

**Магия творчества и психофизиология
Факты, соображения, гипотезы**

Институт мозга человека РАН, Санкт-Петербург

Н.П.Бехтерева*

Современная физиология мозга человека – результат интенсивного развития инвазивных и неинвазивных технологий второй половины и главным образом – последних десятилетий двадцатого века. Взаимообогащение и взаимопроникновение идей и достижений физиологии мозга человека и психологии определило реальный базис для попыток проникновения в психофизиологию творчества, его мозговую организацию и мозговые механизмы.

Вклад сотрудников Института мозга человека РАН в формирование и становление современной физиологии мозга человека весьма существенен. По чисто паранаучным причинам он более значителен в первом прорыве XX столетия, когда оказалось возможным с максимальной полнотой судить о событиях, происходящих в микромирах мозга (Бехтерева, 1997), однако, и во втором «технологическом» прорыве наше участие обозначено пионерскими работами именно в области психофизиологии творчества. Подойти к этой сложной, захватывающей, но и одновременно коварной проблеме нам позволил долгий путь изучения мозговой топографической организации и, что очень важно, мозговых механизмов мышления (Бехтерева, 1965-1999). Картирование и микрокартирование мозга при реализации различных функций лишь на первых порах оказывалось основной задачей, сменяясь сверхзадачей изучения механизмов управления мозговой функциональной организацией высших функций. Такому подходу субъективно по-видимому способствовало почти случайное открытие нами в 1968 г. и последующее осмысление одного из важнейших мозговых механизмов и особенно в том,

* На основе экспериментальных исследований сотрудников лаборатории С.Г.Данько, М.Г.Старченко, Н.В.Шемякиной.

что касается высших функций – детекции ошибок (Bechtereva, Gretchin, 1968).

Изучение мозговой организации и мозговых механизмов творчества реально стало осуществимым в настоящую «технологическую» эру, когда в мозговой физиологии оказалось возможным уйти от поистине Сизифова труда примитивных форм анализа данных. Реорганизация физиологических процессов мозга при индуцированном развитии творческого процесса исследуется нами на основе анализа данных локального мозгового кровотока с помощью позитронноэмиссионной томографии (ПЭТ) и количественной электроэнцефалографии – локальной и пространственной синхронизации. Уникальным изучением творчества делает эти исследования психологический аспект работы, создающий модельную ситуацию вербального творчества и позволяющий далее с помощью адекватных контролей «изымать» из физиологических данных шаг за шагом максимально все, не являющееся собственно творчеством. Конструирование психологических тестов при изучении творчества постоянно совершенствуется и в соответствии с конкретной «подзадачей» и стремлением к «идеалу». Вполне понятно, что выделение физиологических механизмов собственно творчества – задача, на пути решения которой исследователя ожидают далеко не одни удачи.

Тесты на вербальную креативность предъявлялись в наших исследованиях волонтерам на экране монитора в виде черно-белых матриц с наборами различных текстов и с соответствующими словесными заданиями к ним. Опыт предварительных психологических исследований (Старченко, 2000) показал, что испытуемые использовали разную стратегию в решении предъявляемых им психологических заданий. Соответственно, далее использовались две разные (основные) конструкции тестов. Естественно, не исключено, что этими двумя вариантами возможные различия в способах решения вербальных задач не исчерпываются. Далее тесты реконструировались в соответствии с конкретными задачами.

В отличие от дальнейшего изложения материала, описание первых двух типов тестов приводится здесь достаточно подробно.

Первый тест состоял из 4 заданий. В каждом задании испытуемому предъявлялись в течение 90 секунд черными буквами на белом фоне в виде матрицы наборы из 16 слов (8 инфинитивов и 8 существительных единственного числа именительного падежа). Слова состояли из 2-3 слогов и не повторялись в разных заданиях.

В первом задании – D (наиболее сложный вариант) испытуемые должны были составить в уме рассказ, используя как можно больше слов из предъявленного списка. Слова в нем принадлежали разным семантическим полям (сложный вариант). Второе задание – E было аналогично первому, однако предъявляемые слова принадлежали одному семантическому полю (более простой вариант). В этих заданиях разрешалось использовать дополнительно свои слова и менять грамматические формы слов. Третье задание «R» состояло в восстановлении связного текста из слов без изменения порядка их следования, но при изменении словоформ и добавлении служебных слов. Четвертое задание «W» (запоминание слов) требовало механического запоминания слов в заданном порядке, сначала начинающихся на одну, затем на другие буквы и соответствующего их последующего воспроизведения. Таким образом, три типа контрольных заданий позволили максимально приблизиться к получению в результате ряда контрастов данных о мозговой организации собственно творческого процесса.

Второй тест состоял из 3 заданий. В каждом задании испытуемому предъявлялись в течение 90 секунд черными буквами на белом фоне в виде матрицы наборы из 12 слов – существительные в именительном падеже. Все слова состояли из 1-4 слогов и не повторялись в разных заданиях. В первом задании «D» испытуемому нужно было посредством произнесения вслух слов-существительных, ассоциативно не связанных друг с другом, переходить по цепочке от одного слова к другому. Например, цепочкой

между словами «стекло, река» могли являться слова «отражение, вода», и т.о. одна из цепочек получалась как «стекло, отражение, вода, река». Во втором задании «E» испытуемому нужно было к каждому слову из матрицы, представляющему какую-то категорию, назвать 5 слов, относящихся к данной категории. Например, «одежда» – «брюки, юбка, носки, рубашка, галстук» и т.д. Третье задание «R» представляло собой чтение вслух слов, представленных на матрице (Данько и др., 2003; Bechtereva et al., 2004).

Данные электроэнцефалографии теоретически позволяли проводить обсуждение полученных результатов с использованием мирового опыта, т.к. принципиально подобного рода работы проводились с середины 90-х годов (Petsche, 1966, 1997, Molle, 1996, 1999; Разумникова, 2000; Jausovec, Jausovec, 2000). Однако, различия в методических подходах и, соответственно – в результатах, определяли сложности в сопоставлении данных. Что касается так называемых новых технологий, то работы по изучению мозговой организации и механизмов творчества на их основе начались лишь в ближайшие (последние) годы (Бехтерева и соавт., 2000, 2001; Carlsson, 2000; Bechtereva et al., 2004).

Методические аспекты исследований подробно приведены в соответствующих статьях (Бехтерева и др., 2000; Bechtereva et al., 2005). Как и можно было предположить, данные ЭЭГ позволили обнаружить прежде всего общую реакцию активации, наиболее выраженную при выполнении наиболее сложного, творческого задания, что проявилось в соответствующих контрастах (D-E, D-R, D-W и др.). Однако на основе данных локальной синхронизации выявлены также местные перестройки преимущественно в височных областях, причем в контрасте DE различия локальной синхронизации в передневисочных зонах были достоверны слева.

Что касается пространственной синхронизации, то наибольшее количество достоверных различий обнаруживалось в контрастах D-R и D-W. Достоверное увеличение контраста пространственной синхронизации в D-E обнаруживалось не во всех группах обследованных лиц.

