

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ГОЛОВАНОВА
Ирина Валерьевна

**ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОНЯТИЙНОГО
МЫШЛЕНИЯ**

19.00.02 – «Психофизиология» (психологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации
на соискание учёной степени кандидата
психологических наук

Санкт-Петербург – 2018

Диссертация выполнена в Санкт-Петербургском государственном университете.

Научный руководитель:

доктор психологических наук, профессор
Балин Виктор Дмитриевич,
профессор кафедры медицинской
психологии и психофизиологии
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет»

Официальные оппоненты:

доктор психологических наук
Зверева Светлана Викторовна,
старший научный сотрудник Военного
учебно-научного центра ВМФ «Военно-
морская академия имени Адмирала Флота
Советского Союза Н.Г. Кузнецова»

доктор медицинских наук, доцент
Миролюбов Александр Васильевич,
заведующий кабинетом
нейрофункциональных исследований
клиники детских болезней
ФГБВОУ ВПО «Военно-медицинская
академия С. М. Кирова»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки «Институт физиологии
им. И.П. Павлова» Российской Академии
Наук

Защита состоится « 27 » июня 2018 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.232.22 при Санкт-Петербургском государственном университете по адресу: 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 6, факультет психологии, ауд. 227.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. М. Горького Санкт-Петербургского государственного университета по адресу: Университетская наб., д.7/9 и на сайте <https://disser.spbu.ru/>.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат психологических наук



А.В. Трусова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Изучение мышления человека имеет многолетнюю традицию, однако психологические аспекты понятийного мышления остаются недостаточно теоретически и эмпирически разработанными. Исследователями отмечается, что понятийное мышление является высшей формой организации мыслительной деятельности взрослого человека, которая характеризуется способностью понимать сущностные характеристики объектов и закономерности явлений (Выготский Л. С., 1982; Веккер Л. С., 1976; Холодная М. А., 1983), что вносит ощутимый вклад в развитие и функционирование интеллекта человека (Веккер Л. М., 1998; Страбахина Т. Н., 1980; Холодная М. А., 1983, 2012; Ясюкова Л. А., 2005, 2010; Щербакова О. В., Осорина М. В., 2009; Flavell J. H., 1992; Mayer R. E., 1998). Актуальность фундаментальных исследований понятийного мышления заключается в уточнении психологических и психофизиологических механизмов, лежащих в основе интеллекта человека. С прикладной точки зрения изучение понятийного мышления открывает перспективы совершенствования психодидактики образовательных систем детей и взрослых (Панов В. И., 2007; Ясюкова Л. А., 2010; Гельфман Э. Р., Холодная М. А., 2012; Семеновских Т. В., 2014).

Применение психофизиологических методов и многомерных планов обработки регистрируемых показателей обеспечивает рассмотрение процессуальной стороны мышления с позиций системно-структурного принципа (Балин В. Д., 2012). В психологии изучение связи физиологических основ и психологических характеристик мыслительной деятельности соотносится с идеями системного подхода к изучению человека, который является традицией Ленинградской (Санкт-Петербургской) научной школы Б.Г. Ананьева. Ключевым аспектом данного подхода стало рассмотрение человека как индивидуальности, личности и субъекта деятельности в структуре его свойств индивида (Ананьев Б. Г., 2001). Кроме того, выявление основных эмпирических характеристик понятийного и допонятийного мышления в работах Л. М. Веккера позволило развить идею о том, что создание и поддержание ментальной иерархии отношений объектов осуществляется за счёт специфических «энергетических» затрат, которые наблюдаемы в изменениях функционального состояния мозга и вегетативной нервной системы человека (Веккер Л. М., 1976; Веккер Л. М., Палей И. М., 1971; Шеховцова Л. Ф., 1987).

В современных работах широкое обсуждение получила так называемая гипотеза нейроэффективности, которая описывает обратную связь

интеллектуальной (общей когнитивной) успешности с уровнем активации головного мозга (Neubauer A. C., Fink A., Schrausser D. G., 2002; Basten U. et al., 2013; Costanzo M.E. et al., 2016; Causse M. et al., 2017). Во время решения мыслительных задач более успешные испытуемые демонстрируют меньшую активацию мозга, чем менее успешные (Rypma B. et al., 2006; Grabner R. H. et al., 2006; Neubauer A. C., Fink, A., 2009; Dunst B. et al., 2014; Schultz D.H. et al., 2016), что позволяет отметить нелинейный характер соотношения физиологических реакций организма и наблюдаемых результатов мыслительной деятельности.

В этом отношении представляет интерес проблема связи психологических и физиологических «затрат» и успешности мышления, которую можно рассмотреть с позиций эффективности деятельности (Страбахина Т.Н., 1980; Балин В.Д., 1980; Ильин Е.П., 2001). Термин «эффективность», по нашему мнению, позволяет описать процесс мыслительной деятельности в контексте уровня успешности и психофизиологической «цены» такой деятельности, а также уточнения психофизиологических механизмов, которые лежат в основе данного соотношения.

Степень разработанности проблемы.

Аналитический обзор классических и современных работ позволяет выделить несколько аспектов понятийного мышления, рассматриваемых исследователями. Первый аспект заключается в теоретическом осмыслении феномена понятийного мышления и формулировании демаркационных критериев, позволяющих разделить допонятийную и понятийную формы мышления (Веккер Л. М., 1998; Выготский Л. С., 1999; Пиаже Ж., 2003; Холодная М. А., 2012; Harvey O. J., 1966; Schroder H. M., Driver M. J., Streufert S., 1970; Li R., 1996). Вместе с тем, можно наблюдать терминологические расхождения в описании мыслительных операций с понятиями. В качестве операнда понятийной мысли выступает концепт, по этой причине исследователями используется такой термин, как «концептуальное мышление» («conceptual thinking»), однако рассматривается то же психическое явление. Кроме того, термин «понятийное мышление» в настоящий момент используется не только в психологии, но и в культурологии применительно к обсуждению социального феномена «клипового мышления» (Гиренок Ф. И., 2016) без изучения его психологической природы.

Второй аспект касается методологических и методических аспектов оценки понятийного мышления, причем прослеживается неоднородность исследовательских подходов к выбору наиболее адекватного

психологического инструментария. Так, один из подходов заключается в использовании психометрических тестов на интеллект (и их отдельных субтестов), таких как WAIS (Wechsler Adult Intelligence Scale) и WISC (Wechsler Intelligence Scale for Children) Д. Векслера (McCrae, R. R., 1987; Шеховцова Л. Ф., 1987; Лебедева Г. Г., 2015), Тест «Структуры интеллекта Р. Амтхауэра» (Intelligence Structure Test) (Anokhin A. P. et al., 1999; Ясюкова Л. А., 2010) и Тест «Стандартные прогрессивные матрицы» (Raven's Progressive Matrices) Дж. Равена (Бабаева Ю. Д. с соавт., 2012; Трифонова А. В., 2015). Другой подход характеризуется созданием специального методического материала, соответствующего задачам исследования, в первую очередь, изучению индивидуальных различий и уровня понятийных способностей (Осорина М. В., 1976; Страбахина Т. Н., 1980; Холодная М. А., 1983, 2012, 2017; Щербакова О. В., 2009; Холодная М. А., Алексапольский А.А., 2010; Дружинина С. В., 2016), а также клинической диагностике (Поляков Ю. Ф., 1974; Зейграник Б.Ф., 1987; Чередникова Т. В., 2011, 2014; Вассерман Л.И. с соавт., 2014) и выявлению онтогенетических особенностей становления мышления (Ушаков Д. В., 2011; Хазова С. А., 2014; Трифонова А. В., 2015).

