в состоянии покоя после УН значения САД и УО были меньше на 8,7% ($p<0,01$) и на 5,7% ($p<0,05$), чем в состоянии

относительного покоя до УН. У II группы при третьем измерении наблюдалось снижение таких показателей, как САД и МОК, по сравнению с первым измерением, на 4,6% ($p<0,05$) и на 7,6 % ($p<0,01$) соответственно. У данной группы также наблюдалось уменьшение ВПК на 15,0% ($p<0,01$). В период восстановления после второго выполнения теста ПЗМР (после УН) у I группы выявлено значительное снижение показателей УО, МОК и увеличение ОПСС по сравнению со значениями данных показателей после первого выполнения теста ПЗМР до УН. Значение УО у нее уменьшилось на 6,3% ($p<0,05$), МОК – на 8,2% ($p<0,05$), при этом значение ОПСС увеличилось на 16,0% ($p<0,01$). Если у испытуемых данной группы в период восстановления после второго выполнения теста ПЗМР до УН значение ВПК соответствовало состоянию эйтонии, то после УН при последнем четвертом измерении его значение уменьшилось на 12,0% ($p<0,05$) и соответствовало уже состоянию легко выраженной ваготонии. У II группы при сравнении показателей на этих двух этапах исследования отмечалось лишь снижение ЧСС на 4,3% ($p<0,05$). У III группы после УН на всех этапах исследования, по сравнению со состоянием до УН, достоверных различий между всеми показателями системной гемодинамики не выявлено.

Между II и контрольной группами при четырех измерениях ЧСС и АД различий в показателях системной гемодинамики не наблюдалось. У испытуемых контрольной группы, как и у испытуемых II группы, значения показателей гемодинамики в период восстановления не отличались от таковых в период относительного покоя. У контрольной группы после отдыха, в отличие от II группы после УН, изменений в показателях системной гемодинамики не отмечалось.

Таким образом, сравнительный анализ показателей системной гемодинамики выявил некоторые межгрупповые различия. Так, у испытуемых I группы при всех четырех измерениях ЧСС и АД отмечались низкие значения УО, МОК и высокое значение ОПСС при низкой ЧСС по сравнению с испытуемыми II и III групп. Известно, что показатель УО характеризует адаптивные возможности сердечно-сосудистой системы и систолическую активность миокарда, а ОПСС – степень согласованности работы центральных и периферических звеньев кровообращения и зависит от тонуса и проходимости резистивных сосудов. Подобное проявление показателей гемодинамики у испытуемых I группы указывает на наиболее благоприятный и эффективный, то есть нормотонический тип регуляции работы

сердца, при котором организму требуется меньше энергии для нормального кровоснабжения (Цыганок А.В. и др., 2006). У II и III групп высокие значения УО и МОК, а также низкое значение ОПСС достигаются, скорее всего, за счет высокого значения ЧСС, что приводит у них к менее экономичному режиму работы сердца – гиперкинетический тип ее регуляции. Полученные данные согласуются и с ВПК, значение которого у I группы соответствовало состоянию эйтонии, а у II и III групп – легко выраженной симпатикотонии.

Низкие значения УО, МОК и высокое значение ОПСС у III группы, по сравнению со II группой, при одинаковых значениях ЧСС, свидетельствуют о меньших адаптивных возможностях сердечно-сосудистой системы и низких резервах сократительной функции миокарда у испытуемых III группы. Подобные возрастные изменения показателей у испытуемых III группы, а именно низкое значение МОК и высокое значение ОПСС в литературных источниках объясняются некоторыми изменениями сердечной деятельности, уменьшением радиуса сосудов и увеличением вязкости крови с возрастом (Кубарко А.И. и др., 2012).

Несмотря на то, что исследуемые группы отличаются типами кровообращения, однако уровень АД у них одинаковый. Это говорит о том, что в зависимости от типа кровообращения механизмы поддержания одинакового уровня АД различны (Артамонов В.Н., 1998).

После первого выполнения теста ПЗМР в период восстановления у I группы значения САД, ДАД и ОПСС, а у II группы только САД, были меньше, чем в состоянии относительного покоя. После второго выполнения теста ПЗМР значения показателей гемодинамики у всех групп не отличались от таковых в состоянии покоя после УН.

После УН у I группы выявлено уменьшение значений САД, УО, МОК и увеличение значения ОПСС, а у II группы – уменьшение ЧСС, САД, МОК. Подобные изменения показателей системной гемодинамики отражаются и в уменьшении ВПК, которое указывает на усиление парасимпатических влияний на работу сердца. Данные изменения показателей гемодинамики согласуются с изменениями показателей ВСР, вызванные УН. У III группы обнаружена стабильность показателей гемодинамики после УН. С возрастом происходят существенные изменения в функционировании гемодинамического центра, а именно снижение его лабильности. Данные изменения ухудшают адаптационные механизмы,

обеспечивающие переход сердечно-сосудистой системы на новый уровень деятельности. Это все приводит к длительному латентному периоду гемодинамических реакций (Кубарко А.И. и др., 2012).

Таким образом, превалирование активности симпатического или парасимпатического звена регуляции, то есть изменение вегетативного равновесия в ту или иную сторону, является результатом многоуровневой реакции системы регуляции сердечной деятельности, изменяющей во времени свои параметры для достижения оптимального приспособительного ответа, отражающего адаптационную реакцию целостного организма. Считаем, что выявленные нами изменения сердечной деятельности и системной гемодинамики являются следствием адаптационной реакции системы кровообращения в зависимости от характера и длительности функциональной нагрузки.

3.4. Сравнительный анализ характеристик исследуемых процессов

3.4.1. Взаимосвязи показателей, характеризующих сенсомоторную и вегетативную сферы регуляции

Для выяснения функциональных взаимоотношений процессов, характеризующих сенсомоторную и вегетативную сферы регуляции, нами проводился корреляционный анализ между отдельными показателями ПЗМР при первом выполнении теста, ВСР в состоянии относительного покоя и системной гемодинамики при первом измерении ЧСС и АД, то есть без воздействия функциональных нагрузок, у трех возрастных групп.

На рисунке 22 представлены корреляционные отношения между показателями времени, стабильности сенсомоторного реагирования и функциональными показателями ПЗМР у исследуемых групп.

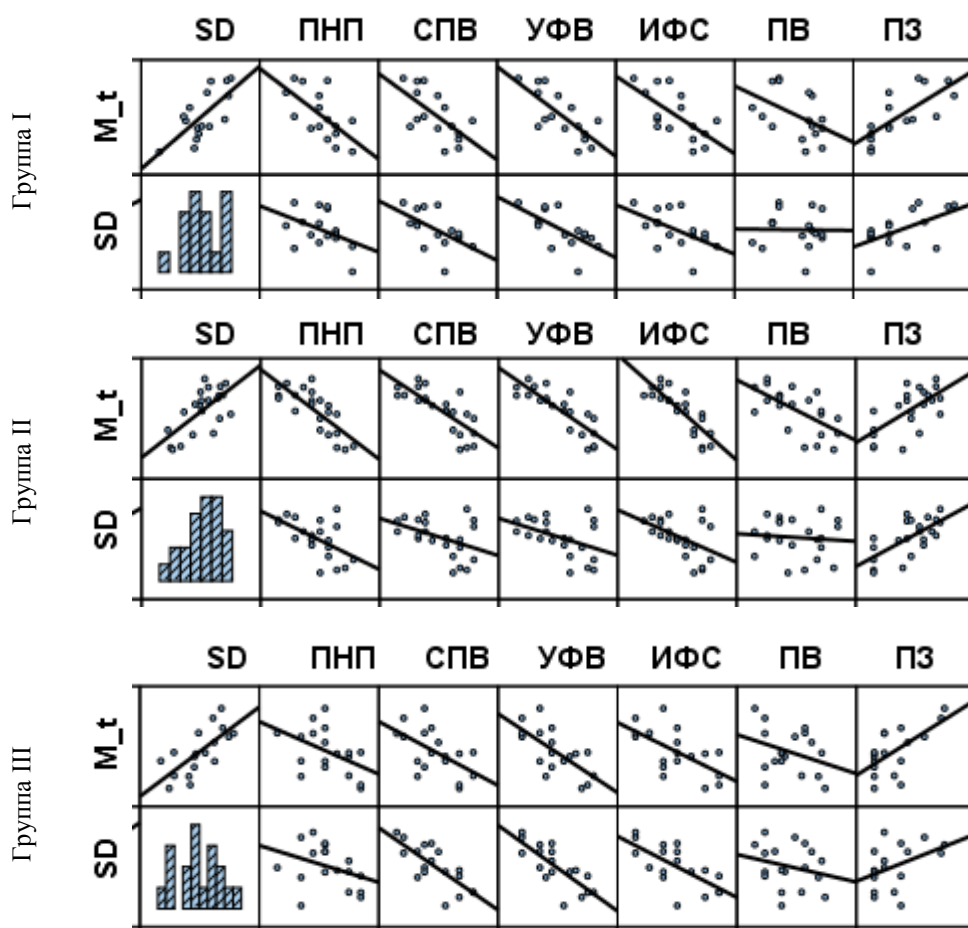


Рис. 22. Корреляционная матрица зависимости переменных у исследуемых групп. Обозначения: M_t – время реакции, SD – стандартное отклонение среднего, ПНП – подвижность нервных процессов, УФВ – уровень функциональных возможностей, СПВ – сила процессов возбуждения, ИФС – индекс функционального состояния, ПВ – перевозбуждение, ПЗ – пароксизмальная заторможенность. Опорные линии из уравнения линейной регрессии. Доверительный интервал выборки с 95% – ой вероятностью.

Как видно рисунка, между показателем M_t и функциональными показателями (SD, ПНП, СПВ, УФВ, ИФС) у всех исследуемых групп выявлены достоверные корреляционные отношения. Так, между показателями M_t и SD у всех групп обнаружена достоверная положительная связь, которая более выражена у III группы. Следует отметить, что показатель SD нами рассматривался как параметр стабильности, отражающий вариацию среднего. Между показателями M_t и ПНП, СПВ, УФВ, ИФС у трех групп наблюдались достоверные отрицательные связи, однако у I и III групп они выражались в средней, а у II группы – в сильной степени. Корреляционный анализ между показателями M_t и ПВ, ПЗ у испытуемых всех групп выявил разнонаправленные статистически значимые связи, в частности для показателя ПВ они были отрицательными, а для показателя ПЗ – положительными. Однако у III группы между показателями M_t и ПВ связь не носила достоверного характера.

В нашей работе рассматривались также отношения между показателем SD, то есть уровнем стабильности, и функциональными показателями. У всех групп между показателями SD и СПВ, УФВ, ИФС выявлены достоверные отрицательные связи, выраженные в различной степени. Так, у испытуемых I и III групп они были сильные, а у испытуемых II группы – слабые. Между показателями SD и ПНП у I и II групп отмечалась достоверная средняя отрицательная связь, а у III группы – отрицательная слабовыраженная. Для показателей SD и ПВ у всех групп достоверных связей не наблюдалось. В то же время между показателями SD и ПЗ были обнаружены достоверные средние положительные связи только у испытуемых I и II групп.

Итак, согласно данным корреляционного анализа, взаимоотношения между показателями ПЗМР выражались следующим образом. Уменьшение скорости реагирования у исследуемых групп сочеталось с уменьшением стабильности реагирования, то есть у всех групп стабильность ФС детерминирована скоростью сенсомоторного реагирования. Такие же закономерные отношения были выявлены и между скоростью, стабильностью реагирования и нейродинамическими процессами. У всех групп при уменьшении скорости реагирования наблюдалось значительное снижение перевозбуждения и увеличение пароксизмальной заторможенности. Выявленные корреляционные связи между показателями ПЗМР указывают на обусловленность эффективности деятельности скоростью обработки

информации. Обнаруженные некоторые межгрупповые различия в корреляционных отношениях, по всей вероятности, обусловлены возрастными особенностями испытуемых. У II группы, в отличие от I и III групп, формирование основных нервных процессов и сенсомоторных функций находится в стадии завершения. У I группы продолжается формирование нейродинамических процессов, а у III группы происходят изменения, приводящие к начальной инволюции.

Особый интерес представлял изучение внутренних взаимоотношений параметров ВСР. Были рассмотрены корреляционные отношения между показателями временного анализа, вариационной пульсометрии и спектрального анализа ВСР у исследуемых групп (рис. 23). Корреляционный анализ показал, что у всех групп между показателями SDNN, АМо, ИБР, ИН и TP, VLF, LF, HF были достоверные корреляционные связи, выраженные в средней и сильной степени. Однако если между SDNN и вышеперечисленными показателями они были положительными, то между АМо, ИБР, ИН и спектральными показателями – отрицательными. Между показателем Мх и спектральными компонентами у всех групп связи отсутствовали. Корреляционных отношений не наблюдалось и между временными, вариационными показателями и LF/HF, ИЦ.

