

Н.П.Бехтерева

Три прорыва в исследованиях мозга

XX век и его последняя декада в науке о мозге человека

(Вступительная лекция на XXXIII Международном Конгрессе физиологических наук, Санкт-Петербург, 30 июня – 5 июля 1997)

I. ПЕРВЫЙ ПРОРЫВ

Еще совсем недавно — каких-нибудь три десятка лет тому назад — в тогда наиболее результативном подходе к изучению мозговой организации мыслительной деятельности человека нас было очень немного (Бехтерева, 1971). Как наиболее результативное методически мы имеем в виду изучение различных физиологических показателей мозговой нейродинамики при психологических тестах в условиях прямого и особенно множественного контакта с мозгом человека. В этом направлении позднее появляются исследования T.Z.Halgren et al. (1978), G.A.Ojemann (Fried Fetz, Ojemann, 1981), G.A.Ojemann et al. (1988), Th.H.Schwartz et al. (1996). Прямой контакт с мозгом осуществлялся при клиническом применении имплантированных в мозг электродов и в операционной. Медицинские, этические и научные аспекты применения имплантированных электродов полно освещались на конгрессе по электроэнцефалографии в Риме в 1961 г. Мы использовали данную методику с 1961 г. после ознакомления с ее лечебно-диагностическими возможностями в 1960 г. в Бристоле (Англия) в Берденовском неврологическом институте в лаборатории W.Grey Walter.

Прямой контакт с мозгом человека при использовании имплантированных электродов был исключительно требовательным. Он применялся только при условии показания больному и осуществлялся в условиях, когда на страже интересов этого больного стояли все прямые и косвенные участники наблюдения. При этом, как бы ни было заманчиво познание внутреннего мира мозга человека, не делалось ни одного сколько-нибудь опасного шага в сторону от интересов данного больного в интересах других больных и науки. И как только для диагностики и лечения какого-то заболевания утверждалась альтернативная неинвазивная техника или техника одномоментная, применение долгосрочных инвазивных методов в этом случае прекращалось.

Через полтора десятилетия после первого применения имплантированных в мозг больных электродов эта техника в 60-х годах буквально потребовала изучения мозговой организации психической деятельности как одной из важных форм контроля в формуле «Не навреди!». Дело в том, что лечебное вмешательство на глубоких структурах мозга в отдельных случаях вызывало побочный эффект в форме психических изменений, хотя, как известно, и само применялось для лечения психических заболеваний еще с 50-х годов (Heath, Nodes 1952; Heath 1954).

Исследование мозговой организации мыслительных процессов в условиях прямой регистрации различных физиологических показателей жизнедеятельности мозга при одновременной реализации психологических тестов позволило осуществить первый прорыв в проблеме «Мозг и психика», который явился результатом прямого контакта с мозгом человека. За счет рациональной организации исследований удалось получить подробнейшие сведения о жизни отдельных зон мозга. Накопление данных предоставило материал для суждения об организации и механизмах деятельности мозга. Было получено множество принципиально новых данных о функциях подкорковых образований, о функциональной организации коры, об особенностях системы обеспечения мыслительной деятельности, механизмах самосохранения, надежности и собственной защиты мозга. Опыт этого периода исследований обобщен нами в большом количестве публикаций, в том числе в монографиях (Бехтерева 1971; 1974; 1980; 1988а; 1994а; Bechtereva 1978; Бехтерева, Гоголицын, Медведев, Кропотов 1985; Медведев, Пахомов, 1989; Смирнов 1976, и др.).

II. ВТОРОЙ ПРОРЫВ

Второй прорыв связан с новой возможностью получать практически в каждом исследовании одновременно сведения о состоянии всего мозга, всех его зон. Этот прорыв позволил строить новую функциональную анатомию мозга человека, подтверждать имеющиеся и формировать новые концепции о механизмах работы мозга. Второй прорыв происходит сейчас, на наших глазах, в Декаду, посвященную мозгу человека. После почти одинокого нашего пути с середины 60-х годов в изучении мозговой организации мышления сегодня в самых разных изданиях публикуются результаты исследования этой проблемы с помощью неинвазивной техники (позитронно-эмиссионной томографии — ПЭТ, функциональной магнитно-резонансной томографии — fMRI или MSI, однофотонной эмиссионной компьютеризированной томографии — SPECT, модернизированной электроэнцефалографии — ЭЭГ, магнитоэнцефалографии — MEG). Возможности неинвазивной техники позволили не только избежать ограничений точечного нейрофизиологического контакта с мозгом. Они, по существу, открыли и принципиально новые перспективы изучения мозга, открыли и расширяют прорыв нового знания в области мозговой организации мыслительной деятельности, да и всех других видов деятельности человека...

Однако, хотя количество публикаций растет, как снежный ком, данные разных исследователей пока еще не всегда легко сопоставимы. Этому есть объяснение прежде всего в методических причинах, а также и внутренних, а именно в динамичности систем мозга, обеспечивающих высшую нервную деятельность человека. Пожалуй, если только сказать, что изменения на ПЭТ при мыслительных процессах удалось обнаружить как в левом, так и в правом полушарии — и в коре, и в глубоких структурах мозга, это окажется

справедливым как резюме для большинства опубликованных работ. В подавляющем большинстве исследований с предъявлением сложных психологических тестов изменения преобладают в левом полушарии, хотя роль правого полушария было бы неправомерно недооценивать — оно закономерно вносит свой вклад в реализацию теста. Можно еще, пожалуй, уточнить, что в коре изменения наблюдаются преимущественно в левой височной доле, много данных об изменении в лобных долях. Изменения чаще всего есть и в других структурах, в том числе нередко и в мозжечке.

С помощью неинвазивной техники в ряде работ изучалась роль активации в симметричных зонах правого и левого полушарий, причем некоторые авторы посвящали работы прицельно этому вопросу (McLaughlin et al. 1992, и др.) Сейчас уже в очень большом количестве работ исследована мозговая организация восприятия различных составляющих речи — от восприятия и воспроизведения слов (Petersen et al. 1988) и их отдельных элементов, грамматики и семантики слов, до восприятия корректной и измененной речи и реализации собственно мыслительной деятельности (Roland 1985; Бехтерева 1994а, б; Posner, Raichle 1994; Медведев с соавт. 1996а,б; Medvedev et al. 1996; Pugh et al. 1996, и мн.др.). В материалах второй Международной конференции по функциональному картированию мозга человека (Boston 1996) в большом количестве работ представлены данные о современном состоянии вопроса о мозговом картировании подавляющего большинства функций человека и прежде всего высших.

