

**ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ (ПСИХИЧЕСКОЙ)
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

УДК 616.821

**ЭЭГ-КОРРЕЛЯТЫ ПРОДУКТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ
НЕВЕРБАЛЬНОЙ ТВОРЧЕСКОЙ РАБОТЫ (РИСОВАНИЯ)**

© 2008 г. Д. В. Захарченко, Н. Е. Свидерская

*Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва,
e-mail: dz-ihna@mail.ru, sviderskaya@ihna.ru*

Поступила в редакцию 21.05.2007 г.

Принята в печать 27.02.2008 г.

Целью работы являлся поиск ЭЭГ-коррелятов эффективности выполнения невербальной творческой работы (рисования). Использовалась стандартизированная методика Е. Торренса, позволяющая количественно оценивать креативность. До и во время выполнения теста Торренса производилась запись ЭЭГ; ЭЭГ-показатели соотносились с оценками в баллах по трем критериям: гибкости, оригинальности и разработанности. Оценивались абсолютные значения пространственной синхронизации, когерентности и спектральной мощности биопотенциалов в фоновой ЭЭГ и при выполнении теста, а также динамика изменения этих показателей при переходе от состояния спокойного бодрствования к выполнению творческой работы. Исследование показало, что у групп испытуемых с высокими и низкими показателями креативности существует ряд достоверных различий на ЭЭГ. Анализ когерентности и спектральной мощности с использованием узкополосных частотных диапазонов позволяет отследить количество и направленность процессов, связанных с каждым из критериев креативности. Отсутствие значительных изменений на ЭЭГ во время работы с тестом указывает на наличие устойчивого, нединамичного функционального состояния мозга, в рамках которого и происходит творческая работа.

Ключевые слова: креативность, творчество, эффективность, тест Торренса, пространственная синхронизация, когерентность, спектральная мощность биопотенциалов, узкополосные частотные диапазоны.

EEG Correlates of Efficiency of Nonverbal Creative Performance (Drawing)

D. V. Zakharchenko, N. E. Sviderskaya

*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow,
e-mail: dz-ihna@mail.ru, sviderskaya@ihna.ru*

This work was aimed at a search for EEG correlates of efficiency of nonverbal creative performance. Standardized Torrens technique which makes it possible to quantitatively assess creativity was used. The EEG records were performed before and during test performance, EEG parameters were compared to Torrens scores on three scales: flexibility, originality and efficiency. Absolute values of spatial synchronization, coherence and spectral power both in the baseline and during the performance were calculated. Changes in these parameters were traced during the transition from the state of quiet wakefulness to creative performance. The narrow-band analysis of coherence and spectral power allowed the number and orientation of processes associated with creativity scales to be assessed. The absence of substantial EEG changes during the test performance is indicative of the steady, nondynamical functional state of the brain.

Key words: creativity, efficiency, Torrens test, spatial synchronization, coherence, spectral power of biopotentials, narrow-band frequency ranges.

Оценка продуктивности является одной из важнейших задач при изучении психических процессов, связанных с творчеством. Без четких, обоснованных, аргументированных критериев невозможно даже в минимальной степени ни стандартизировать процедуру оценки

творческой работы, ни спрогнозировать ее результаты. На сегодняшний день существует ряд отечественных и зарубежных методик [1, 4, 12, 13], которые используются для экспериментального изучения креативности. Однако результаты, полученные с помощью разных

методик, совпадают далеко не всегда [2]. Поэтому настоящее исследование касалось главным образом проблемы информативности ЭЭГ-показателей применительно к изучению невербального творчества (в нашем случае – рисования). Задача исследования состояла в том, чтобы выяснить, какие из показателей ЭЭГ обладают наибольшей информативностью и какой тип анализа наиболее эффективен при исследованиях невербального творчества. Планировалось выяснить, насколько совпадают топографические характеристики ЭЭГ отдельных испытуемых со средними по группе (т.е. действительно ли имеют место некие эффекты, которые мы отслеживаем по топографическим характеристикам ЭЭГ, или же средние топокарты группы имеют чисто статистическую природу и с реальными психическими феноменами сопоставлены быть не могут); какая методика анализа ЭЭГ-данных дает наибольшее количество совпадений с результатами психологического тестирования: должны мы анализировать абсолютные значения показателей ЭЭГ (в фоне с закрытыми глазами, в фоне с открытыми глазами, во время выполнения теста), или же более информативными являются относительные показатели (анализ динамики изменения показателей ЭЭГ при переходе от спокойного бодрствования к выполнению теста); какие изменения показателей ЭЭГ происходят в процессе выполнения тестового задания, насколько сильно они выражены; насколько информативным является анализ частотных характеристик ЭЭГ (когерентности и спектральной мощности).

Для создания экспериментальной модели творческой работы мы воспользовались методикой Е. Торренса, которая неоднократно применялась разными исследователями, в том числе отечественными [7]. Методика Е. Торренса позволяет оценивать креативность в баллах по трем критериям (гибкость, разработанность и оригинальность), каждый из которых имеет стандартизованную процедуру оценивания. Поскольку испытуемый в процессе выполнения теста занят исключительно рисованием, нет никаких сомнений в том, что мы производим запись ЭЭГ именно в процессе творческой работы, а не какой-то другой интеллектуальной деятельности.