Таким образом, у всех исследуемых групп выявлено наличие тесных корреляционных связей между временными, вариационными и спектральными показателями ВСР. Наиболее сильные положительные корреляционные связи между показателями SDNN и TP обусловлены тем, что оба показателя отражают суммарный эффект вегетативной регуляции сердечного ритма. Сильные положительные связи данного показателя (SDNN) с VLF, LF, HF указывают на зависимость уровня вариативности от влияния как парасимпатической, так и симпатической нервной системы. Показатели АМо, ИБР, ИН, отражающие степень напряжения в регуляторных механизмах сердечного ритма, имели отрицательные связи с показателями TP и HF, характеризующими суммарный эффект регуляции сердечного ритма и активность парасимпатического звена ВНС. Наиболее независимыми являются показатели Мх, LF/HF и ИЦ, которые характеризуются наименьшими значениями коэффициентов корреляции с остальными показателями ВСР. Описанные корреляционные отношения между изучаемыми показателями ВСР согласуются с результатами работ ряда авторов (Бань А.С. и др., 2010; Дурнова Н.Ю. и др., 2011).

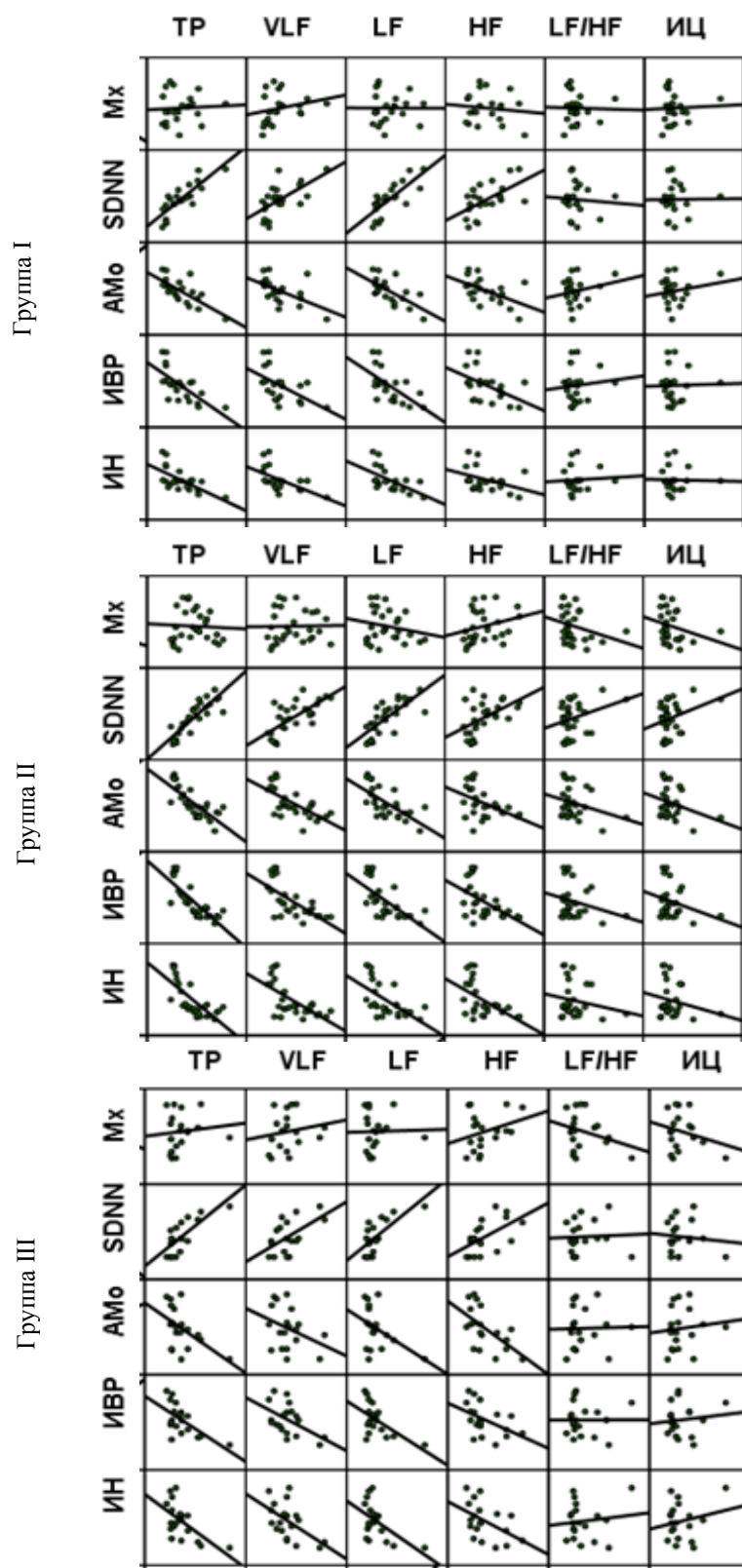


Рис. 23. Корреляционная матрица зависимости переменных у исследуемых групп. Обозначения: Mx – среднее значение всех R-R интервалов в выборке, SDNN – среднее квадратичное отклонение, AMo – амплитуда моды, ИВР – индекс вегетативного равновесия, ИН – индекс напряжения, TP – общая мощность спектра, VLF – мощность волн очень низкой частоты, LF – мощность волн низкой частоты, HF – мощность волн высокой частоты, LF/HF – симпато-парасимпатический индекс, ИЦ – индекс централизации. Опорные линии из уравнения линейной регрессии. Доверительный интервал выборки с 95% – ой вероятностью.

Известно, что изучение корреляционных связей между показателями ВСР дает возможность лучше понять внутри- и межсистемные процессы формирования ВСР, оценить степень функциональной взаимосвязи механизмов регуляции ритма сердца (Баевский Р.М. и др., 1984; Гречишкина С.С. и др., 2012). Наличие сильных корреляционных отношений между показателями ВСР, полученные в результате наших исследований, позволяет говорить о тесных функциональных связях между механизмами регуляции ритма сердца на разных уровнях регуляции. То есть, можно сказать, что временные, вариационные и спектральные показатели ВСР являются взаимообусловленными и различные методы изучения ВСР могут дополнять друг друга. Следовательно, для получения полной картины состояния регуляторных механизмов сердечного ритма необходимо комплексное и одновременное рассмотрение всех показателей ВСР. Выявленные тесные корреляционные связи между показателями ВСР свидетельствуют об оптимальном состоянии системы регуляции сердечной деятельности у исследуемых групп.

Проводился также корреляционный анализ между показателями системной гемодинамики, а именно между ЧСС, ВПК и САД, ДАД, УО, МОК и ОПСС у исследуемых групп, результаты которого представлены на рисунке 24. Как видно из рисунка, у всех групп достоверные корреляционные связи между показателями ЧСС, ВПК и САД, ДАД отсутствовали. Только у испытуемых III группы между показателями ДАД и ВПК была обнаружена достоверная средняя отрицательная связь. Корреляционные связи отсутствовали также между показателями ЧСС и УО. Однако между показателями УО и ВПК у трех групп были отмечены статистически значимые положительные связи. Между показателями ЧСС, ВПК и МОК у всех групп были выявлены достоверные положительные корреляционные связи, степень выраженности которых была средней и сильной. Между показателями ЧСС, ВПК и ОПСС наблюдались статистически значимые отрицательные связи, которые для ЧСС были выражены в средней степени, а для ВПК – в сильной. Однако у I группы связь между показателями ЧСС и ОПСС не имела достоверного характера. Между показателями ЧСС и ВПК у всех исследуемых групп были выявлены тесные положительные связи.

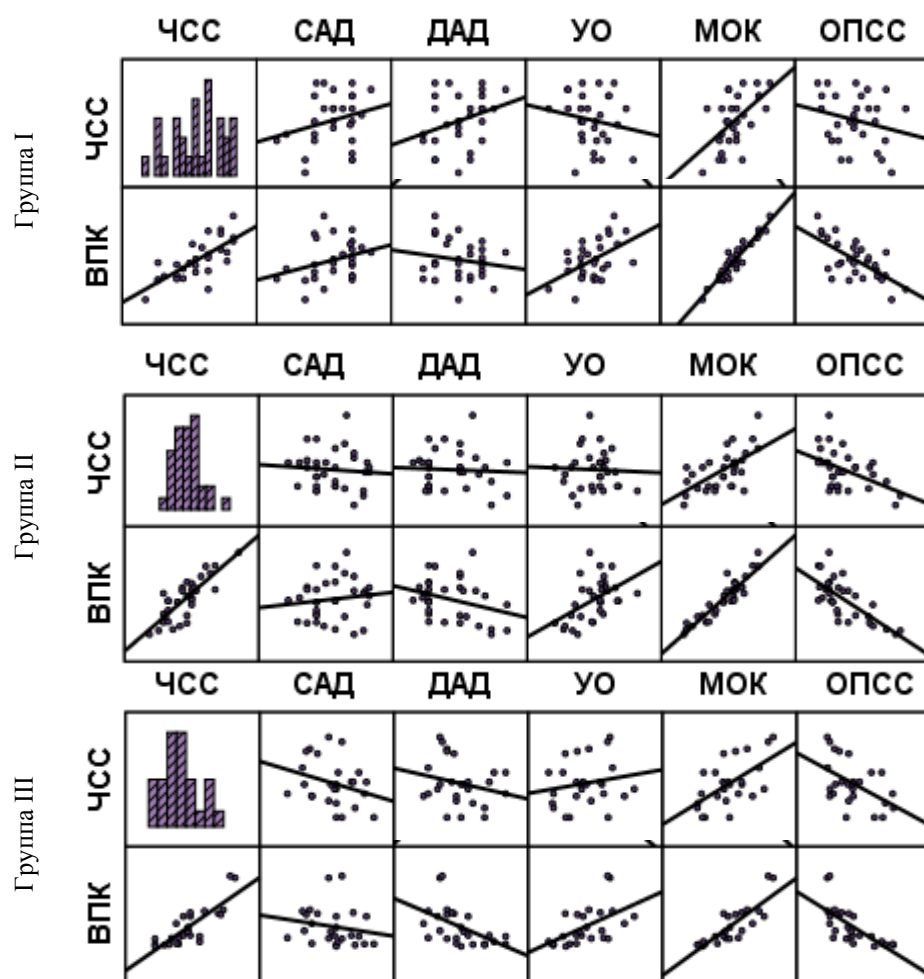


Рис. 24. Корреляционная матрица зависимости переменных у исследуемых групп. Обозначения: ЧСС – частота сердечных сокращений, САД – систолическое артериальное давление, ДАД – диастолическое артериальное давление, УО – ударный объем, МОК – минутный объем крови, ОПСС – общее периферическое сопротивление сосудов, ВПК – вегетативный показатель кровообращения. Опорные линии из уравнения линейной регрессии. Доверительный интервал выборки с 95% – ой вероятностью.

Таким образом, корреляционный анализ показателей системной гемодинамики у исследуемых групп выявил следующие взаимоотношения. Увеличение показателя ЧСС у них сочеталось с увеличением показателя МОК, ВПК и уменьшением ОПСС, а увеличение ВПК – с увеличением показателей УО, МОК и уменьшением ОПСС. Полученные данные свидетельствуют об оптимальном режиме функционирования сердечно-сосудистой системы для поддержания гомеостаза.

Таким образом, корреляционный анализ показателей ПЗМР, ВСР и системной гемодинамики, характеризующих сенсомоторную и вегетативную сферы регуляции, выявил

наличие тесных функциональных связей, которые свидетельствуют о внутрисистемной согласованности функционирования каждой сферы регуляции мозговой деятельности.

3.4.2. Особенности временной организации регуляторных механизмов сенсомоторной и вегетативной сфер регуляции

Известно, что спектральные компоненты ВСР, выявляемые сложным математическим анализом, основанным на функции быстрого преобразования Фурье, являются высокоинформативными критериями оценки состояния регуляторных систем сердечного ритма. Однако применение спектрального анализа в оценке состояния регуляторных механизмов сенсомоторных процессов в известных нам литературных источниках не обнаружено. Основываясь на этом, нами проводился спектральный анализ динамического ряда времени реагирования ПЗМР. Выделенные по специальному алгоритму диапазоны спектральных компонентов интервалограммы времени реагирования ПЗМР соответствовали общепринятым диапазонам, применяемым при спектральном анализе ВСР. Полученные спектральные компоненты интервалограммы времени реагирования ПЗМР сопоставлялись с спектральными компонентами ВСР в соответствующих диапазонах. Для каждого спектрального компонента рассматривалось относительное значение в процентах, вычисленное от суммарной мощности во всех диапазонах.

Испытуемые каждой возрастной группы были разделены на подгруппы по критерию эффективности выполнения теста ПЗМР, определяющийся по времени реагирования. В подгруппу с эффективным выполнением входили те испытуемые, у которых время реагирования было минимальным, а в подгруппу с неэффективным – наоборот, максимальным. Для разделения испытуемых на подгруппы определялись нижняя и верхняя границы разброса распределения времени реагирования с использованием функции перцентиля с 25-м и 75-м перцентилями соответственно. В подгруппу с эффективным выполнением входили испытуемые с показателем времени реагирования, имеющим значение перцентиля меньше 0,25, а в подгруппу с неэффективным выполнением – значение перцентиля больше 0,75. С целью выяснения взаимосвязи процессов регуляции сенсомоторного и вегетативного процессов у одного и того же испытуемого из каждой

возрастной группы, учитывая эффективность выполнения теста, рассматривались и сравнивались спектральные характеристики ПЗМР и ВСР (рис. 25, 26, 27).