Изменения при психологических тестах наблюдались и в полушариях, и в мозжечке (Tamas et al. 1993). Активации в мозжечке, описанные и другими авторами, отражают его адаптационно-модулирующее влияние (Roland 1993), что проливает свет уже на механизмы мозговой организации этих явлений. В.М. Mazoyer et al. (1993) при прослушивании связного текста видели активацию средних отделов височной коры, верхних отделов префронтальной зоны слева и обоих полюсов височной доли. Текст на неизвестном языке вызывал активацию в области верхних височных извилин обоих полушарий. При бессмысленном тексте паттерн активации менялся. А. Martin et al. (1996) обнаружили с помощью ПЭТ двустороннюю активацию вентральной области височной доли и зоны Брока при назывании содержания рисунков. Называние животных вызывало дополнительную активацию зоны Брока. Называние содержания рисунков с изображением инструментов вызывало активацию левой премоторной области и средней височной извилины. Активацию в нижних отделах левой лобной доли при «внутренней» речи специально описывают Р.К. McGuire et al. (1996).

Изменения магнитного поля в вентральной части лобной доли ассоциативной зоны обоих полушарий наблюдались через 120-165 мсек после произнесения слов (Sasaki et al. 1995). Речевые звуки в работах S. Kuriki et al. (1995) вызывали изменения главным образом в верхней височной извилине слева. К. Sasaki et al. (1994) зарегистрировали электромагнитные тета-волны также в области лобной ассоциативной коры при счете, что сопоставимо с

данными P.E.Roland и L.Friberg (1985), – изменения кровотока развивались при мысленном счете в той же области. P.E.Roland и L.Friberg видели также умеренное увеличение кровотока в теменно-затылочной области, что коррелировало с данными H.J. Kahn и H.A. Whitaker (1991) о «центре счета» (данные нейропсихологических исследований). В исследованиях, проводимых в Институте мозга человека РАН, Санкт-Петербург (Медведев и соавт. 1997), при зрительном предъявлении связного текста и задании последующего пересказа его, мы наблюдали множественность зон активации в левом, и в правом полушариях. Зарегистрирована преимущественная активация левого полушария: первичная слуховая кора, верхняя височная извилина — слуховая ассоциативная кора (поля Бродмана 22 и 38), зона Вернике — височная доля с угловой и надкраевой извилинами (поля Бродмана 22, 39, 41, 42), первичная моторная кора и соматосенсорная кора (прецентральная и постцентральные извилины (поля Бродмана 1, 3, 4), лимбическая кора: задние отделы цингулы (поле Бродмана 23), инсула. В правом полушарии нет активации угловой и надкраевой извилин, есть активация в переднем отделе цингулы (поле Бродмана 24). Из подкорковых структур активированы таламус справа и амигдала слева (рис.1.).

Мыслительную деятельность невозможно отделить от памяти, однако в некоторых исследованиях предприняты попытки прицельно изучать прежде всего организацию памяти. В исследованиях M.D'Esposito et al. (1995), проведенных с психологическим тестом на операционную память (состояние мозга изучалось с помощью fMRI), показано развитие активации в префронтальной коре и у некоторых испытуемых в anterior cingulate region. Область активации в префронтальной коре различалась у разных субъектов. В нескольких случаях активация наблюдалась в префронтальной области правого полушария. Усложнение задания приводило к активации задних областей префронтальной зоны. Результаты сопоставимы со схожими по психологической задаче исследованиями, где состояние мозга регистрировалось с помощью ПЭТ. По области наиболее выраженных изменений в мозгу на ПЭТ с данными M.D'Esposito et al. (1995) хорошо коррелируют результаты работы V.E.Swartz et al. (1995), исследовавших зрительную память. И в этом случае наибольшая активация обнаруживалась в дорзолатеральной части префронтальной области, оказавшейся, кроме того, ведущей в выявленных на ПЭТ «матрицах». Однако в работах K.Sasaki et al. (1994) активация на ПЭТ при пробах на память проявлялась главным образом в левой височной области. N.C.Andreasen et al. (1995) показали различие рисунка активации на ПЭТ при реализации проб в прямой зависимости от формы памяти. Схожие результаты приведены в работах P.E.Roland (1993), P.C.Fletcher et al. (1995), L.Nyberg et al. (1995; 1996). В полном соответствии с хорошо известными представлениями о роли медиобазальных структур височной доли в процессах памяти L.Nyberg et al. (1996) описывают изменения в левой височной доле при извлечении информации из памяти.

Каждый, кто варьировал психологические задания, описывал перестройки мозговой структурной организации системы обеспечения деятельности, соотносимые, прежде всего, с этими изменениями. Очень иллюстративно это положение рассматривается в работах М.И. Posner et al. (1996), Y.G. Abdullaev and M.I. Posner (1997), V. Charlot et al. (1992). В Институте мозга человека РАН, Санкт-Петербург, в работах по изменению направленности внимания с помощью ПЭТ (Roudas et al. 1996) показано, что этот фактор может оказывать поразительное влияние на пространственную организацию зон активации при одинаковых психологических пробах, а также что при полной идентичности предъявляемых стимулов направленность внимания на восприятие слуховых или зрительных стимулов радикально меняет паттерн возбуждения мозговых структур. При зрительной направленности внимания возбуждение преимущественно сконцентрировано в экстрастриарной коре, а при внимании к слуховым стимулам возбуждены височные области, фронтальная кора, инсула, поясная извилина, чечевицеобразное и хвостатое ядра. Показана асимметрия активации некоторых структур в зависимости от «правой» или «левой» направленности внимания (рис.2).

С помощью неинвазивной техники проводится анализ тех расстройств функций мозга, понимание механизмов которых до сих пор было крайне затруднительно, если не невозможно (Morris et al. 1993; Posner, Raichle 1994; Carlesino and Caltagirone 1995; Peniello et al. 1995; Fox et al. 1996; Caramazza 1996; van Horn et al. 1996; DeCarli et al. 1996, и мн. др.).