МЕТОДИКА

В исследовании принимали участие 32 испытуемых-добровольца, 16 мужчин и 16 жен-

щин в возрасте от 18 до 40 лет. Для создания экспериментальной модели использовался второй субтест фигурной батареи из теста структуры креативности Е. Торренса [13]; из этого же теста были взяты критерии оценки креативности и методика их вычисления.

- гибкость – показатель оценивает разнообразие идей и стратегий достижения цели, способность решать похожие творческие задачи разными способами;

- оригинальность – характеризует способность испытуемого выдвигать неочевидные, небанальные идеи, неконформность, склонность к новаторским решениям;

- разработанность – наиболее специфическая характеристика невербальной креативности. Характеризует число идей, вложенных в рисунок, и тщательность, с которой разрабатывается тема. Поскольку время теста ограничено, показатель разработанности оценивает также скорость творческих процессов (число идей и оригинальных элементов рисунка в единицу времени).

ЭЭГ регистрировали с помощью портативной телеметрической установки “СИГ-ЭЭГ” (производитель ВНИИА, Москва) от 24 отведений, ориентируясь на международную систему 10–20, но с добавлением нескольких электродов из-за необходимости нестандартной обработки данных [11]. В качестве референтного электрода служил объединенный электрод на мочках ушей. Частота дискретизации сигнала при вводе в ЭВМ составляла 128 Гц.

Процедура исследования была следующая: испытуемый садился в кресло, на голове у него закрепляли электроды; затем испытуемого просили расслабиться и примерно в течение 3 мин производили запись фоновой ЭЭГ (свет в камере выключен, глаза закрыты), после чего запись фоновой ЭЭГ производилась еще раз (свет в камере включен, глаза открыты).

Затем испытуемому выдавали бланки теста Торренса, карандаши и фломастеры; зачитывалась инструкция: “На этих двух страницах нарисованы незаконченные фигуры. Нужно дорисовать их так, чтобы получились осмысленные рисунки. Постарайтесь сделать это максимально тщательно, проявите фантазию. Каждому рисунку нужно дать название. На выполнение этого задания отводится 10 мин. По ходу выполнения задания будет производиться запись электроэнцефалограммы, поэтому постарайтесь не моргать и производить

Таблица 1. Соответствие стандартных и нестандартных диапазонов ЭЭГ
Table 1. Compliance of standard and non-standard frequency range EEG

Стандартные диапазоны	Дельта		Тета			Альфа			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Поддиапазоны									
Значения (Гц)	0.5–1.75	1.76–3	3.1–4.5	4.5–5.75	5.76–7.25	7.26–8.25	8.26–9.75	9.76–11	11.01–12.25
Стандартные Диапазоны	Бета 1								
Поддиапазоны	10	11	12	13	14	15			
Значения (Гц)	12.26–13.5	13.51–14.75	14.76–16	16.01–17.25	17.26–18.75	18.76–20			
Стандартные Диапазоны	Бета 2								
Поддиапазоны	16	17	18	19	20	21	22		
Значения (Гц)	20.01–21.25	21.26–22.5	22.51–24	24.01–25.5	25.51–27	27.01–28.5	28.51–30		

как можно меньше движений лицевыми мышцами – это ухудшает качество записи”.

Если вопросов не возникало, подавалась команда “Начали!”, испытуемый начинал рисовать, включали секундомер и начинали запись ЭЭГ. ЭЭГ записывали тремя отрезками длительностью по 3 мин, чтобы иметь возможность отслеживать динамику изменения ЭЭГ-показателей по ходу выполнения теста; артефакты удаляли как непосредственно в процессе записи, так и по окончании обследования (в процессе обработки ЭЭГ). По истечении 10 мин подавали команду “Закончили!”, у испытуемого забирали бланки с рисунками и снимали электроды.

Визуальный анализ ЭЭГ не позволяет выявить наличие каких-либо специфических паттернов, однако изменения в амплитудно-частотных характеристиках ЭЭГ при переходе к выполнению теста отчетливо видны. Чтобы количественно оценить величину этих изменений, данные подвергались математической обработке. Анализ ЭЭГ-данных проводили с помощью программы “Синхро-ЭЭГ”, которая является штатным программным обеспечением для аппаратно-программного комплекса “СИТ-ЭЭГ”. Оценивали:

- уровень пространственной синхронизации потенциалов (ПС) – характеризует линейные (кросскорреляционные) взаимоотношения между потенциалами всех пунктов отведения. Этот показатель вычислялся на основе предварительного подсчета коэффициентов корреляции между потенциалами всех пунктов

отведения ЭЭГ. Далее эти коэффициенты преобразовывали по критерию Фишера и получали “индексы” пространственной синхронизации биопотенциалов для каждого из 24 пунктов отведения, которые суммировались, в результате чего и вычислялся показатель ПС [5, 8];

- когерентность (КОГ) по 6 стандартным или 22 нестандартным диапазонам (оценивает синхронизацию биопотенциалов по частоте);
- спектральную мощность (СМ) биопотенциалов по 6 стандартным или 22 нестандартным диапазонам.

Объединение данных по четырем соседним пунктам отведений ЭЭГ позволило выделить шесть основных областей коры: фронтальные левого (*Fs*) и правого (*Fd*) полушарий, парieto-темпоральные левого (*PTs*) и правого (*PTd*) полушарий и окципитальные левого (*Os*) и правого (*Od*) полушарий.

