

Научная статья

УДК 612.014.423 DOI 10.34985/u3549-2326-5543-f

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СПЕКТРА МОЩНОСТИ ЭЭГ ПРИ РЕШЕНИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ У РЕСПОНДЕНТОВ С РАЗНОЙ МЕРОЙ СФОРМИРОВАННОСТИ КОНЦЕПТА ВЕЩЕСТВО

Волкова Е. В., Докучаев Д. А.

Российская Федерация, Москва

Институт психологии РАН

volkovaev@ipran.ru dokuchaevda@ipran.ru

Аннотация. В психологии способностей последнее время актуальным является изучение психологических концептов в совокупности с физиологическими параметрами нервной системы. В данной статье пойдёт речь о комплексном изучении специальных химических способностей посредством регистрации спектра мощности электроэнцефалографии (ЭЭГ) и времени реакции сложного выбора.

Целью данной работы стало сравнение значений спектра мощности ЭЭГ при решении элементарных логических задач и дифференцировок химических стимул-объектов у респондентов с разной мерой сформированности концепта Вещество. Для этого у 251 респондента записывалась электроэнцефалограмма во время прохождения тестирований на уровень химических способностей и теста "Элементарные Логические Операции" с помощью компьютеризированного портативного электроэнцефалографа-регистратора "Энцефалан-ЭЭГР19/26" в модификация "Элит" (30 отведений).

При сформированности концепта Вещество - чем выше уровень сформированности, тем меньшее количество времени требуется для решения всех видов заданий, а количество баллов тем выше, чем выше мера сформированности концепта Вещество, в том числе и в тесте "Элементарные логические операции".

Были выявлены ключевые закономерности изменения спектра мощности ЭЭГ при разной мере сформированности концепта. Впервые проведён анализ спектра мощности ЭЭГ при прохождении теста "Элементарные Логические Операции". Закономерности при выполнении данного теста отличаются от таковых при решении дифференцировок химических стимул-объектов, что может быть связано с различными "ментальными картами", задействованными при обработке информации о свойствах химического вещества и логических операциях.

Ключевые слова: логические операции, когнитивная сложность, концепт Вещество, уровень организации концепта, время реакции сложного выбора, спектра мощности ЭЭГ, психофизиологическая интерпретация, подростковый возраст, юношеский возраст

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF INDICATORS OF THE EEG POWER SPECTRUM IN SOLVING ELEMENTARY LOGICAL PROBLEMS IN RESPONDENTS WITH DIFFERENT MEASURES OF FORMATION OF THE CONCEPT "SUBSTANCE"

Volkova E. V., Dokuchaev D. A.

Russian Federation, Moscow

Institute of Psychology Russian Academy of Sciences

Abstract. In the psychology of skills, the study of psychological concepts in conjunction with the physiological options of the nervous system has recently become relevant. This article will focus on the complex study of special chemical skills by registering the power spectrum of electroencephalography (EEG) and the reaction time of a complicated choice.

The purpose of the research was to compare the values of the EEG power spectrum in solving elementary logical problems and differentiations of chemical stimulus objects in

respondents with different degrees of formation of the concept of Substance. For this purpose, an electroencephalogram was recorded in 251 respondents during the tests for the level of chemical abilities and the test "Elementary Logical Operations" to computerized portable electroencephalograph recorder "Encephalan-EEGR19/26" in the modification "Elite" (30 leads).

During formation the concept of Substance - the higher the level of formation, the less time is required to solve all types of tasks, and the points is higher, the higher the measure of formation of the concept of Substance, including in the test "Elementary logical operations".

The main patterns of changes in the EEG power spectrum with different degrees of concept formation were identified. For the first time, an analysis of the EEG power spectrum was carried out when passing the "Elementary Logical Operations" test. The regularities in the performance of this test differ from those in solving the differentiations of chemical stimulus objects, which may be due to various "mental maps" involved in processing information about the properties of a chemical substance and logical operations.

Keywords: logical operations, cognitive complexity, concept Substance, level of concept organization, reaction time of complicated choice, EEG power spectrum, psychophysiological interpretation, teenage years, adolescence

По словам французского философа 20-го века Жюль Делеза, "Обучение имеет непосредственное отношение к знакам. Знаки являются объектом мирского обучения, а не некоего абстрактного знания. Научиться - это, прежде всего, рассмотреть материю, предмет, существо, как если бы они испускали знаки для дешифровки, для интерпретации. (...) Столяром становятся только, сделавшись чувствительным к знакам древесины, врачом - к знакам болезни. (...) Всё, что нас чему-либо учит, излучает знаки" [7]. Химические формулы, это и есть те самые знаки, о которых писал Ж. Делез. Любая химическая формула включает в себя состав вещества (количество тех или иных атомов, их валентность или степень окисления), структуру вещества (характерно для органических соединений). Следовательно, понять формулу вещества, это значит понять, из чего вещество состоит, и как оно будет взаимодействовать с другими веществами.

Человек, добившийся успехов в каком-либо искусстве или науке, похож на того, кто, по мнению Г. В. Лейбница, "...действует совершенным образом, походит на хорошего геометра, который умеет находить наилучшее решение какой-либо задачи" или "на хорошего архитектора, который наивыгоднейшим образом использует место и средства, предназначенные для постройки" [9].