Трактовка результатов ПЭТ исследований мозговой организации мыслительных процессов осложнена многими методологически нерешенными вопросами. Речь идет о разнообразии психологических тестов в разных работах, формах считывания ПЭТ изображений и др. Как известно, методически большинство представляемых в статье рисунков является результатом вычитания, сохранением изменений в мозгу, интересующих исследователей в каком-то данном случае, – связанных с опознанием слов, или их генерацией, их смысловой сущностью – отдельно, или в связном тексте, или с грамматическими построениями и и.п. Отсюда как позитивный процесс сейчас должно рассматриваться массивно представленное совершенствование методов анализа ПЭТ данных при одновременном стремлении получить и статистические данные, и результаты индивидуального исследования (Demonet et al. 1993; Silbersweig et al. 1993, 1994; Hurting et al. 1994; Andreasen et al. 1996; в нашем институте – Rakhomov et al. 1996). Развитие ПЭТ исследований показывает, что разного рода подводных камней, препятствующих корректной оценке данных, еще немало. Даже так называемое состояние спокойного бодрствования, которое во многих психологических исследованиях широко используется как отправная точка, базисный контроль, оказывается достаточно активным, с точки зрения мозговой реорганизации, процессом (Demonet et al. 1993; Медведев с соавт. 1996а, б, в) (рис.3).

Сейчас, когда новые возможности изучения мозга человека сделали эту

область науки едва ли не самой «густонаселенной территорией», невозможно и не нужно в отдельной статье представлять результаты всех или хотя бы большинства исследований по применению неинвазивной техники для изучения физиологии высших функций мозга и обсуждение всех связанных с этим проблем. Идея изложенного в разделе II – в приведении примеров, демонстрации возможностей, сходства и различия результатов ПЭТ исследований. Важно представлять себе, что сейчас оказалось возможным и проводится исследование мозговой организации действительно самых разных аспектов психической деятельности человека, и в том числе мозговой организации логики, воображения, творчества.

Вторым прорывом мир науки о мозге человека характеризует успехи Декады Мозга Человека.

III. НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ В РАЗВИТИИ ПРОБЛЕМЫ. ФАКТЫ И КОНЦЕПЦИИ

С позиций сегодняшних методических возможностей искать ошибки прошлого легко. Но практичнее для взгляда в будущее вылавливать в прошлом то, что прошло апробацию временем – своего рода жемчужины, и отслеживать динамику формирования сокровищницы знаний о мозге. Лаусок (цит. по: Jackson 1931), И.М.Сеченов, В.М.Бехтерев, Дж.Джексон и многие другие ученые XIX и начала XX века не имели сегодняшних методов познания мозга. И все же, по крайней мере, два основных намеченных ими пути в проблеме «Мозг и психика» значимы и сейчас. Ими оказываются функциональная анатомия мозга человека и рефлекторный, а затем условно-рефлекторный принципы. У классиков XIX века были, как известно, и свои предшественники. Уже Аристотель придавал особое значение передним отделам мозга – в частности, «переднему» желудочку – значение высшей структуры мозга. В задачи этой работы не входит упоминание справедливо достойных имен науки по дороге длиною почти в два тысячелетия – от Аристотеля до взлета науки в XIX веке. Известно, однако, что в глубине прошедших веков было много мыслителей в близкой нам области науки, наиболее ярко представленных в книгах М.А.В.Бrazier (например, 1984, и др.).

1) *Основные вехи в развитии функциональной анатомии мыслительных процессов.* Функциональная анатомия ведет свое начало с работ П.Брока (Broca 1861). Строилась она первоначально на основе клинико-анатомических параллелей. Ее история хорошо известна, приведена во многих публикациях, и в том числе моих (Бехтерева 1971, и др.). Существенный вклад в изучение функциональной организации мозга внесли наблюдения результатов электростимуляции мозга (Penfield, Jasper 1954; Valenstein 1973; Смирнов 1976; Ojemann 1983, и др.). В этих исследованиях была показана разница в функциональной организации коры и подкорковых структур. Электростимуляция коры височной доли могла вызывать появление связанных

картин прошлого опыта, ощущение раздвоения личности. Стимуляция подкорки приводила к развитию более элементарных реакций. Использование нативной электроэнцефалограммы человека очень мало дало для исследования мозговой организации высшей нервной деятельности (Gastaut et al. 1957). С развитием техники анализа вновь делаются попытки использовать электроэнцефалограмму для рассмотрения физиологических процессов, развивающихся в мозгу человека при мыслительной и эмоциональной деятельности (Ильюченко 1996; Свидерская, Королькова 1996; Яковенко, Черемушкин 1996, и др.). ЭЭГ начинает занимать место все более достойного партнера в brainmapping и прежде всего в связи с ее динамичностью. Происходит своего рода «возвращение» к электроэнцефалографии, к ее функциональным возможностям (Orrison et al. 1995; см. также: Neuroscan News. 1997. Vol. VI, № 2).

Огромна литература по вызванным потенциалам (ВП). С помощью этой ручной и надежной методики получено множество ценнейших данных об обработке мозгом физических и смысловых характеристик речевых сигналов и, что особенно важно, об общих и частных механизмах мозга. А.М.Иваницким в исследованиях ВП (Ivanitsky, Strelets 1977; Иваницкий, Стрелец, Корсаков 1984; Иваницкий 1996) была высказана идея, что субъективные феномены возникают в результате повторного входа возбуждения в места первичных проекций и сопоставления на этой основе новой информации с прошлым опытом. Сравнивая в одном и том же эксперименте амплитуду волн ВП с интенсивностью и временем ощущений, он предположил, что ощущение возникает в результате возврата возбуждения в проекционную кору после прохождения его через ассоциативную кору, гиппокамп и мотивационные подкорковые центры. Благодаря этому на нейронах проекционной коры происходит синтез сенсорной информации и сведений, извлекаемых из памяти. Момент этого синтеза с высокой точностью совпал с возникновением ощущений (как зрительных, так и соматосенсорных). Позднее концепция возврата возбуждения в нервные структуры (англ. reentering) как основа осознаваемых феноменов была высказана рядом других авторов (Edelman 1989; Stroering, Brandt 1993, и др.).

