

Роик Анастасия Олеговна

КОДИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
В РИТМИЧЕСКОМ РИСУНКЕ ЭЭГ

*Специальность 03.03.01 - физиология*

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

МОСКВА – 2012

Работа выполнена в Лаборатории высшей нервной деятельности человека (зав. лаб. – чл.-корр. РАН А.М. Иваницкий) Учреждения Российской академии наук Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (директор – доктор биологических наук, профессор П.М. Балабан)

Научный руководитель: доктор биологических наук Г.А. Иваницкий

Официальные  
оппоненты: доктор биологических наук Е.С. Михайлова  
кандидат биологических наук А.В. Курганский

Ведущая организация: Биолого-почвенный факультет Санкт-Петербургского государственного университета

Защита диссертации состоится 25 января 2012 года в 14 часов на заседании Диссертационного совета Д.002.044.01 при Учреждении российской академии наук Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (117485 г. Москва, ул. Бутлерова, д. 5а)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения российской академии наук Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН.

Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2011 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета  
доктор биологических наук, профессор

В.В. Раевский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность проблемы

Проблема изучения мышления давно вышла за рамки обособленной области научного знания, приобретя мультидисциплинарный характер. Традиционно мышление изучалось в рамках научной психологии, однако большой интерес представляет психофизиологический аспект проблемы. Изучение процессов мышления путем анализа доступных психофизиологических показателей современными компьютерными методами, в частности, измерение и анализ параметров биоэлектрической активности мозга, относится к перспективным направлениям современных когнитивных исследований. К такому подходу можно отнести, например, исследования функциональной асимметрии полушарий мозга, связанной с креативностью (Разумникова, 2004, 2009; Martindale С., 1999) и особенностями поиска и принятия решений (O'Boyle et al., 1991; Jung-Beeman et al., 2004).

В 1929 году немецкий психиатр Ганс Бергер впервые осуществил запись электрических потенциалов с поверхности головы человека и предложил называть такую запись «электроэнцефалограмма» (Berger, 1929). Метод ЭЭГ получил широкое распространение и по сей день является одним из основных методов регистрации мозговой активности. В первых же опытах Бергер увидел ритм ЭЭГ частотой  $\approx 10$  Гц, подавляемый открыванием глаз или мыслительным напряжением. Спустя несколько лет Эдриан и Мэттьюс подробно описали этот ритм (Adrian, Matthews, 1934), предложив для него название «альфа-ритм». В последующие годы, помимо классического альфа-ритма покоя, было обнаружено, исследовано и описано большое количество разнообразных ритмов мозга человека, имеющих частоту от 0,1 до 70 Гц, а также предложена их классификация по частоте, форме кривой и связи с функциями мозга. В настоящее время общепризнано, что ритмы являются основой ЭЭГ и тесно связаны с большим количеством мозговых функций,

таких, например, как нагрузка на рабочую память (Griesmayr et al., 2010; Klimesch, 1997; Sauseng et al., 2010), поиск вербальных ассоциаций (Abdullaev & Posner, 1998; Nikolaev et al., 2001), подавление нерелевантной зрительной информации (Sauseng et al., 2010). Ритмы мозга обладают веретенообразным характером и подвижной динамикой (Lehman, 1980; Gath et al., 1983, Шишкин, 1997).

В течение XX века для анализа ритмов ЭЭГ было разработано немало количество сложных методов, однако функциональное значение многих ритмов до сих пор остается невыясненным. Это относится, прежде всего, к ритмам, появляющимся в ЭЭГ человека в ходе когнитивной деятельности.

В настоящем исследовании была предпринята попытка связать ритмы мозга человека с решением пространственных, образных и вербальных когнитивных заданий, а также изобразить данные виды когнитивной деятельности на плоскости, основываясь на количественном анализе ритмов ЭЭГ и методах многомерного шкалирования.

### **Обоснование необходимости выполнения работы**

В предыдущих исследованиях, проведенных в лаборатории ВНД человека ИВНД и НФ РАН (зав. лаб. чл.-корр. РАН А.М. Иваницкий), было обнаружено, что в ходе когнитивной деятельности (решение в уме вербально-логических и пространственно-образных задач) в ЭЭГ человека устанавливаются характерные ритмические паттерны, однозначно сопоставимые с характером осуществляемого мыслительного процесса (Иваницкий, 1997; Николаев и др., 1998). Было показано, что ритмический паттерн состоит из нескольких ритмов, отличающихся частотой и топографией. Обнаружилось, что «когнитивные» ритмические паттерны обладают несколькими принципиально важными свойствами: а) высоко индивидуальны; б) для данного индивида устойчивы и сохранны во времени; в) специфичны для вербально-логического и пространственно-образного мышления при инвариантности относительно конкретного вида

выполняемых заданий; г) практически не зависят от трудности заданий и определяются характером осуществляемой мыслительной деятельности, а не степенью умственного напряжения; д) устойчивы и выражены настолько, чтобы распознавать по ЭЭГ тип выполняемого когнитивного задания практически в реальном времени (с задержкой в 2-3 секунды) и с надежностью порядка 85% (в среднем по испытуемым) (Иваницкий и др., 2007).

Критика описанных выше результатов сводилась во многом к тому, что различия в «когнитивных» ритмических паттернах могут являться следствием существенных различий в свойствах стимулов и, соответственно, особенностей их восприятия. Одним из примеров такой аргументированной критики было мнение Т.А. Строгановой о том, что 10-11-герцовый ритм в центральных отведениях есть следствие внимания к центру зрительного поля, которое необходимо при выполнении пространственных заданий, но не является необходимым при выполнении вербально-логических. При этом Т.А. Строганова ссылалась на собственные данные о связи центрального мю-ритма с вниманием к центру зрительного поля (Orekhova et al., 2001), согласующиеся, в свою очередь, с результатами, полученными в других лабораториях (например, Rougeul-Buser & Buser, 1997).

В то же время, предыдущий опыт работы по тематике лаборатории ВНД человека говорил о том, что свойства ритмических паттернов отражают, прежде всего, именно тип осуществляемой мыслительной деятельности, а не ее второстепенные характеристики, такие, например, как трудность задания, субъективное отношение к нему испытуемого (сопутствующий эмоциональный фон – положительный или отрицательный) или конкретный вид задачи (Иваницкий и др., 2007). Мы предполагали, что внимание к центру зрительного поля также не является определяющим фактором, но это предположение требовало экспериментальной проверки. Для этого в рамках представленной диссертационной работы были проведены эксперименты с предъявлением аналогичных когнитивных стимулов в двух сенсорных

модальностях – зрительной и слуховой – в предположении, что при слуховом предъявлении стимулов внимания к центру зрительного поля не требуется. Эти эксперименты были проведены в первой части диссертационного исследования. Полученные в них результаты предварительно продемонстрировали, помимо прочего, тот факт, что при выполнении смешанных заданий (задач из планиметрии, описываемых словесно) устанавливается паттерн, являющийся суперпозицией «чистых» пространственного и вербального паттернов. Таким образом, вторая часть диссертационного исследования (градуальные стимулы) в значительной степени вытекла из желания прояснить и развить этот полученный в первой части результат.

Вюрцбургская школа «психологии мышления» (Психология мышления, 2008; Mandler & Mandler, 1964) выделяет три его типа: практически-действенное, наглядно-образное и словесно-логическое. Таким образом, используемые в предыдущих экспериментах в лаборатории ВНД человека задания требовали вовлечения принципиально разных типов мышления и, соответственно, сильно различались по психологическим характеристикам. Полученные ранее результаты подвергались той критике, что нет ничего удивительного в том, что столь различающиеся виды когнитивной деятельности порождают разные паттерны ритмов мозга. Эта критика также подтолкнула нас к идее использовать стимулы с градуально и реципрокно изменяющейся степенью пространственности и вербальности.

Важно было выяснить, что представляют собой паттерны ритмов мозга при выполнении заданий промежуточного вида. По этому поводу мы имели два предположения: 1) паттерны, возникающие при выполнении смешанных заданий, состоят из ритмов, промежуточных по своим характеристикам (прежде всего, частоте) между ритмами, проявляющимися при выполнении «чистых» заданий; иначе говоря, смешанный паттерн являет собой «диффузный сплав» пространственно-образного и вербально-логического паттернов; 2) ритмические признаки вербально-логического и

пространственно-образного мышления не смешиваются; промежуточный паттерн представляет собой суперпозицию пространственно-образного и вербально-логического паттернов. Первая гипотеза предполагает, что смешанное когнитивное состояние является новым качеством, отличным от «чистых» вербально-логического и пространственно-образного мышления. Вторая гипотеза соответствует предположению о том, что вербально-логическое и пространственно-образное мышление, будучи принципиально различными, альтернативны, не смешиваются и не могут осуществляться одновременно. Пролить свет на эти вопросы должны были эксперименты с градуальными стимулами, осуществленные во второй части диссертационного исследования.