Таким образом, овладев химическими способностями в ходе обучения "знакам" - формулам, у человека меняется мышление. Он обладает "химическими руками", "химическим зрением" и, наконец, "химическим мышлением" ("химическая голова") [2]. Но основаться на таких теоретических принципах возможно только при анализе биографий великих химиков, например, М. В. Ломоносова или Д. И. Менделеева. Зная, что способности формируются только в ходе деятельности [11], возможно проведение исследования так называемых специальных химических способностей. Данная тема развивается параллельно с общей теорией способностей такими авторами, как Г. В. Лисичкин, Л. А. Коробейникова, Е. В. Волкова. Достигнуты успехи в создании диагностического материала, выявлении уровней развития способностей. Так, в работах Е. В. Волковой существует три уровня формирования концепта Вещество, причём при формировании последнего, детализированного, можно говорить о высоких химических способностях респондента. По мнению А. Н. Леонтьева, "развиваются и усложняются органы психического отражения, меняются его формы, то есть меняются формы психики" [10]. Это высказывание Леонтьева созвучно с таким термином, как "Воронка Шеррингтона". Чарльз Шеррингтон говорит в своей книге "Интегративная деятельность нервной системы" о том, что существует конкуренция нервных импульсов за сигнальные пути [20]. Чем чаще по одним и тем же сигнальным путям нервной системы проходит импульс, тем быстрее достигается

блокирование всех воздействий, кроме одного, по которому этот импульс и достигает конечной цели [13]. Возможно, в этой перестройке "формы психики" (по Леонтьеву) или "победа в конкурентной борьбе" (по Шеррингтону) и лежит ключ к разгадке природы специальных способностей. Для исследования закономерностей изменения биоэлектрической активности головного мозга в этом исследовании нами будет использован метод электроэнцефалографии (ЭЭГ).

Цель данной работы - сравнительный анализ показателей спектра мощности электроэнцефалограммы при решении элементарных логических задач и дифференцировок химических стимул-объектов у респондентов с разной мерой сформированности концепта Вещество.

Задачи: 1) Рассмотреть индивидуальные различия в мере сформированности концепта Вещество.

2) Изучить время реакции сложного выбора и количество правильных ответов при прохождении трёх уровней дифференцировок химических стимул-объектов и "Элементарных Логических Операций" у респондентов с разной мерой сформированности концепта Вещество.

3) Проанализировать спектр мощности в отведениях со статистически значимыми изменениями в зависимости от меры сформированности концепта Вещество.

4) Проинтерпретировать, с точки зрения психофизиологии, изменения спектра мощности ЭЭГ во время дифференцировок химических стимул-объектов и "Элементарных Логических Операций" в зависимости от меры сформированности концепта Вещество.

Выборка исследования

В экспериментальном исследовании приняли участие подростки седьмого (13 лет), восьмого (14-15 лет), девятого (15-16 лет), классов "Лицея № 42", школы № 106 города Уфа Республики Башкортостан и обучающиеся десятого класса (16-17 лет) школ города Москва; студенты Башкирского Государственного Университета профиля биохимия (специалитет и магистратура), генетика (магистратура) в возрасте 18-27 лет, а также студенты специалитета по профилю психология (18-27 лет) Московского финансово-промышленного университета "Синергия". Более детальная информация о составе выборки представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Половозрастной состав участников исследования

Сформированность концепта Вещество	Всего респондентов - 251			
	Не сформированы ни один уровень	Сформированы глобальный уровень	Сформированы глобальный и базовый уровни	Сформированы все три уровня
Юношей	86	29	5	1
Девушек	90	25	11	4
Всего респондентов	176	54	16	5

Использованные методики и аппаратура:

1. Компьютеризированный портативный электроэнцефалограф-регистратор "Энцефалан-ЭЭГР-19/26" модификации "Элит" фирмы "Медиком-МТД" (Европейский сертификат CE 538571 Британского института стандартов, BSI)

2. Компьютерный диагностический комплекс InTestingn (Волкова, Нилопец, № 2016661340 от 06.10.2016), включающий тестовые программы "Chemical Differentiation" [21] и "Элементарные Логические Операции" [19]. Для анализа изменения спектра мощности ЭЭГ в зависимости от уровня сложности дифференцировок химических стимул-объектов и решения элементарных логических операций электроэнцефалограф-регистратор был синхронизирован с компьютерным диагностическим комплексом InTesting.

Регистрация проводилась в телеметрическом режиме (30 отведений: O2-A2, O1-A1, P4-A2, P3-A1, C4-A2, C3-A1, F4-A2, F3-A1, Fp2-A2, Fp1-A1, T6-A2, T5-A1, T4-A2, T3-A1, F8-A2, F7-A1, Oz-A2, Pz-A1, Cz-A2, Fz-A1, Fpz-A2, FC3-A1, Fcz-A1, FC4-A2, FT8-A2, TP7-A1, CP3-A1, CPz-A1, CP4-A2, TP8-A2) по схеме 10-20, монополярно, в полосе пропускания 0,5-50 Гц, со скоростью развертки 30 мм/сек. Запись ЭЭГ была просканирована на наличие артефактов, которые устранялись вручную. Эпохи для анализа выбирались после удаления артефактов. Длина одной эпохи - 10 секунд, количество эпох для анализа одной пробы - 5. Запись ЭЭГ шла постоянно, как во время фоновой пробы, так и во время решения тестовых заданий.