Полученные данные оказались принципиально воспроизводимыми, однако, как правило, последующие исследования приводили и к получению дополнительных материалов. Идеальной воспроизводимости данных на разных группах испытуемых может препятствовать ряд факторов, причем индивидуальный опыт испытуемых играет здесь не последнюю роль.

Почти тривиальным может считаться здесь пожелание о «проведении дополнительных исследований», а также – о проведении сопоставимых, и желательно аналогичных исследований в различных лабораториях, на разных группах лиц.

Следует, однако, подчеркнуть, что и в этом случае не исключено, что никакие высокие технологии сегодняшнего и завтрашнего дня не спасут от некоторого разнообразия в результатах в связи с индивидуальными вариациями стратегий и тактик мозга в «свободном полете» творчества, при решении задач, регламентированных (если!) только желанным результатом.

Проведение исследований мозговой организации вербального творчества на основе тех же психологических тестов, но с регистрацией нейродинамики по данным локального мозгового кровотока (ПЭТ) также подтвердило возможность получения принципиально воспроизводимых результатов, причем проведение дальнейших исследований позволило получать все более полные и надежные данные, рисуя все более убедительную картину о главных мозговых зонах, наиболее значимых для вербального творчества.

В 2000 году мы писали о трех зонах активации в мозгу в контрасте DE , четырех зонах активации в контрасте DR, шести зонах активации в контрасте DW и т.д. Исследования, проведенные в последующие годы (Старченко, 2002, 2003; Bechtereva, 2004), позволили обнаружить более полную картину, выявить дополнительно ряд зон активации мозгового кровотока в исследуемых условиях (рис. 1, 2 , таблица 1, 2).

Таблица 1.

Результаты исследования при использовании первого теста

Контраст	Полушарие	Структура	Поле Бродмана
DE	Левое	Средневисочная извилина	39
DR	Левое	Среднелобная извилина	8, 9
		Нижнелобная извилина	46
		Средневисочная извилина	39
DW	Левое	Среднелобная извилина	6
		Средневисочная извилина	39
		Верхнелобная извилина	8
	Правое	Нижнелобная извилина	47
		Нижнелобная извилина	45, 47
		Парагиппокампальная извилина	35
ED	Левое	Верхнелобная извилина	8
		Средневисочная извилина	38
ER	Левое	Средневисочная извилина	39
		Среднебобная извилина	8
EW	Левое	Верхнелобная извилина	8
		Среднелобная извилина	6
		Нижнелобная извилина	47
		Средневисочная извилина	39
RD	Левое	Верхневисочная извилина	22
	Правое	Прецентральная извилина	4
		Прецентральная извилина	6
RE	Левое	Предклинье	31
		Верхневисочная извилина	42
RW	Левое	Верхнелобная извилина	8
		Нижнелобная извилина	47
	Правое	Верхнелобная извилина	8
		Нижнелобная извилина	47
WD	Левое	Прецентральная извилина	4
	Правое	Надкраевая извилина	40
		Поясная извилина	31
		Предклинье	7
WE	Левое	Прецентральная извилина	4
		Верхневисочная извилина	42
	Правое	Средневисочная извилина	21
		Надкраевая извилина	40
		Предклинье	7
WR	Левое	Предклинье	7
	Правое	Предклинье	7

Таблица 2.

Результаты исследования при использовании второго теста

Контраст	Полушарие	Структура	Поле Бродмана
DE	Левое	Среднелобная извилина Надкраевая извилина	6, 8 40
DR	Левое	Среднелобная извилина Нижнелобная извилина Поясная извилина Предклинье	8, 10 44, 45, 47 32 19
ED	Левое	Постцентральная извилина	1/2
ER	Левое	Поясная извилина	32
RD	Левое	Постцентральная извилина	4
		Верхневисочная извилина	22/21
		Правое	4/6
		Постцентральная извилина	21
RE	Левое	Верхневисочная извилина	24
		Поясная извилина	22
		Прецентральная извилина	31
		Правое	6
		Верхневисочная извилина	42/22

Вполне понятно, что обнаружение множества зон активации в мозгу зависимых от типа контраста, является важным для расшифровки структурно-функциональной организации мозга применительно к основным составляющим творческого процесса. Так, предполагается, что в контрасте D-E обнаруживаются мозговые корреляты гибкости творческого процесса и т.д.

Для иллюстрации (наглядности) результатов о «главных» зонах мозга, обеспечивающих вербальный творческий процесс в зависимости от стратегии решения задач, а также от других важнейших составляющих заданий (и прежде всего – фактора сложности) были использованы возможности F статистики (выявление зон интереса, в которых кровотоков меняется в зависимости от условий исследования).

Анализ результатов с помощью F статистики в условиях применения первого типа задания выявил 8 областей интереса. Графики,

иллюстрирующие относительный уровень активации этих областей мозга в различных условиях могли быть разделены на три паттерна по их виду. В связи с нелинейностью первого паттерна (отсутствием зависимости между уровнем кровотока и последовательности заданий) отвечающим предположению о различиях творческого компонента – в заданиях DERW, данный паттерн активации рассматривается как характеризующий собственно творческий процесс.

Второй паттерн активации имеет вид линейной зависимости (уровень активации пропорционально снижался от задания D к W). Предполагалось в связи с характером соотношения заданий по сложности, что данный линейный паттерн отражает скорее всего именно степень сложности заданий. Третий паттерн активации, где задания D E и R не различаются по уровню активации, отличаясь в то же время от задания W, отражает, по-видимому, общность заданий D E и R в построениях синтаксических (грамматических) конструкций (рис.3).

Анализ областей интереса по результатам теста второго типа выявил также несколько областей интереса. По той же логике анализа были выделены три группы паттернов, первый из которых предположительно был наиболее тесно связан именно с творческим компонентом заданий, второй – с их сложностью, а третий скорее всего отражал слуховые составляющие задач (рис.4).

Данные исследования областей интереса иллюстрируют связь с творческим компонентом заданий в первом случае средневисочной извилины (ПБ 39). По литературным данным эта структура связана с оперативной рабочей памятью (Collette et al., 2001; Zurowski et al., 2002) с переключением (Sohn et al., 2000), может являться звеном системы, участвующим в образовании параноидных галлюцинаций. Все это не противоречит обеспечению данной зоной гибкости мышления и также важному для творчества подключению фантазии и воображения. Другие зоны существенной активации (например ПБ-8) непротиворечиво литературным

данным могут быть связаны с активацией соответствующего массива памяти (Павлова 1988; Petsche, 1996, 1997 и из более близких по времени и методике работ – данными Carlsson, 2000).

Что касается результатов применения F статистики к данным ЛМК при реализации теста второго типа, они иллюстрируют данные второй таблицы о связи с творческим процессом левой надкраевой извилины (ПБ 40) и поясной извилины (ПБ32). Сопоставление с данными соответствующей литературы (Booth et al., 2002; Sohn et al., 2000; Knauff et al., 2000, 2002; Fincham et al., 2002) дает основание полагать, что в данном случае именно 40 поле наиболее тесно связано с творческим процессом в максимальной степени отвечает за фактор гибкости мышления. ПБ32, судя по сущности контраста D-R и данным литературы, скорее всего связано с требующимися для успешного решения творческой задачи процессами селекции (Petersen et al., 1988, Pardo et al., 1991; Taylor et al., 1994). Возможно эта зона отвечает за «собственную» для творческого процесса эмоциональную составляющую. Вероятность этих предположений дополняется рядом литературных данных о важности теменных регионов для творческих процессов (Petsche, 1966, 1997; Molle 1999; Jausovec, Jausovec, 2000; Rasumnikova, 2000).