Анализируя данные экспериментов с градуальными стимулами, мы получили неожиданный, принципиально новый результат, которого не предполагали на стадии планирования исследования. Мы обнаружили, что ритмические паттерны, устанавливающиеся в ходе когнитивной деятельности, соотносятся друг с другом определенным образом, образуя «когнитивное пространство», изоморфное пространству психологических характеристик осуществляемой мыслительной деятельности. Возникла идея расположить когнитивные состояния на плоскости в соответствии с «расстояниями» между соответствующими ритмическими паттернами. Эта идея была реализована на заключительном этапе диссертационной работы.

### **Цели исследования**

В первой серии экспериментов целью было выяснить, насколько сенсорно-модально-зависимыми являются «когнитивные» ритмические паттерны, а в какой степени они определяются собственно характером осуществляемой мыслительной деятельности, независимо от модальности стимулов.

В ходе анализа результатов первой серии было установлено, что при выполнении заданий, в которых задействованы оба типа мышления,

устанавливается паттерны композитного типа, содержащие признаки как пространственного, так и вербально-логического мышления. Поэтому целью второй серии экспериментов было, во-первых, проверить этот результат на большем количестве данных и новых стимулах, а, во-вторых, выяснить, как изменяются паттерны ритмов мозга при плавном изменении степени пространственности и вербальности в когнитивных заданиях.

### **Задачи исследования**

1. Создать стимульный материал, провести серию экспериментов и выявить различия между ритмическими паттернами, соответствующими разным видам мыслительной деятельности, при предъявлении заданий на слух (через громкоговорители) и зрительно (на экране монитора).
2. Выяснить, в какой степени ритмические паттерны, наблюдаемые при выполнении когнитивных заданий, зависят от сенсорной модальности стимулов и от трудности заданий.
3. Создать линейку стимулов с градуально изменяющимися свойствами пространственности и вербальности и выяснить, каковы будут ритмические паттерны при выполнении заданий смешанного типа, требующих вовлечения пространственного и вербального мышления.
4. Проследить, как будут изменяться паттерны ритмов мозга при плавном изменении степени пространственности и вербальности в когнитивных заданиях.
5. Найти и применить адекватные методы количественного сравнения и ранжирования ритмических паттернов, устанавливаемых при выполнении заданий с разным соотношением пространственности и вербальности.

### **Научная новизна**

Полученные результаты и сделанные на их основе выводы являются принципиально новыми.

Впервые показана несмешиваемость базисных типов мышления (пространственно-образного и вербально-логического) на уровне паттернов ЭЭГ.

Впервые применены методы многомерного шкалирования для отображения различных когнитивных состояний на плоскость в соответствии с объективно измеренными параметрами ритмов мозга.

Впервые показано, что пространство объективно регистрируемых параметров ритмов ЭЭГ, устанавливающихся при выполнении когнитивных заданий, изоморфно пространству психологических характеристик этих заданий, т.е., объективное и субъективное когнитивные пространства изоморфны.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Полученные в диссертационной работе научные результаты заставляют по-новому взглянуть на роль ритмов мозга в процессах мышления. Изоморфность субъективного и объективного когнитивных пространств однозначно свидетельствует о высокой информативности и функциональной нагруженности ритмов ЭЭГ, их сложной структуре и строгой, соответствующей содержанию когнитивной деятельности, упорядоченности.

Многочисленные, описанные в мировой литературе данные о связи определенных ритмов ЭЭГ с конкретными функциями мозга находят свое отражение в факте высокой коллективной упорядоченности ритмов в процессе мыслительной деятельности, в структурированности описывающих эти ритмы параметров.

Найденные фундаментальные закономерности могут быть применены на практике – в клинике и для целей профессионального отбора. Например, ожидается, что при определенной психической патологии форма констелляций когнитивных состояний может претерпевать вполне определенного вида деформации. Работы в этом направлении уже начаты в Лаборатории ВНД человека ИВНД и НФ РАН. Также ожидается, что

индивидуальная форма констелляций может быть коррелирована со свойствами личности и с генотипом, что должно найти применение в практической психологии.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Устанавливающиеся в ходе разного рода мыслительной деятельности паттерны ритмов мозга при слуховом предъявлении заданий различаются между собой не хуже, чем при зрительном.
2. Паттерны ритмов мозга зависят от типа мышления (пространственно-образное или вербально-логическое) в большей степени, чем от трудности заданий.
3. При выполнении заданий промежуточного вида, требующих вовлечения и вербально-логического, и пространственно-образного мышления, устанавливаются паттерны ЭЭГ, являющие собой суперпозицию вербально-логического и пространственно-образного паттернов. В композитном паттерне присутствуют ритмы-признаки обоих упомянутых типов мышления, с сохранением основных параметров – топографии и частоты.
4. Пространство психологических характеристик мыслительной деятельности изоморфно пространству объективно регистрируемых параметров ЭЭГ.

### **Апробация работы**

Результаты работы были доложены на Конференциях молодых ученых в ИВНД и НФ РАН в Москве в 2008, 2009 и 2010 гг., на XV Международном психофизиологическом конгрессе в Будапеште в 2010 г., на III Съезде физиологов СНГ в Ялте в 2011 г., на совместном семинаре лабораторий ВНД человека, Психофизиологии, Физиологии когнитивных процессов и Математической нейробиологии обучения в ИВНД и НФ РАН в октябре 2010 г.

## **Объем и структура диссертации**

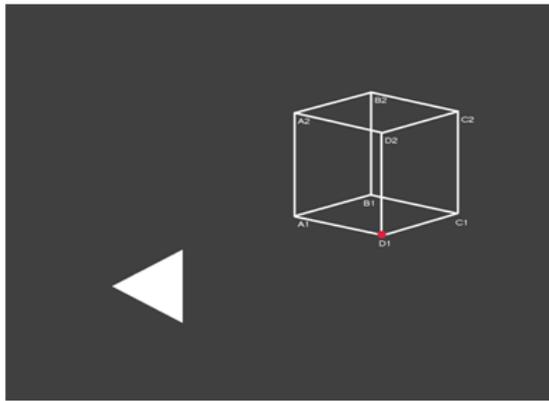
Диссертация состоит из следующих основных разделов: Введение, Обзор литературы, Методика, Обоснование и цели исследования, Положения, выносимые на защиту, Результаты исследования, Обсуждение результатов, Выводы, Список литературы (96 ссылок). Диссертация изложена на 81 странице, содержит 5 таблиц и 15 рисунков.

## **МЕТОДИКА**

### **Испытуемые, стимульный материал и ход эксперимента**

В лаборатории Высшей нервной деятельности человека ИВНД и НФ РАН были проведены 2 серии экспериментов. В первой серии было поставлено 24 эксперимента с участием 12 здоровых испытуемых (возраст от 18 до 26 лет; 10 мужчин, 2 женщины; 3 леворуких, 9 праворуких). Во второй серии было проведено 30 экспериментов с участием 30 здоровых испытуемых (возраст от 18 до 55 лет; 16 мужчин, 14 женщин, все праворукие).

В первой серии экспериментов испытуемым предъявлялись задания четырех различных видов, сначала на слух (через аудиосистему), а затем визуально (на экране монитора). Эксперименты проводились в 2 дня, с предъявлением стимулов в слуховой модальности в первый день, а в зрительной – во второй. Задания относились к двум типам мышления: пространственному и вербально-логическому (по два вида заданий на каждый тип мышления). В каждом виде заданий содержалось по 80 конкретных задач. Таким образом, в ходе исследования (с предъявлением стимулов в одной сенсорной модальности) испытуемый решал 320 заданий, по 80 заданий каждого вида. Длительность исследования составляла около 2,5 часов с перерывом после первого часа (перерыв был необходим для отдыха испытуемого). Условия и количество задач в слуховой и зрительной частях эксперимента были одинаковыми.



1

*В треугольнике ABC  
сторона BC меньше AC,  
но больше AB.  
Верно ли, что угол C  
является наименьшим?*

2

- *Лить пули*
- *Обманывать*
- *Вооружать*
- *Провести*

3

НОТА

4

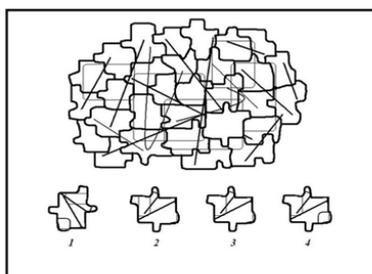
**Рисунок 1.** Примеры заданий первой серии экспериментов.