Когерентность и спектральную мощность оценивали по 22 нестандартным диапазонам: такой подход позволяет более точно оценить частотные характеристики ЭЭГ, а также дает возможность отследить разнонаправленные изменения в рамках стандартных частотных диапазонов. Информация о соответствии стандартных и нестандартных диапазонов представлена в табл. 1.

Оценка уровня креативности производилась в соответствии со стандартными ключами методики Е. Торренса. При статистическом анализе данных использовали непараметрический *U*-критерий Манна–Уитни и параметри-

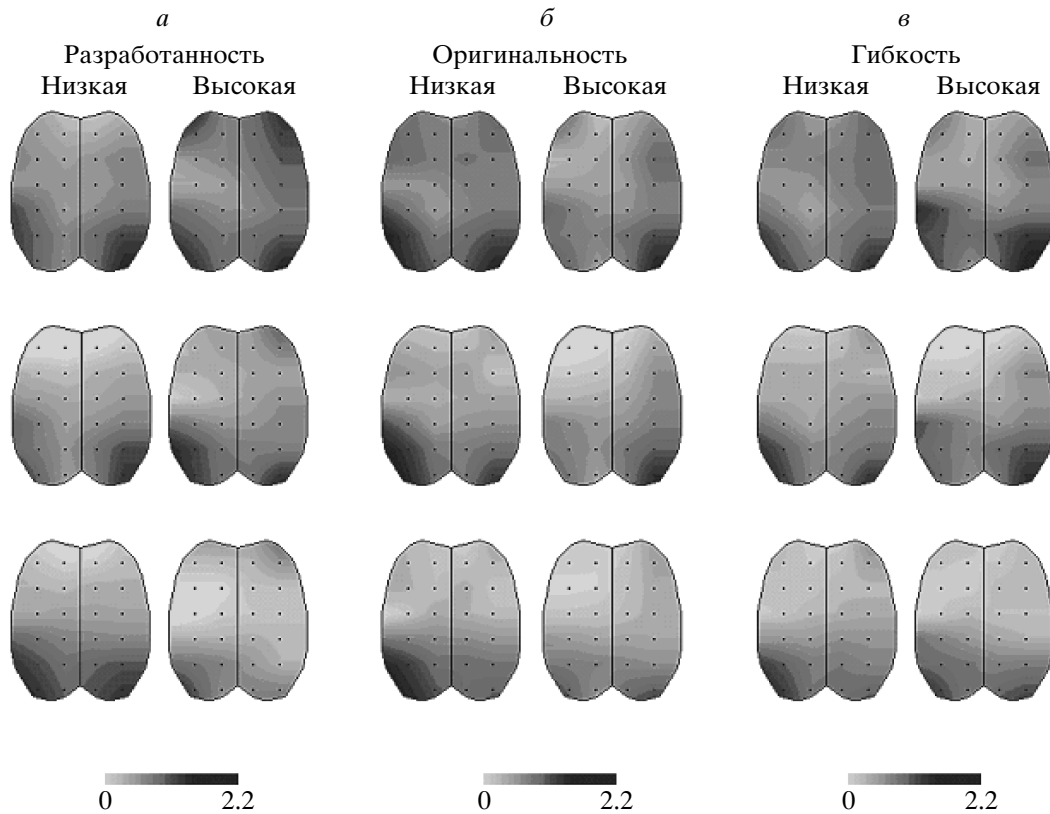


Рис. 1. Топографические карты абсолютных значений пространственной синхронизации (ПС) биопотенциалов. *а* – разработанность, *б* – оригинальность, *в* – гибкость. 1 – фоновая ЭЭГ с закрытыми глазами, 2 – фоновая ЭЭГ с открытыми глазами, 3 – во время выполнения теста Торренса.

Fig. 1. Topographical maps of absolute values of spatial synchronization biopotentials. *a* – productivity, *б* – originality, *в* – flexibility. 1 – background EEG blindly, 2 – background EEG with open eyes, 3 – during performance of the Torrens's test.

ческий *t*-критерий Стьюдента, а также кросс-корреляционный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Используя ключ к тесту Торренса, для каждого из 28 испытуемых (записи четверых были отсеяны из-за большого числа артефактов) мы вычислили значения показателей гибкости, оригинальности и разработанности (в баллах). По каждому из показателей креативности выборку разделили на две группы – с высокими и низкими значениями показателя. Таким образом, мы получили шесть групп:

Гибкость низкая – 17 человек (6.65 ± 0.7 балла), высокая – 11 человек (8.73 ± 0.8 балла);

Оригинальность низкая – 13 человек (5.08 ± 1.32), высокая – 15 человек (10.67 ± 2.55);

Разработанность низкая – 15 человек (30.93 ± 10.63), высокая – 13 человек (65.77 ± 11.32).

Затем мы провели сравнительный анализ абсолютных значений пространственной синхронизации биопотенциалов. Топокарты приведены на рис. 1, достоверные отличия – в табл. 2.

Первое, что хотелось бы отметить, – это значительные межгрупповые различия ПС в фоновой ЭЭГ (с закрытыми глазами). Различия эти затрагивают несколько меньшую площадь коры, чем, например, в пробах с открытыми глазами (см. табл. 2), зато абсолютные значения у них наибольшие. Особенно хорошо это видно на примере групп с высокой и низкой разработанностью (рис. 1, *а*, 1).