Третий аспект заключается в изучении физиологических коррелятов мыслительной деятельности, где используются различные методы регистрации динамики функционального состояния мозга и вегетативной нервной системы. Большая часть исследований сосредоточена на сопоставлении уровня интеллекта с показателями активности мозга в состоянии покоя (фоновой активности) и во время когнитивной деятельности, регистрируемой методом электроэнцефалографии (ЭЭГ), а именно с характеристиками спектральной мощности ЭЭГ (Giannitrapani D., 1969, 1973; Jaušovec N., 2000; Doppelmayr M. et al., 2002; Fink A., Neubauer A. C., 2006; Milz P., 2016; Wang M., 2017). Кроме того, существуют работы, посвященные исследованию вегетативных сдвигов, в частности измерению динамики сердечного ритма и кожно-гальванической реакции в процессе мыслительной деятельности (Одёрывшев Б. С., 1976; Каменская В. Г., Томанов Л.Г., 2008; Luft C.D.V., 2009). Работы последних десятилетий характеризуются использованием метода функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) для выявления психофизиологических коррелятов интеллектуальной успешности (Thatcher R.W., North D., Biver C., 2005; Neubauer A. C., Fink A., 2009; Lipp I. et al., 2012; Basten U. et al., 2013; Dunst V. et al., 2014). С нашей точки зрения, перспективным подходом является параллельное изучение функционального состояния центральной и вегетативной нервных систем в процессе совершения испытуемым мыслительной деятельности.

Целью диссертационной работы является изучение психофизиологических показателей понятийного мышления и их связи с эффективностью мыслительной деятельности.

Задачи исследования:

1. Изучить характер распределения спектральной мощности ЭЭГ в процессе решения испытуемыми задач с преобразованием понятий при различной успешности ответов.

2. Исследовать изменения коэффициента фрактальной размерности сигналов ЭЭГ в процессе решения испытуемыми задач на преобразование понятий при различной успешности ответов.

3. Соотнести полученные показатели динамики распределения спектральной мощности и коэффициентов фрактальной размерности ЭЭГ в процессе понятийного мышления в случаях различной успешности испытуемых.

4. Описать изменения активации вегетативной нервной системы во время понятийного мышления в зависимости от различной успешности, проанализировав вариабельность сердечного ритма и кожно-гальваническую реакцию, а также сравнить данные вегетативные показатели с фоновыми.

5. Выявить связь успешности ответов испытуемых с уровнем понимания инструкций к задачам на понятийные преобразования.

6. Сопоставить особенности динамики вегетативной и мозговой активации в процессе мыслительной деятельности при различных уровнях успешности испытуемых и охарактеризовать психофизиологические показатели эффективности понятийного мышления.

Объект исследования: эффективность понятийного мышления.

Предмет исследования: психофизиологические показатели эффективности понятийного мышления, определяемые на основе изучения функционального состояния мозга (методом ЭЭГ) и вегетативной нервной системы (методами анализа вариабельности сердечного ритма и кожно-гальванической реакции) при различной успешности мыслительной деятельности.

Гипотезы исследования:

1. Эффективность понятийного мышления отражается в изменении электрофизиологических показателей активности головного мозга, где при успешных ответах наблюдается сравнительно более низкая активация (в изменениях спектральной мощности и фрактальной размерности ЭЭГ), чем при неуспешных.

2. Эффективность понятийного мышления характеризуется меньшей вариабельностью реакций вегетативной нервной системы (показателей

вариабельности сердечного ритма и кожно-гальванической реакции) у более успешных испытуемых в сравнении с менее успешными.

3. Существует зона оптимального сочетания мозговой и вегетативной активаций, при которой наблюдается наибольшая успешность в решении мыслительных задач, что проявляется в задачах с преобразованиями понятий.

Теоретическую и методологическую базу исследования составили принцип системного описания человека (Ананьев Б. Г., 2001), комплексный подход к изучению психики (Бехтерев В. М., 2012), учение о доминанте и констелляции нервных центров (Ухтомский А.А., 2002), теория функциональных систем (Анохин П. К., 1975) и системно-эволюционная теория (Швырков В.Б., 1995), структурно-функциональная модель мозга (Лурия А. Р., 1970), концепция продуктивного мышления (Вертгеймер М., 1987), смысловая теория мышления (Тихомиров О. К., 2005), представления о понятийном мышлении как интегральной форме интеллекта в рамках информационной теории психических процессов (Веккер Л.М., 1998; Холодная М. А., 2012) и о соотношении информационных и энергетических характеристик нервно-психической деятельности (Веккер Л. М., Палей И. М., 1971), а также гипотеза нейроэффективности (Neubauer A. et al., 2002; 2005, 2009).

Научная новизна исследования.

Диссертационная работа представляет собой психофизиологическое исследование, в ходе которого выявлены и описаны физиологические изменения, сопровождающие мыслительную деятельность по преобразованию понятий, традиционно исследуемую только с помощью психологических методик.

В диссертации представлен дизайн психофизиологического исследования процессуальной стороны мыслительной деятельности, где приведен опыт адаптации стимульного материала, традиционно предъявляемого испытуемому на бланке, для процедуры электрофизиологического обследования. Кроме того, помимо классического способа изучения ЭЭГ – измерения спектральной мощности – применяется алгоритм вычисления коэффициента фрактальной размерности сигнала ЭЭГ как меры его сложности. Такой подход к обработке данных расширяет представления о способах описания уровня активации мозга при регистрации электроэнцефалографических показателей. Полученные данные о специфике функционального состояния мозга и вегетативных сдвигов в процессе понятийного мышления были сопоставлены с результатами психологических методик, что позволило охарактеризовать возможности методических приемов изучения мыслительной деятельности в психофизиологии.

С позиций изучения информационных и энергетических характеристик психической деятельности раскрываются особенности их соотношения при понятийном мышлении в контексте вопроса эффективности мыслительной деятельности. Для описания эффективности понятийного мышления анализируются и сравниваются совместные изменения функционального состояния центральной и вегетативной нервных систем. Это позволило охарактеризовать соотношения мозговой и вегетативной активации при различной успешности мышления, а также выдвинуть предположения об оптимальном их соотношении, которое опосредует эффективность понятийного мышления.

Теоретическая и практическая значимость.

Результаты диссертационного исследования вносят вклад в представления о психофизиологических механизмах эффективности понятийного мышления. Полученные данные расширяют взгляды о соотношении информационных и энергетических характеристик психической деятельности в контексте мыслительной деятельности разной результативности. С методической точки зрения, разработанная и апробированная в ходе психофизиологического исследования батарея стимульных задач может использоваться в дальнейшем в различных экспериментальных дизайнах для изучения понятийного мышления. Приведенная в диссертации методика электрофизиологического обследования может быть внедрена в экспериментальные планы изучения различных когнитивных процессов.