Программа "Chemical Differentiation" включает в себя три уровня сложности тестовых заданий (глобальный, базовый, дифференцированный), позволяющие определить меру сформированности концепта Вещество. На каждом уровне сложности дифференцировок химических стимул-объектов из всей базы стимулов на экране компьютера случайным образом предъявлялось поочередно 42 формулы химических соединений. Задача респондентов состояла в том, чтобы как можно быстрее и безошибочно распределить формулы химических соединений на группы, в соответствии с инструкцией:

- глобальный уровень - на две группы (простые и сложные вещества);
- базовый уровень - на четыре группы (оксиды, кислоты, основания, соли);
- детализированный уровень - на четырнадцать групп (кислотные оксиды, амфотерные оксиды, основные оксиды; средние соли, основные соли, кислотные соли, двойные соли, смешанные соли; и т. д.).

Регистрировалось время реакции сложного выбора и количество правильных ответов. Более детальное описание компьютерной методики Chemical Differentiation и особенностей мыслительных процессов при дифференциации химических соединений по формулам представлены в работах Е. В. Волковой [5; 4]. Тест "Элементарные Логические Операции" включает в себя 24 логических утверждения, на которые возможны ответы "верно" или "неверно". Примерами таких заданий является: "А равно В, а В равно С, то С равно А", "А равно В, а В больше С, то С больше А", "А равно В, а В равно С, то С не равно А". При прохождении данного комплекса заданий также регистрировались время реакции, затраченное на решение "Элементарной Логической Операции", и общее количество правильных ответов. Анализ сформированности уровня овладения элементарными логическими операциями осуществлялся по работам В. М. Русалова [12].

В связи с тем, что количество вопросов в методиках разное (на каждом уровне Chemical Differentiation - 42 вопроса, в тесте "Элементарные Логические Операции" - 24), количество правильных ответов по всем тестовым методикам рассчитывалось в баллах (непосредственно количество правильных ответов) и в станах.

Время реакции сложного выбора вычислялось как время, затраченное на выполнение одного тестового задания, для каждого блока отдельно, и измерялось в миллисекундах (мс). Таким образом, получились значения Времени реакции сложного выбора для глобального, базового, детализированного уровней Chemical Differentiation и для "Элементарных Логических Операций".

Цифровой анализ электроэнцефалографического сигнала проводился с помощью математического преобразование Фурье, в ходе которого ЭЭГ-сигнал рассматривается как случайный процесс [8]. В данном исследовании, как и в предыдущих работах, анализ выполнялся автоматически программным обеспечением Медиком-МТД [3].

Статистическая обработка данных осуществлялась на базе IBM SPSS Statistics 24: дескриптивный анализ (среднее, стандартное отклонение, медиана, асимметрия и эксцесс), сравнительный анализ независимых выборок (Н-критерий Краскела-Уоллиса и U-критерий Манна-Уитни).

Результаты

Индивидуальные различия в мере сформированности концепта Вещество у респондентов.

Анализ индивидуальных результатов респондентов показал, что у большинства (70%) респондентов не был сформирован ни один из уровней концепта Вещество (количество правильных ответов в каждом из блоков - менее 40); у 54 респондентов (21,5%) сформирован начальный, глобальный уровень концепта, базовый уровень сформирован у 16 человек (6,4%), все три уровня сформированы всего у 5 респондентов (количество правильных ответов на всех уровнях у этих респондентов было выше или равно 40 баллов (95% правильных ответов). Данный показатель является маркером сформированности химических способностей.

Значительно различается мера сформированности уровней концепта по полу: начиная с базового уровня, сформированность концепта преобладает у девушек (базовый уровень сформирован у 5 юношей и 11 девушек; детализированный уровень - у одного юноши и четырёх девушек). Дальнейшее изучение данного результата требует увеличения выборки и проведения межполового исследования.

Различия времени реакции сложного выбора и количества правильных ответов при решении элементарных логических задач и задач на классификацию химических стимул-объектов у респондентов с разной мерой сформированности концепта Вещество

Таблица 2 - Средние показатели времени реакции сложного выбора и количества правильных ответов (в баллах и стенах) при решении элементарных логических задач и задач на классификацию химических стимул-объектов у респондентов с разной мерой сформированности концепта Вещество