На рис. 1 показаны примеры заданий первой серии экспериментов. Пространственные: 1. «Задача на представление фигуры в пространстве» (Cube); 2. «Геометрическая задача» (Geom). Вербально-логические: 3. «Лишнее слово» (WW); 4. «Фраза со смыслом» (MS). В задании 1-го вида *при зрительном предъявлении* стимулов показывают «проволочный» куб с красной точкой на середине ребра или в вершине, а также требуемое сечение куба. Испытуемый должен мысленно провести плоскость через красную точку так, чтобы получить требуемое сечение. В ответе нужно назвать еще одну точку в вершине или на середине ребра, через которую пройдет секущая плоскость. *При слуховом предъявлении* этого вида заданий испытуемый заранее (в процессе тренировки решения задач) усваивает, как называются точки в вершинах или на ребрах (например, « $A_1A_2$ ») – это точка на середине

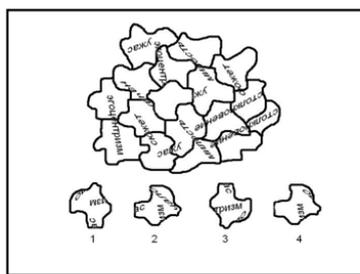
ребра  $A_1A_2$ ). Задача предъявляется устно, например, в случае, показанном на рис. 1, так: « $D_1$ , треугольник». В задании 2-го вида *словесно* (письменно или устно) излагается простая задача из планиметрии, на которую нужно дать ответ «да» или «нет». Очевидно, в этом виде заданий присутствует элемент вербальности, поскольку задание излагается *словами*. В задании 3-го вида даются (на экране или устно) четыре слова или словосочетания, и нужно найти «лишнее» из них. Слова подобраны так, что имеют как прямое, так и переносное значение, поэтому ответ не очевиден. В некоторых случаях задание может иметь больше одного «правильного» решения. Наконец, в задании 4-го вида надо придумать осмысленное предложение, слова которого начинаются с букв предъявленного (опять же, на экране или устно) слова.

Перед началом эксперимента испытуемый обучался решать задачи в свободном от записи электроэнцефалограммы режиме – до тех пор, пока не начинал решать их достаточно уверенно.

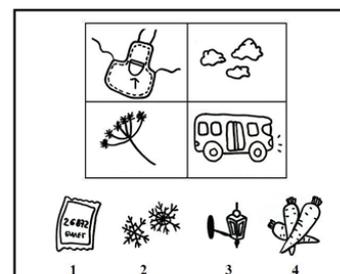
Задания четырех видов предъявлялись попеременно в случайной последовательности со случайными (в пределах от 2,5 до 3,5 секунд) интервалами между предъявлениями. В промежутке между заданиями в зрительной модальности на экране появлялся небольшой крест в центре экрана. Испытуемые находились в затемненной (но не абсолютно темной) комнате на расстоянии в 1,5 м от монитора. Решив задание, испытуемый называл ответ вслух (независимо от модальности предъявленного стимула) и нажимал левую кнопку мыши. Время решения ограничивалось 40 с. По истечении этого времени задание убиралось с экрана (при зрительном предъявлении) или раздавался короткий сигнал (при слуховом предъявлении), после чего предъявлялось следующее задание. Ответы испытуемого фиксировались для контроля правильности решения. При слуховом предъявлении стимулов испытуемый мог нажать правую кнопку мыши, чтобы еще раз прослушать задание; в этом случае отсчет отведенного на решение времени начинался сначала.



1 ●



2 ●



3 ●



4 ●



5 ●



6 ●

**Рисунок 2.** Шесть типов заданий с градуально изменяющимися свойствами пространственности/образности и вербальности (вторая серия экспериментов): 1 - «пазл» с линиями; 2 - «пазл» со словами; 3 – «лишний объект» с картинками; 4 – «лишний объект» с картинками и конкретными словами; 5 – «лишний объект» с конкретными словами; 6 – «лишний объект» с абстрактными словами. В задачах №1 и №2 нужно выбрать один из четырех фрагментов, показанных внизу экрана, для вставки в мозаику. В задачах с №3 по №6 нужно найти картинку или слово внизу экрана, которая(ое) не образует пару с картинкой или словом в рамке. В заданиях №4 и №5 слова конкретные, в задании №6 – абстрактные. Во всех типах заданий ответ испытуемого сообщается нажатием соответствующей клавиши на клавиатуре.

Во второй серии экспериментов использовали линейку типов стимулов с градуальным изменением степени пространственности и вербальности. Всего было 6 типов заданий, каждый из которых содержал по 60 задач. Крайние задачи в линейке относились к «чисто» вербальному и «чисто» пространственному типу. Промежуточные задания требовали включения обоих типов мышления. Таким образом, в каждом эксперименте второй серии испытуемому предъявлялось 360 задач. Длительность исследования составляла около 3-х часов с перерывом после первого часа (для отдыха испытуемого). Задания второй серии были следующими: 1. «Пазл с линиями» (SG); 2. «Пазл со словами» (SW); 3. «Пара «картинка + картинка» (VP); 4. «Пара «картинка + слово» (VM); 5. «Пара «слово + слово» (VC); 6.

«Абстрактная пара «слово + слово» (VW). Примеры заданий показаны на рис. 2; в подписи к нему кратко поясняется, в чем состояла суть заданий. В линейке степень пространственности убывала, а степень вербальности возрастала с номером вида заданий.

Условия предъявления заданий во второй серии экспериментов были такими же, как в первой – случайная последовательность заданий; межстимульные интервалы 2,5–3,5 с; крест в центре экрана между стимулами; затемненная комната; монитор в полутора метрах от испытуемого. Решив задание, испытуемый давал ответ нажатием клавиши с номером ответа. Время решения ограничивалось 40 с. Ответы фиксировались для контроля правильности решения.

### **Регистрация данных**

В обеих сериях экспериментов запись ЭЭГ велась от 31 электрода, расположенного по расширенной системе 10-20 (Fp<sub>1</sub>, Fp<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, F<sub>7</sub>, F<sub>8</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, F<sub>z</sub>, Cz, P<sub>z</sub>, O<sub>z</sub>, FP<sub>z</sub>, FT<sub>7</sub>, FC<sub>3</sub>, FC<sub>z</sub>, FC<sub>4</sub>, FT<sub>8</sub>, TP<sub>7</sub>, CP<sub>3</sub>, CP<sub>z</sub>, CP<sub>4</sub>, TP<sub>8</sub>) с референтными электродами на мочках ушей и электродом заземления в вертексе. Использовали электродную шапочку с железными залуженными электродами фирмы Electro-Cap (США) и усилитель Neurotravel-24D фирмы ATES Medica (Италия/Россия). Помимо биопотенциалов мозга записывали два канала электроокулограммы от двух пар электродов, расположенных перпендикулярно друг другу (выше/ниже левого глаза и латеральнее внешних углов глаз), и один технический канал, в который помещались идентификационный номер и тип задания, информация о времени предъявления и снятия стимула, нажатии кнопок и истечении отведенного времени. Данные оцифровывались в реальном времени и непрерывно записывались на жесткий диск компьютера с частотой опроса 250 Гц.

## **Отбор данных и отстройка от артефактов**

Из непрерывной записи ЭЭГ с помощью специальной полуавтоматической программы вырезали отрезки, соответствовавшие решению задач (от момента 0,5 с после предъявления стимула до метки об ответе испытуемого; в случае повтора стимула при слуховом предъявлении брали участок после второго предъявления). Все выбранные участки записи, в том числе и участки с движениями глаз, отфильтровывались в диапазоне частот 1-40 Гц. Полученные отрезки ЭЭГ визуально проверяли на наличие в них артефактов, отличных от глазодвигательного. Загрязненные артефактами отрезки отбраковывались. Оставшиеся хорошие отрезки ЭЭГ освобождались от глазодвигательных артефактов с помощью регрессионной процедуры.

## **Вычисление спектральных характеристик ЭЭГ**

Для каждой эпохи ЭЭГ, соответствующей выполнению задания, в каждом канале вычисляли спектрограмму (квадрат модуля преобразования Фурье). Длина окна Фурье-преобразования составляла 4096 отсчетов, или 16,384 с. Соответственно, шаг спектрограммы по частоте был равен  $\approx 0,06$  Гц. Если эпоха ЭЭГ была короче окна Фурье-преобразования, то лишние отсчеты заполнялись нулями. В последнем случае нормировка спектрограммы (для получения значений в  $\text{мкВ}^2/\text{Гц}$ ) производилась не на длину окна Фурье-преобразования, а на истинную длину эпохи. Это делалось для того, чтобы оценка мощности ритмов ЭЭГ, возникающих в ходе выполнения заданий, не зависела от времени выполнения задания, т.е. от длины эпохи. В случае, когда эпоха ЭЭГ оказывалась длиннее окна Фурье-преобразования, отбрасывалось начало эпохи. Единичные спектрограммы сглаживались несколькими проходами простого трехточечного фильтра.

Осреднением спектрограмм получали оценку спектральной плотности мощности ЭЭГ для разных видов заданий. Усредненные спектры отображали на графиках, располагая спектры для разных отведений приблизительно так, как эти отведения расположены на поверхности головы.

## Процедура вычисления индекса различия спектров мощности

Для каждого спектрального отсчета вычислялся уровень достоверности различия спектральной мощности между двумя когнитивными состояниями. Вычисление проводилось независимо для каждого спектрального отсчета по ряду сглаженных единичных спектрограмм с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни. Если уровень недостоверности был ниже  $p=0,05$ , то в данном спектральном отсчете спектры считались достоверно различающимися.

Большое количество элементов для статистического сравнения (в данном случае большое число спектральных отсчетов) неизбежно порождало проблему множественных сравнений, которая была преодолена следующим образом. Перед поточечным применением статистического критерия единичные спектрограммы сглаживались с постоянной сглаживания 0,3 Гц, что соответствовало трем проходам фильтра. Сглаживание позволяло избежать появления «случайно достоверных» спектральных отсчетов, поскольку участки достоверного различения спектров получались сплошными (имели связность).