Второй интересный факт: в последовательности проб “фон с закрытыми глазами → фон с открытыми глазами → тест” во всех группах число и топография очагов повышенной ПС принципиально не меняется: меняется степень выраженности, но число и топографические

Таблица 2. Достоверные различия пространственной синхронизации (ПС) в группах с низкими и высокими баллами по показателям креативности**Table 2.** Authentic differences of spatial synchronization in groups with low and high values on parameters of creativity

Показатель	Запись	<i>F_s</i>	<i>F_d</i>	<i>PT_s</i>	<i>PT_d</i>	<i>O_s</i>	<i>O_d</i>
РАЗРАБОТАННОСТЬ	Фоновая ЭЭГ (глаза закрыты)	<	<	·	·	·	·
	Фоновая ЭЭГ (глаза открыты)	<	<	·	·	<	·
	Во время выполнения теста Торренса	·	·	>	>	>	>
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	Фоновая ЭЭГ (глаза закрыты)	>	·	·	·	>	·
	Фоновая ЭЭГ (глаза открыты)	>	·	·	·	>	·
	Во время выполнения теста Торренса	>	·	>	·	>	·
ГИБКОСТЬ	Фоновая ЭЭГ (глаза закрыты)	·	·	<	·	·	<
	Фоновая ЭЭГ (глаза открыты)	>	·	<	·	·	<
	Во время выполнения теста Торренса	·	·	·	>	·	·

Примечание. Достоверность по Стьюденту, $p < 0.05$. < – ПС достоверно выше в группе с высокими значениями показателя, > – ПС достоверно ниже в группе с высокими значениями показателя, · – различия недостоверны.

Таблица 3. Изменения пространственной синхронизации потенциалов при переходе от состояния покоя к выполнению теста Торренса**Table 3.** Changes of spatial synchronization of potentials passing from the quiescent period to performance of the Torrens's test

Показатель	Группа	<i>F_s</i>	<i>F_d</i>	<i>PT_s</i>	<i>PT_d</i>	<i>O_s</i>	<i>O_d</i>
РАЗРАБОТАННОСТЬ	Высокая	>	>	>	>	·	>
	Низкая	·	·	·	·	<	<
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	Высокая	·	·	>	>	<	>
	Низкая	·	·	·	·	<	·
ГИБКОСТЬ	Высокая	·	·	>	>	<	>
	Низкая	·	·	·	>	<	·

Примечание. Достоверность по Стьюденту, $p < 0.05$. < – во время выполнения теста ПС выше, чем в фоновой ЭЭГ (с открытыми глазами), > – во время выполнения теста ПС ниже, чем в фоновой ЭЭГ (с открытыми глазами), · – различия недостоверны.

характеристики очагов в целом постоянны (см. рис. 1, столбики).

Третий отличительный момент – топографические характеристики ПС в фоновой ЭЭГ (и с закрытыми, и с открытыми глазами) у большинства конкретных испытуемых в значительной степени совпадают с топографическими характеристиками группы, в которую они входят. Зато при выполнении теста Торренса какой-либо системы в топографических характеристиках ПС не обнаружено – средние топокарты по группе (рис. 1, *a*, *з*, *б*, *з*, *в*, *з*) являются чисто статистической величиной и, как правило, не совпадают с топокартами отдельных испытуемых.

Следующий интересный факт: в фоновой ЭЭГ (с закрытыми глазами) у группы с высо-

кими показателями разработанности имеет место специфическое сочетание очагов повышенной пространственной синхронизации биопотенциалов по диагонали левая окципитальная область (*O_s*) – правая фронтальная область (*F_d*) полушарий мозга. Аналогичное сочетание уже неоднократно отмечалось при исследованиях креативности [9, 10].

Помимо абсолютных значений мы отслеживали также динамику изменения показателей ЭЭГ при переходе от состояния покоя к выполнению тестового задания. В табл. 3 приведена информация об изменениях пространственной синхронизации во время выполнения теста Торренса (из показателей ПС во время выполнения теста вычитались показатели ПС фоновой ЭЭГ с открытыми глазами).

Анализируя изменения в ПС при переходе к выполнению творческой работы, следует иметь в виду, что конфигурация очагов увеличения/уменьшения ПС у каждого конкретного испытуемого имеет мало общего с усредненной конфигурацией по группе. Данные, представленные в табл. 2, являются чисто статистическими и не отражают изменения топографических характеристик ПС в каждом конкретном случае. Единственный вывод, который мы можем сделать в этой связи – высокие показатели по критериям разработанности, гибкости и оригинальности связаны преимущественно с уменьшением уровня ПС потенциалов.

Однако если анализировать динамику изменения ПС в каждом конкретном случае, обнаруживается другая интересная закономерность: в процессе выполнения творческой работы конфигурация очагов повышенной/пониженной ПС и абсолютные значения ПС практически не изменяются. Иными словами, при выполнении творческой работы динамика состояния выражена крайне слабо или вообще отсутствует. На рис. 2 представлены топокарты изменения ПС испытуемой М. в процессе выполнения теста Торренса.