	Время реакции сложного выбора (мс)	Количество правильных ответов (баллы)	Количество правильных ответов (стены)
Не сформирован ни один уровень			
Глобальный уровень	3517±1995	33.39±4.93	4.63±1.41
Базовый уровень	4630±3107	17.18±8.96	4.70±1.61
Детализированный уровень	4436±3286	8.49±7.00	4.72±1.63
Элементарные логические операции	26639±24490	20.16±3.36	4.84±1.84
Сформирован глобальный уровень			
Глобальный уровень	3088±1321	40.61±0.76	7.61±0.76
Базовый уровень	4564±2537	30.46±8.96	6.67±1.20
Детализированный уровень	4300±2453	16.57±7.79	6.67±1.24
Элементарные логические операции	22544±8572	22.91±1.66	6.54±1.48
Сформирован глобальный и базовый уровни			
Глобальный уровень	2144±946	40.38±1.67	7.68±1.07
Базовый уровень	3629±1588	40.38±0,50	9.00±0,00
Детализированный уровень	4897±2704	29.81±8.90	8.37±1.09
Элементарные логические операции	12686±5632	23.44±0.73	7.00±1,21
Сформированы все три уровня			
Глобальный уровень	1447±51	41.40±0.89	8.40±0.90
Базовый уровень	1744±157	40.60±0.55	9.00±0.00
Детализированный уровень	3756±38	39.60±0.89	10±0.00
Элементарные логические операции	12919±932	23.80±0.45	7.60±0.89

Согласно данным, представленным в таблице 2, при увеличении сложности классификации химических стимул-объектов количество правильных ответов уменьшается во всех выборках респондентов, что согласуется с результатами исследований [2; 4; 5].

Увеличение времени реакции сложного выбора при увеличении сложности классификации химических стимул-объектов отмечается только в группах респондентов со сформированными глобальным и базовым уровнями, а также глобальным, базовым и детализированным уровнями концепта Вещество.

В группах респондентов с несформированным концептом Вещество или со сформированным только глобальным уровнем организации концепта наблюдается U-образное изменение показателя *Время реакции сложного* выбора с максимумом в точке распознавания классов неорганических соединений (базовый уровень концепта Вещество). Это объясняется концепцией нейроэффективности, когда при попытке решить задание, для которого не хватает знаний и ресурсов, снижается вовлечённость в когнитивную деятельность.

Среднее время, затраченное на решение одной элементарной логической операции, в 4-6 раз выше, чем на решение одной задачи на классификацию химических стимул-объекта. Следует отметить, что у респондентов с низким уровнем способности к классификации химических стимул-объектов (меньше 5 стенов), способность осуществлять элементарные логические операции также оказывается несформированной (меньше 5 стенов). При этом с ростом способности к классификации химических стимул-объектов отмечается рост продуктивности решения элементарных логических задач.

Сравнительный анализ показателей спектра мощности ЭЭГ при решении элементарных логических задач и задач на классификацию химических стимул-объектов у респондентов с разной мерой сформированности концепта Вещество

Как указывалось, выборка исследования была разделена на четыре группы в зависимости от меры сформированности концепта Вещество: 1 группа - не сформирован ни один уровень концепта; 2 группа - сформирован только глобальный уровень; 3 группа - сформированы глобальный и базовый уровни концепта; 4 группа - сформированы все три уровня. В таблице 3 представлены средние значения спектра мощности ЭЭГ (mV^2) в отведениях со статистически значимыми различиями данного параметра.

Таблица 3 - Средние значения (медиана) спектра мощности электроэнцефалографического сигнала (mV^2) у разных групп респондентов при решении элементарных логических задач и задач на классификацию химических стимул-объектов

Отведение ЭЭГ	Среднее значение показателей (mV^2)				Критерий Краскела-Уоллиса	Знач. различий
	Не сформирован ни один из уровней	Сформирован глобальный уровень	Сформирован глобальный и базовый уровень	Сформированы глобальный, базовый и детализированный уровни		
Глобальный уровень						
O2_A2	4.13 (3.44)	3.31 (2.82)	2.76 (2.75)	3.04 (3.21)	10,853	0,013
O1_A1	4.27 (3.22)	3.00 (3.03)	2.20 (2.15)	2.65 (2.67)	15,643	0,001
P3_A1	3.70 (2.97)	3.19 (2.83)	2.57 (2.65)	1.99 (2.00)	15,275	0,002
T6_A2	3.15 (2.88)	2.81 (2.43)	2.71 (2.67)	4.24 (4.25)	9,761	0,021
T5_A1	3.16 (2.66)	2.77 (2.45)	2.27 (1.98)	1.85 (1.81)	13,271	0,004
TP7_A1	3.19 (2.84)	3.16 (2.79)	2.69 (2.43)	1.87 (2.09)	6,757	0,08
Базовый уровень						
O2_A2	3.68 (3.16)	3.36 (3.05)	2.51 (2.30)	2.02 (1.79)	14,947	0,002
O1_A1	4.19 (3.21)	3.34 (2.67)	2.39 (2.00)	3.44 (3.60)	8,176	0,043
P4_A2	4.17 (3.32)	4.35 (3.00)	2.51 (2.30)	2.84 (2.40)	10,71	0,013
C4_A2	3.36 (2.98)	3.46 (3.58)	2.96 (2.93)	1.89 (1.77)	10,145	0,017
T6_A2	3.89 (2.99)	3.05 (2.40)	2.20 (1.89)	2.97 (2.99)	11,469	0,009
Oz_A2	4.72 (3.73)	4.54 (3.50)	2.92 (2.67)	1.69 (1.62)	20,875	0,001
Fcz_A1	5.02 (3.84)	5.00 (4.09)	3.11 (2.69)	1.90 (1.51)	8,288	0,04
TP7_A1	3.12 (3.04)	3.28 (3.09)	2.64 (2.22)	1.48 (1.34)	12,617	0,006