Таким образом, по данным ПЭТ, в известной связи с характером используемой волонтерами стратегии наиболее значимыми зонами для творческого процесса оказались ПБ 39 и 40, причем во втором случае существенно важна и область ПБ-32 (поясная извилина). Как указывалось, в исследованиях наблюдалась существенная активация и в других зонах (ПБ 8, 45, 46, 47). (Bechtereva et al., 2005).

Сейчас появляются исследования мозговой организации творчества, сопоставимые по психологическим и физиологическим подходам (Howard-Jones P.A. et al., 2005). В зависимости от контраста (творческое-нетворческое задание и т.д.) обнаружены активации в различных зонах мозга (BA 10, 9, 9/32, 17, 18, 40, 32, 24, 18, 9/10). Наиболее значимыми для творческого процесса авторы считают премоторную зону правой лобной области.

Сходные данные приводились также в некоторых наших предыдущих работах (Bechtereva N.P., 2004). В работе авторов среди обнаруженных достоверных перестроек в некоторых условиях эксперимента проявляются также и BA 40 и BA 32.

Таким образом, «в первом приближении» получены данные о перспективности изучения мозговой организации творчества с помощью количественной ЭЭГ, мозгового кровотока (ПЭТ) и fMRI. И в том, и в другом случае удалось обнаружить преобладание значимых перестроек нейродинамики в ряде областей мозга. Дополнительное применение в ПЭТ исследованиях приема F-статистики (определение зон интереса, зон активации, которые связаны с определенными условиями задания) позволило наглядно представить зоны, наиболее тесно связанные именно с творческой деятельностью, причем несколько различающиеся топографически в зависимости от стратегий выполнения заданий, использованных волонтерами. Оно показало зависимость мозговой нейродинамики от сложности заданий и некоторых других факторов.

Межлабораторный проект с обязательной унификацией по крайней мере максимального количества аспектов исследования – несомненно идеал в такой сложной задаче, как получение надежных данных об основных мозговых коррелятах собственно творческого процесса в картах его мозговой организации. Удастся ли приближение к этому идеалу, по другому поводу реализованного в 50-ых годах французским ученым Гасто (Gastaut, 1954) в нашем объединенном интернетом и все же таком разобщенном мире – вопрос, прежде всего лидерства и, конечно, финансирования в науке.

Известна дискуссия о кризисной ситуации в оценке результатов картирования высших функций мозга в целом (Fox et al., 1998; Cabeza Nyberg, 2000; Grezes, Duety, 2001; Chein et al., 2002; Phan et al., 2002; Jobard et al., 2003 и др.). Несмотря на это, данная конкретная линия исследований мозговой организации творчества как будто бы «держится на плаву», прежде всего, по-видимому, за счет рациональной конструкции тестов и адекватных

приемов анализа. Физиологические результаты, как видно из данных статистики, достаточно надежны.

И в то же время, как видно именно из приведенных выше данных 2000-2005 гг., топически результаты ЭЭГ и ЛМК и, прежде всего, по мозговым зонам максимальной значимости для вербального творческого процесса не совпадают. Накопление материала еще увеличило этот разрыв. Такого рода различия, по-видимому, не только наша локальная проблема. Отсюда на основе первых наших работ, и именно тех, которые были проведены на сходной или одной и той же группе волонтеров (2000-2001), была предпринята попытка сопоставить данные полиметодических исследований о мозговой организации вербального творческого процесса по зонам максимальной значимости мозговых перестроек и в зависимости от конкретных контрастов.

Для топографического сопоставления результатов мы предприняли попытку использовать единый анатомический (топографический) язык полей Бродмана. ЭЭГ данные рассматривались через таблицу соответствия стандартных ЭЭГ отведений (системы 10-20) с полями Бродмана, этот же язык (поля Бродмана) использовался нами в описании топографии результатов ЛМК (табл.3).

Таблица 3.

Соответствие проекций стандартных ЭЭГ-отведений системы 10-20 и полей Бродмана

Отведения	Поля Бродмана	
	ближайшие	окружающие
Fp1, Fp2	10	-
F7, F8	47	10, 11, 44, 45, 46, 22, 38
F3, F4	8	6, 9
Fz	8	-
T3, T4	21	20, 22
C3, C4	1	4, 5
Cz	4	3, 6
T5, T6	18	17, 19
P3, P4	7	19
Pz	7	19

Зоны наибольших изменений ЛМК и локальной синхронизации могли анатомически (топографически) совпадать и могли, наоборот, также существенно анатомически различаться. Приведем некоторые конкретные данные такого сопоставления.

В исследованиях, взятых в основу сопоставления, в наиболее значимом контрасте D-E (оба задания творческие) локальные изменения на ПЭТ четко прослеживались в правой лобной доле (ПБ 10, 11, 44, 45, 46, 47). Изменения ЭЭГ в данной области в тех же условиях выявлены не были. Можно медитировать на тему о том, что в этом случае изменения импульсной активности (ЛМК) проявлялись без местной и без дистантной синхронизации. В контрасте D-R обнаружена активация ЛМК в левой лобной доле (ПБ 6/8, 8, 46) и теменно-затылочной области (ПБ 37, 7, 19) слева. На ЭЭГ изменения ПС обнаруживаются в обеих лобных долях, и также превалировали слева (ПБ 45, 8, 9, 10), топографически, не идеально, но все же как бы подтверждая данные ЛМК, дополняя их раскрытием физиологической сущности изменений – большие области мозга объединялись видимым образом в творческой работе для реализации задачи D. Как указывалось выше, разные контроли, разные контрасты позволяют выявить мозговую организацию различных сторон творческого процесса.

В контрасте E-R изменения ЛМК принципиально сходны с тем, что наблюдаются в контрасте D-R. В сравнении E-W изменения локального мозгового кровотока отличались от того, что наблюдалось в сравнении E-R. Топография активаций ЛМК приближалась к тому, что наблюдалось в левом полушарии в контрастах D-W и D-R. В этом случае убедительных топографических соотношений с ЭЭГ обнаружить не удалось, в ЭЭГ преобладало диффузное распределение значимых изменений пространственной синхронизации по коре головного мозга.

Несомненно, проведение ПЭТ и ЭЭГ исследований у сопоставимых (сходных) групп испытуемых при использовании одних и тех же

психологических тестов позволило получить большой массив новой информации. Однако именно она при всей актуальности идеи призыва к полиметодичности убедительно показывает, что даже в тех случаях, когда значимые изменения мозговой нейродинамики, получаемые с помощью различных методик, топографически сходны, они, описывая разные стороны жизнедеятельности каждой зоны мозга, всегда могли и должны были расцениваться лишь как взаимодополняющие данные, представляя все более полную картину развивающихся в мозгу событий, не отрицая, а лишь дополняя данные, полученные с помощью различных подходов.