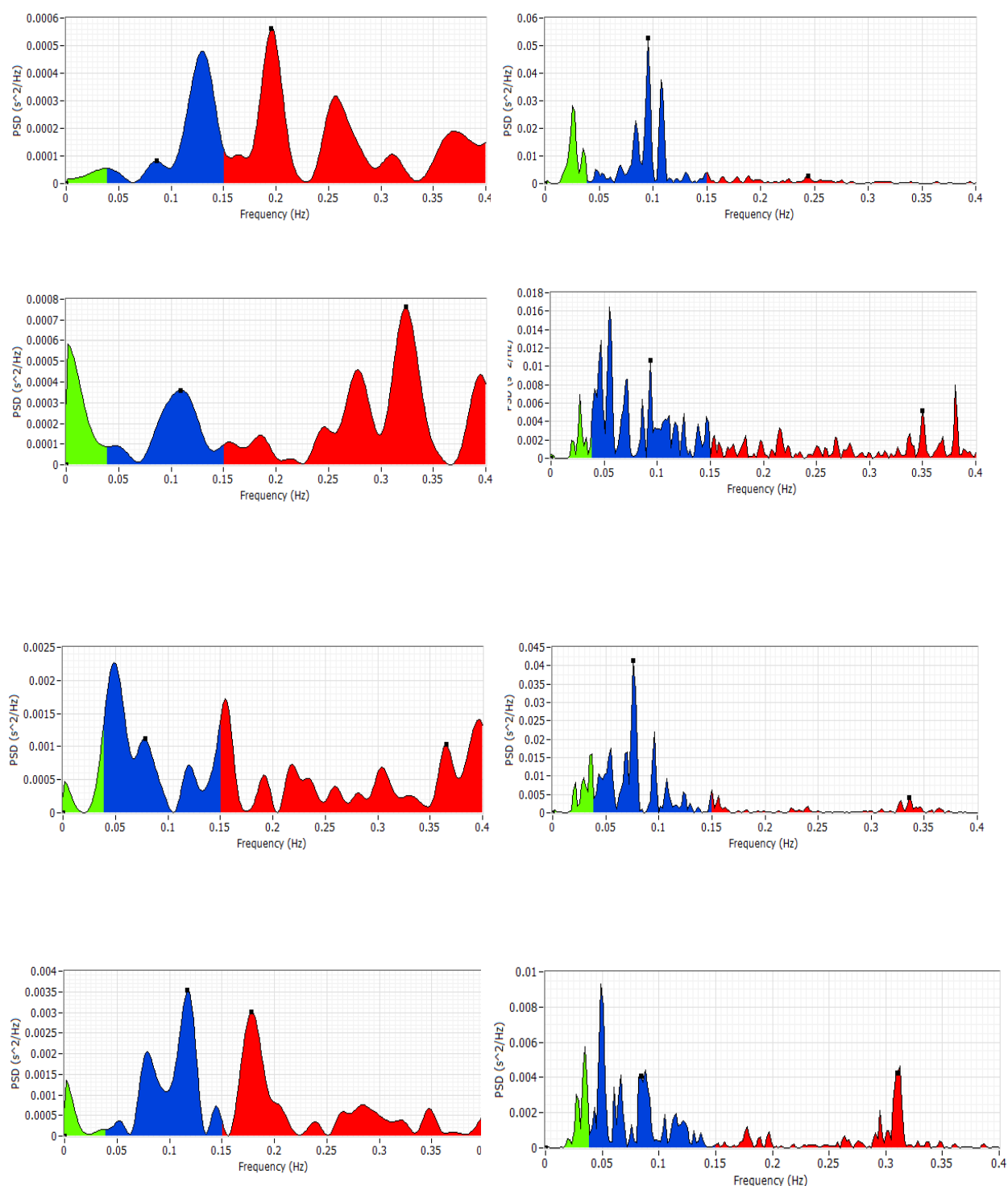


Рис. 25. Спектральные компоненты интервалограммы времени реагирования ПЗМР (слева) и кардиоинтервалограммы ВСР (справа) у испытуемых I группы с эффективным и неэффективным выполнением теста. Зеленым цветом обозначен очень низкочастотный компонент (VLF), синим – низкочастотный компонент (LF), красным – высокочастотный компонент (HF).

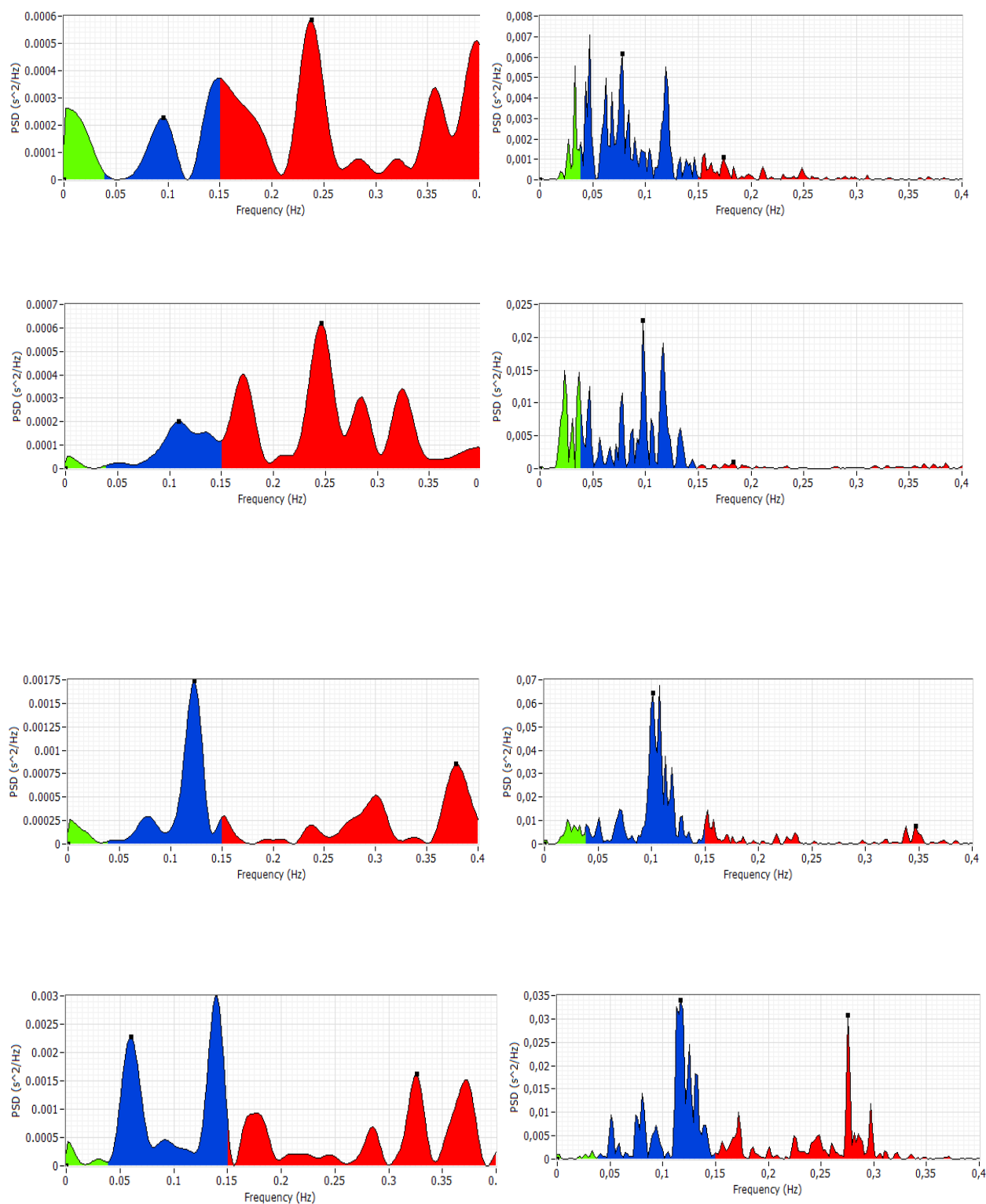


Рис. 26. Спектральные компоненты интервалограммы времени реагирования ПЗМР (слева) и кардиоинтервалограммы ВСР (справа) у испытуемых II группы с эффективным и неэффективным выполнением теста. Зеленым цветом обозначен очень низкочастотный компонент (VLF), синим – низкочастотный компонент (LF), красным – высокочастотный компонент (HF).

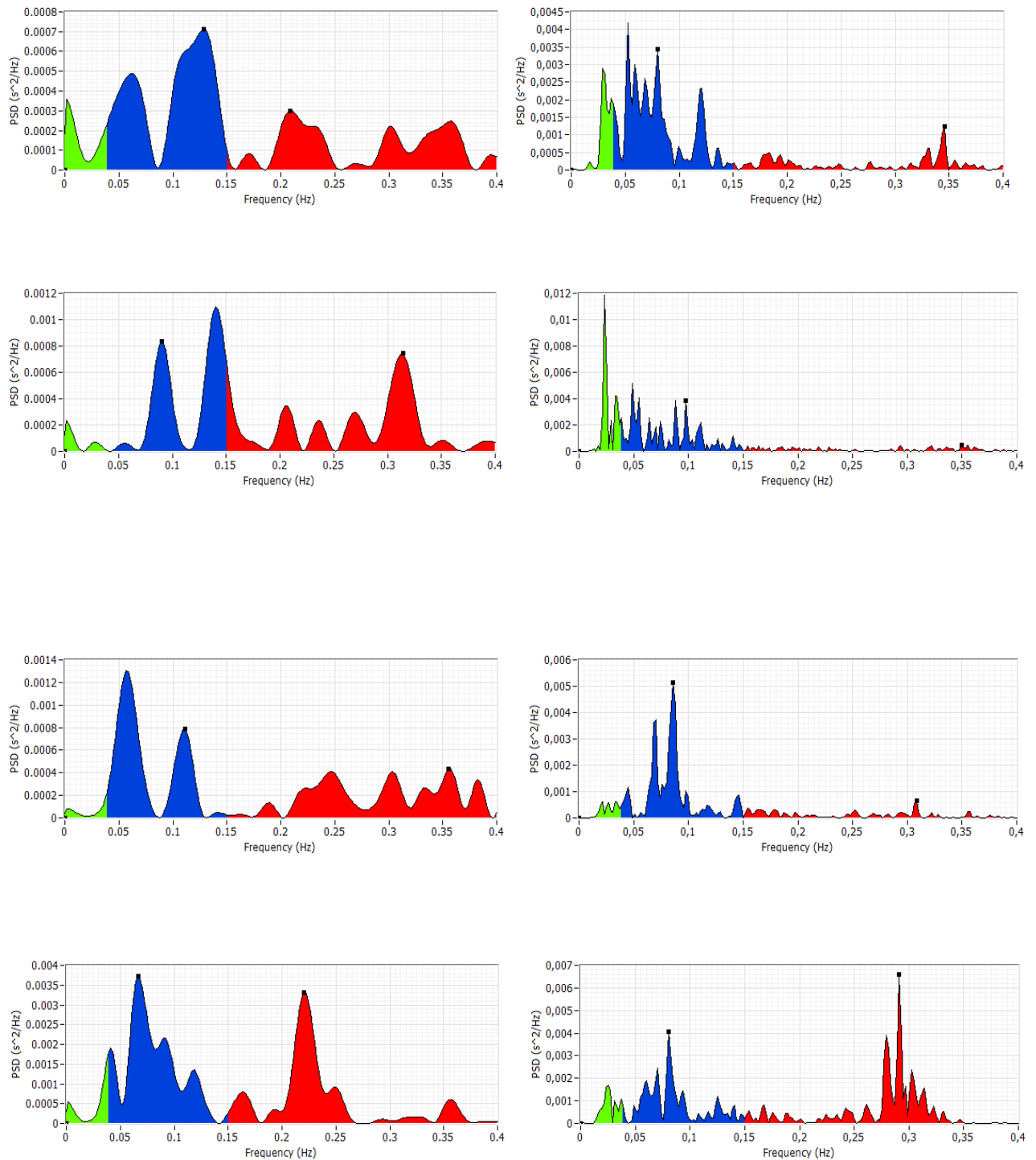


Рис. 27. Спектральные компоненты интервалограммы времени реагирования ПЗМР (слева) и кардиоинтервалограммы ВСР (справа) у испытуемых III группы с эффективным и неэффективным выполнением теста. Зеленым цветом обозначен очень низкочастотный компонент (VLF), синим – низкочастотный компонент (LF), красным – высокочастотный компонент (HF).

Как видно из рисунков 25, 26, у испытуемых I и II групп выраженность спектральных компонентов ПЗМР схожая, то есть у испытуемых с эффективным выполнением теста преобладал высокочастотный компонент в диапазоне 0,15-0,4 Гц. У испытуемых с неэффективным выполнением теста наблюдалось уменьшение выраженности HF компонента и увеличение LF компонента. Однако в общем спектре у испытуемых данных групп превалировал HF компонент. У испытуемых III группы выраженность высоко- и низкочастотного компонентов одинаковая как при эффективном, так и неэффективном выполнении теста (рис. 27). У данной группы, как и у I и II групп, вне зависимости от эффективности выполнения теста в общем спектре преобладал HF компонент. Выраженность очень низкочастотного компонента в диапазоне 0,003-0,04 Гц у испытуемых всех групп как с эффективным, так и неэффективным выполнением теста была минимальной. Интересно отметить, что при рассмотрении спектральных компонентов ВСР вне зависимости от эффективности выполнения теста у всех групп преобладал низкочастотный компонент в диапазоне 0,04-0,15 Гц.