Записанная ЭЭГ разбита на шесть отрезков по 10–12 эпох каждый. Как видно, при переходе от состояния спокойного бодрствования к выполнению творческой работы происходит резкое изменение ПС, затрагивающее достаточно большую площадь поверхности коры (рис. 2, *a*). После этого всякие изменения либо прекращаются совсем, либо проявляются в виде единичных бессистемных флуктуаций, затрагивающих небольшую площадь (рис. 2, *д*). Аналогичная динамика (точнее, отсутствие динамики) состояния характерна для всех без исключения испытуемых. Резкий переход от спокойного бодрствования к творческой работе тоже характерен для всех без исключения испытуемых. В связи с этим логично предположить существование двух дискретных состояний: “спокойное бодрствование” и “творческая работа”, переход между которыми осуществляется или вообще мгновенно, или достаточно быстро (не дольше 40 с: минимально возможный отрезок для анализа ЭЭГ – 10 эпох, одна эпоха – 4 с).

Не имея возможности адекватно представить все данные по показателям когерентности и спектральной мощности (их слишком много), остановимся только на наиболее интересных, на наш взгляд, отличиях.

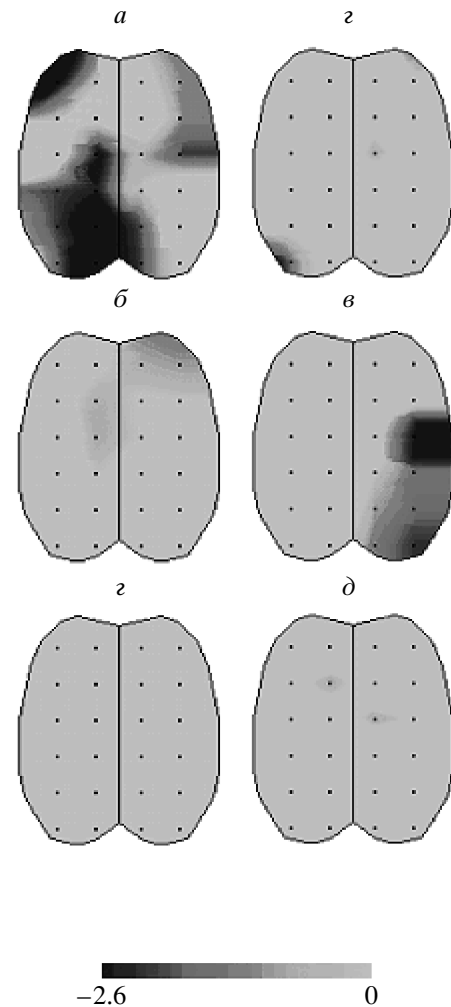


Рис. 2. Топокарты изменения ПС в процессе выполнения теста Торренса (испытуемая М.). *a* – разность между первым интервалом теста Торренса и фоновой ЭЭГ (с открытыми глазами), *б* – разность между вторым и первым интервалами теста Торренса, *в* – разность между третьим и вторым интервалами, *г* – разность между четвертым и третьим интервалами, *д* – разность между пятым и четвертым интервалами, *е* – разность между шестым и пятым интервалами.

Fig. 2. Topographical maps of change of spatial synchronization during performance of the Torrens's test (volunteer M.). *a* – a difference between the first interval of the Torrens's test and background EEG (with open eyes), *б* – a difference between the second and first interval of the Torrens's test, *в* – a difference between the third and second interval, *г* – a difference between the fourth and third interval, *д* – a difference between the fifth and fourth interval, *е* – a difference between the sixth and fifth interval.

В группе с высокой разработанностью мы отмечаем значительное снижение когерентности в дельта-диапазоне (1-й поддиапазон), в то

Таблица 4. Изменения когерентности при переходе к выполнению теста Торренса
Table 4. Changes of coherence passing to performance the Torrens's test

Зона	Дельта		Тета			Альфа				Бета 1					Бета 2								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
<i>Fs</i>	>																					<	<
<i>Fd</i>	>					>								>	<							<	<
<i>PTs</i>	>						<								<			<			<	<	<
<i>PTd</i>	>					>	<				<				<			<			<	<	<
<i>Os</i>							<			<							<	<			<	<	<
<i>Od</i>	>						<				<		<				<				<	<	<

а

Зона	Дельта		Тета			Альфа				Бета 1					Бета 2									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
<i>Fs</i>	<																						<	
<i>Fd</i>		>																				<	<	<
<i>PTs</i>									<				<				<					<	<	<
<i>PTd</i>									<							<						<	<	<
<i>Os</i>	<						<		<		<		<		<	<						<	<	<
<i>Od</i>						<			<							<		<				<	<	<

б

Зона	Дельта		Тета			Альфа				Бета 1					Бета 2									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
<i>Fs</i>										<					<							<	<	
<i>Fd</i>																		<				<	<	<
<i>PTs</i>										<	<				<			<				<	<	<
<i>PTd</i>																<		<				<	<	<
<i>Os</i>										<	<		<			<	<	<				<	<	<
<i>Od</i>											<		<		<		<					<	<	<

в

Зона	Дельта		Тета			Альфа				Бета 1					Бета 2									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
<i>Fs</i>																						<	<	
<i>Fd</i>																							<	<
<i>PTs</i>							<		<								<					<	<	<
<i>PTd</i>							<		<													<	<	<
<i>Os</i>							<		<							<						<	<	<
<i>Od</i>							<		<							<		<	<			<	<	<

Таблица 4. Окончание
Table 4. (Contd.)