В ходе дальнейшего изучения вопроса были получены убедительные примеры взаимных дополнений, расшифровки локальных событий в мозгу. Так, в контрасте «творческое, эмоционально–нейтральное задание – контроль» на рис.5 выявлена локальная десинхронизация в ЭЭГ в области левой лобной доли и одновременно в той же области зарегистрирована активация ЛМК (Шемякина, Данько, Медведев, 2005). Отсюда можно себе представить, что «активация» ЛМК здесь действительно представляет активацию нейронной активности без ее структурирования. В этом частном случае данные пространственной синхронизации подтверждают эти соображения. Можно привести и другие примеры соотношений данных ЭЭГ и ЛМК, однако следует помнить, что это всегда будет один из возможных вариантов их взаимодополняющих свойств.

Допустимо полагать, что использованный нами топографический подход может рассматриваться как своего рода предистория новой методологии, где комплексное многоуровневое описание физиологических процессов в каждой зоне мозга явится основой новых, далее действительно содержательных карт нейродинамических событий в мозгу.

Используя высочайшие современные технологии исследования мозга, мы все как хорошо известно, пережили эйфорию картирования самых различных мозговых функций. Выпущено бесчисленное множество статей в профильных и не очень профильных изданиях, созданы обобщающие труды

(Gusnard and Raichle, 2001). Исследование мозговой организации различных видов психической деятельности и состояний привело, однако, с накоплением материала к тому, что при успехах в почти каждой из отдельных работ, как указывалось выше, создалось впечатление о том, что физиологические корреляты самых разных видов психической активности могут быть обнаружены почти в каждой точке мозга. С другой стороны, как видно из приведенных выше данных наших наблюдений и новейших данных литературы, сложнейшие процессы высшей нервной деятельности «задействуют» большое количество областей мозга.

При всем накопленном «многознании» о мозге человека «кризисный аспект» сегодняшней ситуации невольно напоминает давние споры, бывшие анахронизмом уже в середине XX столетия об эквивалентности мозга (Lashley) и локализационизме, представлений о мозге как лоскутном одеяле, сотканном из самых различных центров, в т.ч. и «очень» высших функций. Как известно, восторжествовал «третий», системный поход, в который «улеглись» и прошлые споры и укладываются новые данные. Сегодняшнее положение в картировании высших функций, кстати, дополнительно подтверждает представления об обеспечении этих функций мозговой структурно-функциональной организацией с жесткими и гибкими звеньями (Бехтерева Н.П., 1966).

Можно понять результаты картирования или точнее, подлежащих им событий в мозгу с позиций огромного востребования именно гибких звеньев системы обеспечения психических процессов в оптимальных условиях жизни и психологического эксперимента, однако при поиске жестких (основных) звеньев системы заставляет обращаться к дополнительным приемам анализа (см.выше) и может быть не сразу обязательно к данным более тривиальных методик (имеются в виду, в частности, данные электростимуляции мозга, обобщенные Валленштейном – Vallenstein, 1973, и у нас в лаборатории В.М.Смирновым, 1976). Сегодня надо отдать должное методам анализа, используемым в науке о мозге – из сложностей топографического сходства

карт мозга при самых различных процессах высшей нервной деятельности и нередко множестве достоверно активированных зон в каждом данном исследовании нужные решения находятся с помощью дополнительных приемов анализа данных. Было бы очень заманчиво найти пути увеличения надежности методов, подобных уже упоминавшейся F статистике. Подчеркнем, однако уже сегодняшний анализ позволяет без обращения к данным инвазивных методов, находить «жесткие» звенья систем, в большинстве случаев зоны мозга, наиглавнейшие для какой-то данной деятельности и обеспечивать контроль валидности данных. На этом можно было бы и закончить обсуждение данной позиции, хотя здесь возможны и дальнейшие прорывы. Но у нас есть уже и сейчас в активе «кое-что», что определяет наш оптимизм в будущем изучаемой проблемы. Это – воспроизводимость результатов, о которой мы упомянем и далее в тексте при описании развития работ. Для меня, как физиолога, воспроизводимость результатов – наиболее надежный критерий их валидности.

Несмотря на проблемы в продвижении в познании организации и механизмов мозга за счет полиметодических исследований, именно эта позиция, по-видимому, все же наиболее перспективна. Некоторые трудности, неизбежно ждущие исследователей при реализации этого рода работ, иллюстрированы нами выше.

Работая всю долгую жизнь в коварной проблеме «Мозг человека» видишь не только угнетающий, но и мобилизующий эффект, казалось бы иногда тупиковых ситуаций, преодоление которых подтверждает известный тезис развития знаний по спирали. В XX столетии произошли два уже упоминавшихся выше основных методологических прорыва в изучении мозга человека (Бехтерева 1997, первый, в котором исследователь обрел полноту возможных тогда знаний о точке мозга – инвазивные исследования, и второй – технологическим прогрессом обусловленный – получения монометодических знаний о всем мозге). Полагаем, что получение с помощью современных методик полноценных знаний о точках мозга и

объединение данных в целую картину явится следующим уровнем этой спирали и поможет еще дальше продвинуться по бесконечной дороге познания мозга человека. Перспективность этого пути несомненна. Он на сегодня иллюстрируется пилотной работой С.В.Медведева и А.М.Иваницкого (2003) и других.

То, о чем говорилось выше – относилось прежде всего к усовершенствованию и физиологической расшифровке данных картирования мозга. И в то же время, веря в значение совершенствования этого, первого, базисного этапа в изучении мозговой организации высших функций мозга и, в частности, творчества, уже сейчас важно и можно исследовать мозговые механизмы реализации творчества, его облегчающие и отягчающие факторы. Понятно, что даже будущая полноценная карта мозга приобретает особый смысл при раскрытии управляющих механизмов мозга.

С целью подхода к этой проблеме использовалось изучение влияния индуцирования эмоционального фактора (I) и детекции ошибок (II) на нейродинамику мозга при вербальном творчестве, отражающуюся в картах, приведенных в ходе изучения собственно мозговой организации данного процесса или специально дополнительно сконструированных по тому же основному принципу. В обоих случаях, также дополнительно к приведенным выше, использовались и еще некоторые другие психологические «субтесты» (Шемякина, Данько, 2004).

Так например: в основном задании испытуемые должны были предлагать как можно больше оригинальных определений эмоционально положительных, отрицательных и нейтральных понятий через понятия из других семантических полей. В контрольном задании применялась выработка определений к эмоционально-нейтральным понятиям через слово из того же семантического поля. Субъективное изменение креативности при введении эмоционального фактора характеризовались некоторым увеличением беглости, однако при уменьшении оригинальности ответов.