В последующие годы идея информационного синтеза как основы психических функций была развита А.М.Иваницким (Ivanitsky 1993; Иваницкий 1996) применительно к механизмам мышления. Сейчас с помощью ВП определяется ведущая зона во множестве активированных на ПЭТ изображениях участков мозга и строятся различные представления о регулирующих и исполнительных системах мозга (Кропотов, Пономарев 1993). Вызванные потенциалы – один из важных инструментов изучения мозговой организации самых различных процессов и прежде всего психических.

Сравнительно недавно (в календарном аспекте) пришло представление о возможности большой свободы индивидуальной функциональной организации мозга. Эта свобода максимально проявляется именно в организации мышления.

Жесткими, с запрограммированными пространственными положениями звеньев в мозгу изначально, до рождения, являются системы обеспечения лишь сравнительно немногих функций – да и то по крайней мере у некоторых из них запрограммированность до рождения касается лишь расположения основной мозговой зоны. По ходу индивидуального развития идет торможение активности распространенных по мозгу функционально близких участков; такая схема приложима, в частности, для индивидуальной эволюции мозгового контроля движений.

Сходный, но не идентичный процесс происходит при формировании и закреплении мозговой системы обеспечения речи. Не идентичный – так как многие зоны мозга, лежащие вне классических речевых, остаются реально или потенциально активными. Для восстановления утраченной в результате травмы или сосудистого процесса функции речи их искусственная активация (электро- или магнитостимуляция) может оказаться очень и очень полезной. В моих работах (Бехтерева 1988а; 1994а, б и др.) подробно описано, как это происходит в клинике.

Что касается менее автоматизированных мозговых функций, то там индивидуальное развитие лишь в некотором типовом варианте формирует звенья мозговых систем, обеспечивает множество возможных систем для выполнения каждой функции, причем в большой зависимости от того, в каких условиях эта деятельность осуществляется. На срезах ПЭТ видны: мозговая организация так называемого покоя, мозговая организация простых и все более сложных мыслительных операций и динамика этой организации, в частности, в зависимости от того, какова направленность внимания исследуемого лица. Видно на ПЭТ, какая множественная активация в мозгу происходит при восприятии и запоминании связного текста – бегущего на экране зрительного изображения (см.рис.1). Но всегда ли это активация? На этот вопрос ответ частично уже есть, его удастся находить в результатах совместных ПЭТ и нейрофизиологических исследований.

Этот путь – от первых клинко-анатомических находок до результатов неинвазивных методов изучения нейрхимической динамики целого мозга – был пройден не без заблуждений. К одному из наиболее ярких относятся так называемые карты Клейста. По этим картам мозг, точнее его кора, была представлена в виде лоскутного одеяла, где каждый лоскуток отвечал за какую-то высшую функцию – вплоть до религиозного «я», до зон, связанных с любовью к родителям, и т.д. и т.п. Были, наоборот, забытые впоследствии драгоценные находки, в частности «диалог» Дж.Джексона с П.Брока о зависимости речи от глубоких структур мозга (Jackson 1885, цит.по: Jackson 1931) или, наоборот, коры (Broca 1861). Правда обоих, как это нередко бывает, выяснилась много позднее, уже в наше время.

Сегодняшний день взаимодополняющего инвазивного и неинвазивного изучения мозговой нейродинамики приоткрыл сущность того, что же кроется в зонах, высвечиваемых как активные на ПЭТ. И уже сегодня ясна

целесообразность и важность сочетанного изучения мозга с помощью различных неинвазивных и при возможности инвазивных методов. При таких сочетаниях удается получить сведения о процессах в пространстве всего мозга и раскрывать физиологическую сущность этих процессов. Так, в частности нами, было показано (Abdullaev, Bechtereva 1993), что ПЭТ «высвечивание» в области 46-го поля (по Бродману), нижних отделов левой лобной доли (Kapur et al. 1994b; Posner, Petersen, Fox, Raichle 1988) представляет собой дифференцированное в соответствии с фазами теста угнетение нейронной активности (торможение?), причем нейронные популяции, расположенные друг от друга на расстоянии 2 мм (разрешающая возможность метода), реагируют на разные аспекты восприятия текста – его грамматику, семантику – или, наоборот, реагируют более глобально (рис.4).

Где же мы находимся сейчас в изучении мозговой функциональной организации мышления, как можно определить этот этап? Прошло сто тридцать шесть лет с открытия П.Брока, одного из основоположников функциональной анатомии мозга. И что же? Может создаться впечатление, что мы снова в конце XX столетия отвечаем на вопрос: где те структуры мозга, которые обеспечивают психические процессы – мышление, эмоции, память. Так в чем же принципиальная разница настоящего и прошлого в изучении функциональной анатомии?

Современная техника, позволившая объявить Декаду Мозга Человека, дала возможность видеть события, происходящие в живом мозге, – их динамичность разного типа, различную у разных лиц. Мы видим сегодня не часть рисунка, а уже картину событий в мозгу, в которой прорисовываются и основной пейзаж, и некоторые детали. Если открытие П.Брока – это выявление звена системы обеспечения речи, хотя и очень важного, то сегодняшняя технология позволяет видеть множество звеньев этой системы, определять при комплексном изучении вопроса функциональную значимость этих звеньев и таким образом – иерархию системы, изучать функциональную анатомию «статистического» и индивидуального мозга человека.

2) Некоторые принципы и механизмы работы мозга в обеспечении мыслительной деятельности.

а) Одним из наиболее общих принципов, по-видимому, следует признать сформулированный в начале XX века условно-рефлекторный (по Павлову) или сочетательно-рефлекторный (по Бехтереву) во всех его возможных вариациях.¹ С философской точки зрения провозглашение этого принципа должно рассматриваться как существенное достижение. В изучении человеческого мозга (где исключительно велика заслуга идей и полиметодичных исследований Бехтерева) этот принцип нужно принимать во внимание при рассмотрении мозговой организации любой высшей деятельности, хотя, конечно, не следует возводить его в абсолют. Можно подчеркнуть идейную преемственность этих позиций с более ранними работами Т.Лейкока (Laysock 1841, цит.по: Jackson 1931) и И.М.Сеченова (1862), утверждавших рефлекторный принцип в

деятельности мозга человека, может быть, с еще более ранними – Р.Декарта (Descartes 1648, цит.по: Brazier 1984).