На графиках усредненных спектров достоверность различия двух кривых показывали цветными полосками внизу.

Далее для выбранной группы отведений ( $F_3, F_4, C_3, C_4, P_3, P_4, F_7, F_8, T_3, T_4, T_5, T_6$ ) и заданного частотного диапазона (5-20 Гц) подсчитывалось суммарное количество «достоверных» спектральных отсчетов, которое затем нормировалось на общее количество спектральных отсчетов в выбранных отведениях и полосе частот. Полученная величина, принимающая значения от 0 до 1, считалась «индексом различия» спектров мощности. Нулевой индекс различия означал статистическую идентичность спектров, а индекс, равный 1, – их максимальное несходство. Мы далее принимали индекс различия за расстояние между двумя когнитивными состояниями, полученное на основе *объективного измерения* параметров ритмов ЭЭГ.

## **Отображение когнитивных состояний на плоскость в соответствии с измеренными индексами различия между ними**

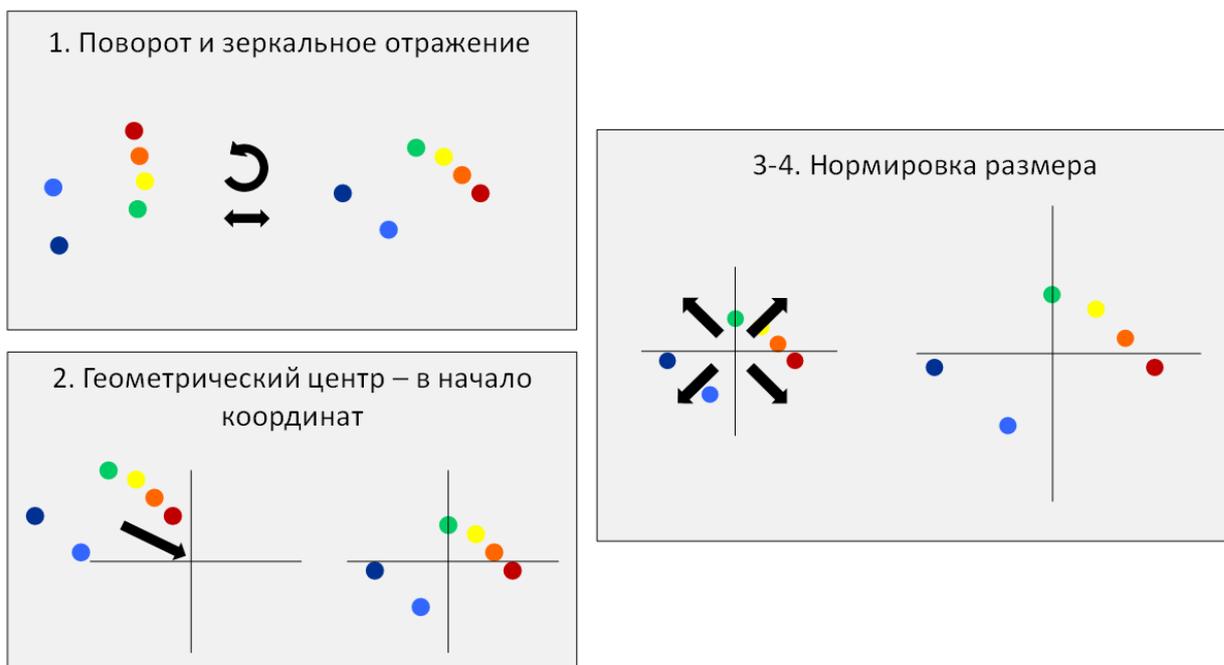
Когнитивные состояния (возникающие при выполнении разных видов заданий) изображали точками на плоскости так, чтобы расстояния между точками максимально соответствовали вычисленным индексам различия спектров. Для этого использовали алгоритм снижения размерности пространства Сэммона (Sammon, 1969). Алгоритм находил констелляцию определенной формы, произвольно расположенную и ориентированную на плоскости. Поворотом и смещением полученную констелляцию когнитивных состояний приводили к стандартному виду: наиболее пространственную задачу (CG) располагали слева, наиболее вербальную (VW) – справа, образную (VP) – сверху. Заметим, что процедура приведения констелляций к стандартному виду никак не изменяла их формы, т.е. расположения когнитивных состояний относительно друг друга.

Констелляции когнитивных состояний, полученные у отдельных испытуемых, затем были усреднены с целью получить констелляцию усредненной формы. Абсолютные размеры констелляций сильно отличались у разных людей (до нескольких раз), но форма их (в большинстве случаев) оставалась стандартной. Мы задались целью усреднить именно *форму* констелляций безотносительно их *размера*, поэтому использовали следующий алгоритм (рис. 3):

1. Поворотом, смещением и при необходимости зеркальным отражением каждая констелляция приводилась к стандартному виду, как сказано выше.
2. «Центр тяжести» констелляции помещался в начало координат.
3. Вычислялось среднее расстояние от начала координат до узлов констелляции (ее средние размеры).
4. Все координаты констелляции нормировались на вычисленное указанным в предыдущем пункте способом среднее расстояние.

5. Координаты стандартизированных и нормированных по размеру индивидуальных констелляций усреднялись по испытуемым.

В результате получалась усредненная констелляция с приблизительно единичным «радиусом».



**Рисунок 3.** Приведение индивидуальной констелляции к стандартному виду перед усреднением.

### **Экспертная оценка степени пространственности, образности и вербальности когнитивных заданий**

Для определения субъективных характеристик когнитивных заданий, предъявляемых во второй серии экспериментов, с целью их сравнения с объективно измеренными показателями ЭЭГ, устанавливающимися при выполнении этих заданий, была проведена экспертная оценка психологических свойств заданий. Для этого были отдельно приготовлены материалы с набором стимулов и подробной инструкцией по их оценке. Стимулы были выбраны из общей базы и предъявлялись в произвольном порядке.

Эксперты, выпускники факультета психологии МГУ (20 человек), приблизительно уравненные по возрасту и полу с испытуемыми ЭЭГ-исследования, должны были дать оценку степени пространственности, образности и вербальности предъявляемых заданий по 10-балльной шкале. Каждым экспертом было оценено по 36 задач (6 задач из каждой категории стимулов). Оценивание стимулов проходило в свободном режиме, без каких-либо ограничений во времени.

При подсчете результатов шкалы «пространственность» и «вербальность» объединяли в одну шкалу с помощью пропорции:

$$E_{пв} = \frac{E_v}{E_v + E_n} \times 10$$

где:

$E_v$  – средняя по эксперту оценка по шкале «вербальность»;

$E_n$  – средняя по эксперту оценка по шкале «пространственность»;

$E_{пв}$  – оценка по объединенной шкале «пространственность - вербальность».

В такой объединенной шкале оценка «10» означает наличие в задаче значительной доли вербальности при отсутствии какой-либо пространственности, а оценка «0» – наоборот, наличие значительной доли пространственности при полном отсутствии вербальности. Введение объединенной шкалы «пространственность - вербальность» потребовалось для удобства сопоставления экспертных оценок с результатами электроэнцефалографического исследования.

Затем оценки, выставленные разными экспертами, были усреднены.

### **Разделение заданий на «трудные» и «легкие»**

Задания каждого вида были разделены на две равные по количеству части – трудные и легкие – по длительности решения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### **Зависимость ритмических паттернов от сенсорной модальности когнитивных стимулов**

На рисунках 4 и 5 приведены усредненные спектры для испытуемого GM при решении когнитивных заданий двух видов (вербально-логического и пространственно-образного), с предъявлением в двух модальностях – зрительной и слуховой. При зрительном предъявлении стимулов (рис. 4) у испытуемого можно видеть хорошо выраженный пик на частоте 10,9 Гц при решении пространственно-образной задачи «На представление фигуры в пространстве» и пик на частоте 10,2 Гц при решении вербально-логической задачи «Фраза со смыслом». Указанные пики проявляются, в основном, в центральных и теменных отведениях (показаны стрелками), а также в затылочных отведениях. Имеется еще пик на частоте 12,0 Гц при решении задачи «На представление фигуры в пространстве», который выражен только в левополушарных отведениях С3 и Р3 (на рисунке – стрелка в Р3).

При решении тех же заданий с предъявлением их на слух (рис. 5) пики на частоте 10,9 Гц и 10,2 Гц так же хорошо выражены, как при зрительном предъявлении. Итак, у испытуемого GM ритмические признаки видов заданий одинаково хорошо выражены и имеют одинаковую частоту при предъявлении стимулов в зрительной и слуховой модальности. Отличия между модальностями проявляются, в основном, в амплитуде 10,9-герцового ритма в затылочных отведениях, которая меньше при зрительной стимуляции. Таким образом, у испытуемого GM ритмический рисунок ЭЭГ при выполнении когнитивных заданий зависит от сенсорной модальности стимула не принципиальным образом. Паттерны для разных видов когнитивной деятельности различаются одинаково хорошо при слуховом и при зрительном предъявлении заданий (индексы различия спектров 0,68 и 0,70). Подобная картина наблюдалась для большинства испытуемых. Можно сделать вывод о том, что сенсорная модальность стимулов не имеет

принципиального значения при осуществлении когнитивной деятельности. Паттерны отражают, прежде всего, внутренне состояние субъекта, а не особенности восприятия информации.