Нами рассматривались также относительные значения каждого компонента, вычисленные из общей мощности, которые дают возможность оценить его удельную долю (рис 28, 29, 30). Как видно из рисунков 28 и 29, у испытуемых I и II групп с неэффективным выполнением значение LF% в общем спектре интервалограммы времени ПЗМР было больше на 14% у обеих групп, а значение HF% – меньше на 12% и на 14% соответственно по сравнению с спектральными компонентами у испытуемых с эффективным выполнением. Для показателя VLF% у испытуемых I и II групп в зависимости от эффективности выполнения теста выраженной разницы не отмечалось. У испытуемых III группы с эффективным и неэффективным выполнением теста значимых различий в процентном соотношении спектральных компонентов ПЗМР не наблюдалось (рис. 30).

Межгрупповое сравнение спектральных компонентов ПЗМР у испытуемых с эффективным выполнением теста показало, что удельное значение LF компонента у III группы было больше на 14% и на 16%, а удельное значение HF компонента – меньше на 13% и на 18%, чем у I и II групп соответственно. Для VLF компонента межгрупповых различий не выявлено. У испытуемых I и II групп существенных различий между значениями

спектральных компонентов ПЗМР не наблюдалось. Значительных различий в показателях между исследуемыми группами не отмечалось и при неэффективном выполнении теста.

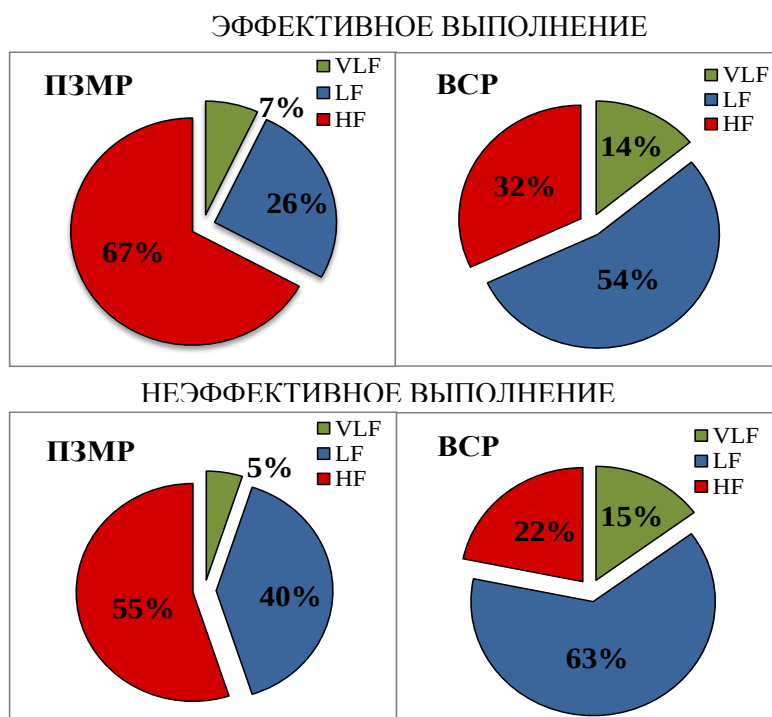


Рис. 28. Процентное соотношение спектральных компонентов интервалограммы времени реагирования ПЗМР и кардиоинтервалограммы БСР у испытуемых I группы с эффективным и неэффективным выполнением теста. Обозначения: VLF – очень низкочастотный компонент, LF – низкочастотный компонент, HF – высокочастотный компонент.

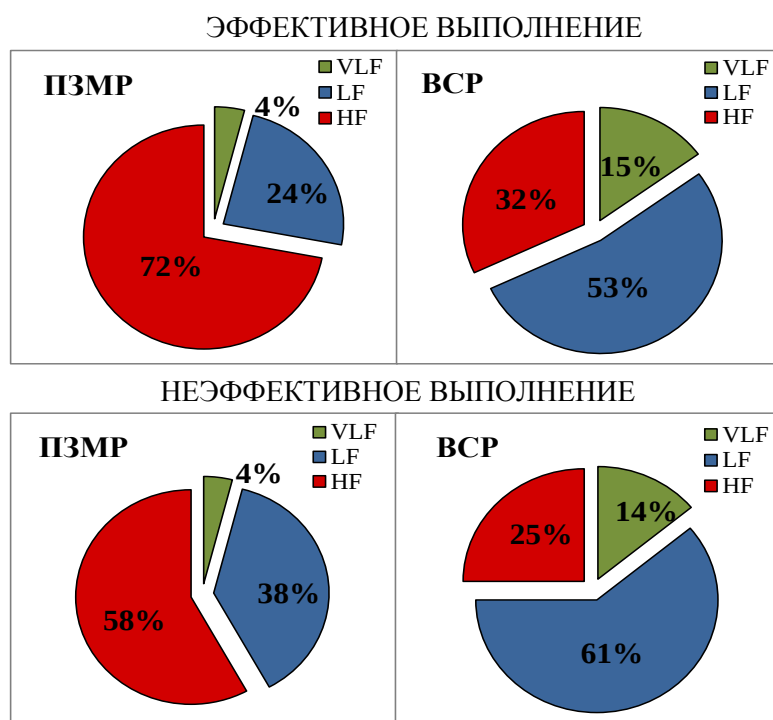


Рис. 29. Процентное соотношение спектральных компонентов интервалограммы времени реагирования ПЗМР и кардиоинтервалограммы БСР у испытуемых II группы с эффективным и неэффективным выполнением теста. Обозначения: VLF – очень низкочастотный компонент, LF – низкочастотный компонент, HF – высокочастотный компонент.

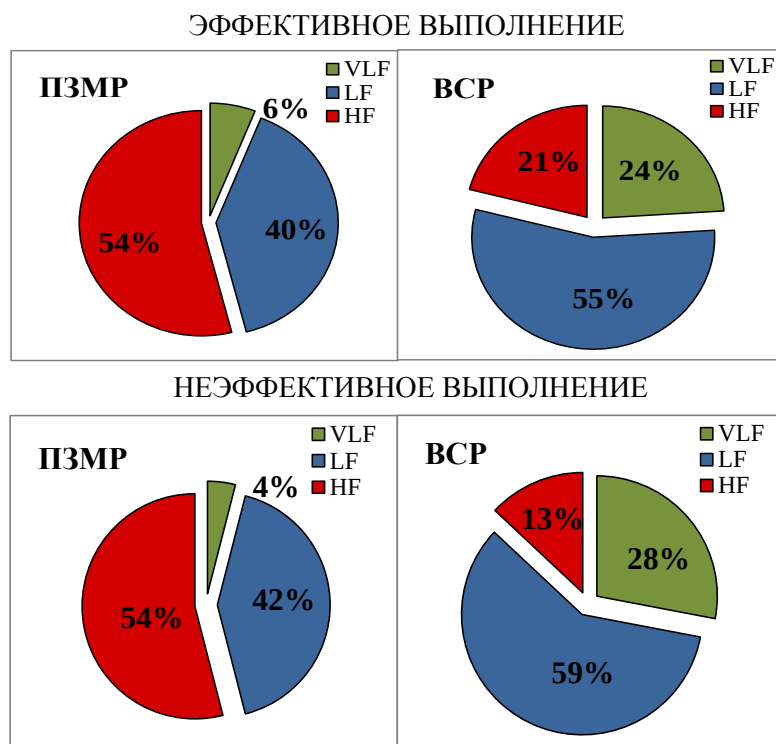


Рис. 30. Процентное соотношение спектральных компонентов интервалограммы времени реагирования ПЗМР и кардиоинтервалограммы ВСП у испытуемых III группы с эффективным и неэффективным выполнением теста. Обозначения: VLF – очень низкочастотный компонент, LF – низкочастотный компонент, HF – высокочастотный компонент.

При сравнении спектральных компонентов ВСП у исследуемых групп с эффективным и неэффективным выполнением теста выявлены следующие различия. У испытуемых I и II групп с неэффективным выполнением наблюдалось увеличение значения LF% на 9% и на 8% и уменьшение значения HF% на 10% и на 7% соответственно. Для показателя VLF% у испытуемых I и II групп в зависимости от эффективности выполнения теста разницы не обнаружено. У испытуемых III группы с неэффективным выполнением теста происходит некоторое увеличение значения VLF% и LF% (на 4%) и уменьшение HF% (на 8%). Подобные изменения спектральных компонентов у испытуемых трех групп с неэффективным выполнением теста указывают на большее напряжение в регуляторных механизмах сердечного ритма по сравнению с испытуемыми с эффективным выполнением.

Межгрупповое сравнение спектральных компонентов ВСП показало, что у испытуемых III группы как с эффективным, так и неэффективным выполнением теста

удельное значение VLF компонента превышало таковое у I и II групп, а удельное значение HF было меньше. Для показателя LF% существенных межгрупповых различий не выявлено.

При сравнении спектральных компонентов ПЗМР и ВСР у исследуемых групп обнаружено, что вне зависимости от эффективности выполнения теста у всех групп в общем спектре интервалограммы времени ПЗМР преобладал высокочастотный компонент, а в общем спектре кардиоинтервалограммы ВСР – низкочастотный компонент. То есть, можно сказать, что при оптимальном ФС в сенсомоторной сфере регуляции преобладают волны высокой частоты с периодом колебаний 2,5-7 сек (быстрые волны), а в вегетативной сфере регуляции – волны низкой частоты с периодом колебаний 7-25 сек (медленные волны).

Таким образом, в зависимости от эффективности выполнения теста у всех исследуемых групп происходят изменения в соотношении спектральных компонентов в спектрограммах как ПЗМР, так и ВСР. Обнаружено, что у каждой возрастной группы соотношение спектральных компонентов ВСР имели различия между подгруппами с эффективным и неэффективным выполнением. Однако различия в соотношении спектральных компонентов ПЗМР в зависимости от эффективности выполнения выявлены только у I и II групп. У III группы в соотношении спектральных компонентов ПЗМР в подгруппах с эффективным и неэффективным выполнением различий не наблюдалось, что, по всей вероятности, связано с преобладанием у них жестких звеньев мозгового обеспечения психических функций, то есть высших интегративных процессов. Известно, что жесткие звенья необходимы для осуществления функций мозга, а гибкие звенья включаются в функциональную систему каждый раз заново в зависимости от конкретных условий (Бехтерева Н.П., 1988).

Нами также обнаружены различия в соотношении спектральных компонентов в спектрограммах ПЗМР и ВСР в зависимости от возраста. Если возрастные различия в соотношении спектральных компонентов ВСР были выявлены в обеих подгруппах, то возрастные различия в соотношении спектральных компонентов ПЗМР были наиболее выражены в подгруппе с эффективным выполнением.

Различия наблюдались и между временной организацией каждой сферы регуляции вне зависимости от возраста испытуемых и эффективности выполнения. То есть, несмотря на то, что различные сферы регуляции взаимообусловлены и действуют как единое целое, совместная деятельность которых обеспечивает осуществление той или иной функции всего

организма и поддержание оптимального ФС, однако механизмы функционального обеспечения деятельности каждой сферы регуляции различаются.

Таким образом, изучение временной организации регуляторных механизмов с применением спектрального анализа интервалограмм является достаточно информативным методом оценки общего ФС мозга и может применяться в исследовании не только вегетативной сферы регуляции, но и сенсомоторной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе проводилось комплексное исследование ФС головного мозга в условиях умственной нагрузки у лиц разных возрастных групп с использованием методических подходов, которые позволили осуществить одновременное изучение сенсомоторной и вегетативной сфер регуляции.

Исследование психоэмоционального состояния испытуемых с применением опросников Т. Элерса, Тейлора и П. Пишо показало, что у большинства испытуемых трех групп отмечался достаточно высокий уровень мотивации, что говорит об их готовности к предстоящей деятельности и о желании достичь ее высоких результатов. У испытуемых старшей возрастной группы был выявлен более высокий уровень тревожности, депрессии и астении, что, по всей вероятности, обусловлено наличием ряда факторов, в том числе накоплением негативных жизненных событий, некоторым снижением качества жизни и быстро возникающими признаками утомления. Наиболее благоприятное психоэмоциональное состояние отмечалось у испытуемых II группы.

При изучении психофизиологического состояния испытуемых с помощью теста «Рефлексометрия» был выявлен ряд возрастных различий в показателях ПЗМР. С возрастом у испытуемых обнаружено снижение скорости реагирования, то есть уменьшение скорости восприятия и обработки информации, принятия решений, а также увеличение инертности нервных процессов. Согласно нашим данным, стабильность сенсомоторного реагирования возрастных различий не имела. Хотя возрастные изменения нейродинамических процессов имели неравномерный характер, но основное снижение их уровня отмечалось у испытуемых старшей возрастной группы. Испытуемые I группы отличались неуравновешенностью нервных процессов с преобладанием силы возбуждения, однако с возрастом наблюдалось установление равновесия нервных процессов с некоторым сопутствующим уменьшением силы возбуждения и увеличением процессов торможения.