Однако открытие рефлекторного, условно-рефлекторного (или сочетательно-рефлекторного) принципа скорее выявляет нашу общность с животным миром, чем нашу уникальность. Если рассматривать более ранние работы В.М.Бехтерева (1896), принцип развития сознания в филогенетическом ряду также, скорее, роднит весь животный мир, хотя В.М.Бехтерев подчеркивал, что местом сознательных процессов у человека являются исключительно мозговые полушария с их узлами. Более близкими науке именно о мозге человека оказываются раскрытые позднее механизмы, хотя их философское, методологическое значение существенно меньше.

б) При прямом точечном контакте с мозгом, когда записывались практически все виды физиологической активности в покое и при реализации разных видов деятельности, в том числе и мыслительной, некоторые механизмы мозга проявлялись в ходе подтверждения исходных гипотез. А на некоторые, причем весьма значимые механизмы, исследователи буквально наталкивались. Например, именно так вошел в наши знания мозговой механизм, который в научной литературе описывается как наличие у некоторых мозговых систем звеньев разной степени жесткости и который, по существу, свидетельствовал о возможности – и реальности – осуществления одной и той же деятельности не обязательно одной и той же мозговой системой, а пространственно различающимися мозговыми системами. Этот важнейший мозговой механизм, открытый нами в 1966 г. (Бехтерева 1971; Bechtereva 1978), далее постоянно подтверждался. Исследования с помощью ПЭТ вновь утвердили эти данные и показали, сколь существенно могут различаться мозговые системы, конечный результат деятельности которых один и тот же, исходное руководство к действию идентично². Сейчас к сходным представлениям пришли В.Horwitz et al. (1995), а сходные факты в своей обобщающей работе представляет Р.Е.Roland (1993). Это – один из важнейших механизмов надежности мозга, возможности правильного конечного результата мыслительной деятельности относительно независимо от внутренних и внешних помех. Разрушение (болезнь, травма) многих гибких мозговых звеньев систем организации сложной деятельности чаще всего первоначально вполне восполнимо, но постепенно лишает мозг богатства его возможностей. Очень важно для клиники, что по крайней мере некоторые, казалось бы не обязательные, не значимые звенья системы обеспечения, например речевой функции, могут при необходимости взять на себя ведущую роль, определить возможность восстановления функции при необратимой гибели главного звена соответствующей системы, в частности зоны Брока.

В обеспечении разных видов деятельности, и в том числе мыслительной, мозг обладает еще целым рядом механизмов надежности, увеличения его возможностей. Речь здесь идет о явной или латентной полифункциональности очень многих нейронных популяций, которая может присутствовать исходно

(явная) или проявляться при изменении химических модуляционных влияний (латентная: Бехтерева 1971; 1980). И наконец, не ставя перед собой здесь задачу перечисления всех механизмов надежности работы мозга, упомянем как привлечший сейчас большое внимание механизм детекции ошибок.

Впервые феномен детекции ошибок, «детектор ошибок», был открыт нами в 1968 г. (Bechtereva, Gretchin 1968). С тех пор различные аспекты вопроса рассматривались нами в большом числе публикаций и в главах ряда монографий (Бехтерева 1971; 1974; 1980; 1988a; 1990; 1994a; Bechtereva 1978; 1984; 1987; Bechtereva, Kropotov 1986; Bechtereva et al. 1990a; 1991). Было показано, что в мозгу имеются нейронные популяции, на какую-то данную сложную деятельность не реагирующие; реагирующие на ее правильное выполнение; реагирующие и на правильное и на ошибочное выполнение задания. И наконец, отдельные нейронные популяции реагируют именно при ошибочном выполнении деятельности, будь то в связи с дефектом восприятия (ранняя реакция) или дефектом реализации (поздняя реакция).

Такие нейронные популяции были обнаружены нами первоначально в подкорковых структурах. Позднее такие же нейронные популяции были обнаружены нами и в коре.

Детектор ошибок активизируется при рассогласовании деятельности с ее планом, точнее, с хранящейся в мозгу матрицей. (Понятно, что вряд ли он активизируется при ошибках в деятельности творческой.)³ Детектор ошибок был заново «открыт» при некоторой вариации нейрофизиологической методики (вызванные потенциалы, а не динамика нейронной активности) рядом исследователей, причем был обозначен совершенно так же, как детектор ошибок (Gehring et al. 1993; Dehaene et al. 1994; Bernstein et al. 1995). Несколько ранее принципиально то же явление было описано (и приобрело очень широкое звучание) R.Naatanen (1992) и обозначено, как Mismatch Negativity. По существу, речь идет о рассогласовании с планом, появлении неожиданного элемента для матрицы-схемы ситуации или действия. Феномен этот благодаря энтузиазму R.Naatanen оказался более изучен. И кроме того, еще и потому, что является основной задачей его лаборатории, а в нашем случае – лишь интересной находкой на пути широкого изучения нейрофизиологических механизмов психики.

Нейрофизиологическое исследование мозговой организации мыслительной деятельности обнаружило множество интересных механизмов и свойств в этой работе мозга. Так, например, в динамике сверхмедленных процессов проявились защитные механизмы мозга. Они характеризовались разнонаправленными сдвигами этих базисных физиологических показателей и особенно значимы как превентивный механизм, препятствующий распространению в мозгу эмоционально-детерминированных сдвигов сверхмедленных физиологических процессов, в свою очередь определяющих нежелательное развитие патологических эмоций. Отдельно нужно рассматривать изменения в ЭЭГ, отражающие защитный механизм другого

типа, способствующий торможению избыточной информации. Наиболее ярко это проявляется при эпилепсии, где само развитие заболевания отражает в том числе и недостаточность защитных механизмов мозга, а по мере этого развития оказывается возможным наблюдать увеличение амплитуды и длительности пароксизмальных проявлений на ЭЭГ (а также увеличение продолжительности ее элементарных составляющих). Как и любой защитный процесс организма, при своем усилении этот механизм легко становится патологическим (Бехтерева 1988а; 1990).