В таблице 1 приведены индексы различия спектров мощности, измеренные при решении заданий разного вида (пространственные vs. вербально-логические), для зрительной и слуховой модальности для всех 12 испытуемых. Средние по испытуемым значения индекса различия спектров при двух типах мышления в слуховой модальности выше, чем в зрительной (для пары «Задача на представление фигуры в пространстве» vs. «Фраза со смыслом» эта разница достоверна; для пары «Геометрическая задача» vs. «Лишнее слово» – нет).

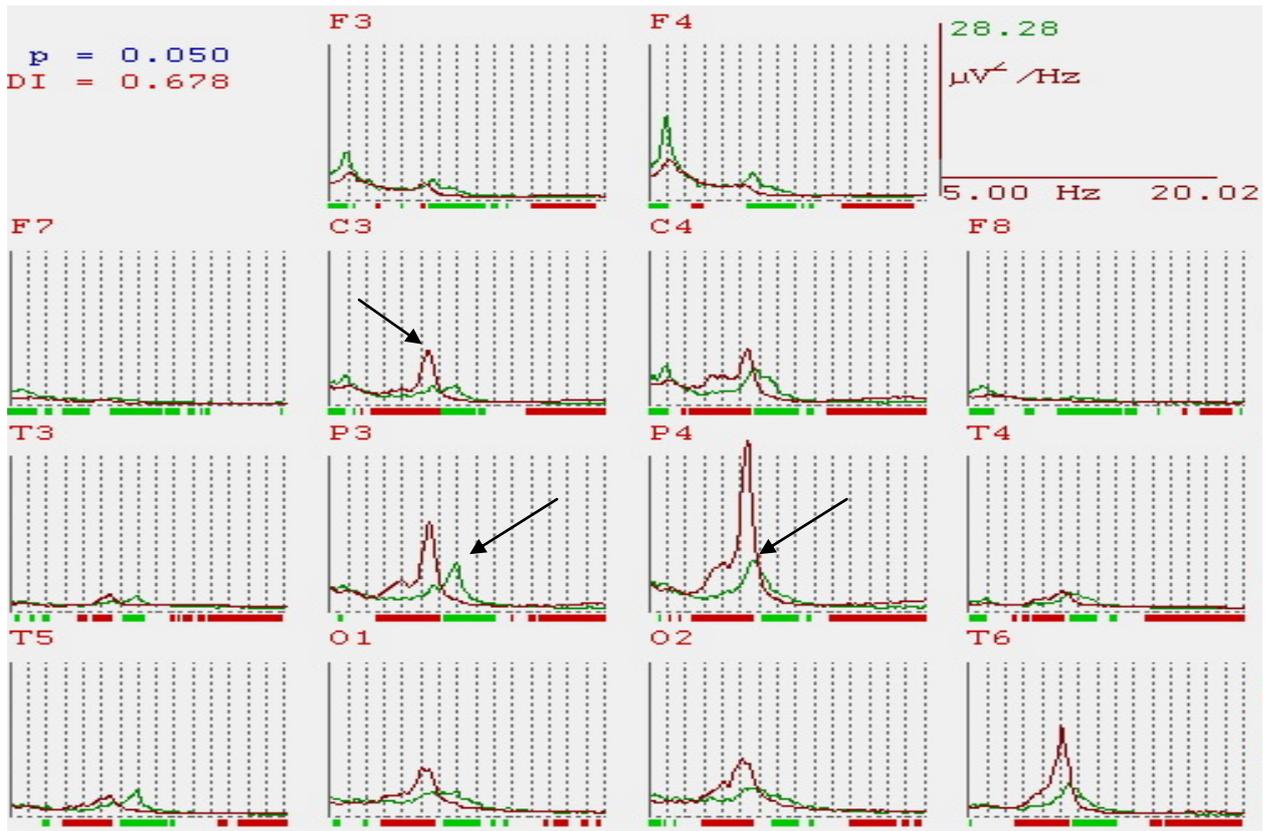
Таким образом, изменение сенсорной модальности предъявления стимулов со зрительной на слуховую, по крайней мере, не ухудшает различимость паттернов. Это противоречит предположению о том, что различия в ритмических паттернах определяются разной степенью внимания к центру зрительного поля.

### **Зависимость ритмических паттернов от трудности задания**

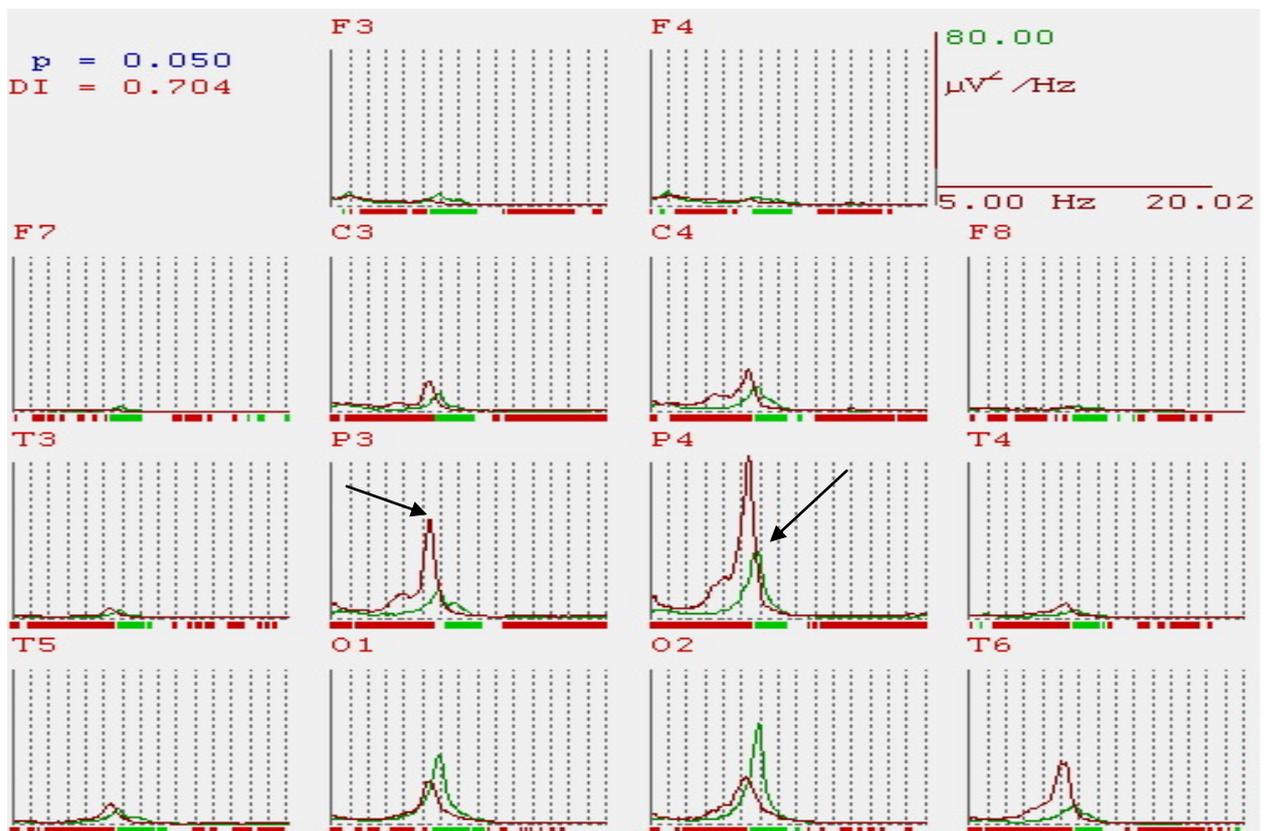
В таблице 2 приведены индексы различия между легкими и сложными заданиями для каждого из четырех типов задач из первой серии опытов. Видно, что в этом случае средние по испытуемым индексы различия меньше аналогичных средних при сравнении разных типов заданий (таблица 1). Различия в средних оказались во всех случаях достоверными ( $p < 0,05$ ; таблица 3).

### **Несмешиваемость ритмических признаков пространственно-образного и вербально-логического мышления**

Как и в первой серии, во второй серии экспериментов полученные данные были представлены в виде усредненных спектров мощности ЭЭГ с указанием (полосками под ними) достоверности их различия, отдельно для каждого



**Рисунок 4.** Усредненные спектры мощности испытуемого GM при решении «Задачи на представление фигуры в пространстве» (зеленая кривая) и задачи «Фраза со смыслом» (красная кривая) с предъявлением стимулов в зрительной модальности.