Детализированный уровень						
O2_A2	4.32 (3.60)	3.55 (3.08)	2.68 (2.47)	2.19 (1.33)	17,142	0,001
O1_A1	4.52 (3.53)	3.49 (2.73)	2.20 (1.95)	2.25 (2.33)	17,94	0,001
P4_A2	5.18 (3.27)	5.71 (3.15)	2.58 (2.21)	2.42 (2.49)	9,565	0,023
Fp2_A2	5.17 (3.18)	4.23 (3.22)	4.06 (3.96)	3.68 (3.65)	14,836	0,002
Oz_A2	5.54 (3.67)	5.60 (3.82)	2.96 (2.59)	1.75 (1.64)	20,158	0,001
Pz_A1	5.29 (3.63)	5.23 (3.83)	3.35 (3.02)	2.02 (2.04)	11,786	0,008
Элементарные Логические операции						
O2_A2	4.16 (3.70)	3.65 (3.05)	2.98 (2.83)	2.60 (2.49)	11,639	0,009
O1_A1	3.72 (3.29)	3.48 (3.02)	2.22 (2.07)	2.65 (2.56)	12,232	0,007
P4_A2	3.65 (3.18)	3.43 (3.16)	2.48 (2.45)	2.45 (2.08)	9,86	0,020
C3_A1	3.71 (3.30)	3.64 (3.39)	2.55 (2.35)	3.00 (2.61)	9,2	0,027
F3_A1	5.41 (4.09)	6.50 (4.30)	5.60 (2.59)	20.55 (22.03)	8,585	0,035
Oz_A2	4.66 (3.85)	4.54 (3.82)	2.91 (2.76)	2.91 (3.15)	12,228	0,007
Cz_A2	4.40 (3.65)	4.95 (3.71)	8.08 (4.64)	11.30 (10.27)	13,161	0,004
TP8_A2	3.49 (3.09)	3.52 (3.40)	4.09 (3.36)	6.53 (5.55)	11,374	0,010

Данные, представленные в таблице 3, свидетельствуют о статистически значимых различиях спектра мощности ЭЭГ в затылочных отведениях (O1 - левая затылочная область, O2 - правая затылочная область) в разных группах респондентов при решении элементарных логических задач и задач на классификацию химических стимул-объектов.

Следует подчеркнуть, что достоверные различия спектра мощности ЭЭГ в разных группах респондентов в центральном затылочном отведении (Oz_A2) обнаружены при решении элементарных логических задач, выполнении сложных и сложнейших классификаций химических стимул-объектов, но не обнаружены при выполнении простых классификаций. Полученные результаты вполне закономерны, так как стимульный материал предъявляется зрительно.

При распознавании простых и сложных соединений по их химическим формулам достоверные различия обнаружены в левом теменном отведении (P3_A1), в то время как при распознавании классов неорганических соединений (базовый уровень), более сложной классификации химических соединений (детализированный уровень), а также решении элементарных логических задач значимые различия выявлены в правом теменном отведении (P4_A2). Различия в теменном отведении слева от центральной линии (C3) обнаружены между респондентами при выполнении сложных дифференцировок химических стимул-объектов (базовый уровень), в то время как при решении элементарных логических задач - справа от центральной теменной линии (C4).

Возможно, что при дифференциации классов химических соединений по их формулам в большей мере актуализируются процессы пространственного анализа, в то время как при решении элементарных логических задач преобладают процессы пространственного синтеза.

Согласно представленным данным, достоверные различия показателей спектра мощности в височных долях обнаружены между респондентами при выполнении простых классификаций (T6, T5, TP7), сложных (T6, TP7) классификаций, но не обнаружены при выполнении сложнейших классификаций. Полученный факт может свидетельствовать о снижении роли долговременной памяти при переходе от простых к сложнейшим классификациям. При решении элементарных логических задач различия между респондентами выявлены в правом височно-теменном отведении (TP8).

Также статистически значимые различия спектра мощности ЭЭГ выявлены в лобных отведениях: в лобном отведении по центральной линии (Fcz) - сложные классификации неорганических соединений (базовый уровень); в переднем лобном отведении (Fp2_A2) - сложнейшие классификации неорганических соединений; в левом лобном отведении (F3_A1) - решение элементарных логических задач, что может указывать на разные механизмы мыслительной деятельности при решении разных типов задач и разной их сложности. Но это предположение нуждается в дополнительных исследованиях.

Анализ данных, представленных в таблице 3, позволяет выделить четыре типа изменений показателя спектра мощности ЭЭГ в зависимости от меры сформированности концепта Вещество:

Первый тип - уменьшение спектра мощности с ростом меры сформированности концепта (P3, T5, TP7 - на глобальном уровне сложности; O2, Oz, Fcz - на Базовом, O2, Fp2, Pz - на Детализированном и O2, P4, Oz - при решении логических задач);

Второй тип - увеличение спектра мощности с ростом меры сформированности концепта (TP8 - при решении логических задач);

Третий тип - \cap -увеличение спектра мощности с ростом меры сформированности концепта на глобальном уровне (TP7, C4); базовом (P4, C4, TP7); детализированном (O2, O1, T6).