Анализ показал более выраженный эффект эмоциональной индукции на процессы в коре головного мозга по сравнению с эффектом, вызванным заданием творческого процесса, а также влияние характера эмоций на изменения мозговой активности. Без индукции эмоций наибольшие изменения локальной синхронизации, как приведено и выше, при выполнении творческих заданий наблюдались в левой лобной зоне (уменьшение локальной синхронизации). Пространственная синхронизация при этом уменьшалась главным образом в межполушарных парах с фокусами сходимости в передне-лобных, передне, средне височных зонах левого полушария и средне, задне-височных зонах правого полушария (а также в зонах отведений – F4, O2). Индукция положительных эмоций вызывала существенное увеличение локальной и пространственной синхронизации с участием большинства зон коры. Индукция отрицательных эмоций была связана с топографически более диффузными и разнонаправленными по знаку (и увеличение, и уменьшение) изменениями параметров ЭЭГ. Положительные эмоции в данном эксперименте вызывали больший эффект, чем отрицательные. На основе данных количественной ЭЭГ показано, что эффекты «творчества» и вызванных положительных эмоций могли быть противоположными по знаку. Особенно отчетливо это проявлялось в бета2(18.5-30 Гц) диапазоне ЭЭГ (см.рис.5).

Исследование с индукцией эмоций как одного из возможных управляющих механизмов было предпринято нами на основе хорошо известного положения, что творчество как правило происходит при изменении эмоционального фона индивидуума. Однако на основе физиологических данных создалось впечатление, что вызванные в нашем эксперименте эмоции – были чужеродными творческому процессу. Из литературы и жизненной практики известно, что соотношения эмоционального и творческого фактора очень неоднозначны, что в известной мере сопоставимо с тем, что мы видим в мозговой реорганизации при данной пилотной модельной ситуации с попыткой оценки влияния эмоционального

фактора на вербальное творчество. При творческом процессе развивается свое, особое эмоциональное состояние, в данный момент и именно этому процессу присущее. Мы полагаем, что изучение соотношений эмоций и творческого процесса должны быть продолжены и, в частности, с помощью дополнительного конструирования психологических методик (тестов).

(II) Одним из открытых нами ранее управляющих механизмов мозга является детектор ошибок. Огромное количество статей, опубликованных в последние годы по поводу детекции ошибок, полностью подтвердило наличие в мозгу такого механизма. Показана (Bechtereva et al., 2005) его обязательная «задействованность» в определенных условиях, в связи с чем именно при исследовании проблемы творчества мы позволили себе использовать специальный для данного случая методологический прием. Сущность этого приема состояла в проведении исследований в условиях, в которых детектор ошибок обязательно должен был активироваться, что, позволяя обходиться без одновременной регистрации активности самого детектора ошибок, расширяло возможности собственно психофизиологического изучения творчества.

Как известно, и как неоднократно подчеркивалось здесь, одним из обязательных определений творчества считается отход от стереотипа, предложение новых оригинальных, продуктивных решений. В то же время по ходу всей формирующейся (формируемой) индивидуальной жизни, развитие индивидуума всегда представляет собой процесс развития и определения границ дозволенного. Творчество, как хорошо известно, всегда развивается в рамках какой-то деятельности и одновременно происходит с выходом за ее рамки.

Проблемные ситуации, неизбежные в изучении мозговой организации творчества, не только породили накопление ценных фактических данных, но и вызвали размышления и осмысление возможных идейно-методических перспектив проблемы.

В изучении вопроса о роли детектора ошибок в процессе творчества мы ориентируемся на хорошо известную многоплановость, поливалентность мозговых механизмов. Отсюда известная ограничительная роль детектора ошибок может проявиться и негативом, и позитивом – речь идет не только о «запретах», но и о возможности поддержания с помощью детектора именно нетривиальности и продуктивности творческого процесса. В исследовании и первого и второго аспектов исключительно важна конструкция психологических тестов.

Прямых данных о возможных отношениях детектора ошибок и творчества сейчас практически нет. Однако, кое-что об отношениях детектора ошибок и мыслительных процессов можно извлечь из экспериментальных данных.

Мировой экспериментальный материал по изучению детектора ошибок в мозгу в психологическом плане, как правило, базируется на реализации испытуемыми не только простых, но и более или менее сложных задач высшей нервной деятельности. В том же плане могут быть рассмотрены и наши наблюдения при прямой регистрации реакций детекции ошибок в области передних отделов поясной извилины в тесте с прослушиванием правильных (корректных) и ошибочно построенных (некорректных) фраз (Bechtereva et al., 2005, рис.6). И, наконец, уже более прямо свидетельствует о возможной роли детекции ошибок собственно в творческом процессе топографическое единство мозговых зон детекции ошибок и «главных» творческих зон, в частности, ПБ 40, 8. В литературе имеются указания на то, что ПБ 40 в процессе принятия решений более активна при низкой частоте появления ошибок (Paulus et al., 2002). Так как в творчестве теоретически не может быть ошибок и предварительного ответа на творческую задачу не существует, этот анатомо-функциональный факт дает дополнительные основания полагать, что связь может осуществляться не только по одной из возможных схем отношений творчества и детекции ошибок, но проявляться и «негативом» и «позитивом».

Специально для попыток проникновения в эти соотношения были разработаны и использованы дополнительные психологические тесты. Испытуемым-волонтерам предъявлялись две пары заданий. Предъявлялись хорошо известные пословицы и поговорки, в которых последнее слово отсутствовало. Волонтеры должны были предложить свой вариант окончания, который бы полностью изменил суть пословицы или поговорки (задание С – creative). В контрольном задании предлагалось просто вспомнить недостающее слово – окончание (R – remember). Вторая пара заданий отличалась от первой тем, что в текстах заданий С и R присутствовали ошибки в форме перестановки букв или их замен без изменения длины слов. Предполагалось, что такого рода задание будет активировать детектор ошибок (соответственно задания CD и RD). Испытуемым 1) предлагалось не только выполнить основную задачу, но и определить количество ошибок в текстах («осознанный вариант»), 2) не обращать внимание на ошибки и решать творческую задачу (неосознанный? вариант). Исследовалась локальная синхронизация в различных ЭЭГ диапазонах. Существенная разница была обнаружена не только в контрасте С-R, но и в контрасте CD-C также. Результат проявлялся главным образом в полосе гамма частоты. Добавление детекции ошибок (в «осознанном варианте») к основной задаче уменьшало мощность γ -ритма (CD-C) и таким образом уменьшало различия в контрасте CD-R (рис.7). Похожий, но меньший эффект наблюдался в полосе β_2 ритма (методика и результаты этой части работы подробнее представлены в статьях Bechtereva et al., 2005). Введение в тест ошибок в тексте без активации внимания к нему («неосознанный?вариант) вызвало существенно меньшие изменения ЭЭГ, по тенденции схожие с «осознанным вариантом». В связи с конструкцией теста сделана логичная попытка оценки влияния на ЭЭГ активации внимания. Это осуществлялось в модифицированных условиях принципиально того же эксперимента. В предъявляемых текстах не было ошибок, а были звездочки, отношение к которым регламентировалось такой же, как указано выше

инструкцией. Активация внимания в нашем варианте теста вызывала относительно небольшие изменения ЭЭГ, из которых наиболее отчетливыми были угнетения медленноволновой (Δ) активности. Все варианты включений (дополнений) в основной текст оказывали большее влияние на мозговые корреляты основного задания и соответственно меньшее – на контрольное. Проведение исследований в данном варианте теста подтвердило связь динамики наиболее частных компонентов ЭЭГ с креативностью, хотя изменения в γ диапазоне не всегда достигали уровня достоверности. Воспроизводимость указанных результатов однако была очевидной (рис.8).