**Рисунок 5.** То же, что на рис. 4, но с предъявлением стимулов в слуховой модальности.

**Таблица 1.** Индексы различия спектров мощности для разных сенсорных модальностей предъявления стимулов.

Испытуемый	Зрительное предъявление		Слуховое предъявление	
	Cube vs. MS	Geom vs. WW	Cube vs. MS	Geom vs. WW
AV	0,201	0,347	0,407	0,144
BI	0,120	0,014	0,922	0,331
GM	0,678	0,266	0,704	0,479
KI	0,266	0,098	0,385	0,225
KV	0,456	0,170	0,366	0,133
KA	0,173	0,077	0,374	0,111
MI	0,136	0,129	0,552	0,153
MA	0,076	0,295	0,278	0,200
ME	0,165	0,102	0,311	0,226
RM	0,229	0,070	0,638	0,328
SA	0,178	0,118	0,297	0,125
ZI	0,185	0,080	0,409	0,075
<b>среднее</b>	<b>0,239</b>	<b>0,147</b>	<b>0,470</b>	<b>0,211</b>

парный t-критерий  
Стьюдента

*Audio > Visual*  
( $p < 0,005$ )

*Audio = Visual*  
( $p > 0,05$ )

**Таблица 2.** Индексы различия спектров мощности сложных и легких заданий для четырех типов задач.

Испытуемый	Зрительное предъявление				Слуховое предъявление			
	Cub	Geom	MS	WW	Cub	Geom	MS	WW
AV	0,124	0,117	0,144	0,090	0,077	0,060	0,150	0,043
BI	0,055	0,038	0,032	0,034	0,040	0,080	0,140	0,282
GM	0,112	0,127	0,132	0,061	0,075	0,120	0,079	0,058
KI	0,040	0,079	0,041	0,052	0,063	0,054	0,116	0,048
KV	0,191	0,082	0,155	0,054	0,038	0,094	0,084	0,037
KA	0,083	0,052	0,046	0,064	0,143	0,055	0,063	0,047
MI	0,066	0,050	0,102	0,043	0,073	0,153	0,190	0,003
MA	0,063	0,069	0,046	0,071	0,141	0,074	0,125	0,057
ME	0,104	0,120	0,048	0,038	0,062	0,061	0,040	0,035
RM	0,092	0,063	0,059	0,088	0,128	0,111	0,115	0,076
SA	0,075	0,191	0,038	0,046	0,039	0,068	0,053	0,031
ZI	0,080	0,035	0,041	0,044	0,072	0,064	0,073	0,036
<b>среднее</b>	<b>0,09</b>	<b>0,085</b>	<b>0,073</b>	<b>0,057</b>	<b>0,079</b>	<b>0,082</b>	<b>0,102</b>	<b>0,062</b>

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Таблица 3.** Уровни достоверности различия средних значений из таблиц 1 и 2.

	<b>Cube</b>	<b>Geom</b>	<b>WW</b>	<b>MS</b>	<b>модальность</b>
<b>Cube vs. MS</b>	0,017	0,007	0,003	0,002	<b>Зрительное предъявление</b>
<b>Geom vs. WW</b>	0,041	0,046	0,008	0,009	
<b>Cube vs. MS</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<b>Слуховое предъявление</b>
<b>Geom vs. WW</b>	0,007	0,002	<0,001	0,011	

испытуемого, во время выполнения когнитивных заданий разных видов. На рис. 6 представлены усредненные спектры для испытуемой LN при решении заданий трех видов: «чисто» пространственных, «чисто» вербальных и смешанных (расположенных в середине линейки и требующих вовлечения пространственно-образного и вербально-логического мышления). На спектрах видно, что при выполнении промежуточных по степени пространственности/вербальности заданий устанавливается композитный ритмический паттерн, в котором исходные признаки пространственности и вербальности не смешиваются, а сохраняют свои основные параметры – частоту и топографию. Например, ритм частотой 11-12 Гц в отведениях P3 и P4 на рис. 6 можно считать признаком пространственно-образного мышления (синяя кривая), а ритм частотой 9-10 Гц – признаком вербально-логического мышления (красная кривая). При выполнении промежуточных заданий (зеленая кривая) проявляются оба эти ритма, т.е. можно наблюдать ритмы-признаки обоих «чистых» типов мышления. Последнее объясняется, скорее всего, тем, что в задачах с картинками они неизбежно вербализуются. Аналогичное соотношение ритмических паттернов при выполнении «чистых» и промежуточных заданий, демонстрирующее несмешиваемость признаков пространственно-образного и вербально-логического мышления, можно было видеть у большинства испытуемых (при высокой индивидуальной вариабельности формы спектров).

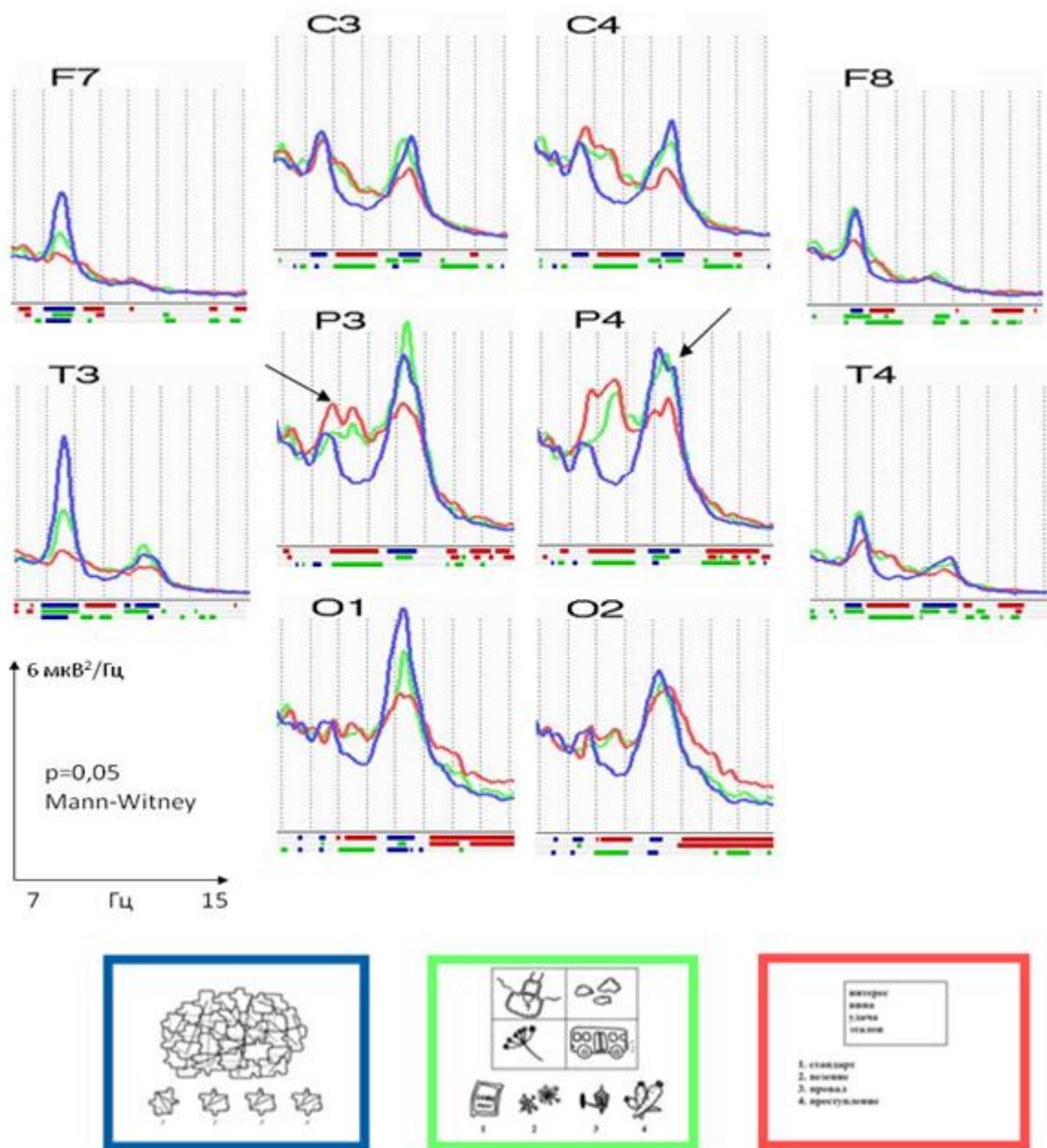
### **Отображение когнитивных состояний на плоскость**

На рис. 7 показано отображение на плоскость шести когнитивных состояний, соответствующих решению разных видов заданий. Для