Четвертый тип - скачкообразно возрастающая (F3- при решении логических задач).

В предыдущих наших работах была выявлена закономерность о том, что чем выше уровень сформированности концепта Вещество, тем ниже уровень спектра мощности ЭЭГ у респондентов. В данном исследовании данная закономерность проявляется лишь отчасти [3].

Обсуждение результатов

В процессе развития общества происходит выделение, обособление разных сторон, свойств и отношений; разных классов инвариант объективной реальности. Так постепенно складываются разные специальные способности. Одним из первых видов деятельности человека, как показывают археологические раскопки, было взаимодействие с веществом, а именно - с реакцией окисления, происходящей при горении топлива. По данным археологических раскопок, первые очаги разведения огня обнаружены в Восточной Африке и датируются 1,42 млн. лет назад [15]. Таким образом, на заре человечества начали формироваться химические способности.

Анализ современных работ по теме специальных способностей и, в частности, химических показывает отрыв психологических исследований от психофизиологических, редкое использование инструментальных методик. В этой работе мы пытались преодолеть этот разрыв. Следует учитывать, что к настоящему времени накопилось много экспериментальных данных в пользу существования внутренних психологических структур с конкретным содержанием, иерархией разных уровней и взаимосвязей между ними. Внутренние когнитивные структуры - это субъективные образования, формирование которых зависит от потребностей и социальной ориентации человека как личности [1]. Процесс формирования когнитивных структур химического познания у респондентов подчиняется всеобщему универсальному закону развития - от низшего к высшему уровню за счёт глубокой дифференциации и интеграции некоторого исходного целого, что было показано, например, в нашей предыдущей работе [3].

При прохождении всех уровней сложности дифференцировок химических стимулов объектов и "Элементарных Логических Операций" статистически значимые различия наблюдаются в отведениях ЭЭГ правой и левой затылочной области (O1 и O2). Также при прохождении тестирований, начиная с базового уровня сложности, в затылочной коре статистически значимые изменения выявлены в отведении Oz (затылочная доля, центральная линия). Данные отведения располагаются в следующих полях Бродмана: 17 поле (Oz) - зрительная область, первичная зона зрительной коры, функция - распознавания простых образов; O1, O2 -18 (вторичная зона зрительной коры) и 19 поля - (третичная зона зрительной коры) - центр восприятия письменной речи, зрительная оперативная память [16]. Статистически значимые различия в данных областях связаны с высокой нагрузкой на зрительный анализатор при решении данных заданий. Рост спектра мощности ЭЭГ в данных отведениях при прохождении детализированного уровня связан с большим количеством вариантов ответа на экране, что приводит к усилению нейрональной активности в данной области и возрастанию объёма оперативной памяти.

Также при прохождении данных заданий наблюдается активность в теменных зонах; так, активация четвертого поля, по Бродману (отведение Pz) включает в себя моторную область. Мотонейроны 4 поля управляют произвольными движениями скелетных мышц противоположной половины тела, то есть активность этого поля можно связать с движениями респондента при выборе правильного ответа (статистически достоверные изменения в этом отведении наблюдаются при решении третьего - детализированного уровня дифференцировок химических стимул-объектов).

Отведения P3 и P4 расположены на 6 поле, по Бродману. Это премоторная кора и дополнительная моторная кора (вторичная моторная зона), в которой формируется план и последовательность движений; а 7 поле, по Бродману, расположенное также под отведениями P3 и P4, получает информацию из первичной соматосенсорной зоны, а также из зрительной коры (отвечает за пространственное восприятие и восприятие движений). Данные зоны "строят" ментальную "карту" реальности, позволяющую выстроить движения наиболее рациональным образом. Эти отведения имеют статистически достоверные различия при прохождении всех уровней сложности данных тестов [14; 15].

При прохождении первых двух уровней сложности (глобального и базового) выявлены статистически значимые различия в височных отведениях ЭЭГ, таких как T6, T5, TP7 (при выполнении глобального уровня) и T6 (при прохождении базового). Данные отведения расположены на 20, 21, 22 и 24 полях, по Бродману. Их функции - анализ данных в связи с ранее полученной информацией. Также общей функцией височной коры является консолидация и хранение памяти [22; 23].

Можно сделать вывод, что при прохождении этих уровней сложности респонденты задействуют долговременную память и так называемый "детектор ошибок", сравнение полученной информации с предыдущим опытом, в то время как при прохождении более сложных заданий (начиная уже с базового) наблюдается активация лобных долей, а именно: поля 9-12 (расположенные под отведениями Fp2, Fp1) их основная функция - финальная обработка информации; там же "находится" ядро личности (содержащее такие психологические параметры, как темперамент, черты характера и др.); поле 46 (под отведениями F3 и F4) - обработка информации от зрительного анализатора, контроль произвольных движений, а также сопоставление зрения и направленного движения [17; 18].

Следовательно, при повышении уровня сложности теста недостаточно активации памяти, нужна ещё логическая обработка полученного задания, что и выполняется посредством активации лобной коры.