Гамма-активность, считающаяся характерной для мыслительных процессов (Fitzgibbon S.P. et al., 2004; Данько и соавт., 2005; Thilo Womelsdorf, 2006), оказалась в условиях данного теста также тонким критерием подавления потенциала мозга в условиях активации детектора ошибок.

Исследование мозговых механизмов творчества по существу только начинается. В то же время – и потому, что становится все очевиднее, что детектор ошибок – важнейший управляющий механизм мозга на разных уровнях сознания, в разных процессах высшей нервной деятельности мы представляем схему о возможной роли детектора ошибок в здоровом и больном мозге, где только часть схемы – гипотезы может считаться условно подтвержденной, а ее основная часть сейчас дается нами как гипотеза, руководство к действию, как идея, и, в частности, в изучении механизмов творчества.

Как в случае обсуждавшейся нами ранее специально (Bechtereva, 1984) поливалентности других механизмов мозга и в том числе их различных проявлений в здоровье и болезни, мы допускаем возможность такой же схемы в роли детекции ошибок в зависимости от здоровья, болезни и творчества человека.

Итак: положение первое: детектор ошибок в здоровом, скажем так обычном среднестатистическом мозгу – это структура системы,

сформировавшаяся главным образом в ходе индивидуального развития. Она существенно оберегает человека от раздумий в стереотипных, тривиальных ситуациях в ходе обычной жизни, контролирует оптимальную реализацию процессов высшей нервной деятельности. При любом обучении наряду с позитивом развития в мозгу неизбежно формируются и необходимые и излишние ограничения (вплоть до табу). Они работают с помощью детекции ошибок, через формирование детекторов ошибок. В формировании табу в более масштабных проблемах ярким примером такого рода процесса являлось многовековое церковное воспитание (не убий, не укради), что осложняло посягательство на границы законов.

Положение второе. Детектор ошибок разрушается под влиянием самых различных причин или его активность может становиться чрезмерной. В обоих случаях развиваются нарушения психической деятельности. В случае чрезмерной активности детектор ошибок может превратиться в детерминатор ошибок. По-видимому, во втором случае именно превращением детектора ошибок в детерминатор ошибок могут определяться некоторые формы психической зависимости с проявлениями типа устойчивых наркоманий (Медведев С.В., Аничков А.Д., Поляков Ю.И., 2003) и некоторых форм маниакального поведения. Детектор ошибок в этом случае из полезного слуги превращается в злого хозяина.

И наконец, положение третье, имеющее прямое отношение к задачам изучения физиологии творчества. Родается человек с большой (огромной) творческой потенцией, не теряющейся по пути детских инфекций и прочих жизненных сложностей. Естественно, что сила ограничений воспитанием, обучением различна у разных индивидуумов, а иногда такого рода «нажим» может вызывать и обратную реакцию, хотя в целом, статистически, в государстве это, как известно, работало.

Детектор ошибок должен и может теоретически препятствовать выходу в новизну, прорыву через известные догмы и законы, преодолению сформированных ограничений, полученных в т.ч. и в обучении. Однако или

ограничения именно в мозгу любознательного и дерзкого творца исходно преодолеваются или формируются сознательно или бессознательно по принципу «не мешать» или при осознании стремления к прорыву в неизвестное переформируются «перевоспитываются» из ограничителей – в помощников. Возможность функциональных перестроек детектора ошибок прямо показана нами при регистрации детекции ошибок в передних отделах поясной извилины в ходе диагностических и лечебных электрических стимуляций (см.рис.6) (Bechtereva, 2005). В мыслительном (и любом другом) творчестве детекция ошибок начинает оберегать от тривиальности (от «изобретения велосипеда») и от бессознательного плагиата.

Реализующийся творец начинает определять более или менее частную или глобальную историю мира.

Многолетний опыт нашей работы в области физиологии здорового и больного мозга человека неизбежно заставлял нас обращаться к многоликости управляющих механизмов мозга. Нами делается попытка рассмотрения этого вопроса в том числе в физиологической природе творчества, его особого положения в мыслительных процессах, его магии. Магия творчества в обществе – прорыв к новой истине сквозь устоявшиеся знания. Физиологически – это процесс, развивающийся при преодолении и переориентации детектора ошибок (из противника в помощника), создание и воссоздание «своего» эмоционального фона. У творчества свое только ему присущее состояние, «свои» эмоции, «своя» детекция ошибок. В свободном полете творческой мысли индивидууму-творцу надежно служат различные, в том числе и преобразованные механизмы мозга. Творчество, преобразуя мир – своим базисом имеет творчески преобразованный мозг человека.

Будущее исследователей творчества – в руках психолога, который поможет с помощью рационального эксперимента расшифровать то, что сейчас может обозначаться лишь как физиологические механизмы магии творчества. Естественно, с помощью физиологов.

Литература

- Бехтерева Н.П. Некоторые принципиальные вопросы изучения нейрофизиологических основ психических явлений у человека. В сб.: Глубокие структуры мозга в норме и патологии (отв.ред. Н.П.Бехтерева). Л., 1966, с.18-21.
- Бехтерева Н.П. О мозге человека. XX век и его последняя декада в науке о мозге человека. На русском и англ.яз – On the Human Brain. 20 century and its last decade in human brain science. СПб, изд. «Нотабене», 1997, 67 с.
- Бехтерева Н.П. Нейрофизиологические аспекты психической деятельности человека. М.-Л., Медицина, 1971. 120 с.
- Бехтерева Н.П. Частные и общие механизмы мозгового обеспечения психической деятельности человека и перспективы проблемы. – Физиология человека, 1975, т.1. № 1, с.6-11.
- Бехтерева Н.П. Здоровый и больной мозг человека. Л., Наука, 1980, 208 с.; второе издание, переработанное и дополненное – Л., Наука, 1988. 262 с.
- Bechtereva N.P. Neurophysiological correlates of mental processes in man. In: Psychophysiology today and tomorrow (ed.Bechtereva N.P.), Oxford-N.Y.-Toronto, Pergamon Press, 1981, p.11-22.
- Bechtereva N.P., Gogolotsin Yu.L., Ilyukhina V.A., Pakhomov S.V. Dynamic neurophysiological correlates of mental processes. – Int.J.Psychophysiol., 1983, N 1, p.49-63.
- Бехтерева Н.П. Итоги и перспективы развития исследований об отражении смысловых характеристик мыслительной деятельности в импульсной активности нейронов. – Физиол.ж.СССР, 1984, т.70, № 7, с.881-891.
- Бехтерева Н.П., Медведев С.В., Кроль Е.М. Исследование связности дистантно расположенных нейронных популяций головного мозга человека при реализации мыслительной деятельности. – Физиол.ж.СССР, 1984, т.70, № 7, с.892-903.
- Бехтерева Н.П., Гоголицын Ю.Л., Кропотов Ю.Д., Медведев С.В. Нейрофизиологические механизмы мышления. Л., Наука, 1985, 272 с.
- Bechtereva N.P., Medvedev S.V., Abdullaev Y.G., Melnichuk K.V., Gurchin F.A. Psychophysiological micromapping of the human brain. – Int.J.Psychophysiol., 1989, vol.8, N 2, p.107-135.
- Bechtereva N.P. El cerebro humano sano y enfermo. Buenos Aires-Barcelona-Mexico, Editorial Paidos, 1984.
- Bechtereva N.P., Gretchin V.B. Physiological foundations of mental activity. – Intern.Rev.Neurobiol., Academic Press, N.-Y.-London, 1968, v.11, p.239-246.