После УН у испытуемых I и II групп наблюдалось увеличение скорости и стабильности реагирования, что может быть связано как с фактором привыкания, так и с так называемым феноменом «Компромисс скорости и точности», когда при утомлении после длительной умственной нагрузки происходит снижение времени реакции с одновременным увеличением количества ошибок (Кирой В.Н., 2003; Osman A., 2000). У испытуемых старшей возрастной

группы отмечалась неизменность скорости и стабильности реагирования. То есть, можно сказать, что у исследуемых групп формируется некий адаптивный ответ на УН, который у испытуемых I и II групп выражается в увеличении скорости и стабильности реагирования, а у испытуемых II группы также в улучшении нейродинамических процессов, что говорит о больших мобилизационных возможностях у испытуемых данной группы. У испытуемых старшей возрастной группы адаптивный ответ проявляется в ограничении деятельности сформированных функциональных систем. Возрастание (у испытуемых I и II групп) и сохранение (у испытуемых старшей возрастной группы) определенного уровня работоспособности происходит за счет мобилизации функциональных резервов организма и увеличения физиологической «цены» деятельности. Это проявляется в дисбалансе процессов возбуждения и торможения, снижении точности выполнения задания, а также увеличении показателя признаков утомления у большинства испытуемых. После УН у испытуемых старшей возрастной группы были выявлены наименьшие скорость и стабильность реагирования, а также низкие функциональные показатели и высокие значения признаков утомления по сравнению с испытуемыми I и II групп.

С целью оценки состояния регуляторных систем сердечной деятельности был проведен математический анализ ВСР, результаты которого указывали на стабилизацию сердечного ритма, преобладание центральных механизмов регуляции сердечной деятельности над автономными, большее напряжение регуляторных систем при выполнении теста ПЗМР у испытуемых старшей возрастной группы по сравнению с испытуемыми I и II групп.

Нами также были выявлены три типа регуляции сердечного ритма в зависимости от характера и длительности функциональной нагрузки. Первый тип обнаружен у всех групп при выполнении функциональной нагрузки сенсомоторного характера (тест ПЗМР). Здесь наблюдалось некоторое напряжение регуляторных систем сердечного ритма, которое обусловлено активацией симпатoadреналовой системы с сопутствующим усилением симпатического тонуса. Второй тип выявлен у испытуемых I и II групп после продолжительной УН и является следствием утомления. Подобный тип регуляции связан с активацией вагоинсулярной системы, проявляющейся усилением парасимпатического тонуса. Третий тип был обнаружен у испытуемых старшей возрастной группы после продолжительной УН и характеризовался стабильностью сердечного ритма. Подобный тип

регуляции является результатом отсутствия у них достаточных функциональных резервов и низких адаптационных возможностей.

Четкие возрастные различия были выявлены и в показателях системной гемодинамики. У испытуемых I группы, по сравнению с испытуемыми II и III групп, обнаружен наиболее благоприятный и эффективный – нормотонический тип регуляции работы сердца, при котором организму требуется меньше энергии для нормального кровоснабжения. У испытуемых II и III групп наблюдался гиперкинетический тип регуляции работы сердца. Выявленные возрастные изменения показателей гемодинамики у испытуемых старшей возрастной группы, свидетельствующие о сравнительно низких адаптивных возможностях сердечно-сосудистой системы, в литературных источниках объясняются некоторыми изменениями сердечной деятельности, уменьшением радиуса сосудов и увеличением вязкости крови с возрастом (Кубарко А.И. и др., 2012).

Изменения показателей системной гемодинамики после УН у испытуемых I и II групп указывали на усиление парасимпатических влияний на работу сердца, что согласуется с полученными нами изменениями показателей ВСР. Обнаруженная у испытуемых старшей возрастной группы стабильность показателей гемодинамики после УН связана со снижением лабильности гемодинамического центра и, следовательно, длительным латентным периодом гемодинамических реакций.

Для выявления функциональных связей процессов, характеризующих ФС головного мозга, нами проводился корреляционный анализ между отдельными показателями ПЗМР, ВСР и системной гемодинамики.

Корреляционный анализ показал, что уменьшение скорости реагирования у исследуемых групп сочеталось с уменьшением стабильности реагирования, то есть у всех групп стабильность ФС детерминирована скоростью сенсомоторного реагирования. Такая же закономерность была выявлена и в отношении скорости, стабильности реагирования и нейродинамических процессов. Выявленные корреляционные связи между показателями ПЗМР указывают на обусловленность эффективности деятельности скоростью обработки информации.

Между показателями ВСР обнаружены сильно выраженные корреляционные отношения, которые свидетельствуют о наличии тесных функциональных связей между

механизмами регуляции ритма сердца на разных уровнях регуляции. То есть, можно сказать, что временные, вариационные и спектральные показатели ВСР являются взаимообусловленными, и для получения полной картины состояния регуляторных механизмов сердечного ритма необходимо комплексное и одновременное рассмотрение всех показателей ВСР.

В работе рассмотрены также корреляционные взаимоотношения между показателями системной гемодинамики у исследуемых групп, которые свидетельствуют об оптимальном режиме функционирования сердечно-сосудистой системы для поддержания гомеостаза.

Таким образом, корреляционный анализ показателей, характеризующих исследуемые процессы, выявил наличие тесных отношений различного характера между показателями ПЗМР, ВСР и системной гемодинамики, которые свидетельствуют о внутрисистемной согласованности функционирования каждой сферы регуляции мозговой деятельности.

При изучении временной организации сенсомоторной и вегетативной сфер регуляции выявлены различия в соотношении спектральных компонентов в спектрограммах как ПЗМР, так и ВСР в зависимости от возраста, а также от эффективности деятельности. В каждой возрастной группе соотношение спектральных компонентов ВСР имели различия между подгруппами с эффективным и неэффективным выполнением. У старшей возрастной группы, в отличие от I и II групп, различий в соотношении спектральных компонентов ПЗМР в подгруппах с эффективным и неэффективным выполнением не обнаружено, что, по всей вероятности, связано с преобладанием у них жестких звеньев мозгового обеспечения психических функций, то есть высших интегративных процессов.

Возрастные различия в соотношении спектральных компонентов ВСР проявлялись в обеих подгруппах. Однако возрастные различия в соотношении спектральных компонентов ПЗМР были наиболее выражены в подгруппе с эффективным выполнением.

Обнаруженные различия во временной организации регуляторных систем исследуемых процессов вне зависимости от возраста испытуемых и эффективности деятельности, свидетельствуют о наличии различных механизмов функционального обеспечения деятельности каждой сферы регуляции и их особенностей. Таким образом, временная организация регуляторных систем, то есть их колебательная динамика, достаточно полно отражает текущее ФС мозга.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что с увеличением возраста происходят изменения ФС ЦНС: снижение скорости сенсомоторного реагирования и уровня нейродинамических процессов с сохранением стабильности реагирования и установлением равновесия нервных процессов.
2. Выявлено увеличение скорости и стабильности реагирования у испытуемых I и II групп и их неизменность у испытуемых III группы после длительной умственной нагрузки. При этом у всех возрастных групп отмечено снижение точности выполнения теста ПЗМР и усиление признаков утомления.
3. Обнаружены возрастные различия в состоянии регуляторных систем сердечного ритма. У испытуемых I и II групп наблюдалось оптимальное состояние регуляторных систем, а у старшей возрастной группы – их напряжение, проявляющееся стабилизацией сердечного ритма и преобладанием центральных механизмов в регуляции сердечной деятельности.
4. Показаны три типа регуляции сердечной деятельности у возрастных групп в зависимости от характера и длительности функциональной нагрузки. Первый тип с преобладанием симпатической активности отмечался у всех групп при функциональной нагрузке сенсомоторного характера. Второй тип с преобладанием парасимпатической активности – у испытуемых I и II групп после длительной умственной нагрузки. Третий тип, проявляющийся стабильностью реакции сердечного ритма, – у старшей возрастной группы после длительной умственной нагрузки.
5. Выявлены возрастные различия в показателях системной гемодинамики. У испытуемых I группы обнаружен нормотонический тип регуляции работы сердца, а у испытуемых II и III групп – гиперкинетический тип регуляции работы сердца. Испытуемые старшей возрастной группы характеризовались меньшими адаптивными возможностями сердечно-сосудистой системы.
6. Показаны возрастные различия психоэмоционального состояния, проявляющиеся в более высоком уровне тревожности, депрессии и астении у старшей возрастной группы. Наиболее благоприятное психоэмоциональное состояние отмечено у испытуемых II группы.

7. Выявлены тесные функциональные связи при корреляционном анализе показателей ПЗМР, ВСР и системной гемодинамики, которые свидетельствуют о внутрисистемной согласованности функционирования каждой сферы регуляции мозговой деятельности.
8. Установлена информативность метода изучения временной организации сенсомоторной сферы регуляции в оценке текущего ФС мозга. Выявлены различия во временной организации сенсомоторной и вегетативной сфер регуляции.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Предлагается использовать метод регистрации времени ПЗМР и анализа ВСР для комплексной экспресс-оценки ФС головного мозга с целью его прогнозирования и коррекции.
2. Рекомендуется использовать количественную оценку ФС головного мозга у лиц различного возраста для раннего выявления сдвигов и дисбаланса в регуляторных механизмах психофизиологических и вегетативных процессов, предупреждая негативные последствия и улучшая качество жизни.
3. Количественная оценка исходного ФС головного мозга и его изменений в условиях функциональных нагрузок может использоваться для прогнозирования надежности и эффективности профессиональной деятельности человека и, тем самым, служить критерием допуска к данной сфере деятельности.
4. Исследование временной организации регуляторных систем мозговой деятельности позволит оценить не только текущее ФС, но и даст представление о не проявившихся функциональных изменениях регуляторных систем, то есть об их преморбидном состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян Н.А., Баевский Р.М., Береснева А.П. Проблемы адаптации и учение о здоровье. М.: РУДН, 2006, 284 с.
2. Аладжалова Н.А. Психофизиологические аспекты сверхмедленной ритмической активности головного мозга. М.: Наука, 1979, 214 с.
3. Алейникова Т.А. Возрастная психофизиология (учеб. пособие). Ростов-на-Дону: ООО «ЦВВР», 2002, 146 с.
4. Александров Ю.И. Введение в системную психофизиологию. В кн.: Психология XXI века. М.: Пер Се, 2003, с. 39-85.
5. Александровский Ю.А. Пограничные психические расстройства (руководство для врачей). М.: «ГЭОТАР-Медиа», 2007, 720 с.
6. Алякринский Б.С., Степанова С.И. По закону ритма. М.: Наука, 1985, 175 с.
7. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. В кн.: Принципы системной организации функций. М.: Наука, 1973, с. 5-61.
8. Антонов А.А. Гемодинамика для клинициста. М., 2004, 99 с.
9. Антонова Л.К., Кушнир С.М., Стручкова И.В., Блинецова Е.А. Вариабельность сердечного ритма новорожденных с различным уровнем здоровья. «Вариабельность сердечного ритма: Теоретические аспекты и практическое применение» (матер. V всеросс. симп. с межд. участ.). Ижевск: Удмуртский университет, 2011, с. 19-21.
10. Апчел В.Я., Цыган В.Н. Стресс и стрессоустойчивость человека. СПб.: ВМА, 1999, 86 с.
11. Артамонов В.Н. Кардиогемодинамика у девушек, занимающихся шейпингом. Юбилейный сборник трудов ученых РГАФК, посвященный 80-летию академии. М., 1998, т. 3, с. 142-146.
12. Артеменков А.А. Изменения вегетативных функций у студентов при адаптации к умственным нагрузкам. Гигиена детей и подростков, 2007, № 2, с. 62-64.
13. Астапов В.М. Тревожные расстройства у детей. Классификация тревожных расстройств. Прикладная психология, 2002, № 2, с. 32-43.
14. Афтанас Л.И. Эмоциональное пространство человека: психофизиологический анализ. Новосибирск: СО РАМН, 2000, 126 с.

15. Бабунц И.В., Мириджанян Э.М., Мшаех Ю.А. Азбука variability сердечного ритма. Ставрополь, 2002, 112 с.
16. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина, 1997, 256 с.
17. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М.: Медицина, 1979, 205 с.
18. Баевский Р.М. Анализ variability сердечного ритма: история и философия, теория и практика. Клиническая информатика и телемедицина, 2004, №1, с. 54-64.
19. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984, 236 с.
20. Баевский Р.М., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Миронова Т.Ф., Прилуцкий Д.А., Семенов Ю.Н., Федоров В.Ф., Флейшман А.Н., Медведев М.М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации). Вестник аритмологии, 2001, № 24, с. 65-87.
21. Байгужин П.А. Оптимизация оценки показателей сенсомоторной реакции – предикторов функционального состояния центральной нервной системы // Эл. научный журнал Современные проблемы науки и образования, 2011, № 6; URL: www.science-education.ru/100-5204 (дата обращения: 01.10.2013).
22. Балашова Н.В., Андреева И.Г., Попов В.В. Вегетативная регуляция сердечно-сосудистой системы у практически здоровых мужчин 25-50 лет, проживающих в средней полосе России. Экология человека, 2008, № 8, с. 17-21.
23. Бань А.С., Парамонова Н.А., Загородный Г.М., Бань Д.С. Анализ взаимосвязи показателей variability ритма сердца. Военная медицина, 2010, №4, с.21-24.
24. Барина М.О., Зарипов В.Н. Влияние разных умственных нагрузок на показатели сердечного ритма студентов. Вестник Ивановского Государственного университета. Серия «Естественные, общественные науки», 2009, вып. 2, с.11-15.
25. Бартош Т.П., Бартош О.П., Мычко М.В. Возрастные особенности нейродинамических показателей мальчиков-подростков аборигенной популяции Магаданской области. Культурно-историческая психология, 2011, № 4, с. 91-96.