z																						
Зона	Дельта		Тета			Альфа					Бета 1						Бета 2					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
<i>F_s</i>															<							
<i>F_d</i>																						
<i>PT_s</i>											<				<					<	<	<
<i>PT_d</i>		>													<					<	<	<
<i>O_s</i>											<				<			<		<	<	<
<i>O_d</i>															<					<	<	<

d																							
Зона	Дельта		Тета			Альфа					Бета 1						Бета 2						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
<i>F_s</i>							<	>													<	<	
<i>F_d</i>																						<	<
<i>PT_s</i>							<		<								<	<		<	<	<	
<i>PT_d</i>							<				<					<		<		<	<	<	
<i>O_s</i>							<		<				<			<	<	<	<	<	<	<	
<i>O_d</i>							<				<					<	<	<	<	<	<	<	

Примечание. Достоверность по Стьюденту, $p < 0.05$. *a* – изменения когерентности в группе с высокой разработанностью, *b* – то же, в группе с низкой разработанностью, *в* – то же, в группе с высокой оригинальностью, *г* – то же, в группе с низкой оригинальностью, *д* – то же, в группе с высокой гибкостью, *е* – то же, в группе с низкой гибкостью, < – достоверное увеличение показателя, > – достоверное уменьшение показателя.

время как у группы с низкой разработанностью таких изменений не происходит (табл. 4, *a, б*). В альфа-диапазоне в обоих случаях незначительное увеличение когерентности происходит в одном узкополосном поддиапазоне (высокая разработанность – 7-й поддиапазон, низкая – 9-й поддиапазон). Сходная топографическая конфигурация позволяет предположить, что в обоих случаях мы имеем дело с одним и тем же процессом; что это за процесс – установить не представляется возможным. В диапазонах бета1 и бета2 у обеих групп динамика в целом сходная – идет увеличение когерентности. Изменения спектральной мощности (СМ) характеризуются снижением тета-активности (4-й поддиапазон) в группе с низкой разработанностью; в группе с высокой разработанностью значительно сильнее выражено снижение в диапазонах альфа и бета1; в диапазоне бета2 снижение спектральной мощности отмечается только в лобных областях. Динамика увеличения СМ в области высоких частот у групп с вы-

сокой и низкой разработанностью примерно одинаковая.

У группы испытуемых с низкой оригинальностью отмечается значительный рост когерентности в альфа-диапазоне в затылочных и височно-теменно-затылочных областях (7-й и 9-й поддиапазоны). В диапазоне бета1, наоборот, увеличение когерентности происходит в группе с высокими показателями оригинальности, в то время как в группе с низкой оригинальностью в этом диапазоне достоверных изменений нет (табл. 4, *в, г*). Динамика в диапазоне бета2 сходная. Спектральная мощность характеризуется наличием слабо выраженной отрицательной динамики в диапазонах дельта (2-й поддиапазон) и тета (5-й поддиапазон) в группе с низкой оригинальностью. В диапазонах альфа и бета1 изменения аналогичные – идет снижение спектральной мощности (небольшие отличия есть только по частоте). В диапазоне бета2 также сходная динамика – по-

казатели растут в затылочных и височно-теменных областях.

При переходе к выполнению теста Торренса у группы с низкой гибкостью происходит увеличение когерентности в альфа-диапазоне (7-й поддиапазон); аналогичное по топографической конфигурации увеличение когерентности в группе с высокой гибкостью происходит в диапазоне бета1 (15-й поддиапазон). Возможно, это аналогичные процессы, идущие на разных частотах (табл. 4, д, е). В диапазоне бета1 (11-й поддиапазон) мы наблюдаем одинаковые по частоте и направленности изменения, но в разных полушариях. В диапазоне бета2 у группы с низкой гибкостью увеличение когерентности выражено значительно сильнее, хотя тенденция в целом одинаковая. Снижение спектральной мощности в тета-диапазоне (4-й поддиапазон) характерно для группы с высокими показателями гибкости. В альфа-диапазоне снижение идет в обеих группах, но у группы с низкой гибкостью оно выражено сильнее. В диапазоне бета1 снижение спектральной мощности больше выражено у группы с низкой гибкостью, но происходит оно только в лобных областях. Для диапазона бета2 характерна сходная динамика – происходит увеличение спектральной мощности, но в группе с низкой гибкостью это увеличение выражено несколько сильнее.

Формат статьи не позволяет подробно проанализировать все показатели фоновых ЭЭГ и показатели ЭЭГ во время выполнения теста, отметим лишь две особенности, которые будут интересны при интерпретации результатов: во-первых, в фоновых ЭЭГ с закрытыми глазами существуют значительные различия между группами с высокими и низкими показателями креативности. Во-вторых, при выполнении теста Торренса у группы с высокой разработанностью в левой парието-темпоральной области значения спектральной мощности достоверно ниже, чем у группы с низкой разработанностью, причем не просто ниже, а ниже непрерывно по большому диапазону частот (13.5–30 Гц), т.е. практически полностью захватываются диапазоны бета1 и бета2.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как видно из представленных данных, выполнение невербальной творческой работы (рисования) связано со снижением уровня пространственной синхронизации и спектральной мощности (в основном в альфа-диапазоне) на