Описанные в диссертации результаты могут послужить основой для составления методических комплексов оценки понятийного мышления подростков и взрослых, а также использоваться для создания программ коррекции мышления. Стимульный материал, представленный в диссертационной работе, может использоваться в работе психолога как дополнение к психометрическому тестированию интеллекта.

Методы исследования.

Психофизиологические методы: ЭЭГ (регистрация с помощью электроэнцефалографического комплекса «ТЕЛЕПАТ-104Р» с 19 отведениями совместно с использованием программного обеспечения WinEEG), кожно-гальваническая реакция (КГР) и электрокардиография (анализ вариабельности сердечного ритма – ВСР).

Психологические методы исследования: Тест «Стандартные прогрессивные матрицы» Дж. Равена (Raven's Progressive Matrices) (CogitoCentre, 2012); методика «Обобщение трех слов» (Холодная М. А., 2012), адаптированная для процедуры психофизиологического исследования;

разработанный стимульный материал, состоящий из задач с преобразованием понятий (решение метаграмм (Щербакова О. В., 2009) и аргументация противоположных утверждений).

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Динамика психофизиологических показателей в процессе понятийного мышления имеет стадийный характер и включает, по крайней мере, две стадии. Причем особенности активации головного мозга отличаются от первой ко второй стадии решения задач на преобразования понятий.

2. Психологические показатели успешности понятийного мышления связаны с особенностями динамики функционального состояния мозга и вегетативной нервной системы в процессе мыслительной деятельности таким образом, что их сравнительно меньшая активация сопровождает успешные ответы, а большая – неуспешные.

3. Психофизиологические показатели эффективности понятийного мышления на уровне активации головного мозга заключаются в том, что при успешных ответах наблюдается меньшая сложность сигналов ЭЭГ и изменения спектральной мощности в сторону низкочастотных ритмов.

4. Психофизиологические показатели эффективности понятийного мышления на уровне вегетативной нервной системы характеризует наличие меньшей вариабельности сердечного ритма и кожно-гальванической реакции в процессе мышления по сравнению с данными показателями в состоянии покоя.

Достоверность результатов исследования обеспечивается анализом теоретических и методических оснований исследования психофизиологических коррелятов мышления, корректным применением психологических и психофизиологических методов, адекватностью объема выборки, а также использованием адекватных задачам методов математико-статистической обработки данных: анализа распределения спектральной мощности и фрактальной размерности сигналов ЭЭГ, изучения вариабельности сердечного ритма, показателей амплитуды и мощности кожно-гальванической реакции, а также MANOVA с повторными измерениями и многофакторного плана GLM, выполненных в программном пакете Statistica 10.

Апробация и внедрение результатов работы.

Результаты диссертационного исследования были доложены и обсуждались на заседаниях кафедры медицинской психологии и психофизиологии Санкт-Петербургского государственного университета, а также на Международной конференции «Applied Neuroscience and Social

Well-Being» (Москва, 26–28 ноября 2013 г.), Шестой международной конференции по когнитивной науке (Калининград, 23–27 июня 2014 г.), 17-м Всемирном конгрессе по психофизиологии (17th World Congress of Psychophysiology of the International Organization of Psychophysiology) «IOP-2014» (Хиросима, Япония, 23–27 сентября 2014 г.), Международной научной конференции молодых учёных «Психология XXI века: академическое прошлое и будущее» (Санкт-Петербург, 20–23 апреля 2015 г.), Международной научной конференции «Ананьевские чтения–2016. Психология – вчера, сегодня, завтра» (Санкт-Петербург, 25–29 октября 2016 г.), Международной научной конференции молодых учёных «Психология XXI века: системный подход и междисциплинарные исследования» (Санкт-Петербург, 18–20 апреля 2017 г.) и 10-ой Ежегодной международной конференции «Embodied and Situated Language Processing Conference. ESLP-2017» (Moscow, 10-12 сентября 2017 г.).

Материалы и основные результаты диссертационного исследования внедрены в курсы «Психофизиология с практикумом» и «Физиология психической деятельности», читаемые на факультете психологии Санкт-Петербургского государственного университета по направлениям подготовки «Психология» и «Клиническая психология».

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, из них 3 – в журналах, включённых в перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ для публикации результатов диссертаций на соискание учёной степени кандидата и доктора наук.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и выводов, приложений. Текст диссертации изложен на 153 страницах компьютерного набора и содержит 34 рисунка, 3 таблицы, 2 приложения и список литературы, включающий 188 источников, из которых 124 на русском языке и 64 на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** описываются актуальность и степень разработанности проблемы, определяются цель, задачи, объект, предмет и гипотезы диссертационного исследования; излагаются теоретико-методологические основы, научная новизна, сведения о степени достоверности и апробации результатов работы, а также её теоретическая и практическая значимость; формулируются основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава «Теоретические и эмпирические аспекты изучения понятийного мышления» содержит анализ работ, посвященных изучению мыслительной деятельности, и отражает теоретико-методологические основания диссертационной работы. Исследуются терминологические и психологические вопросы феноменологии понятийного мышления. Обосновывается необходимость междисциплинарного подхода к изучению процессуальной стороны мышления, а также роль взаимосвязи его успешности с функциональным состоянием нервной системы в понимании природы индивидуальных различий интеллектуальных способностей. Представлены возможности психофизиологического исследования протекания мыслительной деятельности при различиях в степени успешности решения мыслительных задач и уровне интеллекта.

В параграфе 1.1 «Теоретические подходы к определению и исследованию проблемы понятийного мышления» анализируются основные теоретические взгляды на психологию понятийного мышления, его место и роль в структуре интеллекта, в том числе в онтогенетическом аспекте. Рассматривается взаимосвязь и специфика понятийного мышления в сравнении с другими видами мыслительной деятельности. Приводится описание психологической структуры понятийного мышления в контексте классических и современных взглядов на природу познавательной деятельности. Отдельно обсуждается вопрос информационно-энергетических характеристик мышления как возможного обоснования природы индивидуальных различий успешности мышления и уровня интеллекта, а также проблема эффективности мышления в контексте описания особенностей этих характеристик.

Параграф 1.2 «Способы эмпирического изучения понятийного мышления в психологии» содержит описание методов оценки понятийного мышления в ходе дифференциально-психологических исследований. Рассматриваются возможности применения психометрических тестов на интеллект и проблемы подбора адекватного для оценки мышления стимульного материала. Описаны экспериментальные исследования с созданием различных условий процедуры исследования.

В параграфе 1.3 «Психофизиологические корреляты мыслительной деятельности» обсуждается вопрос изменения физиологических параметров в процессе мышления. Рассмотрены основные методы изучения электрофизиологических коррелятов психической деятельности, такие как регистрация ЭЭГ и вызванных потенциалов головного мозга. Изложены основные подходы к обработке данных, регистрируемых методом ЭЭГ, а также рассматриваются и сравниваются исследовательские работы с

применением данного метода. Приводится описание современных исследований, основанных на применении метода фМРТ, и обсуждается вопрос сопоставления результатов таких работ с данными ЭЭГ в контексте оценки интеллектуальной успешности.