Особенностью химической направленности ума как предметной ориентации мышления состоит в том, что она затрагивает всю сенсорно-перцептивную организацию человека. Это способность переходить от внешних характеристик вещества и его изменений к рассмотрению его внутреннего строения, кодировать эту информацию при помощи химических знаков и символов [1].

При прохождении теста "Элементарные логические операции" наблюдается нетипичное для дифференцировок химических стимул-объектов возрастание спектра мощности ЭЭГ: в лобном отведении (F3) - в шесть раз, при максимальной мере сформированности концепта Вещество; и в отведении Cz - почти в три раза при той же мере сформированности. Это может быть связано с задействованием других "когнитивных схем" или "карт", используемых для решения логических заданий, представленных в данном тесте, основным компонентом которого является показатель интеллекта [19].

Таким образом, при углублённом изучении и получении навыков в науке, в том числе и химии, происходит перестройка, говоря словами Леонтьева, "органа психического отражения" [10]. Это происходит как на психологическом уровне (в виде уменьшения времени реакции сложного выбора), так и на физиологическом (изменение показателей спектра мощности ЭЭГ), говоря словами Гегеля, "первое конкретное становление есть вместе с тем подлинное определение мысли" [6]. Мысль как психологический концепт не

может изучаться в отрыве от физиологических процессов нервной системы, в том числе и в психологии способностей. Таким образом, выдвинутая в начале статьи теория, о том, что в основе формирования способностей лежит в том числе и конкуренция биоэлектрических сигналов за путь их распознавания, анализа и интерпретации, подтвердилась.

Выводы:

1. В данной выборке преобладали респонденты с несформированным концептом Вещество и низким уровнем химических способностей.

2. При сформированности концепта Вещество - чем выше уровень сформированности, тем меньшее количество времени требуется для решения всех видов заданий, а количество баллов тем выше, чем выше мера сформированности концепта Вещество.

3. Чем выше уровень сформированности концепта Вещество, тем выше продуктивность решения элементарных логических задач.

4. Выделены четыре типа изменений спектра мощности ЭЭГ при решении классификационных и логических задач.

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-29-14019), Институт психологии РАН.

Литература:

1. Волкова Е.В. Общий универсальный закон развития, развитие когнитивных структур химического знания и химические способности. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2008. 512 с.
2. Волкова Е.В. Психология специальных способностей: дифференционно-интеграционный подход // М.: Изд-во "Институт психологии РАН", 2011. 304 с.
3. Волкова Е.В., Докучаев Д. А Сравнительный анализ показателей спектра мощности ЭЭГ в группах студентов и школьников с одинаковой и разной мерой сформированности концепта Вещество // Вестник психофизиологии. 2020. №4. С. 112-120.
4. Волкова Е.В., Докучаев Д.А. Изменение спектра мощности ЭЭГ в зависимости от уровня сложности дифференцировок химических соединений у школьников на разных стадиях освоения химии / Способности и ментальные ресурсы человека в мире глобальных перемен. М.: Изд-во "Институт психологии РАН", 2020/
5. Волкова Е.В., Талантов Д.А. Динамика показателей спектра мощности ЭЭГ при формировании концепта Вещество // Вестник психофизиологии, 2019. № 3. С. 23-37.
6. Гегель Г.В.Ф. Наука логики. // СПб.: Наука, 1997/
7. Делез Ж. Марсель Пруст и знаки // СПб.: Лаборатория метафизических исследований при философском факультете СПбГУ; Алетейя, 2014: 384 с.
8. Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2007. С. 178-230/
9. Лейбниц Г.В. Порядок есть в природе // Собр. сочинений В 4 т. М.: Мысль, 1982. Т.1/
10. Леонтьев Д.А., Леонтьев А.Н., Теплов Б.М.: дискуссия о проблеме способностей (1953 г.) // Вопросы психологии, 2003. № 2. С. 24
11. Рубинштейн С.Л. Бытие и сознание. Человек и мир. //СПб.: Питер, 2003.)
12. Русалов В.М. Темперамент в структуре индивидуальности человека: дифференциально-психофизиологические и психологические исследования. М.: ИП РАН, 2012. 528 с.
13. Щербатых Ю.В., Туровский Я.А., Физиология центральной нервной системы для психологов. //СПб: Изд-во "Питер", 2007. С. 105.
14. Caspers S., Eickhoff S. B., Zilles K. Microstructural grey matter parcellation and its relevance for connectome analyses. 2013. p.18-26
15. Glasser M.F., Van Essen D.C. Mapping human cortical areas in vivo based on myelin content as revealed by T1- and T2-weighted MRI // J. Neurosci. 2011. №31. С. 11597-11616.18. Barch D.M. et al. Function in the human connectome: task-fMRI and individual differences in behavior, 2013. P. 169-189.
16. James, Steven R. Hominid Use of Fire in the Lower and Middle Pleistocene: A Review of the Evidence // Current Anthropology: journal. University of Chicago Press, 1989. February (vol. 30, no. 1). P. 1-26.
17. Koechlin E., Hyafil A. Anterior prefrontal function and the limits of human-decision making // Science, Vol. 318. 2007. С. 594-598.
18. Neubauer A. C., Fink A. Intelligence and neural efficiency: Measures of brain activation versus measures of functional connectivity in the brain // Intelligence 37(2). 2009. P. 223-229.
19. Rusalov V.M., Volkova N.E. A test "Elementary Logical Operations": psychometric characteristics on the Russian sample // Natural Systems of Mind, 2021. No 1.