Bechtereva N.P., Korotkov A.D., Pakhomov S.V., Roudas M.S., Starchenko M.G., Medvedev S.V. PET study of brain maintenance of verbal creative activity. – *Int.J.Psychophysiol.*, 2004, vol.53, p.11-20.

Bechtereva N.P., Shemyakina N.V., Starchenko M.G., Danko S.G., Medvedev S.V. Error detection mechanisms of the brain: Background and prospects. – *Int.J.Psychophysiol.*, 2005, vol.58, p.227-234.

Бехтерева Н.П., Старченко М.Г., Ключарев В.А., Воробьев В.А., Пахомов С.В., Медведев С.В. Изучение мозговой организации творчества. Сообщение 2: Данные позитронно-эмиссионной томографии. – *Физиология человека*, 2000, т.26, № 5, с.11-17.

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 локального мозгового кровотока и ЭЭГ. – *Физиология человека*, 2001, т.27, № 4, с.6-14.

Danko S.G., Starchenko M.G., Bechtereva N.P. EEG Local and Spatial Synchronization during a Test on the Insight Strategy of Solving Creative Verbal Tasks. – *Human Physiology*, 2003, v.29, N 4, pp.502-504.

Danko S.G., Bechtereva N.P., Kachalova L.M., Shemyakina N.V., Starchenko M.G. Electroencephalographic correlates of brain states during verbal learning: I. Characteristics of EEG local synchronization. – *Human Physiology*, 2005a, vol.31, N 5, p.504-.

Danko S.G., Bechtereva N.P., Kachalova L.M., Shemyakina N.V., Starchenko M.G. Electroencephalographic correlates of brain states during verbal learning: II. Characteristics of EEG spatial synchronization. – *Human Physiology*, 2005b, vol.31, N 6, p.623-.

Медведев С.В., Рудас М.С., Пахомов С.В., Иваницкий А.М., Ильющенок И.Р., Иваницкий Г.А. Механизмы избирательного внимания при конкуренции зрительной и слуховой речевой информации: исследование методами позитронно-эмиссионной томографии и вызванных потенциалов. – *Физиол.человека*, 2003, т.29, № 6, с.41-50.

Медведев С.В., Аничков А.Д., Поляков Ю.И. Физиологические механизмы эффективности стереотаксической билатеральной цингулотомии в лечении устойчивой психической зависимости при наркоманиях. – *Физиология человека*, 2003, т.29, № 4, с.117-123.

Павлова Л.П., Романенко А.Ф. (Системный подход психофизиологического исследования мозга человека), Л., Наука, 1988.

(Разумникова О.) Rasumnikova O. Functional organization of different brain areas during convergent and divergent thinking: an EEG investigation. – *Cogn.Brain.Res.*, 2000, vol.10, p.11-18.

Rasumnikova O.M. Gender differences in hemispheric organization during divergent thinking: an EEG investigation in human subjects. – *Neurosci.Lett.*, 2004, May 27, vol.362, p.193-195.

Старченко М.Г., Воробьев В.А., Ключарев В.А., Бехтерева Н.П., Медведев С.В. Исследование мозговой организации творчества. Сообщение 1.

Разработка психологического теста. – *Физиология человека*, 2000, т.26, № 2, с.5-9.

Смирнов В.М. Стереотаксическая неврология, Л., Медицина, 1976. 262 с.

Шемякина Н.В., Данько С.Г., Медведев С.В. «Сопоставление ПЭТ и ЭЭГ данных при решении вербальных творческих задач» // *Научные труды I-го съезда физиологов СНГ, Сочи, Дагомыс, 19-23 сентября 2005*, том 1, с.26.

Шемякина Н.В., Данько С.Г. Влияние эмоциональной окраски воспринимаемого сигнала на электроэнцефалографические корреляты творческой деятельности. – *Физиология человека*, 2004, том 30, № 2, 22-29.

Booth J.R., Burman D.D., Meyer J.R., Gitelman D.R., Parrish T.B., Mesulman M.M. Functional anatomy of intra- and cross-modal lexical tasks. – *Neuroimage*, 2002, vol.16, p.7-13.

Cabeza R., Nyberg L. Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. – *J. Cogn. Neurosci.*, 2000 Jan;12(1), p.1-47.

Carlsson I., Wendt P., Risberg J. On the neurobiology of creativity. Difference in frontal activity between high and low creative subjects. – *Neuropsychologia*, 2000, vol.38, p.873-885.

Chen J.M., Fissell K., Jacobs S., Fiez J.A. Functional heterogeneity within Broca's area during verbal working memory. – *Physiol.Behav.*, 2002, Dec;77(4-5), p.635-639.

Collette F., Majerus S., Van Der Linden M., Dabe P., Degueldre C., Delfiore G., et al. Contribution of lexico-semantic processes to verbal short-term memory tasks: a PET activation study. – *Memory* 2001, vol.9, p.249-259.

Fincham J.M., Carter C.S., van Veen V., Stenger V.A., Aderson J.R. Neural mechanisms of planning: a computational analysis using event-related fMRI. – *Proc.Natl.Acad.Sci.USA*, 2002, vol.99, p.3346-3351.

Fitzgibbon S.P., Pope K.J., Mackenzie L., Clark C.R., Willoughby J.O. Cognitive tasks augment gamma EEG power. – *Clin.Neurophysiol.*, 2004, Aug.115(8) p.1802-1809.

Fox PT, Parsons LM, Lancaster JL. Beyond the single study: function/location metanalysis in cognitive neuroimaging. // *Curr Opin Neurobiol.* 1998 Apr;8(2):178-87.

Gastaut H. The brain stem and cerebral electrogenesis in relation to consciousness. – In *Brain mechanisms and consciousness*, Oxford, 1954, p. 249-279.

Grezes J., Decety J. Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. – *Hum.Brain Mapp.* 2001 Jan;12(1), p.1-19.

Gusnard D.A., Raichle M.E., Raichle M.E. Searching for a baseline: functional imaging and the resting human brain. – *Nat.Rev.Neurosci.*, 2001, Oct.2(10), p.685-694.

Howard-Jones P.A., Blakemore S.J., Samuel E.A., Summer I.R., Claxton G. Semantic divergence and creative story generation: an fMRI investigation. – *Brain Res.Cogn.Brain Res.*, 2005, Sept.25(1), p.240-250.