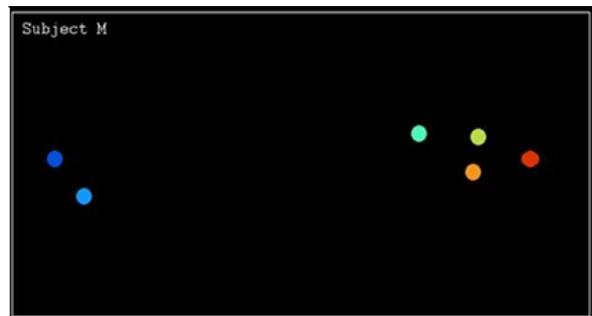
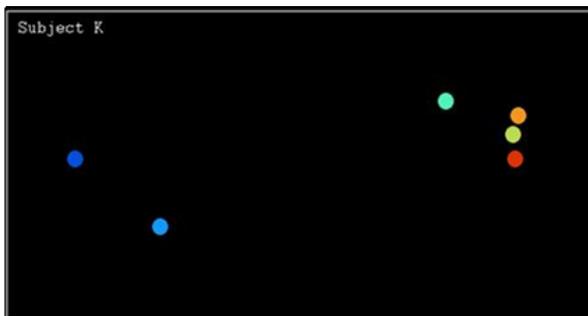
отображения использовали алгоритм снижения размерности пространства Сэммона (Sammon, 1969), сохраняющий, насколько это возможно, взаимные расстояния между когнитивными состояниями, как описано в разделе «Методика». Принципиально схожее взаимное расположение когнитивных состояний на плоскости наблюдалось для большинства испытуемых (19 из 30; на рис. 7 показаны «конstellляции» для трех человек). Разные виды заданий расположились относительно друг друга разумным образом, адекватно отражая их психологические свойства. У испытуемого DG (верхняя часть рис. 7) задания с номерами с 1-го по 6-й расположились слева направо в порядке возрастания номеров (и соответственно в порядке убывания степени пространственности и увеличения степени вербальности). Задания № 4,5 и 6 находятся близко друг к другу, что согласуется с тем, что большинство опрошенных испытуемых отмечали субъективную схожесть этих заданий. Задания №2 («пазл» со словами) и №3 (картинки) оказались разнесены, поскольку сильно различались по степени образности. Анализируя взаиморасположение состояний, мы сочли возможным ввести на условной «когнитивной» плоскости две шкалы (рис. 7): пространственность – вербальность (на рисунках – горизонтальная ось) и образность – абстрактность (вертикальная ось).

### **Сопоставление субъективного и объективного когнитивных пространств**

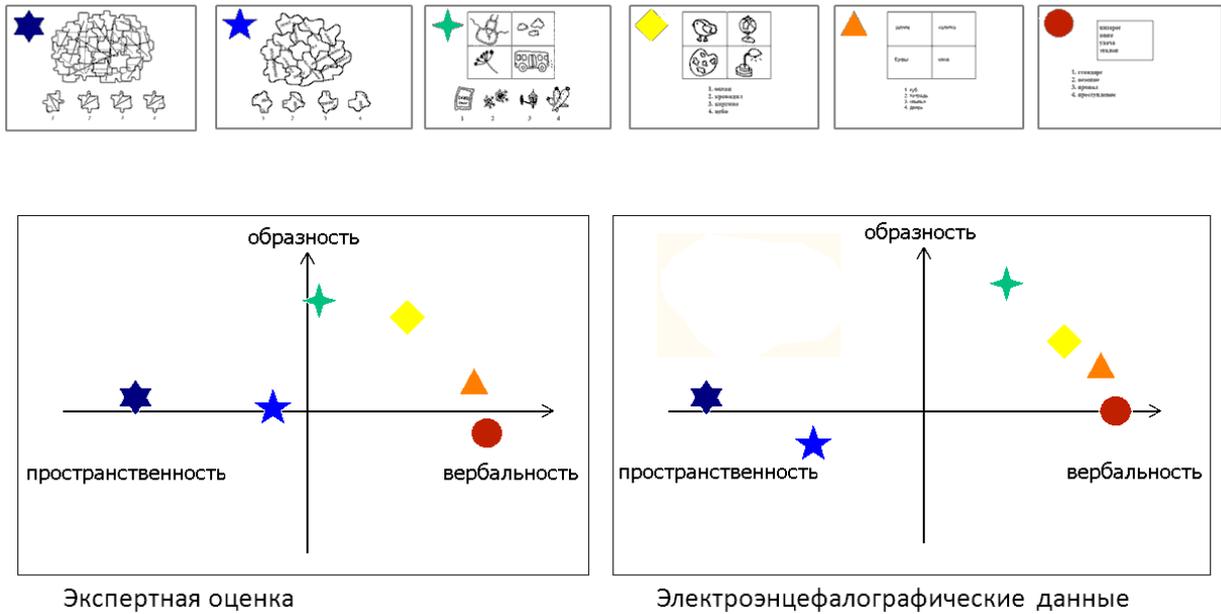
На рисунке 8 показаны две конstellляции когнитивных состояний. Первая (слева) получена усреднением экспертных оценок степени пространственности, образности и вербальности заданий. Вторая (справа) получена усреднением *формы* индивидуальных конstellляций, как описано ранее в разделе «Методы» (см. также рис. 3). Очевидно, что субъективное (левая конstellляция) и объективное (правая конstellляция) «когнитивные пространства» имеют принципиально схожую форму, т.е. изоморфны.



**Рисунок 6.** Спектры мощности ЭЭГ при решении трех типов когнитивных заданий: пространственного («пазл» с линиями, синяя кривая), вербального (лишнее абстрактное слово, красная кривая) и промежуточного по степени пространственности/вербальности (лишняя картинка, зеленая кривая). Полосками под графиками показаны участки достоверно различающихся спектральных кривых (Манн-Уитни,  $p=0,05$ ).



**Рисунок 7.** Отображение когнитивных состояний на плоскость в соответствии с измеренными «расстояниями» (индексами различия) между соответствующими спектрами мощности. Показаны констелляции для трех человек.



**Рисунок 8.** Субъективное (слева) и объективное (справа) когнитивные пространства.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### Когнитивное пространство

Идея «когнитивного пространства», которую мы выдвигаем, сходна с идеей субъективного цветового пространства. Последнее было получено картированием индексов цветоразличения методами многомерного шкалирования (Измайлов и др. 1989; Соколов и др., 1977). В настоящем исследовании мы построили карты «когнитивного пространства» на основе объективных данных – параметров ритмов мозга, устанавливающихся при выполнении испытуемыми заданий. Мы также построили карты субъективного когнитивного пространства, используя оценку, которую дали эксперты (20 человек), уравненные по возрасту и полу с испытуемыми ЭЭГ-исследования. Два указанных когнитивных пространства оказались изоморфны.

Мы отчетливо осознаем, что увидели малую часть истинного «когнитивного пространства», а именно, его ограниченное, низкоразмерное подпространство. Тем не менее, для нас важна сама принципиальная

возможность выявления структуры такого пространства объективными методами.

Еще 30 лет назад было распространено мнение о том, что ЭЭГ не несет в себе много полезной информации, отражает процессы в мозге весьма опосредованно, является эпифеноменом<sup>1</sup>, «дымом из трубы паровоза». Однако упорядоченная картина взаимоотношения ритмических паттернов, регистрируемых в процессе мыслительной деятельности, их изоморфность психологическим характеристикам выполняемых заданий не оставляют места, как нам кажется, для такого толкования ЭЭГ. Столь определенная картина может наблюдаться, только если ритмы ЭЭГ тесно и точно связаны с информационными процессами мозга и, вероятнее всего, сами лежат в основе механизмов, обеспечивающих эти информационные процессы.

### **Несмешиваемость пространственно-образного и вербально-логического мышления**

Классическая когнитивная психология определяет вербально-логическое и пространственно-образное мышление как принципиально различные виды когнитивной деятельности (Mandler, 1964). Полученные в работе объективные электрофизиологические данные показывают, что принципиально разные типы мышления не смешиваются и в терминах паттернов ритмов мозга.

Очевидное объяснение несмешиваемости пространственно-образного и вербально-логического мышления состоит в том, что, будучи принципиально разными, они не могут осуществляться одновременно, но осуществляются по очереди. Это последнее утверждение необходимо проверить на практике с помощью частотно-временного анализа. Эта работа проводится в настоящее время.

Другое возможное объяснение несмешиваемости состоит в следующем. Ряд исследователей полагает, что в осуществлении разных когнитивных

---

<sup>1</sup> Эпифеномен - побочное явление, сопутствующее другим явлениям, но не оказывающее на них никакого влияния. Большой современный толковый словарь русского языка. © 2006, Ефремова Т.Ф.

и/или поведенческих актов задействованы разные специализированные нейронные ансамбли. Обучение новому, усложненному когнитивному или поведенческому акту происходит с вовлечением ранее специализированных нейронных ансамблей (Aleksandrov, 2006). Рассуждая с этой точки зрения, можно предположить, что в нашем случае при выполнении смешанного задания происходит встраивание исходных «вербального» и «пространственного» ансамблей в новую функциональную систему. В предположении, что разные ритмы ЭЭГ порождаются разными нейронными ансамблями, факт того, что при выполнении смешанной задачи ритмический паттерн является суперпозицией «пространственного» и «вербального» паттернов, выглядит естественно.

**Точечный и обобщенный подходы к исследованию ритмов мозга. Паттерн ЭЭГ как целостный конструкт, отражающий целостное состояние сознания**

В процитированных во введении работах (Griesmayr et al., 2010; Klimesch, 1997; Sauseng et al., 2010; Abdullaev & Posner, 1998; Nikolaev et al., 2001; Sauseng et al, 2010) вполне определенная психологическая функция ставится в соответствие вполне определенному ритму мозга. Для выявления такого «точечного» соответствия используется разностный подход, одним из пионеров применения которого был Майкл Познер. В разностном подходе два экспериментальных условия отличаются наличием или отсутствием какой-либо малой, частной когнитивной функции в задании испытуемому. Соответственно, экспериментальные парадигмы отличаются либо небольшим изменением в инструкции при тех же стимулах, либо небольшой разницей в стимулах при той же инструкции. Идеальным примером разностного подхода и точечного исследования служит процитированная выше работа (Sauseng et al, 2010).