26. Безруких М.М., Фабер Д.А. Психофизиология: словарь. М.: ПЕР СЭ, 2006, 128 с.
27. Белозерова Л.М., Соломатина Н.В. Особенности умственной и физической работоспособности лиц зрелого возраста (монография). Пермь, 2008, 159 с.
28. Березина М.Г. Роль психофизиологических особенностей студентов в адаптации к учебной деятельности (дис. ... канд. биол. наук). Кемерово, 2000, 145 с.
29. Берсенев Е.Ю. Спортивная специализация и особенности вегетативной регуляции сердечного ритма. «Вариабельность сердечного ритма: Теоретические аспекты и практическое применение» (тез. докл. IV всерос. симп. с межд. участ.). Ижевск: Удмуртский университет, 2008, с. 42-45.
30. Бехтерева Н.П. Механизмы деятельности мозга человека. Л.: Наука, 1988, 263 с.
31. Блинков С.М., Арутюнова А.С., Москатова А.К. Время реакции и структура мозга. В кн.: Психологические исследования. М.: МГУ, 1968, с. 60-71.
32. Блок В. Уровни бодрствования и внимание. В кн.: Экспериментальная психология. М.: Прогресс, 1970, вып. 3, с. 7-146.
33. Богданов В.Б., Горго Ю.П. Часова динаміка латентних періодів простої зорово-моторної реакції. Вісник Київського національного Університету імені Тараса Шевченка, серія Біологія, 2004, Вип. 41, с. 135- 137.
34. Бойко Е.И. Время реакции человека. М.: Медицина, 1964, 440 с.
35. Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Волковская И.В. Вариабельность сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование. Анналы аритмологии, 2009, т. 6, № 4, с. 21-32.
36. Бочанов Е.В., Гейслер Д.А., Гитун Т.В., Елисеев А.Г. и др. Психосоматические заболевания: полный справочник. М.: Эксмо, 2003, 605 с.
37. Будук-оол Л.К., Ховалыг А.М., Сарыг С.К. Психофизиологическая и нейродинамическая характеристика студентов Тувинского Государственного университета. Биологические науки. Фундаментальные исследования, 2014, № 12, с. 756-759.
38. Вегетативные расстройства. Клиника. Диагностика. Лечение. Под ред. А.М. Вейна. М.: МИА, 2003, 752 с.

39. Веневцева Ю.Л., Мельников А.Х., Казидаяева Е.Н. и др. Гендерные особенности вариабельности сердечного ритма в разных возрастных группах. «Вариабельность сердечного ритма: Теоретические аспекты и практическое применение» (матер. V всеросс. симп. с межд. участ.). Ижевск: Удмуртский университет, 2011, с. 31-40.
40. Вербицкий Е.В. Психофизиология тревожности. Ростов н/Д: изд-во Рост. ун-та, 2003, 192 с.
41. Власов Ю.А., Яшков В.Г., Якименко А.В. и др. Метод последовательного парного анализа ритма сердца по интервалам RR. Радиоэлектроника, физика и математика в биологии и медицине, Новосибирск, 1971, с. 9-14.
42. Водлозеров В.М., Тарасов С.Г. Зрительно-двигательная активность человека в условиях слежения. Харьков: Гуманитарный Центр, 2002, 242 с.
43. Воробьев В.И. Исследование математико-статистических и периодических характеристик сердечного ритма спортсменов. ТиПФК, 1980, №2, с. 21-24.
44. Воробьева А.А. Астенические состояния: эффективная и безопасная терапия. Русский медицинский журнал. Неврология. Психиатрия, 2009, т.17, № 20, с. 1330-1340.
45. Ганзен В.А., Юрченко В.Н. Систематика психических состояний человека. Вестник ЛГУ, 1991, сер.6, вып.1, №6, с. 47-55.
46. Геворкян Э.Г. Компьютерная система оценки функционального состояния мозга человека (матер. VI съезда Армянского физиологического общества им. Л.А. Орбели). Ереван, 2001, с. 99-100.
47. Геворкян Э.Г. Создание методов компьютерной диагностики общего функционального состояния организма, подвергнутого стрессорным перегрузкам. В сб.: Современные аспекты радиационной медицины и ожогов. Ереван, 1995, с. 8-11.
48. Генкин А.А., Медведев В.И. Прогнозирование психофизиологических состояний. Л.: Наука, 1973, 144 с.
49. Голухова Е.З. Неинвазивная аритмология. М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2002, 148 с.
50. Гречишкина С.С., Шаханова А.В., Даутов Ю.Ю. Взаимосвязь показателей вариабельности ритма сердца и внешнего дыхания у спортсменов с разной

- направленностью тренировочного процесса. АГУ. Серия 4: Естественно-математические и технические науки, 2012, № 1, с. 90-98.
51. Губарева Л.И., Будкевич Р.О., Агаркова Е.В. Психофизиология (учеб. пособие). М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2007, 188 с.
 52. Данилова Н.Н. Психофизиологическая диагностика функциональных состояний (учеб. пособие). М.: МГУ, 1992, 192с.
 53. Данилова Н.Н. Функциональные состояния: механизмы и диагностика. М.: МГУ, 1985, 287 с.
 54. Демидова М.М., Тихоненко В.М. Циркадная ритмика показателей variability сердечного ритма у здоровых обследуемых. Вестник аритмологии, 2001, № 23, с. 52-58.
 55. Дерманова И.Б. Личностная шкала проявлений тревоги (Дж. Тейлор, адаптация Т.А. Немчина). В кн.: Диагностика эмоционально-нравственного развития. СПб.: 2002, с. 126–128.
 56. Дурнова Н.Ю., Довгалецкий Я.П., Бурлака А.Н., Киселев А.Р., Фурман Н.В. Изучение зависимостей между показателями вариационной пульсометрии, энтропии ритма сердца, временного и спектрального анализов variability ритма сердца в норме и при ишемической болезни сердца. Саратовский научно-медицинский журнал, 2011, т. 7, № 3, с. 607–611.
 57. Егоршин А.П. Мотивация и стимулирование трудовой деятельности: электронный учебник. Н. Новгород: НИМБ, 2014, 112 с.
 58. Жемайтис Д.И., Каукенас И., Кусас В. и др. Система автоматизированного анализа ритмограмм. В кн.: Анализ сердечного ритма. Вильнюс: Мокслас, 1982, с. 5-22.
 59. Забродин Ю.М. Методологические проблемы исследования и моделирования функциональных состояний человека-оператора. В кн.: Вопросы кибернетики. Психические состояния и эффективность деятельности. М.: АН СССР, 1983, с. 3-27.
 60. Загрядский В.П., Сулимо-Самуйлло З.К. Методы исследования в физиологии труда (метод. пособие). Л. ВМА, 1991, 110 с.

61. Зайцев А.В., Лупандин В.И., Сурнина О.Е. Время реакции в теоретических и прикладных исследованиях. Психологический вестник Уральского государственного университета, 2002, вып. 3, с. 3-20.
62. Зайцев А.В., Скорик Ю.А. Математическое описание распределения времени сенсомоторных реакций. Физиология человека, 2002, т. 28, №4, с. 123–126.
63. Зимкина А.М., Асафов Б.Д., Лоскутова Т.Д., Резникова Т.Н., Святогор И.А. Об оценке функционального состояния нервной системы в норме и патологии. В сб.: Нейрофизиологические механизмы психической деятельности человека. Л.: Наука, 1974, с.201-213.
64. Зимкина А.М. Общее функциональное состояние центральной нервной системы, принципы его регуляции и саморегуляции и характеристика нарушений. В кн.: Нейрофизиологические исследования в экспертизе трудоспособности. Л.: Медицина, 1978, с.27-51.
65. Зимкина А.М. Электрофизиологические показатели функционального состояния центральной нервной системы человека. В кн.: Функциональные состояния мозга. М.: МГУ, 1975, с.6-19.
66. Зинченко В.П., Леонова А.Б., Стрелков Ю.П. Психометрика утомления. М.: МГУ, 1977, 109 с.
67. Зыбковец Л.Я. Изменение биоэлектрической активности головного мозга человека при нервно-эмоциональном напряжении. В кн.: Стресс и его патологические механизмы. Кишинев: Штиница, 1973, с. 76-77.
68. Ильин Е.П. Психофизиология состояний человека. СПб.: Питер, 2005, 412 с.
69. Ильин Е.П. Эмоции и чувства. СПб.: Питер, 2011, 783 с.
70. Илюхина В.А., Данько С.Г. Комплексный подход к изучению адаптивных системных реакций и функциональных состояний человека. Физиология человека, 1986, т.12, №1, с.25-37.
71. Иовчук Н.М., Северный А.А. Депрессии у детей и подростков. М.: Школа-Пресс, 1999, 79 с.
72. Казин Э.М., Блинова Н.Г и др. Практикум по психофизиологической диагностике (учеб. пособие для студ. высш. учеб заведений). М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2000, 128 с.

73. Казин Э.М., Иванов В.И., Литвинова Н.А. Влияние психофизиологического потенциала на адаптацию к учебной деятельности. Физиол. Человека, 2002, т.28, №3, с.23-29.
74. Карпенко А.В. Колебательная структура психофизиологических показателей как источник информации о продуктивности умственной деятельности. Физиология человека, 1988, т.14, №5, с.730-738.
75. Киеня А.И., Кириченко О.В. Сенсомоторная реактивность детей, проживающих в радиационно неблагоприятных зонах. Физиология человека, 2001, № 2, с. 98 -103.
76. Кирой В.Н. Физиологические методы в психологии (учебное пособие). Ростов-на-Дону: ООО «ЦВВР», 2003, 224 с.
77. Киселев А.Р., Киричук В.Ф., Посненкова О.М. и др. Изучение природы периодических колебаний сердечного ритма на основе проб с управляемым дыханием. Физиология человека, 2005, т.31, №3, с.76–83.
78. Клецкин С.З. Проблема контроля и оценки операционного стресса (на основе анализа ритма сердца с помощью ЭВМ) (дис. ... докт. мед наук). Москва, 1981, 298 с.
79. Комаров Ф.И. Хронобиология и хрономедицина (руководство). М.: Медицина, 1989, 400 с.
80. Коркушко О.В., Осьмак Е.Д. Возрастные особенности мозгового кровообращения, умственной работоспособности в условиях гипоксии у здоровых людей пожилого возраста с различным типом старения – физиологическим и ускоренным (преждевременным). Кровообращение и гемостаз, 2013, № 2, с. 7-26.
81. Королев С.А., Минаев С.Н. Обучение технико-тактическим действиям в восточных единоборствах на основе смыслового проектирования и решения двигательных задач (учеб. пособие). Тамбов: ТГУ, 2011, 239 с.
82. 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.
83. Криволапчук И.А. Психофизиологические показатели у детей 6–8 лет при информационной нагрузке в зависимости от тревожности как устойчивой индивидуальной характеристики. Физиология человека, 2006, т. 32, № 6, с. 13–18.

84. Крылова И.Ф., Куликов В.Ю., Пиковская Н.Б. Показатели вариабельности ритма сердца у спортсменов, занимающихся пауэрлифтингом. Медицина и образование в Сибири, 2015, № 2.
85. Кубарко А.И., Александров Д.А., Башаркевич Н.А. Гемодинамика. Функциональные показатели кровообращения в вопросах и ответах (учеб.-метод. пособие). Минск: БГМУ, 2012, 26 с.
86. Кулагин Б.В. Основы практической психодиагностики. Л.: Медицина, 1984, 251с.
87. Купалов П.С. Организация нервных процессов головного мозга в условнорефлекторной деятельности. В кн.: Электрофизиологические исследования высшей нервной деят. М., 1962, с. 9-17.
88. Ларионова Е.Л., Викулов А.Д. Некоторые особенности срочной адаптации организма спортсменов к стрессовой нагрузке. Ярославский педагогический вестник, 2005, № 1, с. 1-13.
89. Леонова А.Б. Психодиагностика функциональных состояний человека. М.: МГУ, 1984, 200 с.
90. Ливанов М.Н., Русинов В.С., Симонов П.В. Диагностика и прогнозирование функционального состояния мозга человека. М.: Наука, 1988, 52 с.
91. Литвинова Н.А. Роль индивидуальных психофизиологических особенностей студентов в адаптации к умственной и физической деятельности (автореф. дис. ... д-ра биол. наук). Томск, 2008, 38 с.
92. Литвинова Н.А., Березина М.Г., Прохорова А.М. Адаптация студентов младших курсов в зависимости от уровня функциональной подвижности нервных процессов и функциональной асимметрии мозга. Валеология, 1999, №3, с.26-32.
93. Литовченко О.Г., Арендт Е.А. Хронорефлексометрическая характеристика работоспособности жителей среднего приобья от 7 до 20 лет. Современные наукоемкие технологии, 2007, № 11, с. 24-28.
94. Ломов Б.Ф. Человек и техника: Очерки инженерной психологии. М.: Сов. Радио, 1966, 464 с.
95. Лоскутова Т.Д. Время реакции как психофизиологический метод оценки функционального состояния центральной нервной системы. В кн.:

- Нейрофизиологические исследования в экспертизе трудоспособности. Л.: Медицина, 1978, с. 165-194.
96. Лоскутова Т.Д. Оценка функционального состояния центральной нервной системы человека по параметрам простой двигательной реакции. Физиол. журн. СССР, 1975, т.61, № 1, с. 3-12.
97. Лупандин В.Я., Сурнина О.Е. Асимметрия распределения времени простой сенсомоторной реакции. Физиология человека, 1988, т. 14, №4, с. 700-702.
98. Лямин А.В., Разыграева В.А. Результаты экспериментальных исследований влияния интеллектуальной нагрузки на функциональное состояние студента в информационно-образовательной среде. Открытое образование, 2011, № 1, с. 21-33.
99. Макаров Л.М. Холтеровское мониторирование. М.: Медицина, 2000, 217 с.
100. Маляренко Т.Н., Шутова С.В. Сопряженные эффекты чрескожной анальгезирующей электростимуляции: изменение времени и точности сенсомоторных реакций у юношей в зависимости от конституциональных типов. Валеология, 2000, № 4, с. 36-44.
101. Мантрова И.Н. Методическое руководство по психофизиологической и психологической диагностике. Иваново: Нейрософт, 2010, 216 с.
102. Математические методы анализа сердечного ритма (материалы 1-го Всесоюзного симпозиума). Под ред. В.В. Парина и Р.М. Баевского. М.: Наука, 1968, 182 с.
103. Матлина Э.А. Суточные ритмы активности симпатно-адреналовой системы при спортивной деятельности. «Биоритмы и спортивная деятельность» (матер. симпозиума). Кишинев, 1978, с. 39-42.
104. Машин В.А. Кросс-культурное исследование динамики функциональных состояний при воздействии психоэмоциональных нагрузок. Экспериментальная психология, 2010, №2, с. 5-21.
105. Машин В.А. Нестационарность и длительность временного ряда сердечного ритма при диагностике функциональных состояний. Биофизика, 2007. т. 52, № 2, с. 344-354.
106. Медведев В.И. Адаптация человека. СПб.: Институт мозга человека РАН, 2003, 584 с.

107. Медведев В.И. Классификация поведенческой адаптации. Физиология человека, 1982, т. 8, № 3, с. 362-374.
108. Медведев В.И. Функциональные состояния человека. В кн.: Физиология трудовой деятельности. СПб.: Наука, 1993, с. 10-54.
109. Мельников А.Х., Веневцева Ю.Л., Венкина И.В. Взаимосвязь ритмов различного периода (сердца, биоэлектрической активности головного мозга и хронотипа) у студентов. Вестник Аритмологии, 2000, № 17, с. 55.
110. Милов В.Н., Шляхтин Г.С. Измерение времени сенсомоторных реакций человека. (Методические указания к лабораторным работам по курсу “Общий психологический практикум (Тема I. Психомоторика), Н. Новгород: ННГУ 2001, 21 с.
111. Миловзорова М.С. Анатомия и физиология человека. М.: Медицина, 1972, 215 с.
112. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода. Иваново: ИвГМА, 2002, 290 с.
113. Михайлов Н.Ю., Толмачев Г.Н., Шепелев И.Е. и др. Высокочастотные колебания в сигнале пульсовой волны и их связь с адаптационными реакциями. Биофизика, 2008, т. 53, вып.3, с.482–487.
114. Михайлова Н.М. Депрессии в позднем возрасте. Русский медицинский журнал, 2004, т. 12, № 14, с. 835-838.
115. Мороз М.П., Чубаров И.В. Методология оценки и прогнозирования работоспособности человека-оператора. СПб: ГУП «Петроцентр», 2001, 80 с.
116. Мыльникова И.В., Ефимова Н.В. Сравнительная оценка функционального состояния городских и сельских подростков Иркутской области. Медицинские науки. Успехи Современного естествознания, 2015, №3, с.60-64.
117. Навакатилян А.О., Капщук А.П, Ковалёва А.И., Карпенко А.В. Периодическая структура сердечного ритма минутного и часового диапазона и ее связь с активностью гормональных систем. В кн.: Биоритмы и труд. Л.: Наука, 1980, с. 57-71.
118. Навакатилян А.О., Крыжановская В.В. Возрастная работоспособность умственного труда. Киев: Здоровья, 1979, 207 с.
119. Навакатилян А.О., Крыжановская В.В., Кальниш В.В. Физиология и гигиена умственного труда. Киев.: Здоровье, 1987, 152 с.

120. Нейрофизиологические исследования в экспертизе трудоспособности. Под ред. А.М. Зимкиной, В.И. Климовой-Черкасовой. Л.: Медицина, 1978, 280 с.
121. Никандров М.Г., Блинков С.М. Время простой двигательной реакции и дыхание. Сообщение II. Воздействие непроизвольной задержки дыхания. Физиология человека, 1983, т. 9, №6, с. 1005–1010.
122. Ноздрачев А.Д., Щербатых Ю.В. Современные способы оценки функционального состояния автономной (вегетативной) нервной системы. Физиология человека, 2001, т.27, № 6, с. 95-101.
123. Овчинников Б.В., Павлов К.В., Владимирова И.М. Ваш психологический тип. СПб.: «Андреев и сыновья», 1994, 238 с.
124. Осьмак Е.Д., Асанов Э.О. Особенности умственной и психомоторной работоспособности в условиях гипоксии при старении. Проблемы старения и долголетия, 2011, т. 20, №4, с. 402-409.
125. Павлов И.П. Лекции о работе больших полушарий головного мозга. Полн. собр. соч. М.- Л.: АН СССР, т. 1У, 1951, 451 с.
126. Павлова Л.П. Доминантные механизмы работоспособности. В кн. Нервная система. Л.: ЛГУ, 1988, вып. 26, с. 203-218.
127. Парин В.В., Баевский Р.М., Волков Ю.Н., Газенко О.Г. Космическая кардиология. Л.: Медицина, 1967, 206 с.
128. Пери А. Депрессия. Под ред. Пери А., Руксталис М. и др. М.: Мир, 2009, 215 с.
129. Писарук А.В. Вариабельность ритма сердца при старении. «Нарушения ритма сердца: возрастные аспекты» (матер. I Украинской науч.-практ. конф. с межд. участ.). Киев, 2000, с. 176-182.
130. Прихожан А.М. Тревожность у детей и подростков: психологическая природа и возрастная динамика. М.: Московский психолого-социальный институт; Воронеж: МОДЕК, 2000, 304 с.
131. Психологическое тестирование: переводное издание (Пишо П.). Науч. ред. пер. на рус. яз. А.И. Нафтульева. СПб.: Питер, 2003, 159 с.
132. Психология. Учебник. Под ред. А.А. Крылова (глава 15). М.: Проспект, 2005, с. 210-228.

133. Развитие психофизиологических функций взрослых людей (средняя взрослость).
Под ред. Б.Г. Ананьева и Е.И. Степановой. М.: Педагогика, 1977, 198 с.
134. Редько А.В., Бачериков Е.Л., Камскова Ю.Г. Исследования утомления у студентов в процессе учебной деятельности. Вестник ЮУрГУ, Серия «Образование, здравоохранение, физическая культура», 2008, вып.16, № 19, с. 36-37.
135. Ржепецкая М.К. Степени снижения работоспособности операторов при действии различных факторов среды. Физиология человека, 1995, т.21, № 4, с. 69-72.
136. Розанова В.А. Методика диагностики мотивации к достижению успеха Т.Элерса. В кн.: Психология управления. М.: Академия, 1999, с. 105-106.
137. Рунова Е.В. Вейвлет-анализ вариабельности сердечного ритма в оценке функционального состояния регуляторных систем организма человека (Автореф. дис. ... к-та б. наук). Ниж.Новгород, 2008, 24 с.
138. Рябыкина Г.В., Соболев А.В. Анализ вариабельности ритма сердца. Кардиология, 1996, № 10, с. 87-97.
139. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. Пер. с англ. М.: Медгиз, 1960, 275 с.
140. Семенюк Л.М. Хрестоматия по возрастной психологии (учеб. пособие для студентов). Москва: Институт практической психологии, 1996, 304 с.
141. Середина Н. В., Шкуренок Д. А. Основы медицинской психологии: общая, клиническая, патопсихология. Ростов н/Д: Феникс, 2003, 512 с.
142. Синицкая Е.Ю. Спектральная характеристика вариабельности сердечного ритма у детей 8-10 лет при умственной и физической деятельности (автореф. дис. ... к-та б. наук). Архангельск, 2006, 24 с.
143. Синицкая Е.Ю., Волокитина Т.В. Оценка функционального состояния вегетативной регуляции сердечного ритма у детей младшего школьного возраста. Экология человека, 2012, № 7, с. 29-37.
144. Смирнов Л.М., Наватикян А.О., Гамбашидзе Т.М. Биоритмы и труд. Л.: Наука, 1988, 143 с.
145. Снежицкий В.А. Методологические аспекты анализа вариабельности сердечного ритма в клинической практике. Медицинские новости, 2004, №9, с. 37-43.

146. Соколова Л.В., Сунцов С.А. Динамика показателей функционального состояния центральной нервной системы спортсменов-единоборцев 12-14 лет. Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки, 2015, № 4, с.99-106.
147. Солодков А.С. Руководство к практическим занятиям по физиологии человека (учеб. пособие для вузов физической культуры). М.: Советский спорт, 2011, 200 с.
148. Сорокина М.А. Особенности функционального состояния центральной нервной системы у преподавателей высшей школы. Фундаментальные исследования, 2008, № 11, с. 28-32.
149. Степанова С.И. Биоритмологические аспекты проблемы адаптации. М.: Наука, 1986, 244 с.
150. Стрельникова И.Ю. Психомоторные качества и успешность учебно-профессиональной деятельности. Известия Алтайского государственного университета, 2010, т.2, №2, с.64-68.
151. Суворова В.В. Психофизиология стресса. М.: Педагогика, 1975, 208 с.
152. Тимченко А.Н. Основы биоритмологии (учеб.-метод. пособие). Харьков: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2012, 148 с.
153. Трикетт Ш. Как победить депрессию и избавиться от тревоги. М.: ЭКСМО, 2002, 160 с.
154. Ушаков И.Б., Вартбаронов Р.А., Усов В.М. Системная концепция индивидуального здоровья с позиций практической медицины. Часть 1. Теоретические аспекты. Гигиена и санитария, 2004, № 2, с. 61–68.
155. Федорова М.З., Липунова Е.А. Сравнительная оценка изменений частоты сердцебиений в ситуации эмоционального напряжения у детей 7 лет и юношей 17–18 лет. Новые исследования: альманах, 2005, № 1, с. 96–99.
156. Филимонова Н.Б., Кравец Т.В. Определение индивидуальных особенностей динамики кардиоритма при тестировании оперативной памяти человека. Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия», 2010, т. 23 (62), № 3, с. 176-187.

157. Фонякин А.В., Гераскина Л.А., Самохвалова Е.В. Факторы риска кардиальных осложнений при ишемическом инсульте. Невролог. вестн., 2007, № 1, с. 227–228.
158. Халберг Ф. Биологические часы. М.: Мир, 1964, с. 460-474.
159. Хананашвили М.М. Общее функциональное состояние (тонус) головного мозга и механизмы его регуляции. Физиол. журн. СССР, 1970, т. 56, №11, с. 1513-1522.
160. Хаспекова Н.Б. Регуляция вариативности ритма сердца у здоровых и больных с психогенной и органической патологией мозга (автореф. дис. ... д-ра мед. наук). Москва, 1996, 48 с.
161. Цыганок А.В., Маликов Н.В. Особенности возрастных изменений некоторых гемодинамических показателей у девочек 10-16 лет при систематических занятиях гандболом. Физическое воспитание студентов творческих специальностей, 2006, № 1, с. 92-101.
162. Челышкова Т.В., Хасанова Н.Н., Гречишкина С.С., Намитокова А.А., Корник Г.Г., Фролова В.А. Особенности функционального состояния центральной нервной системы студентов в процессе учебной деятельности. Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки, 2008, №9, с.71-77.
163. Чибисов С.М., Катинас Г.С., Рагульская М.В. Биоритмы и Космос: мониторинг космобиосферных связей. М.: Монография, 2013, 442 с.
164. Чурилова Т.М., Леденева Ю.Е., Топчий М.В. Дифференциальная и возрастная психофизиология (учеб. пособие), (глава 4, 7). Ставрополь: СКСИ, 2004, с. 32-44, 116-145.
165. Чуян О.М., Бирюкова О.А., Раваева М.Ю. Физиологические механизмы variability сердечного ритма. Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия», 2008, т. 21 (60), № 3, с. 168–189.
166. Шевченко О.В., Киселев А.Р., Гриднев В.И. Динамика 0,1 Гц–компоненты спектра variability сердечного ритма на фоне лечения фозиноприлом и атенололом у больных артериальной гипертонией. Саратовский научно–медицинский журнал, 2008, т. 4, №1, с.84–87.