Тема механизмов мозга поистине неисчерпаема. Здесь, пожалуй, целесообразно для стимулирования интереса к вопросу привести лишь еще один тип наших наблюдений, как и многое в сложной проблеме, может быть, и нуждающийся в дальнейшем изучении. Речь идет о пространственно преимущественно тормозных реакциях коры и преимущественно активационных реакциях подкорки при активации в коре лишь зон, имеющих первостепенное значение именно для данной деятельности. Такого рода соотношение наблюдалось нами в ходе реализации различных психологических проб (Bechtereva et al. 1990b). Это проявлялось по миновании периода первоначальной генерализованной активации, как ориентировочной реакции, являющейся одним из главных механизмов самосохранения мозга (Bechtereva et al. 1972). Если приведенные данные будут подтверждаться (похожие сведения приводятся в работах: Hoshi et al. 1994; Schwartz et al. 1996), придется, может быть, пересматривать многие из уже сложившихся представлений о корково-подкорковых соотношениях в обеспечении мыслительной деятельности.

IV. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОБЛЕМЫ (ВОЗМОЖЕН ЛИ ТРЕТИЙ ПРОРЫВ?)

Потенциал сегодняшнего дня в науке о мозге безусловно очень велик. Если в течение столетия накапливались материалы о различных аспектах функциональной организации мозга буквально по крупницам и очень многое оставалось в форме предположений, в последнюю его декаду, Декаду Мозга Человека, действительно определился наиболее существенный прорыв в знаниях о мозге человека, о мозговой организации мыслительной деятельности.

Самой ближайшей задачей в области изучения мозга является хотя бы разовая унификация психологического аспекта исследований разных лабораторий для получения сопоставимых данных. Попытки сравнения сейчас очень нелегки (Медведев и соавт. 1997). Соответственно, если такая международная унификация удастся, можно будет говорить с гораздо большим правом, чем сейчас, о типовых вариантах событий в мозгу, о пределах индивидуальных вариаций, о роли самых различных внешних и внутренних факторов в мозговой организации этой наиболее человеческой деятельности человеческого мозга – деятельности мыслительной.

В то же время для раскрытия физиологической сущности мозговой

нейродинамики необходим сочетанный подход к изучению мозга с использованием возможностей неинвазивной и инвазивной техники, дополнением данных ПЭТ, fMRI и другими нейрофизиологическими показателями, причем в последнем случае наиболее глубокий анализ развивающихся в мозгу явлений возможен при дополнении результатов пространственной оценки нейромозаики сведениями о динамике импульсной нейронной активности. В этом случае станет значительно яснее физиологическая сущность того состояния в мозгу, которое высвечивается, в частности, на ПЭТ и обозначается как активация.

Количество исследований, в которых используется сочетание неинвазивной техники с нейрофизиологическими методиками или говорится о пользе этого, быстро растет (Бехтерева 1988a; Nenov et al. 1991; Demonet 1993; Tamas et al. 1993; Liotti et al. 1994; Posner 1994; Gevins et al. 1995; Fox, Woldorff 1995; Snyder et al. 1995; Towle et al. 1995; McGuire et al. 1996; Медведев с соавт. 1997). Недавно показана польза сочетания ПЭТ с доплерографией (Dopplers sonography), имеющей лучшее пространственное разрешение (Klingelhofer et al. 1996). Однако (что вполне понятно) работы, в которых в качестве нейрофизиологического показателя регистрировалась импульсная активность нейронов или приведены данные такого типа, пока еще единичны (Бехтерева 1994a; Posner et al. 1996; Медведев с соавт. 1997).

И все же, как бы далеко во всех этих исследованиях мы ни продвинулись, мы все равно не подойдем к важнейшему вопросу в познании мышления – своего рода сверхзадаче – его мозгового кода. Мы занялись изучением мозгового кода мыслительных процессов еще более четверти века тому назад (Бехтерева 1971; Бехтерева, Бундзен, Кайдел, Давид 1973; Бехтерева, Бундзен, Гоголицын 1977; Бехтерева, Бундзен, Гоголицын, Малышев, Перепелкин, Шкурина 1979). Это, пожалуй, оказалось как бы слишком рано по самой постановке вопроса – проблема еще не созрела. Слишком рано это и по методическим возможностям – исследование были избыточно трудоемким, а хрупкие, динамичные коды казались ненадежными. Однако по тому, какая динамичность обнаруживается в структурно-функциональной организации сложных мозговых систем, вряд ли можно надеяться на меньшую изменчивость кода, если такие находки будут подтверждены⁴. Решение вопроса о мозговом коде мыслительных процессов имеет принципиальное значение для проблемы «Мозг и психика» и определит важнейший, третий прорыв в ней. Даже, как это ни парадоксально, в том случае, если результат будет отрицательный.

Позиция философов материалистического направления именно в этом случае, как известно, дуалистична: мозг – материален, мышление – идеально! Углубление в исследования мозга, в том числе на основе принципиально новых, сейчас еще не созданных технологий, может дать ответ на вопрос о мозговом коде мышления. Если ответ (окончательный!) будет отрицательным, тогда то, что мы видели ранее, – не код собственно мышления, а перестройки импульсной активности, соотносимые с активированными при мыслительной

деятельности зонами мозга, своего рода «код вхождения звена в систему». При отрицательном ответе надо будет пересматривать и наиболее общие и наиболее важные позиции в проблеме «Мозг и психика». Если ничего в мозгу не подлежит именно тончайшей структуре нашего думания, тогда какова в этом думании роль мозга? Только роль территории для каких-то других, не подчиняющихся мозговым закономерностям, процессов? И в чем их связь с мозгом, какова их зависимость от мозгового субстрата и его состояния? И все же именно такая задача будущего, вопрос о коде – логика нашего познания мозга человека, задача третьего прорыва, стоящая перед исследователями мозга человека. Довольно близко к такого рода представлениям о будущем науки о мозге человека подходит М.И.Роснер (1994) и с глубоким рассмотрением философских аспектов проблемы – Р.Е.Роланд (1993).

Каждый исследователь обязательно должен ставить перед собой тактические и стратегические задачи. О тактических задачах сказано выше. Полагаю, что на сегодня важнейшей стратегической задачей в науке о мозге человека является исследование мозгового кода мысли. Его расшифровка или отрицание – награда сегодняшнему более молодому поколению ученых. Наши награды – в оптимальной реализации возможностей сегодняшнего дня.