Но возможен другой подход к изучению ритмов мозга. Реально в ЭЭГ человека при решении когнитивной задачи присутствует несколько ритмов

разных частот и разной топографии. Есть все основания считать эти ритмы связанными, соответствующими в их совокупности некоторому когнитивному состоянию. При таком подходе, по выражению А.Я. Каплана (Fingelkurts et al., 2003), целостному ритмическому конструкту ставится целостное когнитивное состояние. Такой подход к изучению ритмов мозга мы называем обобщенным.

Необходимо отметить, что получить представленный результат можно было только в рамках обобщенного подхода.

### **Форма констелляций когнитивных состояний – инвариант**

Спектры мощности индивидуальны и сильно отличаются у разных людей, хотя и образуют группы, или типы. В то же время, форма констелляций когнитивных состояний более или менее одинакова (рис. 7). Констелляции хорошо усредняются при условии, что приведены к стандартному виду, как описано выше (рис. 3.) Если разбить группу из 30 испытуемых на две части случайным образом, то две констелляции, полученные усреднением по 15 людям, оказываются принципиально схожими. Хорошая «усредняемость» *формы* когнитивных констелляций при высокой индивидуальной вариабельности спектров мощности ЭЭГ говорит о том, что форма когнитивного пространства (построенного для  $N$  когнитивных состояний) является инвариантом относительно индивидуальных свойств электрической активности мозга.

Мы можем дать этому феномену следующее объяснение. Мыслительная деятельность осуществляется индивидами по-разному, с вовлечением разных нейроинформационных процессов. В то же время, взаимоотношение психологических характеристик мыслительной деятельности есть объективная реальность, поэтому взаимоотношение ритмических паттернов (которые соответствуют мыслительному процессу как целому) неизбежно повторяет взаимоотношение психологических характеристик.

## **Возможная роль центрального мю-ритма в формировании «когнитивных» ритмических паттернов**

И при слуховой, и при зрительной стимуляции у большого числа испытуемых мы видим ритм на частоте 10-11 Гц в центральных и теменных отведениях (хорошо виден, в частности, на рис. 4, 5 и 6). Мы предполагаем, что это мю-ритм подавления движения (Pfurtscheller et al., 1997). Возможно, что при выполнении заданий испытуемый хочет двигаться, но поскольку ему дана инструкция сидеть неподвижно, непроизвольно возникающая у него потребность подавляется. Ритм подавления движения чаще был выражен в ходе выполнения пространственных заданий, но у некоторых испытуемых присутствовал и при выполнении вербальных. «Абстрактное мышление есть высший моторный акт» (Ford & Mathalon, 2004), но физическое исполнение этого акта подавляется.

Ритм внимания к центру зрительного поля по Т.А. Строгановой (Orekhova et al., 2001) – это, в сущности, сходное явление. Вероятно, он тоже подавляет движение: ребенок хочет схватить предмет, на котором акцентировано его внимание, но понимает, что не может этого сделать – отсюда возникает блокирующий движение центральный мю-ритм. Планируя исследование со зрительными и слуховыми стимулами, мы намеревались опровергнуть критику Т.А. Строгановой о решающей роли внимания к центру зрительного поля в формировании когнитивных ритмических паттернов. Мы ожидали, что в случае справедливости предположения Т.А. Строгановой мю-подобных ритмов не будет, равно как не будет и выраженных отличий в ритмических паттернах при выполнении вербально-логических и пространственно-образных заданий в слуховых экспериментах. Однако мы увидели, что, во-первых, при слуховом предъявлении стимулов паттерны ЭЭГ различаются не хуже, чем при зрительном. Во-вторых, что ритм частотой 10-11 Гц в центральных (и париетальных) отведениях присутствует в слуховом опыте у всех испытуемых, у которых он присутствовал в зрительном опыте. От

модальности стимула обычно зависел лишь 10-герцовый ритм в затылочных электродах.

Опровергли ли мы критику Т.А. Строгановой? Лишь в примитивном смысле: непосредственно *особенностями восприятия зрительных стимулов* различие в паттернах при разных видах мыслительной деятельности не объясняется. Но и при слуховом предъявлении стимула в процессе выполнения когнитивного задания может возникнуть воображаемое движение, реальное моторное проявление которого нужно подавить. Это подавление, как и при зрительной стимуляции, проявляется в центральном мю-ритме.

Наконец, с некоторой долей смелости можно говорить о «внимании к центру воображаемого зрительного поля». Но тогда такое «внимание» уже есть неотъемлемая часть мышления, а связанный с этим «вниманием» ритм может законно считаться его проявлением.

### **Подтверждение малой зависимости ритмических паттернов от трудности задания**

В настоящем исследовании нами независимо, с использованием других методов анализа данных, подтвержден ранее сделанный вывод о том, что паттерны ритмов мозга зависят от трудности предъявляемых заданий в меньшей степени, чем от характера осуществляемого мышления.

В более ранних работах, выполненных в лаборатории ВНД человека ИВНД и НФ РАН, к такому выводу пришли на основе результатов классификации типа выполняемого когнитивного задания по коротким реализациям ЭЭГ на искусственной нейросети (Николаев и др., 1998). Тогда выяснилось, что трудные задания распознаются нейросетью несколько лучше, чем простые, из чего следовало, что ритмические признаки характера осуществляемой деятельности в трудных задачах выражены даже сильнее, чем в простых (впрочем, разница в надежности распознавания составляла не более 2-3%). В настоящей работе для сравнения паттернов ритмов мозга при

решении простых и трудных заданий мы применили другой метод – вычисление индекса различия спектров мощности. Вывод о малой зависимости паттернов ЭЭГ от трудности заданий полностью подтвердился (табл. 2 и 3).

Полученный вывод противоречит классическим представлениям о том, что более трудные задания сопровождаются большей депрессией ритмов альфа-диапазона. Последние представления легли в основу метода «десинхронизации, связанной с событием» (ERD – Pfurtscheller et al., 1994), а также концепции «нейронной эффективности» (“Neural Efficiency” – Jausovec & Jausovec, 2000; Neubauer et al., 2004). Однако, есть немало работ, говорящих о том, что при выполнении заданий, например при планировании движений, может наблюдаться и увеличение амплитуды (т.н. синхронизация) ритмов (Pfurtscheller et al., 1997). Как бы то ни было, до сих пор нет единого мнения о том, что все-таки сопровождает когнитивную деятельность: синхронизация ритмов или их десинхронизация. Очевидно, что для ритмов разного генеза, а также в зависимости от экспериментальных условий, может наблюдаться и то, и другое. В наших экспериментах во всех случаях амплитуда ритмов-признаков, *наиболее характерных* для выполнения того или иного когнитивного задания, либо оставалась практически неизменной, либо немного увеличивалась в трудных заданиях по сравнению с легкими.

## **ВЫВОДЫ**

1. Ритмические паттерны, соответствующие разным типам когнитивной деятельности, одинаково хорошо различаются при зрительном и при слуховом предъявлении заданий. Наиболее выраженные признаки типа когнитивной деятельности являются общими для двух сенсорных модальностей. У некоторых испытуемых наблюдаются модально-специфичные признаки.

2. Ритмические паттерны зависят от характера осуществляемой мыслительной деятельности в большей степени, чем от трудности задания.

3. При выполнении заданий, требующих вовлечения и вербально-логического, и пространственно-образного мышления, устанавливаются ритмические паттерны ЭЭГ, содержащие признаки обоих типов мышления. Два принципиально разных типа мышления не смешиваются на уровне электроэнцефалографических данных.

4. Когнитивные состояния могут быть изображены на плоскости в соответствии с «расстояниями» между соответствующими ритмическими паттернами ЭЭГ. В этом случае когнитивные состояния располагаются на условной плоскости разумно, в соответствии с их психологическими свойствами.

5. Усредненная конstellляция когнитивных состояний, построенная на основе экспертной оценки психологических характеристик заданий, принципиально схожа по форме с усредненной по испытуемым конstellляцией, построенной на основе электроэнцефалографических данных. Субъективное и объективное когнитивные пространства изоморфны.

## **ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Г.А. Иваницкий, Р.А. Наумов, А.О. Роик, А.М. Иваницкий. Как определить чем занят мозг по его электрическим потенциалам? Устойчивые паттерны ЭЭГ при выполнении когнитивных заданий. Вопросы искусственного интеллекта, 2008. т. 1, № 1, с. 93-102.
2. А.О. Роик, Г.А. Иваницкий. Нейрофизиологическая модель когнитивного пространства. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова, 2011, т. 60, № 6, с. 688-696.
3. О.В. Мартынова, А.О. Роик, Г.А. Иваницкий. Изменение некоторых показателей функционирования сердечнососудистой системы при различных мыслительных операциях. Физиология человека, 2011. т. 37, № 6, с. 35–41.