167. Шлык Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов. Ижевск: Удмуртский университет, 2009, 259 с.
168. Шутова С.В., Муравьева И.В. Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС. Вестник ТГУ. Серия: Естественные и технические науки, 2013, т. 18, вып. 5, с. 2831-2840.
169. Щербатых Ю.В. Вегетативные проявления экзаменационного стресса. Прикладные информационные аспекты медицины, 1999, т. 2, №1, с. 59-62.
170. Щербатых Ю.В. Что выявляет спектральный анализ вариабельности сердечного ритма? Прикладные информационные аспекты медицины, 1999, т.2, № 4, с. 40-47.
171. Acharya U.R., Kannathal N., Sing O.W., Ping L.Y., Chua T. Heart rate analysis in normal subjects of various age groups. Biomed Eng Online, Vol.3, № 1, 2004, pp. 24.
172. Akselrod S., Gordon D., Ubel F.A. et al. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat to beat cardiovascular control. Science, 1981, Vol. 213, pp. 220-222.
173. Bealer S.L. Anteroventral third ventricle periventricular tissue contributes to cardiac baroreflex responses. Clin. Exp. Pharmacol. Physiol., 2000, Vol. 27, № 5/6, pp. 460-464.
174. Berntson G.G., Cacioppo J.T. Heart rate variability: Stress and psychiatric conditions. In: M. Malik, A. J. Camm (Eds.), Dynamic Electrocardiography. New York: Futura, 2004, pp. 57-64.
175. Berntson G.O., Bigger T., Eckberg D.L., Grossman P., Kaufmann P.G., Malik M. et al. Heart rate variability: Origins, methods and interpretive caveats. Psychophysiology, 1997, Vol.34, № 6, pp. 623–648.
176. Bigger J.T., Fleiss J.L., Steinman R.C. et al. RR variability in healthy, middle-aged persons compared with patients with chronic coronary heart disease or recent acute myocardial infarction. Circulation, 1995, Vol.91, № 43, pp. 1936-1943.
177. Boksem M.A., Meijman T.F., Lorist M.M. Mental fatigue, motivation and action monitoring. Biological Psychology, 2006, Vol. 72, № 2, pp. 123-132.
178. Bulent F. Relation of hand preference, muscle power, lung function and reaction time in rt handed taekwondo players. World Appl Sci J., 2011, Vol. 12, №8, pp. 1288–1290.

179. Cinaz B., La Marca R., Bert Arnrich B., Tröster G. Monitoring of mental workload levels. Proceedings of IADIS International Conference e-Health, 2010, pp. 189-193.
180. Dane S., Bayirli M. Correlations between hand preference and durations of hearing for right and left ears in young healthy subjects. *Percept Mot Skills.*, 1998, Vol.86, №2, pp. 667–672.
181. De Boer R.W., Karemuker J.M., Stracker J. On the spectral analysis of blood pressure variability. *Am. J. Physiol.* 1986, Vol. 251, pp. 685-687.
182. Donovan O.O., Cheung J., Catley M., McGregor A.H., Strutton P.H. An investigation of leg and trunk strength and reaction times of hard-style martial arts practitioners. *J Sports Sci Med.*, 2006, Vol. 5, pp. 5-12.
183. Ferreira D., Correia R., Nieto A., Machado A., Molina Y., Barroso J. Cognitive decline before the age of 50 can be detected with sensitive cognitive measures. *Psicothema*, 2015, Vol. 27, № 3, pp. 216-222.
184. Fozard J.L., Vercryssen M., Reynolds S.L., Hancock P.A., Quilter R.E. Age differences and changes in reaction time: the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *The Journals of Gerontology*, 1994, Vol. 49, № 4, pp. 179-189.
185. Gale A., ColesM., Blaydon J. Extraversion-introversion and the EEG. *Brit. J. Psychol.*, 1969, Vol. 60, № 2, pp. 209-223.
186. Gandhi P.H., Gokhale P.A., Mehta H.B., Shah C.J. A Comparative Study of Simple Auditory Reaction Time in Blind (Congenitally) and Sighted Subjects. *Indian J Psychol Med*, 2013, Vol.35, №.3, pp. 273-277.
187. Harting J.K., Glendenning K.K., Diamond I.T., Hall W.C. Evolution of the primate visual system: anterograde degeneration studies of the tecto-pulvinar system. *Am J Phys Anthropol.*, 1973, Vol.38, №2, pp. 383–392.
188. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart Journal*, 1996, V. 17, pp. 354-381.
189. Hemanth Kumar V., Dr. B.G. Sudarshan, Dr. S.C. Prasanna kumar A Review of Different Analyzing Methods to Extract HRV Data. *IJCTT*, 2013, Vol. 4, № 4, pp. 951-954.

190. Hirsh J.A., Bishop B. Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate. *Am J Physiol*, 1981, Vol. 241, № 4, pp. 620-629.
191. Hoff F. Fieber. Unspezifische Abwehrvorgänge. Unspezifische Therapie. Stuttgart: Thieme, 1957, 145 p.
192. Jensen-Urstad K., Storck N., Bouvier F. et al. Heart rate variability in healthy subjects is related to age and gender. *Acta Physiol. Scand.*, 1997, Vol.160, № 3, pp. 235-241.
193. Kanabrocki E.L., Scheving L.E., Halberg F. et al. Circadian variations in presumably healthy men under conditions of peacetime army reserve unit training. *Space Life Sci.*, 1973, Vol. 4, № 2, pp. 258-270.
194. Kleiger R.E., Stein P.K., Bosner M.S., Rottman J.N. Time domain measurements of heart rate variability. *Cardiol.Clin*, 1992, Vol. 10, № 3, pp. 487-498.
195. Knight J.L., Kantowitz B.H. Speed-accuracy tradeoff in double stimulation: Effects on the first response. *Memory and Cognition*, 1974, Vol. 2, № 3, pp. 522–532.
196. Lacey J.I., Lacey B.C. Some autonomic-central nervous system interrelationships. In: *Physiological Correlates of Emotion*. N.Y.: Acad. Press, 1970, pp.205-228.
197. Linder G.N. The effect of caffeine consumption on reaction time. *Bulletin of the South Carolina Academy of Science*, Annual. 2001, p. 42.
198. Lorist M.M., Bezdan E., ten Caat M., Span M.M., Roerdink J.B., Maurits N.M. The influence of mental fatigue and motivation on neural network dynamics; an EEG coherence study. *Brain Research*. 2009, Vol. 1270, pp. 95-106.
199. Lovallo W.R., Gerin W. Psychophysiological reactivity: mechanisms and pathways to cardiovascular disease. *Psychosom Med.*, 2003, Vol. 65, № 1, pp. 36-45.
200. Lovett-Douse J.W., Payne W.D., Podnieks I. An ultradian rhythm of reaction time measurements in man. *Neuropsychobiology*, Vol. 4, №2, 1978, pp. 93-98.
201. Malfatto G., Facchini M., Sala L., Branzi G., Bragato R., Leonetti G. Effects of cardiac rehabilitation and – blocker therapy on heart rate variability after first acute myocardial infarction. *The American Journal of Cardiology*, 1998, Vol. 81, № 7, pp. 834–840.
202. Malik M., Camm A.J. Components of heart rate variability. What they really mean and what we really measure. *Am. J. Cardiol*. 1993, Vol. 72, №11, pp. 821-822.

203. Malliani A., Pagani M., Lombardi F., Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*, 1991, Vol. 84, № 2, pp. 482-492.
204. Montano N., Ruscone T.G., Porta A., Lombardi F., Pagani M., Malliani A. Power spectrum analysis of heart variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt. *Circulation*, 1994, Vol. 90, № 4 pp. 1826-1835.
205. Moskowitz H., Fiorentino D. A review of the literature on the effect of low doses of alcohol on driving-related skills. Washington, DC: US Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, 2000, 60 p.
206. Murray N.P., Russoniello C. Acute Physical Activity on Cognitive Function: A Heart Rate Variability Examination. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 2012, Vol.37, № 4, pp. 219–227.
207. Namita, Ranjan D.P., Shenvi D.N. A comparative study of auditory and visual reaction time in males and females staf during shift duty in the hospital. *Biomedical Research*, 2010, Vol. 21, № 2, pp. 199-203.
208. Nene A.S., Pazare P.A. A study of auditory reaction time in different phases of the normal menstrual cycle. *Indian J Physiol Pharmacol*, 2010, Vol. 54, № 4, pp. 386-390.
209. Newell M.E. The Connection between Emotion, Brain Lateralization and Heart Rate Variability. Master's thesis. Uniformed Services Univ. of the Health Sciences, Bethesda, MD. Dept. of Medical and Clinical Psychology, 2005, 84 p.
210. Nikam L.H., Gadkari J.V. Effect of age, gender and body mass index on visual and auditory reaction times in Indian population. *Indian J Physiol Pharmacol.*, 2012, Vol.56, № 1, pp. 94–99.
211. Osman A. Mechanisms of speed–accuracy tradeoff: evidence from covert motor processes. *Biological Psychology*, Vol. 51, № 2-3, 2000, pp. 173–199.
212. Pagani M., Lombardi F., Guzzetti S. et al. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ Res*, 1986, Vol. 59, № 2, pp. 178-193.
213. Park S.B., Lee B.C., Jeong K.S. Standardized tests of heart rate variability for autonomic function tests in healthy Koreans. *Intern. J. Neuroscience*, 2007, Vol. 117, № 12, pp. 1707–1717.

214. Pendleton D.M., Sakalik M.L., Moore M.L., Tomporowski P.D. Mental engagement during cognitive and psychomotor tasks: Effects of task type, processing demands, and practice. *Int J Psychophysiol.*, 2016, № 109, pp. 124-131.
215. Plainis S., Murray I.J., Chauhan K., Charman W.N. Reaction times as an index of visual conspicuity at night. *Ophtalmic. Physiol.*, 2002, Vol. 22, №5, pp. 409–415.
216. Proverbio A.M., Minniti A., Zani A. Electrophysiological evidence of a perceptual precedence of global vs. local visual information. *Cogn. Brain Research.*, 1998, Vol. 6, №4, pp. 321-334.
217. Richards J.E., Casey B.J. Heart rate variability during attention phases in young infants. *Psychophysiology*, 1991, V. 28, № 1, pp. 43-53.
218. Rimoldi O., Pierini S., Ferrari A., Cerutti S., Pagani M., Malliani A. Analysis of short-term oscillation of R-R and arterial pressure in conscious dog. *Am J. Physiol.*, 1990, Vol. 258, pp. 967-976.
219. Sayers B.M. Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*, 1973, Vol. 16, pp. 17-32.
220. Schuch B. Social anxiety in childhood and youth. *Psychiatr Danub.*, 2009, Vol. 2, № 4, pp. 549-554.
221. Spierer D.K., Petersen R.A., Duffy K., Corcoran B.M., Rawls-Martin T. Gender influence on response time to sensory stimuli. *J Strength Cond Res.*, 2010, Vol. 24, №4, pp. 957–963.
222. Stair I. Clinical tests of the simple method of estimating cardiac stroke volume from blood pressure and age. *Circulation*, 1954, V. 93, pp. 664-681.
223. Sternberg S. Reaction-time experimentation. *Proseminar in psychological methods, Psychology 600–301*, Spring Semester, 2004.
224. Teichner W.H. Recent studies of simple reaction time. *Psychol Bull.*, 1954, Vol. 51, №2:1, pp. 128–149.
225. Trejo L.J., Kochavi R., Kubitz K., Montgomery L.D., Rosipal R., Matthews B. EEG-based estimation of cognitive fatigue. *Proceedings of Symposium OR05 Defense and Security*, 2005, pp. 105-115.
226. Van den Berg D.T.W.M., de Rloet E.R., van Dijken H.H., de Jong W. Brain corticosteroid receptors and regulation of arterial blood pressure. *J. Hypertens.*, 1989, Vol. 7, №. 6, pp. 202-203.

227. Voss A., Heitmann A., Schroeder R., Peters A., Perz S. Short-term heart rate variability-age dependence in healthy subjects. *Physiological Measurement*, 2012, Vol. 33, № 8, pp. 1289-1311.
228. Wang Z.L., Yang L., Ding J.S. Application of heart rate variability in evaluation of mental workload. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*, 2005, Vol. 23, № 3, pp.182-184.
229. Wickelgren W.A. Speed-accuracy tradeoff and information processing dynamics. *Acta Psychologica*, 1977, Vol. 41, pp. 67-85.
230. Wilkinson R.T., Allison S. Age and simple reaction time: decade differences for 5,325 subjects. *The Journals of Gerontology*, 1989, Vol. 44, № 2, pp. 29-35.
231. Wood C.C., Jennings J.R. Speed-accuracy tradeoff functions in choice reaction time: Experimental designs and computational procedures. *Perception & Psychophysics*, 1976, Vol. 19, pp. 92-102.
232. Zhang J. Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects. *Manipulative Physiol Ther.*, 2007, Vol. 30, № 5, pp. 374-379.
233. Zhong X., Hilton H. J., Gates G. J., Jelic S., Stern Y., Bartels M. N., et al. Increased sympathetic and decreased parasympathetic cardiovascular modulation in normal humans with acute sleep deprivation. *Journal of Applied Physiology*, 2005, Vol. 98, № 6, pp. 2024–2032.
234. Ziegler D., Piolot R., Strasburger K. et al. Normal ranges and reproducibility of statistical, geometric, frequency domain, and non-linear measures of 24-hour heart rate variability. *Horm. Metab. Res.*, 1999, Vol.31, № 12, pp. 672-679.