Примечания

1. Спор о приоритете — сложный. Свой приоритет, несмотря на признание более ранних западных работ, И.П.Павлов очень активно отстаивал. Однако, по существу, формированием условных рефлексов у животных («дрессировка») В.М.Бехтерев занимался уже в 80-е годы прошлого столетия. До сочетательных рефлексов В.М.Бехтерев говорил о психорефлексах, о сложных рефлексах, а сам термин «сочетательные» (рефлексы) несет две смысловые нагрузки (сочетание раздражителей и сочетательные волокна в мозгу). Именно с этих позиций В.М.Бехтерев уже в самом начале XX века (1904) рассматривает психические процессы человека: «В более сложных нервно-психических процессах мы имеем как бы дальнейшее усложнение центральной реакции, сопутствующей элементарным ощущением или чувствованием. Это усложнение заключается в том, что центральная реакция, развиваясь далее, передается в другие центры нервно-психической деятельности, где путем переработки и сочетания с соответствующими мышечными ощущениями превращается в иной род реакции, выражающейся представлением, которое оставляет о себе след в форме воспоминательного образа, способного к оживлению.

Далее, представление, являющееся спутником дальнейшего развития центральной реакции, благодаря существованию ассоциативных связей между различными областями головного мозга, вступает в сочетание с другими воспоминательными образами пережитых ранее подобных же центральных реакций, образуя собою более сложные продукты нервно-психики, которые также не лишены материальной основы. Эти новые продукты, в свою очередь, обнаруживают способность к взаимному сочетанию, комбинации и разложению на свои составные части и, возбуждая центробежные импульсы, переводятся на символы языка, выражаясь словами, или же приводят к развитию тех или других психодвигательных или психосекреторных явлений, в какой бы части тела и в какой бы форме они ни обнаруживались, чем, собственно, и завершается в наипростейшей форме весь цикл нервно-психического движения» (Бехтерев 1904: июнь, с.723). И если даже не акцентировать вопрос о приоритете, нельзя не признать, что в изучении мозга человека заслуги В.М.Бехтерева

исключительно весомы. Мечта В.М.Бехтерева об объективном изучении мозговых явлений, лежащих в основе психической жизни человека, сейчас сбылась. Однако пришла эта реальность не через сочетательные или условные рефлексы. Ее принес современный технологический прогресс, при общении с человеком в процессе исследования на языке человеческого общения, при применении психологических тестов.

2. В начале изучения мозговой организации мыслительной деятельности мы, естественно, шли почти ощупью, хотя, оглядываясь назад, кажется, что все было просто. Что так и нужно было идти, конечно, избегая тех ошибок, которые мы делали. По пути, на котором были щедро разбросаны и радости, и разочарования. Сейчас трудно сказать, что стимулировало больше, – наверное, и то и другое. Итак, жесткие и гибкие звенья. Как мы пришли к этой гипотезе? Действительно, через восторг и отчаяние, сменившимися далее ровной, восходящей уверенностью в правомерности предположения об удивительной мозговой системе обеспечения мышления.

Больным паркинсонизмом (тогда, в 60-70-е), эпилепсией, фантомно-болевым синдромом лечение проводилось медикаментами, а в тяжелых случаях иногда вживлялись множественные электроды для выбора наилучшего места лечебного электролиза, а позднее – лечебной стимуляции. Стремилась не только помочь справиться с симптомами основного заболевания, но и не принести лечением дополнительного вреда. Для этого дополнительно к основной лечебно-диагностической схеме лечения проводились исследования соотношения мозговых зон с мыслительными функциями и эмоциональными реакциями.

Регистрировались физиологические показатели жизнедеятельности мозга (электросубкортикограмма, медленные потенциалы, импульсная активность нейронов и др.), которые далее обрабатывались с помощью все более удачных приемов извлечения полезной информации из шума – активности, связанной с заданным действием на фоне основной. В качестве заданий предъявлялись психологические пробы самого разного типа, но всегда такие, к которым можно было найти аналогичные и сформировать собственно тест из многих проб. Далее проводилась тривиальная процедура получения суперпозированных данных, где в случае, если данная зона мозга была связана с реализуемой деятельностью, развивалось отличие активности в период реализации пробы от основной (фон). Если нет – отличие не прослеживалось. Естественно, речь шла о статистически достоверном отличии. Какое удивительное чувство мы испытывали, помечая на карте мозга зоны, ответившие изменением своей активности на психологический тест! Однако, в соответствии с неписаными правилами физиологических наблюдений, через день мы повторили исследование. Получилась также карта активных зон, но, в основном, других. Лишь одна-две зоны были те же, что и в предыдущем исследовании. Так с чем же мы столкнулись? Хорошо, что, получив такие неожиданно противоречивые результаты, мы не прекратили исследования. Подтвердилось, что какие-то зоны вели себя вполне воспроизводимо. А в большинстве зон мозга воспроизводимые изменения были скорее исключением, чем правилом.

Состояние больных день ото дня изменялось – действовали лекарства. Применялось лечение другими методами. Изменялась и обстановка исследования – кто-то отсутствовал, кто-то новый появлялся. Все знали, что мозг – исключительно чувствительный орган – «но не до такой же степени?!». Оказалось – именно до такой. Направленно меняя условия наблюдения, мы тогда – да с тех пор и многократно – подтвердили наличие постоянно реагирующих при какой-то определенной мыслительной деятельности зон, – мы назвали их жесткими звеньями системы. И других зон, реагирующих или никак не проявляющих себя в зависимости от условий исследования, – мы обозначили их как гибкие звенья. Иными словами, одна и та же задача могла решаться мозгом различно! Этот принцип – наше огромное богатство. Богатство возможностей думать в тишине Павловской башни молчания, в шуме толпы и у водопада Ниагара. Вот только тогда, когда вас что-то раздражает или сильно радует – иными словами, включается эмоциональная сфера, – ход мыслей может

нарушаться. Но этому есть уже объяснение, результаты физиологических исследований очень наглядно показывают, каков механизм этой помехи... Однако это уже другой вопрос, здесь не рассматриваемый (см.: Бехтерева 1988б).

Еще до работ с ПЭТ представление об особой мозговой системе обеспечения мышления, состоящей из жестких и гибких звеньев, могло бы считаться теорией. Но в моих глазах такое звание – теория – вполне правомерно присвоить этим представлениям сейчас, когда оно подтверждается практически в каждом исследовании по дальнейшему изучению мозговых основ мышления с помощью ПЭТ и другой аналогичной по возможностям технологии.