Кроме того, уделяется внимание вопросу исследования функционального состояния вегетативной нервной системы в процессе мыслительной деятельности. Рассматривается связь вегетативных показателей и различной успешности когнитивной деятельности. Обсуждаются возможности использования методов регистрации состояния вегетативной нервной системы, в особенности кожно-гальванической реакции и электрокардиографии для исследования их изменений во время мыслительной деятельности.

На основании аналитического обзора литературы можно заключить наличие дефицита общепринятых психологических методов оценки понятийного мышления и необходимость их дальнейшей разработки, актуальность исследований процессуальных характеристик мыслительной деятельности психофизиологическими методами и их соотнесения с успешностью мышления, а также существование нелинейной связи между уровнем успешности в решении мыслительных задач и динамикой функционального состояния нервной системы.

Во второй главе **«Организация, методы и методики изучения психологических и психофизиологических показателей понятийного мышления»** описаны исследовательский дизайн диссертационной работы, выборка исследования, методический материал, характеристики электрофизиологического оборудования и методы математико-статистической обработки данных.

Параграф 2.1 «Организация исследования» посвящен описанию исследовательских серий и техническим характеристикам используемого электрофизиологического оборудования. Всего в рамках диссертационной работы проведено три серии психофизиологических обследований, в каждой из которых проводилась регистрация ЭЭГ в состоянии покоя и в процессе решения мыслительных задач с преобразованиями понятий. Одновременно с этим регистрировались электрокардиографические показатели (по отведениям от кистей рук) и кожно-гальваническая реакция (по датчикам от указательного и среднего пальцев правой руки). Для формирования двух групп испытуемых с различным уровнем психометрического интеллекта было дополнительно проведено тестирование расширенной группы участников с помощью методики «Стандартные прогрессивные матрицы» Дж. Равена, после чего были отобраны испытуемые с наиболее высокими и

наиболее низкими баллами в данной выборке для психофизиологического обследования.

В параграфе 2.2 «Характеристики выборки» приводится описание исследуемых групп испытуемых. Всего в рамках диссертационного исследования были исследованы 220 испытуемых. Из них в психофизиологических обследованиях – 97 испытуемых. В первой серии приняли участие 34 испытуемых (23 женщины и 11 мужчин; средний возраст – $20,6 \pm 2,8$ лет (здесь и далее приведены среднее арифметическое значение и стандартное отклонение)). В дополнительном тестировании психометрического интеллекта участвовал 161 испытуемый (109 женщин и 52 мужчины; средний возраст $19,6 \pm 2,6$ лет), из которых были отобраны 39 испытуемых (27 женщин и 12 мужчин; средний возраст $20,1 \pm 1,9$ лет) для участия во второй серии психофизиологического обследования. В третьей серии количество испытуемых составило 24 участника (11 женщин и 13 мужчин; средний возраст $21,7 \pm 2,1$ года). Все испытуемые имели незавершенное, либо завершенное высшее образование, нормальное или скорректированное до нормального зрение, не имели диагностированных неврологических и психиатрических заболеваний и недавних черепно-мозговых травм, не являлись билингвами.

Параграф 2.3 «Психологические методы исследования понятийного мышления» содержит описание выбранных методик и стимульного материала. В психофизиологических сериях были использованы задачи, требующие для решения разнонаправленных преобразований с понятиями:

1) обобщение по существенному признаку (методика «Обобщение трёх слов», Холодная М. А., 2012);

2) преобразования от общего к частному (решение метаграмм);

3) аргументация противоположных утверждений.

Описан опыт адаптации предъявления данных стимульных задач к процедуре психофизиологического исследования. Кроме того, в одной стимульной серии использовалась шкала субъективной оценки (от 1 до 10) понимания инструкции испытуемым до и после ответов на предъявляемые задачи. Также приводится описание процедуры проведения методики «Стандартные прогрессивные матрицы» Дж. Равена (Raven J., Raven J. C., Court J. H., 1998).

В параграфе 2.4 «Методы исследования активности головного мозга в процессе понятийного мышления» описывается анализ психофизиологических показателей, полученных с помощью регистрации количественной ЭЭГ. В работе применяются два метода обработки сигналов

ЭЭГ. Первый метод представляет собой изучение спектральной мощности основных ритмов ЭЭГ (Δ (*дельта*)—ритм ЭЭГ от 1,5 до 4 Гц (здесь и далее приводится значение в полосе частот); θ (*тета*)—ритм от 4 до 7,5 Гц; α (*альфа*)—от 7,5 до 14 Гц; β_1 (*бета-1*)—от 14 до 20 Гц; β_2 (*бета-2*)—от 20 до 30 Гц; γ (*гамма*)—от 30 до 40 Гц). Второй метод – анализ коэффициента фрактальной размерности (D_0) как меры сложности временного ряда сигналов ЭЭГ по алгоритму Хигучи (Higuchi's fractal dimension, HFD; Higuchi T., 1988).

В параграфе 2.5 «Методы исследования функционального состояния вегетативной нервной системы в процессе понятийного мышления» описаны два метода исследования вегетативных показателей. Первый метод направлен на анализ variability сердечного ритма (оценка $R-R$ интервалов как показателя изменения времени между двумя последовательными сердечными сокращениями (проба по Р. М. Баевскому; Баевский Р. М., 2002)), второй метод – кожно-гальваническая реакции (Суходоев В. В., 1992,1999).

Параграф 2.6 «Математико-статистические методы обработки данных» описывает план статистического анализа полученных психологических и психофизиологических данных, методы обработки данных и использованные программные пакеты.

Третья глава «Понятийное мышление и его психофизиологические показатели» посвящена рассмотрению динамики трех психофизиологических показателей в процессе мыслительной деятельности и в фоновом замере: ЭЭГ (распределение спектральной мощности и анализ фрактальной размерности), анализ ВСР и КГР. Приводятся результаты сравнения психофизиологических показателей при успешных и неуспешных ответах испытуемых, а также при различном уровне психометрического интеллекта и степени понимания инструкции.

Параграф 3.1 «Спектральная мощность ЭЭГ у испытуемых с различным уровнем успешности понятийного мышления» содержит результаты исследования распределения спектральной мощности основных ритмов ЭЭГ, зарегистрированной в процессе решения задач. В результате анализа динамики изменений спектральной плотности от начала к концу решения заданий можно наблюдать общую тенденцию к снижению высокочастотных (β_1 и β_2) ритмов и повышению низкочастотных (θ и Δ), что означает смещение частотного спектра кривых в сторону низкочастотных ритмов ЭЭГ и отражает процесс синхронизации биоэлектрической активности мозга.

Как видно из рисунка 1, для второй стадии решения стимульных задач характерна большая спектральная мощность ЭЭГ низкочастотных θ (тета) и Δ (дельта) ритмов ($F(5,48) = 21,86; p < 0,001$).