значительной части площади коры. Чем лучше выполняется креативный тест, тем сильнее эти процессы выражены. Факт интересный, хотя и не новый: еще в 1975 г. К. Мартиндейл и Д. Хайнс [14] показали, что творческая работа связана со снижением корковой активации в лобных областях. Есть и данные, указывающие на генерализованное снижение спектральной мощности по всей поверхности коры при выполнении креативного теста [3, 6]. Достоверно неизвестно, почему при творческой работе происходит торможение и десинхронизация ритмов, поэтому мы предлагаем на выбор два варианта интерпретации. Вариант первый: снижение активности происходит как результат некоторой аутизации, необходимой для достижения состояния концентрации и сосредоточенности на решении сложной задачи. Мозгу необходимо свести к минимуму воздействие побочных раздражителей и отвлекающих факторов. Второй возможный вариант интерпретации: информационные процессы, связанные с творческой работой, идут в нескольких узкочастотных диапазонах одновременно; для осуществления этих процессов требуются некие абсолютные значения уровня активации в разных участках коры, которые могут быть разными для разных испытуемых, но в среднем ниже фоновых. Такая интерпретация объясняет, в частности, почему на фоне общего торможения мы наблюдаем достоверное увеличение когерентности в отдельных диапазонах частот – как раз в тех областях коры, где происходит снижение пространственной синхронизации и спектральной мощности. Особенно показательными в этой связи являются диапазоны альфа и (в меньшей степени) бета1.

Следующий интересный факт – отсутствие динамики ЭЭГ-показателей во время выполнения теста. Как видно из представленных данных, динамика или вообще отсутствует, или выражена в виде единичных бессистемных всплесков. Причем отсутствует динамика не в среднем по выборке, она отсутствует у каждого конкретного испытуемого. Полученные результаты можно интерпретировать единственным образом: выполнение творческой работы (независимо от эффективности) связано с формированием некоего жесткого состояния, в котором и выполняется работа; переход в это состояние происходит достаточно быстро (не дольше 40 с) либо вообще мгновенно. Иными словами, при переходе к выполнению творческой работы формируется (или

актуализируется сформированное в прошлом жесткое дискретное состояние, в котором испытуемый находится вплоть до окончания работы. В дальнейшем представляется перспективным исследование как раз таких жестких, нединамичных состояний, а также механизмов перехода из одного состояния в другое.

Третий интересный факт связан с анализом внутригрупповой варибельности топографических показателей ЭЭГ. Если в фоновой ЭЭГ (и с закрытыми, и с открытыми глазами) пространственные характеристики биопотенциалов у конкретных испытуемых более или менее совпадают со средними по группе, то при выполнении теста Торренса у каждого испытуемого пространственные характеристики индивидуальны и на средние топокарты группы, как правило, не похожи. Получается, что жесткое нединамичное состояние, которое мы наблюдаем при творческой работе, в каждом конкретном случае формируется за счет активности разных участков коры и разных абсолютных значений ЭЭГ-показателей в этих участках. Логично допустить, что при выполнении теста испытуемый пользуется одновременно несколькими механизмами обработки информации, но используют их разные испытуемые с разной интенсивностью; дополнительно к этому подключается операционная и семантическая память (которая также у каждого своя и используется по-своему) – в результате в каждом конкретном случае мы получаем разную топографию. Число информационных процессов можно примерно оценить, используя узкополосные частотные диапазоны, но для этого необходим отдельный эксперимент.

Следующий интересный момент – существование значительных различий в фоновой ЭЭГ в группах с высокими и низкими показателями креативности. Интересно, что наиболее информативной в этом плане является фоновая ЭЭГ с закрытыми глазами – межгрупповые различия здесь самые большие. Следует отметить также наличие специфической конфигурации очагов повышенной ПС биопотенциалов – диагональное сочетание $Os-Fd$ в группе с высокой разработанностью. Аналогичное сочетание уже неоднократно отмечалось при исследованиях креативности [9, 10]. Особенности использовавшихся методик позволяют интерпретировать сочетание очагов повышенной ПС биопотенциалов по диагонали $Os-Fd$ как показатель высокой скорости творческих процессов, что полностью соот-

ветствует нашим данным*. Интересно также, что на фоне общего снижения пространственной синхронизации при переходе к выполнению теста снижение по диагонали $Os-Fd$ выражено несколько меньше, чем в целом по коре.

С диагональю $Os-Fd$ связана еще одна интересная особенность: как показывают исследования [9], при обучении творческим профессиям происходит переориентация очагов повышенной ПС биопотенциалов. До обучения у большинства испытуемых в фоновой ЭЭГ отмечаются очаги повышенной ПС либо в левой фронтальной и правой окципитальной области коры, либо разбросанные бессистемно; после обучения очаги повышенной ПС в большинстве случаев выстраиваются по диагонали $Os-Fd$. Иначе говоря, под влиянием обучения происходит значительное изменение фоновой ЭЭГ. Данный факт позволяет интерпретировать фоновую ЭЭГ как некую сумму информации, в которой находят отражение знания, умения и навыки.

И последняя особенность – наличие зоны с низкой бета-активностью в височно-теменной области левого полушария у группы с высокой разработанностью. Особая роль, которую играют парието-темпоральные области при выполнении творческой работы, уже отмечалась исследователями [3]. Принято считать, что эти области связаны с использованием специальных знаний и умений; полученные нами данные не противоречат этой гипотезе, но только в том случае, если считать, что для использования специальных знаний и умений необходимы некие, достаточно низкие абсолютные значения спектральной мощности в диапазонах бета1 и бета2.