3. Если прислушаться к себе, то окажется, что мы все давно знакомы с детектором ошибок и иногда слушаемся его, иногда пренебрегаем им. То и другое желательно делать в меру: слишком большая покорность нашему стражу, детектору ошибок может привести к тяжелому состоянию – синдрому навязчивости, нередко трудно контролируемому. Наоборот, пренебрежение его «советами» может привести также к тяжелым последствиям, хотя в этом случае и как бы внешним. Как это бывает в реальности? Приведу случай типичный, хотя, конечно, не единственно возможный.

Вы выходите из дома и уже готовы захлопнуть дверь. И в этот момент у вас появляется чувство, что не все в порядке, вы что-то забыли или забыли сделать. Дверь еще не закрыта, все поправимо, вы возвращаетесь (несмотря на суеверный страх – «дороги не будет»). И находите случайно вынутые из кармана ключи от квартиры, или не выключенный утюг, или что-то еще, достаточное для того, чтобы произошла серьезная неприятность. Ай да детектор ошибок, могли бы подумать вы, если бы знали, что это он помогал вам.

Завтра. Теперь уже почти сознательно вы останавливаетесь у уже открытой двери. И вспоминаете – что? Мысленный обзор дома. Все в порядке – вы уходите. А послезавтра уходите из дома, как уходили всегда. Это – счастливый конец, детектор сработал, вы его послушались, но не подчинились ему.

Другая возможность. Наступило завтра. Дверь открыта, но вы снова закрываете ее изнутри и обходите дом. В общем-то все в порядке, но всегда можно найти какую-то забытую мелочь или просто мелочь, которую показалось нужным взять с собой. Послезавтра – то же самое. И через некоторое время вы – раб детектора. Развивается подчиненность желанию возвращаться, да и не один раз. Вы опаздываете на работу, в институт – словом, туда, где надо быть вовремя, но это уже не приоритет. Надо лечиться, и как можно скорее, вначале могут помочь и психотерапия, и некоторые так называемые малые транквилизаторы. Но очень мало людей сразу обращается в этой ситуации к врачу. Обращаются тогда, когда жизнь становится невозможной – сформировалась в мозгу под командованием детектора ошибок матрица патологических действий. Лечение возможно, но теперь уже очень не просто.

А вот второй случай. «Да ничего я не забыл, все взял, все так. И вообще – надо торопиться». А утюг... Или газ... Наименее трагично кончается что-то вроде забытых ключей – у кого-то ключи есть еще – или дверь надо открывать силой, хотя, естественно, в этот момент все кажется очень неприятным. Дальнейшее – дело характера. Ведь человек в 99,9% случаев не знает о детекторе – страже выполнения привычных действий в соответствии с планом-матрицей, зафиксировавшейся в мозгу для облегчения жизни в ситуациях стереотипных. А нестереотипные? А творческая работа? Ну уж нет, здесь нет детектора ошибок. Здесь вы свободны и от оков, и от защиты.

На эту тему можно было бы написать если не роман, то хотя бы повесть. Но – не здесь.

4. Почему-то мы начали с самого сложного, когда получили возможность регистрировать импульсную активность нейронов. Мы были молоды, трудности преодолевали, все вершины науки казались нам достижимыми. В импульсной активности нейронов (по нашему убеждению) должна развиваться реорганизация перестройки тогда,

когда человек молча думает или проговаривает мысли вслух. И, естественно, уже в модельных условиях, когда он реализует психологическую пробу, которую задают во время регистрации импульсной активности. Методы обработки этой импульсной активности тогда были примитивны, что отражалось не столько на результатах, сколько на исследователях – резко избыточная трудоемкость...

Сейчас я отношу задачу расшифровки мозгового кода мышления к тому, что предстоит делать, к задаче третьего прорыва. Не сбрасывая, однако, со счетов того, что уже было сделано. Было ли обнаружено в наших первых работах что-либо, что хотя бы ориентировочно могло быть отнесено к мозговому коду?

Совокупность импульсной активности нейронов, регистрируемая с кончика электродов, представляла собой так называемую щетку, над которой видны были разной и равной амплитуды пики. Их отделяли от «щеток» способом амплитудной дискриминации. Верхний уровень разрядов, по-видимому, отражал активность ближайших к электроду нейронов. При необходимости по пикам равной амплитуды так называемой оконной дискриминацией этот уровень разделялся уже на разряды отдельных нейронов. Импульсная активность нейронов регистрировалась при предъявлении самых разных психологических проб, специальная батарея тестов для этой задачи не была еще разработана. Наиболее интересными тогда нам показались данные, полученные в результате предъявления слов, которые могли бы быть обобщены каким-то общим понятием (словом), т.е. относились к одному смысловому полю. Восприятие многих такого рода слов (субсигналов?) приводило к появлению в импульсной активности нейронов воспроизводимых последовательностей разрядов с определенными интервалами. Такого рода последовательность обнаруживалась и в обобщающем слове (супрасигнал?). Последовательность обычно была очень короткой – три («триграммы»), реже четыре разряда. Обнаруживалась как счастливая находка, и далеко не всегда была такой же в повторных исследованиях. Если последовательность разрядов с определенными интервалами возникала и при другой психологической пробе, удавалось также наблюдать на коротком отрезке времени ее повторение. В подобных условиях могли вновь наблюдаться последовательности разрядов, но интервалы между разрядами могли быть другими. Триграммы формировались, по-видимому, за счет разрядов разных нейронов, хотя, учитывая динамичность всего, что мы наблюдали, эта позиция, равно как и практически все, что было обнаружено нами в 70-е годы, естественно, нуждается в дальнейшем изучении с помощью адекватной для этой проблемы техники.

Как мы представляли себе механизм появления этих трудноуловимых, хрупких последовательностей разрядов? Предполагалось, что то, что мы регистрируем, является результатом формирования функциональных соотношений между активностью близлежащих нейронов и, таким образом, в записи – преобразованием пространственно-временной трехмерной организации в двумерную, временную.

Выше говорилось, что с помощью неинвазивной техники подтвердились исключительная динамичность мозговой организации системы обеспечения мышления и возможность решения мозгом одной и той же задачи пространственно разными системами. Динамичность последовательностей разрядов с определенными интервалами – еще одно отражение удивительно надежных в своих возможностях механизмов мозговой организации мышления. По-видимому, именно за счет этой динамичности.