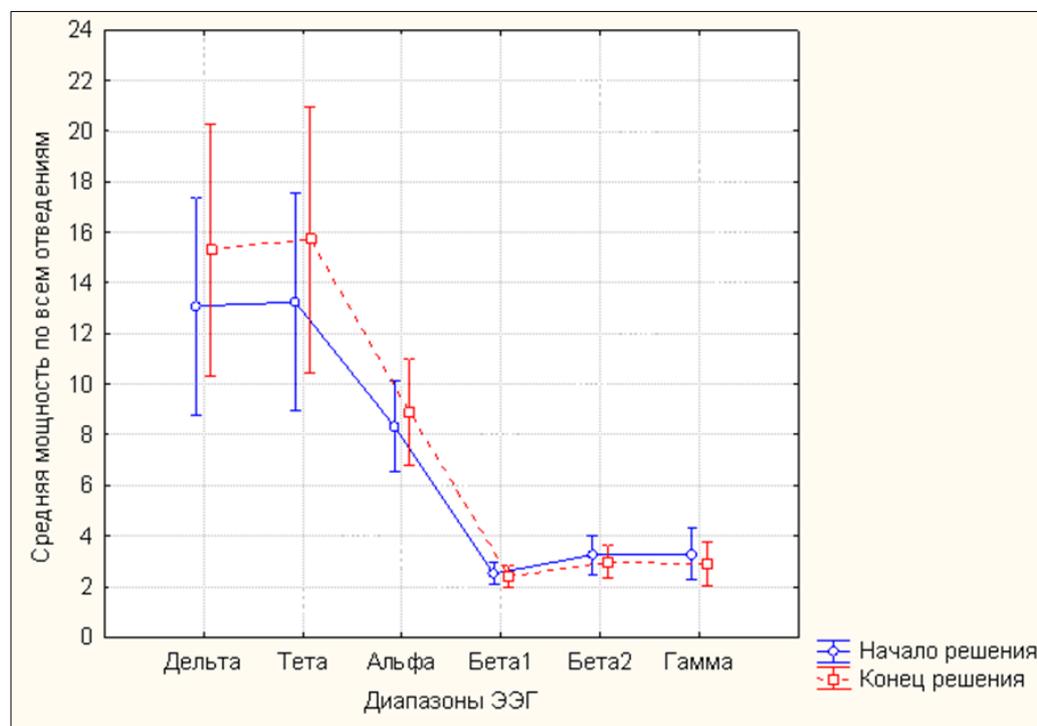


Рисунок 1. Изменение спектральной мощности основных ритмов ЭЭГ в начале (красный столбец) и в конце (синий столбец) решения. По оси абсцисс представлены ритмы ЭЭГ, по оси ординат – показатель спектральной мощности сигнала (в mkV^2).

Здесь и далее изображены «планки погрешности», в качестве меры изменчивости были выбраны доверительные интервалы 95%.

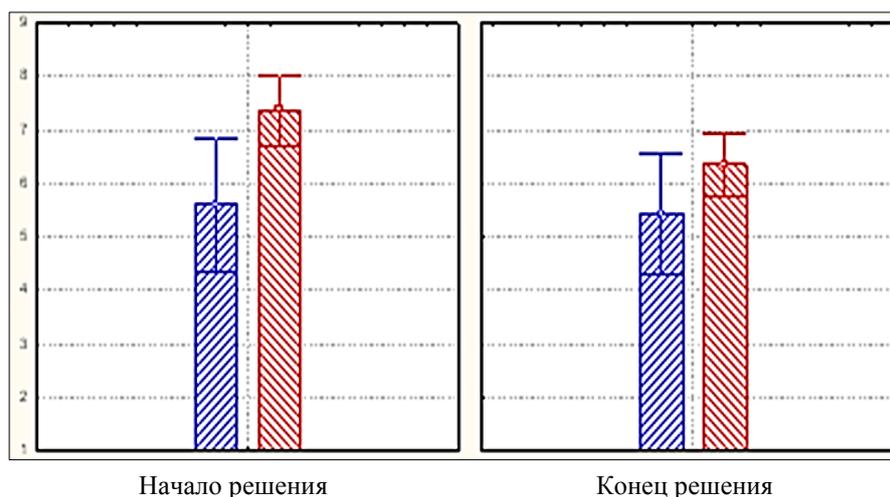


Рисунок 2. Изменение спектральной мощности β_2 -ритма спектральной мощности в левом височном отведении T5. По оси абсцисс отображены показатели в начале и в конце выполнения заданий при успешных (красный столбец) и неуспешных (синий столбец) ответах, по оси ординат – спектральная мощность ЭЭГ (в mkV^2)

Было выявлено, что изменение ритма β_2 значительно более выражено, когда испытуемый отвечает успешно, чем при неверном ответе ($p = 0,006$). На рисунке 2 иллюстрируется типичное изменение мощности β_2 в начале и в конце задания при успешных и неуспешных ответах на примере темпорального отведения $T5$. Можно отметить, что при успешном ответе в начале β_2 имеет большую мощность и, напротив, меньшую в конце решения.

Полученные данные распределения спектральной мощности ЭЭГ свидетельствуют в пользу предположения о стадийном характере изменений процессов синхронизации и десинхронизации ритмической активности. Так, преобладание на начальной стадии (начало решения) высокочастотной β_2 -активности (в особенности при успешном ответе) связано с тем, что данный частотный диапазон наиболее связан с активной когнитивной деятельностью (Ray W.J., Cole H.W., 1985). Напротив, вторая стадия обнаруживает преобладание низкочастотной ритмики, в исследованиях связываемой со внутренней переработкой информации (Harmony T. et al., 1996).

В параграфе 3.2 «Исследование динамики коэффициента фрактальной размерности ЭЭГ в процессе успешного и неуспешного решений мыслительных задач» представлены результаты сравнения коэффициентов фрактальной размерности ЭЭГ, вычисленных с помощью алгоритма HFD.

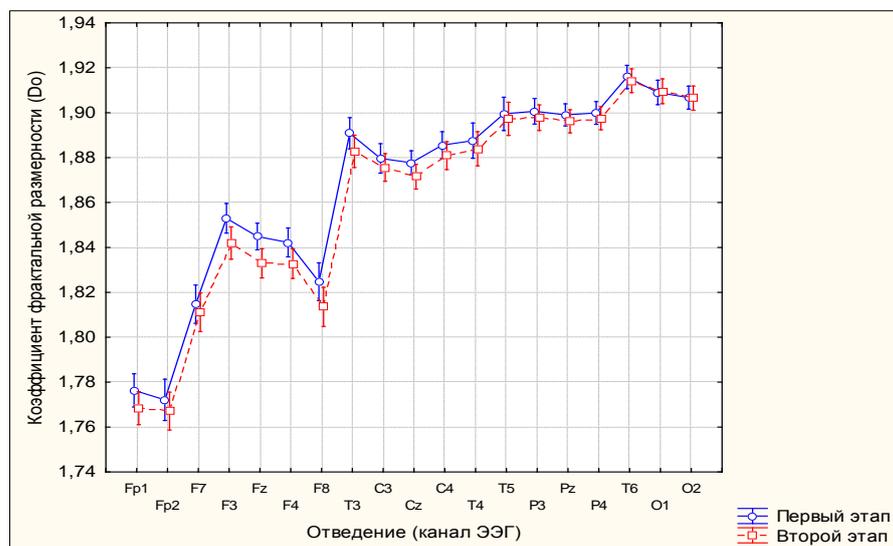


Рисунок 3. Изменение коэффициента фрактальной размерности (D_0) от первого ко второму этапу решения мыслительных задач. По оси абсцисс – отведения (каналы ЭЭГ); по оси ординат – коэффициент фрактальной размерности (D_0) сигнала ЭЭГ (показатель от 1 до 2)

На рисунке 3 демонстрируются различия в показателях фрактальной размерности (D_0) по каждому каналу ЭЭГ на первом и втором этапе решения задач испытуемыми ($p < 0,001$). Можно наблюдать, что сложность сигнала ЭЭГ (описываемая данным коэффициентом) наиболее различается во фронтальных отведениях, которые регистрируют активность префронтальной

коры. Кроме того, отчетливо наблюдается тренд снижения фрактальной размерности ЭЭГ на втором этапе решения.