Обобщая все сказанное выше, предлагаем следующую схему, в которую непротиворечиво укладываются все полученные результаты: межгрупповые различия по критериям креативности (разработанности, оригинальности, гибкости) видны уже в фоновой ЭЭГ. Наибольшие различия характерны для фоновой ЭЭГ с закрытыми глазами. При переходе к выполнению творческой работы быстро формируется (не дольше чем за 40 с) или момен-

*Поскольку время выполнения теста ограничено (10 мин), показатель “разработанность” методики Е. Торренса оценивает помимо собственно разработанности еще и скорость творческих процессов (число идей и изобразительных элементов в единицу времени).

тально актуализируется сформированное ранее жесткое индивидуальное состояние, которое характеризуется практически полным отсутствием внутренней динамики. В этом состоянии испытуемый находится вплоть до конца выполнения тестового задания. Выполнение творческой работы требует строго определенных перестроек в работе мозга, которые на ЭЭГ проявляются в виде достижения неких абсолютных значений пространственной синхронизации, когерентности и спектральной мощности. Как только эти перестройки произошли, дальнейшие изменения прекращаются; состояние сформировано и остается относительно неизменным вплоть до окончания работы с тестом. Абсолютные значения ЭЭГ-показателей и их топография для каждого испытуемого индивидуальны, но в среднем ниже фоновых; в группах с высокими показателями по критериям креативности торможение при переходе к творческой работе выражено сильнее. Информационные процессы (их число и направленность) можно отследить, используя узкополосные частотные диапазоны.

ВЫВОДЫ

1. Выполнению невербальной творческой работы (рисования) по стандартизированной методике Е. Торренса у испытуемых соответствуют устойчивые индивидуальные значения пространственной синхронизации, когерентности и спектральной мощности ЭЭГ. За время выполнения креативного теста (10 мин) эти индивидуальные показатели ЭЭГ практически не изменяются.

2. Эффективность выполнения творческой работы в значительной степени зависит от степени снижения пространственной синхронизации биопотенциалов при переходе к выполнению теста. В группах с высокими показателями креативности (по всем трем критериям: гибкости, оригинальности и разработанности) это снижение выражено сильнее.

3. Высокая скорость творческой работы коррелирует с наличием в фоновой ЭЭГ очагов повышенной пространственной синхронизации биопотенциалов по диагонали левая окципитальная область (*O_s*) – правая фронтальная область (*F_d*) полушарий мозга.

4. Эффективность творческой работы связана со снижением спектральной мощности

биопотенциалов в височной области левого полушария в диапазоне частот 13.5–30 Гц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анастаси А., Урбина С. Психологическое тестирование. (7-е международное изд.). СПб.: "Питер", 2001. 686 с.
2. Бехтерева Н.П. Магия творчества и психофизиология. Факты, соображения, гипотезы. СПб.: Институт мозга человека РАН, 2006. 43 с.
3. Бехтерева Н.П., Данько С.Г., Старченко М.Г., Пахомов С.В., Медведев С.В. Исследование мозговой организации творчества. Сообщение III. Активация мозга по данным анализа локального мозгового кровотока и ЭЭГ. Физиология человека. 2001. 27(4): 6–14.
4. Богдавленская Д.Б. Интеллектуальная активность как проблема творчества. Ростов: Изд-во Ростовск. ун-та, 1983. 176 с.
5. Ливанов Н.М. Пространственная организация процессов головного мозга. М.: "Наука", 1972. 182 с.
6. Разумникова О.М. Частотно-пространственная организация активности коры мозга при конвергентном и дивергентном мышлении в зависимости от фактора пола. Сообщение I. Анализ мощности ЭЭГ. Физиология человека. 2004. 30(6): 17–27.
7. Разумникова О.М., Шемелина О.С. Личностные и когнитивные свойства при экспериментальном определении уровня креативности. Вопр. психологии. 1999(5): 130–141.
8. Свидерская Н.Е. Синхронная электрическая активность мозга и психические процессы. М.: "Наука", 1987. 172 с.
9. Свидерская Н.Е., Дащинская Т.Н., Таратынова Г.В. Пространственная организация ЭЭГ при активизации творческих процессов. Журн. высш. нерв. деят. 2001. 51(3): 393–404.
10. Свидерская Н.Е., Таратынова Г.В., Кожедуб Р.Г. Влияние навыка формирования зрительных образов на пространственную организацию ЭЭГ. Журн. высш. нерв. деят. 2005. 55(6): 812–821.
11. Свидерская Н.Е., Шлитнер Л.М. Когерентные структуры электрической активности коры головного мозга. Физиология человека. 1990. 16(3): 12–19.
12. Старченко М.Г., Воробьев В.А., Ключарев В.А., Бехтерева Н.П., Медведев С.В. Исследование мозговой организации творчества. Сообщение I. Разработка психологического теста. Физиология человека. 2000. 26(2): 5–9.
13. Туник Е.Е. Тест Е. Торренса. Диагностика креативности. СПб.: "Иматон", 2000. 170 с.
14. Martindale C., Hines D. Creativity and cortical activation during the creative, intellectual and EEG feedback tasks. Biol. Psychol. 1975. 3(2): 91–100.