20. Sherrington C.S. The integrative action of the nervous system// Oxford: Oxford University Press: 2008. 440 p.
21. Volkova E.V., Assessing and development of chemical intelligence through E-Learning tools, 2020
22. Yasuda A., Sato A., Miyawaki K., Kumano H., Kuboki T. (2004): Error-related negativity reflects detection of negative reward prediction error. *Neuroreport* 15:2561-2565.
23. Yeung N., Cohen J.D., Botvinick M.M. (2004): The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychol Rev* 111:931-959.

References:

1. Volkova E.V. General universal law of development, development of cognitive structures of chemical knowledge and chemical abilities. Yekaterinburg: Ural University Publishing House, 2008.512 p.
2. Volkova E.V. Psychology of Special Abilities: Differential-Integration Approach // M.: Publishing house "Institute of Psychology RAS", 2011. 304 p.
3. Volkova EV, Dokuchaev D. A Comparative analysis of EEG power spectrum indicators in groups of students and schoolchildren with the same and different measure of the formation of the concept Substance // *Bulletin of psychophysiology*. 2020. No. 4. S. 112-120.
4. Volkova E.V., Dokuchaev D.A. Changes in the EEG power spectrum depending on the level of complexity of the differentiation of chemical compounds in schoolchildren at different stages of mastering chemistry / Human abilities and mental resources in the world of global changes. M.: Publishing house "Institute of Psychology RAS", 2020
5. Volkova E.V., Talantov D.A. Dynamics of the EEG power spectrum indicators in the formation of the concept Substance // *Bulletin of psychophysiology*, 2019. No. 3. P. 23-37.
6. Hegel G.V.F. Science of logic. // SPb.: Nauka, 1997.
7. Deleuze J. Marcel Proust and signs // St. Petersburg: Laboratory of Metaphysical Research at the Faculty of Philosophy, St. Petersburg State University; Aletheia, 2014: 384 p.
8. Kulaichev A.P. Computer electrophysiology and functional diagnostics. Ed. 4th, rev. and add. M.: INFRA-M, 2007.S. 178-230
9. Leibniz G.V. There is order in nature // *Sobr. works in 4 volumes*. M.: Mysl, 1982. Vol. 1.
10. Leontiev D.A., Leontiev A.N., Teplov B.M. Discussion about the problem of abilities (1953) // *Questions of psychology*, 2003. № 2. P. 24/
11. Rubinstein S.L. Being and consciousness. Man and the world. // SPb.: Peter, 2003.)
12. Rusalov V.M. Temperament in the structure of human personality: differential psychophysiological and psychological studies. Moscow: IP RAS, 2012. 528 p.
13. Shcherbatykh Yu.V., Turovsky Ya.A., Physiology of the central nervous system for psychologists. // SPb, "Peter", 2007/ P. 105.
14. Caspers, S., Eickhoff, S. B., Zilles, K. Microstructural gray matter parcellation and its relevance for connectome analyzes. 2013. p.18-26.
15. Glasser M.F., Van Essen D.C Mapping human cortical areas in vivo based on myelin content as revealed by T1- and T2-weighted MRI // *J. Neurosci*. 2011. No. 31. S. 11597-11616.18. Barch D.M. et al. Function in the human connectome: task-fMRI and individual differences in behavior, 2013. P. 169-189.
16. James, Steven R. Hominid Use of Fire in the Lower and Middle Pleistocene: A Review of the Evidence // *Current Anthropology: journal*. - University of Chicago Press, 1989. February (vol. 30, no. 1). P. 1-26.
17. Koechlin E., Hyafil A. Anterior prefrontal function and the limits of human-decision making // *Science*, Vol. 318. 2007. S. 594-598.
18. Neubauer A. C., Fink A. Intelligence and neural efficiency: Measures of brain activation versus measures of functional connectivity in the brain // *Intelligence* 37 (2). 2009. P. 223-229.
19. Rusalov V.M., Volkova N.E. A test "Elementary Logical Operations": psychometric characteristics on the Russian sample // *Natural Systems of Mind*, 2021. No 1.
20. Sherrington C.S. The integrative action of the nervous system// Oxford: Oxford University Press: 2008. 440 p.
21. Volkova E.V., Assessing and development of chemical intelligence through E-Learning tools, 2020.
22. Yasuda A., Sato A., Miyawaki K., Kumano H., Kuboki T. (2004): Error-related negativity reflects detection of negative reward prediction error. *Neuroreport* 15: 2561-2565.
23. Yeung N, Cohen JD, Botvinick MM (2004): The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychol Rev* 111: 931-959.

Статья поступила в редакцию 13.10.2021

Статья одобрена после рецензирования 14.11.2021

Статья принята к публикации 16.12.2021

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.