При сравнении двух групп испытуемых с различными баллами IQ (по тесту «Стандартные прогрессивные матрицы») наблюдаются значимые различия (рисунок 4) по фронтальным ($F3, F4$) и височному ($T5$) отведениям ($F(18,72) = 8,38; p < 0,001$). Можно наблюдать инверсию в соотношении коэффициентов фрактальной размерности, где большая сложность в левой височной области (которой подлелжит зона Вернике, связанная с пониманием смыслового содержания речи и текстов) наблюдается у испытуемых группы с более высоким IQ. И наоборот, сравнительно ниже показатели сложности в лобных отведениях (на которые проецируется активность префронтальной коры, обеспечивающей контроль деятельности и регуляцию эмоций).

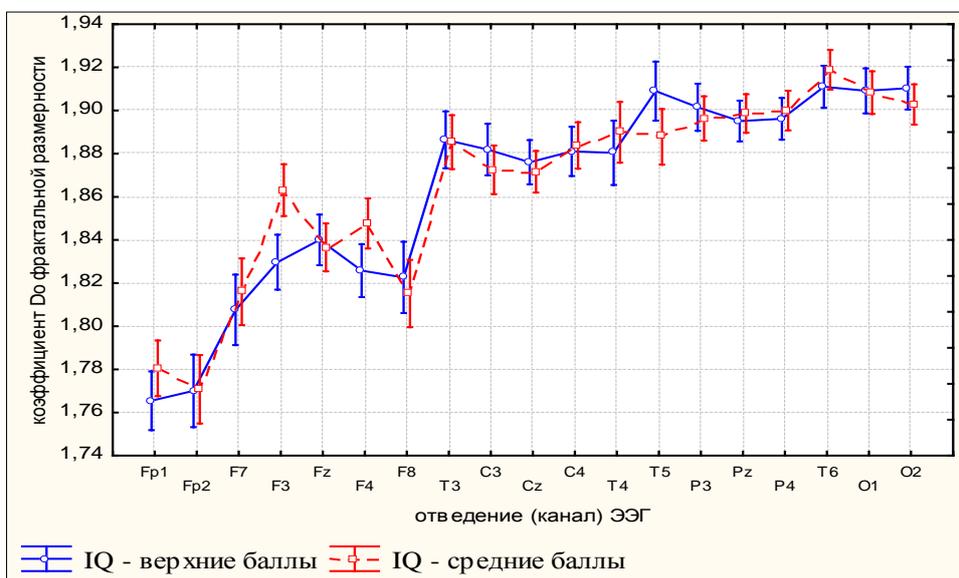


Рисунок 4. Сравнение коэффициента фрактальной размерности (D_0) для двух групп испытуемых, сформированных по результатам теста «Стандартные прогрессивные матрицы» (с наиболее высокими и наиболее низкими баллами в данной выборке). По оси абсцисс представлены отведения (каналы ЭЭГ), по оси ординат – показатель коэффициента фрактальной размерности сигнала ЭЭГ

При различной успешности ответов (верный и неверный ответ) для двух групп испытуемых наблюдается различная сложность сигнала ЭЭГ, как следует из рисунка 5. Наибольшая сложность сигнала ЭЭГ наблюдается в пробах, где процесс решения оканчивался неверным ответом в группе испытуемых с большим IQ, а наименьшая – для той же группы при верном ответе. Обратные результаты получены для группы менее успешных испытуемых. Наоборот, при верном ответе в данной группе сложность сигнала ЭЭГ выше, чем при неверном ($p = 0,005$).

Обобщая полученные данные, можно отметить инверсионный характер связи сложности сигнала ЭЭГ и успешности понятийного мышления, где для более успешных испытуемых характерны меньшие показатели коэффициента фрактальной размерности ЭЭГ. Данную закономерность можно связывать и с меньше общей активацией мозга в процессе решения задач, что соответствует современным работам, подтверждающим гипотезу нейроэффективности (Neubauer A. C., Fink A., 2009; Dunst B. et al., 2014; Schultz D.H. et al., 2016).

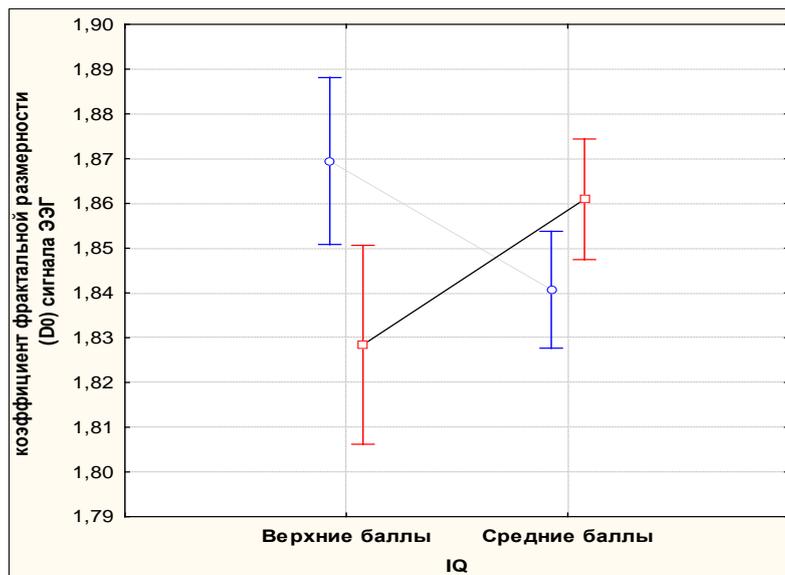


Рисунок 5. Сравнение коэффициента фрактальной размерности (D_0) для двух групп испытуемых, сформированных по результатам теста «Стандартные прогрессивные матрицы» (с наиболее высокими и наиболее низкими баллами в данной выборке) при различной успешности ответов (красным отмечены успешные, а синим – неуспешные ответы). По оси абсцисс представлены показатели для испытуемых с верхними и средними баллами по тесту, по оси ординат – показатель коэффициента фрактальной размерности сигнала ЭЭГ