- Knauff M., Kassubek J., Mulack T., Greenlee M.W. Cortical activation evoked by visual mental imagery as measured by fMEI. – *Neuroreport*, 2000, vol.11, p.3957-3962.
- Knauff M., Mulack T., Kassubek J., Salih H.R., Greenlee M.W. Spatial imagery in deductive reasoning: a functional MRI study. – *Cog.Brain.Res.*, 2002, vol.13, p.203-212.
- Molle M., Marshall L., Lutzenberger W., Pietrowsky R., Fwhn H.L., Born J. Enhanced dynamic complexity in the human EEG during creative thinking. – *Neurosci.Lett.*, 1996, vol.12, p.61-64.
- Molle M., Maeshall L., Wolf B., Fehm H.L., Born J. EEG complexity and performance measures of creative thinking. 0 *Psychophysiology*, 1999, vol.36, p.95-104.
- Jausovec N, Jausovec K. EEG activity during the performance of complex mental problem. – *Int.J.Psychophysiol.*, 2000, N 1, p.73-88.
- [Jobard G.](#), [Crivello F.](#), [Tzourio-Mazoyer N.](#) Evaluation of the dual route theory of reading: a metanalysis of 35 neuroimaging studies. – [Neuroimage.](#), 2003 Oct;20(2), p.693-712.
- Pardo J.V., Fox P.T., Raichle M.E. Localization of a human system for sustained attention by positron emission tomography. *Nature*, 1991, vol.349, p.61-63.
- Petersen S.E., Fox P.T., Posner M.I., Mintun M., Raichle M.E. Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature*, 1988, vol.331, p.585-589.
- Petsche H. Approaches to verbal, visual and musical creativity by EEG coherence analysis. – *Int.J.Psychophysiol.*, 1996, vol.24, p.159.
- Petsche H., Kaplan S., von Stein A., Filz O. The possible meaning of the upper and lower alpha frequency ranges for cognitive tasks. – *Int.J.Psychophysiol.*, 1997, vol.26, p.77-97.
- Phan et al., 2002
- Sohn M.H., Ursu S., Anderson J.R., Stenger V.A., Carter C.S. Inaugural article: the role of prefrontal cortex and posterior parietal cortex in task switching. – *Proc.Natl.Acad.Sci. USA*, 2000, vol.97, p.13448-13453.
- Womelsdorf Th., Fries P., Mitra P.P., Desimone R. Gamma-band synchronization in the visual cortex predicts speed of change detection. – *Nature*, 2006, 9 Feb., p.733-
- Valenstein S. *Brain Control*, N.Y.-London-Sydney-Toronto. A Wiley Interscience Publ., 1973.
- Zurowski B., Gostomzyk J., Gron G., Weller R., Schirrmester H., Neumeier B. et al., Dissociating a common working memory network from different neural substrates of phonological and spatial stimulus processing. – *Neuroimage*, 2002, vol.15, p.45-57.

Подписи к рисункам

- Рис.1. Статистически достоверные различия локального мозгового кровотока в сопоставлениях кровотока при выполнении испытуемыми вербальных тестов с различной креативной нагрузкой при использовании нормальной (инсайтной) стратегии выполнения заданий.
D – составление связного рассказа из слов разных семантических полей (трудное творческое задание); E – составление рассказа из слов одного семантического поля (легкое творческое задание); R – восстановление связного текста с изменением словоформ (нетворческое задание 1); W – запоминание набора слов с воспроизведением слов, начинающихся сначала на одну букву, затем на другую и т.д.
- Рис.2. Статистически достоверные различия локального мозгового кровотока в сопоставлениях кровотока при выполнении испытуемыми вербальных тестов с различной креативной нагрузкой при использовании инсайтной стратегии при выполнении заданий.
D – посредством слов (существительных), ассоциативно связанных друг с другом, формировать цепочку от одного слова к другому слову (слова из разных семантических полей (трудное творческое задание); Y – к каждому слову из текста назвать 5 слов, относящихся к тому же семантическому полю (легкое задание); R – чтение слов из преданленного текста вслух (нетворческое задание).
- Рис.3. Различные виды (А, Б, В) изменения уровня активации по показателю локального мозгового кровотока при выполнении испытуемыми вербальных тестов D, E, R, W.
Обозначения тестов – те же, что на рис.1. Справа стрелками показаны зоны мозга, в которых обнаружены зависимости кровотока от выполняемого теста.
- Рис.4. Различные виды (А, Б, В) изменения уровня активации по показателю локального мозгового кровотока при выполнении испытуемыми вербальных тестов D, E, R.
Обозначения тестов – те же, что на рис.2. Справа стрелками показаны зоны мозга, в которых обнаружены зависимости кровотока от выполняемого теста.
- Рис.5. Статистически достоверные различия локальной мощности и когерентности ЭЭГ в диапазоне бета2 (вверху) и локального мозгового кровотока (внизу) при выполнении творческого вербального задания в сравнении с контрольным заданием.
O – поиск оригинальных определений к заданным понятиям с использованием слов из удаленных семантических полей за определенный интервал времени (основное задание); K – поиск определений к заданным понятиям с использованием в определении заданных слов из того же или близкого семантического поля без

требования оригинальности определения (контрольное задание); П – тот же характер задания, сходный с О, но в условиях индукции положительных эмоций; Н – тот же характер задания, что и О, но в условиях индукции отрицательных эмоций.

Стрелка вверх на месте соответствующего отведения указывает на большее значение мощности ЭЭГ в первом из сравниваемых состояний, стрелка вниз – не меньшее.

Сплошные линии, связывающие соответствующие отведения, указывают на большее значение когерентности в первом из сравниваемых состояний, прерывистые – на меньшее.

Рис.6. Динамика статистически достоверных различий мощности электрокортикограммы (ЭКоГ) при прослушивании истинных и ложных сообщений в зонах *gyrus singuli* левого полушария. В зонах *gyrus singuli* правого полушария статистически достоверных различий мощности ЭКоГ при прослушивании истинных и ложных сообщений не наблюдалось.

Рис.7. Статистически значимые различия мощности ЭЭГ бета2 и гамма-диапазонов в контрастах состояний CR – креативное задание; CRD – креативное задание с детекцией ошибок в текстах; К – контрольное задание; KD – контрольное задание с детекцией ошибок в текстах.

Стрелка вверх на месте соответствующего отведения указывает на большее значение мощности ЭЭГ в первом из сравниваемых состояний, стрелка вниз – на меньшее. Плотность заливки стрелки тем больше, чем выше достоверность различий.

Рис.8. Статистически значимые различия мощности ЭЭГ гамма-диапазона в контрастах состояний: CR – креативное задание; CRD – креативное задание с детекцией ошибок в текстах; CRV – креативное задание с подсчетом дополнительных символов на экране; К – контрольное задание; KD – контрольное задание с детекцией ошибок в текстах; KV – контрольное задание с подсчетом дополнительных символов на экране.

Тесты «Контролируемая детекция 2» и «Контролируемое внимание» применялись в рамках одного сеанса исследований (в рандомизированном порядке) с одним и тем же контингентом испытуемых.

Обозначения те же, что и на рис.7.