В параграфе 3.3 «Сопоставление показателей спектральной мощности и фрактальной размерности ЭЭГ» содержит сравнение данных, полученных при изучении спектральной мощности и фрактальной размерности сигнала ЭЭГ, и обсуждение полученных результатов. Как указано выше, характеристики смещений спектра частот ЭЭГ могут рассматриваться с позиций синхронизации и десинхронизации сигнала (где десинхронизированная ЭЭГ состоит в преобладании колебаний в полосах высокой частоты – β и γ , а синхронизированная, наоборот, в низкочастотных полосах – θ и Δ). С другой стороны, коэффициент фрактальной размерности сигнала ЭЭГ описывает сложность сигнала, вклад в которую вносит возникновение высокочастотной ритмики ЭЭГ (Вассерман Е. Л. с соавт.,

2004; Слезин В.Д. с соавт., 2007), следовательно, синхронизированная ЭЭГ соответствует меньшей фрактальной размерности временного ряда, а десинхронизированная ЭЭГ – большей (Меклер А.А., 2004). Следовательно, два используемых метода анализа ЭЭГ могут быть сопоставимы, а их совместное использование позволяет описать изменения активации головного мозга не только с точки зрения ритмо-волновых изменений, но с учетом характера сложности сигналов ЭЭГ.

Параграф 3.4 «Динамика активации вегетативной нервной системы при успешных и неуспешных решениях мыслительных задач» описывает наблюдаемые в процессе понятийного мышления вегетативные сдвиги по сравнению с фоновыми показателями функционального состояния вегетативной нервной системы.

При анализе амплитуды КГР получены значимые различия случаев разной успешности ответов. На рисунке 6 показано, что характеристики амплитуды КГР больше при неверном ответе ($p < 0,001$).

Поскольку амплитуда кожно-гальванической реакции традиционно в литературе связывается с показателями эмоционального состояния в процессе когнитивной нагрузки (Van den Heuvel E., 2009; Nourbakhsh N. et al, 2012; Durantin G., 2014), можно предположить наличие связи успешности регуляции вегетативного состояния и успешности ответа испытуемого.

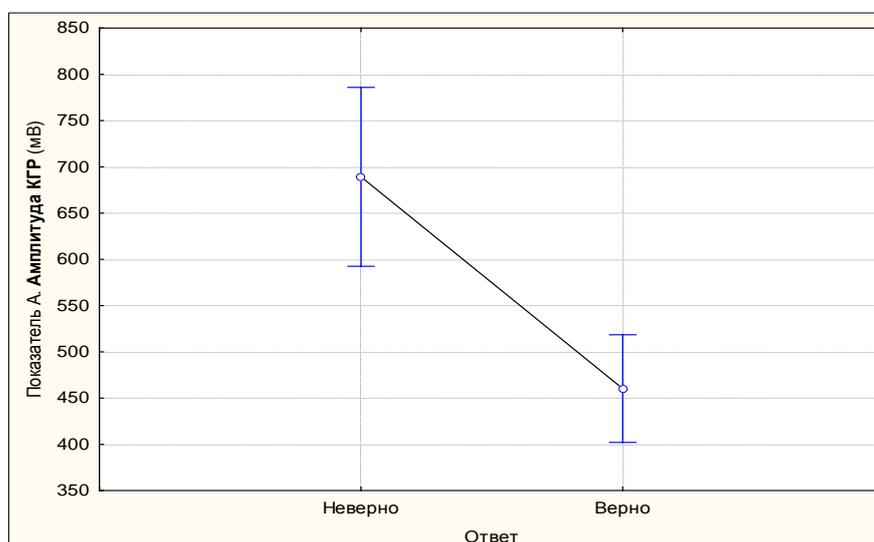


Рисунок 6. Сравнения показателя А (средняя амплитуда КГР в мВ) при различной успешности ответов («верно» и «неверно»). По оси абсцисс показаны два случая ответа (верный и неверный), по оси ординат – показатель амплитуды КГР

Помимо этого, наблюдаются различия в показателях variability сердечного ритма – *R-R* интервалах (рисунок 7). Можно наблюдать, что по сравнению с фоновой записью отклонения при неверном (неуспешном)

ответе больше. Показатели variability сердечного ритма также связываются в исследованиях с реакцией на субъективно высокую когнитивную нагрузку (Segerstrom et al., 2007; Luque-Casado et al., 2015), что указывает на менее оптимальное состояние вегетативной нервной системы и переживание большей когнитивной нагрузки испытуемым при неверном решении. При верных ответах отклонение амплитуды КГР от фоновых показателей, напротив, меньше, что может говорить о меньшей вовлеченности в процесс решения базовых в эволюционном плане процессов эмоциональной и вегетативной регуляции ($p < 0,001$).

Полученные данные о состоянии вегетативной нервной системы при различной успешности ответов позволяют предположить, что успешную мыслительную деятельность сопровождает более слаженная активация вегетативной нервной системы, что сочетается с результатами соотношения успешности решения и активации головного мозга.

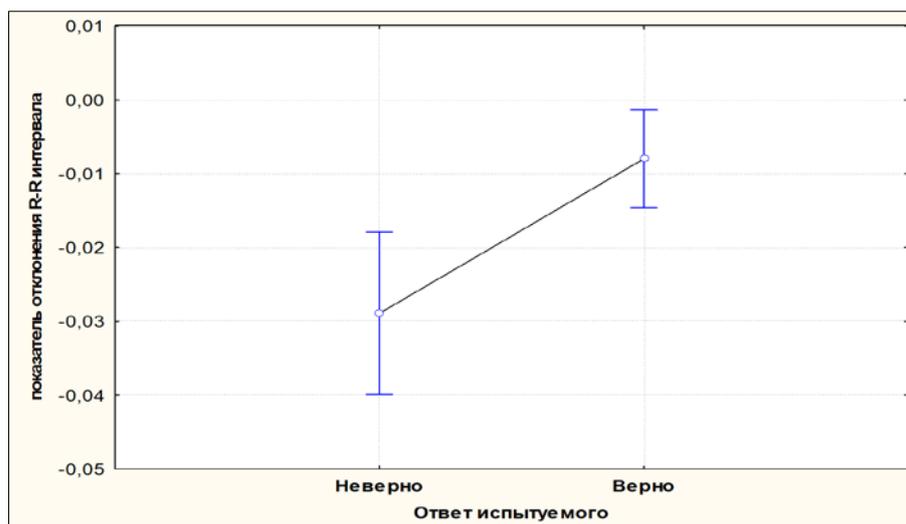


Рисунок 7. Сравнения отклонения R-R интервалов от фонового показателя при различной успешности ответов («верно» и «неверно»). По оси абсцисс показаны два случая ответа (успешный и неуспешный), по оси ординат – показатель отклонения R-R интервала, как индикатора variability сердечного ритма, где нулевая точка – отсутствие отклонения

В параграфе 3.5 «Взаимосвязь успешности решения мыслительных задач испытуемым с оценкой понимания им инструкции к заданию» приводятся данные о корреляционных связях успешности ответов испытуемых и оценки понимания инструкции. Наиболее сильные связи, получены между оценками понимания инструкции до решения и после решения ($r = 0,695$, $p < 0,001$), а также между общей успешностью испытуемого и оценкой инструкции после решения ($r = 0,711$, $p < 0,001$). По нашему мнению, оценка понимания инструкции испытуемым,

необходимость оценить её понимание, создаваемая в экспериментальных условиях, взаимосвязана с успешностью решения стимульных задач, поскольку помогает испытуемому уточнить условия мыслительной задачи.

В четвертой главе «Теоретическая модель эффективности понятийного мышления» представлено обсуждение полученных в диссертационном исследовании результатов. Описывается соотношение активации ЦНС и ВНС в процессе понятийного мышления и на основе полученных результатов делается предположение о теоретической модели изучаемого явления. По нашим представлениям, для столь сложной мыслительной деятельности, как понятийное мышление, необходимо физиологическое состояние «оптимума», обеспечивающее адекватное задаче функциональное состояние мозга и вегетативной нервной системы для эффективного ее решения.

В заключении обобщаются результаты диссертационного исследования и указываются перспективные линии дальнейшей работы.

ВЫВОДЫ

1. Психологические показатели успешности понятийного мышления связаны с особенностями динамики психофизиологических показателей в процессе мышления таким образом, что при успешных ответах наблюдается сравнительно меньшая активация головного мозга и вегетативной нервной системы, а при неуспешных – наоборот, большая.

2. Психофизиологические показатели активации мозга в процессе понятийного мышления характеризуются, по крайней мере, двумя стадиями: а) начальная стадия, для которой характерна большая активация (наблюдаемая в десинхронизации и более высокой сложности сигнала ЭЭГ), что связано со взаимодействием с поступающей задачей; б) стабилизирующая стадия, где происходит относительное снижение данных показателей и, следовательно, уровня активации мозга, что связано с внутренней переработкой информации и формулированием ответа. Данные стадии составляют эффективное протекание понятийного мышления.

3. Динамика функционального состояния мозга у испытуемых с разным уровнем интеллекта различается в случае разной успешности ответов. Для испытуемых с наиболее высоким интеллектом характерны наиболее низкие показатели сложности сигнала ЭЭГ при успешном ответе, и более высокие, при неуспешном. Напротив, для менее интеллектуально успешных испытуемых наблюдается инверсия, где при успешном ответе сложность сигнала ЭЭГ сравнительно выше, чем при неуспешном. Полученная

закономерность описывает соотношения психофизиологических показателей эффективности процесса понятийного мышления.

4. Существует связь между степенью понимания инструкции испытуемым и психологическими показателями успешности понятийного мышления, где дополнительная задача субъективной оценки понимания инструкции до и после решения основной задачи коррелирует с правильностью ответов в задачах с преобразованием понятий.

5. Изменения функциональных показателей вегетативной нервной системы (вариабельности сердечного ритма и кожно-гальванической реакции) в процессе мыслительной деятельности относительно состояния покоя различается в случаях успешного и неуспешного ответа. Так, успешные ответы сопровождаются меньшими вегетативными сдвигами, чем неуспешные, что опосредует наибольшую эффективность понятийного мышления.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Холодная М.А., Щербакова О.В., Горбунов И.А., Голованова И.В., Паповян М.И. Информационно-энергетические характеристики различных типов когнитивной деятельности // Психологический журнал. 2013. Т. 34. № 6. С. 96–107.

2. Петров М.В., Колчев А.И., Ершов Б.Б., Гвоздецкий А.Н., Голованова И.В., Даева Н.А. Взаимосвязь редукции негативности рассогласования и когнитивного дефицита при параноидной шизофрении // Вестн. С.-Петербур. ун-та. Психология. Педагогика. 2017. Т. 7. Вып. 1. С.91-103.

3. Голованова И.В., Балин В.Д. Психофизиологические корреляты успешного и неуспешного решения мыслительных задач и их связь с пониманием инструкций // Вестник ЮУрГУ, Серия «Психология». 2017. Т. 10, № 4. С. 40-48.

4. Щербакова О.В., Голованова И.В. Исследовательские возможности методики «Противоположные суждения» // Психология XXI века: Материалы XVII Международной научной конференции молодых ученых 23–25 апреля 2013 года. Санкт-Петербург / Под науч. ред. Р. А. Березовской. – СПб: Коло, 2013. – С. 31–32.

5. Голованова И.В., Горбунов, И.А., Щербакова О.В. Использование методики «Решение метаграмм» в психофизиологическом исследовании// Психология XXI века: академическое прошлое и будущее: Материалы международной научной конференции молодых ученых, 20–23 апреля 2015 года. СПб: Скифия-принт. – С. 44-46

4. Щербакова О.В., Горбунов И.А., Голованова И.В. Психофизиологические корреляты ментального усилия, сопровождающего понятийные преобразования и преодоление информационной многозначности // «Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях – 2013» / Труды III Всероссийской конференции. – Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2013. – С. 209–210.

6. Щербакова О.В., Горбунов И.А., Голованова И.В. Психофизиологические корреляты преодоления многозначности: опосредующая роль ментального опыта // Материалы Всероссийской научной конференции «Человек, субъект, личность в современной психологии» (к 80-летию А.В. Брушлинского) 10–11 октября 2013 года. Москва. – С. 185–187

7. Голованова И.В. Опыт адаптации методики «Обобщение трёх слов» в психофизиологическом исследовании // Приложение международного журнала «Вестник психофизиологии». 2017. Т. 1, № 1. С. 12-14

8. Shcherbakova O., Gorbunov I., Golovanova I. EEG-correlates of Various Verbal Tasks Solving // Abstract Book of the 11th International Symposium of Psycholinguistics, March 20 – 23th, 2013, Tenerife, Spain. P. 51

9. Shcherbakova O., Gorbunov I., Golovanova I. EEG as the Research Method for the Conceptual Thinking // Abstract Book of the Conference «Applied Neuroscience and Social Well-Being» November, 26–28 2013, Moscow, Russia. P. 39

10. Shcherbakova O., Gorbunov I., Golovanova I., Kholodnaya M. Generative Structures and Their Role in Mental Resources Saving: «The Neural Efficiency Hypothesis Perspective» // Шестая Международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов. Калининград, 2014. – С. 674–675.

11. Shcherbakova O., Gorbunov I., Golovanova I., Kholodnaya M. The Neural Efficiency Hypothesis: Further Evidence from the EEG-Study of Conceptual Thinking // International Journal of Psychophysiology. Volume 94, Issue 2. November 2014. Proceedings of 17th World Congress of Psychophysiology (IOP 2014) of the International Organization of Psychophysiology (IOP), Hiroshima, Japan, September 23 to 27th 2014. P. 218.

12. Shcherbakova O., Golovanova I., Gorbunov I., EEG fractal dimension as a marker of cognitive success: Evidence from conceptual thinking tasks // International Journal of Psychophysiology. Volume 108. Proceedings of the 18th World Congress of Psychophysiology (IOP 2016) of the International Organization of Psychophysiology (IOP), Havana, Cuba, August 31st to September 4th 2016. P. 99

13. Golovanova I., Petrov M., EEG data on the differences in the success of thinking, depending on various instructions // Proceedings of the 10th Annual Embodied and Situated Language Processing, Moscow, Russia, September 10– 12, 2017. P.48