

Когнитивные исследования глубоко междисциплинарны по происхождению, а также по используемым в них методам и объяснительным схемам. Возникающие на их основе технологии являются последним и пока ещё наименее зрелым примером конвергентных технологий. Однако именно они имеют самое непосредственное отношение к психологии человека, его восприятию действительности и оценке тех или иных научных и технических нововведений. Поэтому появ-

ление прикладных когнитивных исследований как бы венчает процесс конвергенции НБИК-технологий. Оно задаёт ему общепонятный смысл и перспективу для общества гуманистическую перспективу.

Часть приведённых в докладе материалов основана на исследованиях, поддержанных грантами РГНФ (09-06-01035а), РФФИ (09-06-00293а, 09-06-12003офи-м, 09-06-12007офи-м), Комиссии Евросоюза и ВМБФ (проекты COGAIN, PERCEPT и ZOOM).

НАУКА О МОЗГЕ НА ПУТИ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ СОЗНАНИЯ

ДОКЛАД ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН А.М. ИВАНИЦКОГО

Мы окружены материальным миром и сами принадлежим к нему, но живём мы в мире нашего сознания, наших ощущений, мыслей, чувств. Реальный мир и мир, воспринимаемый нами, не всегда одно и то же. Наша жизнь — это жизнь нашего сознания. Поэтому так важна проблема исследования сознания. Перед наукой о мозге стоит задача понять, как на основе движения нервных импульсов возникает то, что мы ощущаем внутри себя — мир наших мыслей и чувств. Мировые тенденции решения этой проблемы таковы, что большинство учёных сейчас исходят из того, что объяснение должно быть основано на законах физического мира, без привлечения каких-либо толкований, выходящих за рамки этого мира.

Мозговая основа субъективного опыта. Английский философ Д. Чалмерз [1] считает, что проблема “сознание и мозг” включает две задачи: сложную и простую. Сложная задача — понять, как на основе работы мозга, то есть, по сути, на основе движения электрических нервных импульсов, возникает субъективный опыт, внутренний мир человека. Более простая задача (на самом деле, тоже очень трудная) — понять, какие мозговые механизмы лежат в основе определённых когнитивных (познавательных) действий. Долгое время считалось, что решение первой (сложной) задачи — дело достаточно отдалённого будущего. Но, как часто бывает, будущее внезапно приблизилось, и решение проблемы методами естественных наук стало делом сегодняшнего дня. Главную роль здесь сыграл прогресс науки о мозге, включая создание методов изображения живого мозга, таких как позитронно-эмиссионная томография, функциональная магнитно-резонансная томография и многоканальная электроэнцефалография.

Феномен “внезапного приближения будущего” очень интересен. Он известен многим достаточно пожилым людям из их повседневного

опыта. Его можно сравнить с действием трансформатора, то есть объектива с переменным фокусным расстоянием, использование которого даёт возможность одним движением рычажка на фотоаппарате далёкое сделать близким. Отличие состоит в том, что в случае с “приближающимся будущим” действие происходит не в пространстве, а во времени.

Сейчас предложено несколько подходов к объяснению того, как на основе мозговых процессов возникает субъективный опыт. Существенно, что эти подходы, как правило, не противоречат, а, скорее, дополняют друг друга, касаясь разных уровней и проявлений сознания. Первый из них восходит к известному высказыванию И.П. Павлова [2], который предположил, что сознание — это результат активности той области коры, которая находится в состоянии оптимальной возбудимости. Этот участок коры он считал творческим, в отличие от других её отделов, которые способны только к воспроизведению уже выработанных условных рефлексов. Павлов писал, что если бы мы могли видеть сквозь черепную коробку, то наблюдали бы причудливой формы перемещающиеся по коре светлое пятно, которое и отражает область, связанную с сознанием. Отметим, что это единственное высказывание И.П. Павлова о возможных механизмах сознания, а в Указателе к академическому Полному собранию сочинений И.П. Павлова 1951 г., который вышел в свет в 1954 г. и насчитывает 86 страниц, слово “сознание” вообще отсутствует. Но самое удивительное, что теперь мы действительно видим “сквозь черепную коробку” и видим очень похожее на то, о чём говорил Павлов. Сходные взгляды значительно позднее были развиты в теории прожектора Ф. Крика и К. Коха [3]. Эти авторы считают, что в результате реверберирующих корково-таламических влияний создаются оптимальные условия

для анализа в данной области коры наиболее важной информации, поступающей к этому участку. Этот процесс напоминает луч прожектора, высвечивающего существенные объекты наблюдения. Усиленные таким образом процессы обработки информации и определяют содержание сознания.

Второй подход основан на поиске ключевой структуры мозга, ответственной за поддержание сознания. Этот подход представлен теорией центрэнцефалической системы У. Пенфилда [4], согласно которой ключевую роль в поддержании сознания играет ретикулярная формация, получающая коллатерали как от сенсорных, так и от двигательных путей, проходящих через ствол мозга. Благодаря этому ретикулярная формация поддерживает необходимый тонус высших мозговых центров. Перерезка мозга выше ствола переводит эти отделы в состояние сна. Современный подход к решению проблемы сознания через поиск ключевой структуры представлен в работах А. Дамасио [5]. Автор основывает свои построения на наблюдении над больными с поражениями различных отделов мозга. А. Дамасио выделяет три уровня сознания, которым соответствуют три уровня внутреннего “я” – важнейшего компонента сознания.

Первый, низший, уровень – это неосознаваемое “прото-я”, функция которого заключается в отслеживании внутренней среды организма. Его обеспечивают некоторые ядра ствола, соматосенсорная кора, гипоталамус, инсула и базальные отделы переднего мозга. Следующий уровень – “коренное (сердцевинное) я”, которое осознаётся, но не вербализуется. Такое “я” отслеживает только сиюминутное “прото-я”. Его структурную основу составляют верхние бугорки, таламус и поясная извилина. Структуры первого и второго порядка расположены близко к срединной плоскости мозга. Они относятся к филогенетически более древним образованиям и принимают участие в представительстве тела. Эти виды сознания не нарушаются при поражении височной коры и гиппокампа. Первичные сенсорные структуры ответственны только за одну модальность, и их поражение не влияет на сознание первых двух уровней. Наконец, третий уровень – “автобиографическое я”, которое отслеживает все изменения “коренного я”. На этом уровне осознаётся также прошлое и будущее, причём события прошлого могут эксплицитно (произвольно) извлекаться из памяти. При поражении гиппокампа эта способность утрачивается. В обеспечении сознания третьего уровня, помимо гиппокампа, принимают участие высшие отделы коры.

К группе гипотез о ключевой структуре мозга можно отнести и представления о ведущей роли центров речи в обеспечении сознания [6]. Эти взгляды опираются, в частности, на данные о том, что выход больных с травмами мозга из комы сов-

падает с установлением когерентных связей между речевыми центрами в височной (зона Вернике) и лобной (зона Брока) коре левого полушария. По П.В. Симонову, сознание – это со-знание, то есть совместное знание, обеспечиваемое вербальной и иными видами коммуникации с использованием абстрактных символов.

Некоторые авторы указывают также на связь сознания с определёнными мозговыми ритмами, главным образом с гамма-ритмом [7]. Показано, что данный ритм возникает в зрительной коре при рассматривании изображений, что, по мнению исследователей, обеспечивает объединение отдельных признаков объекта в целостный образ.

Перечисленные подходы предоставляют ценный материал для понимания мозговых основ сознания. В то же время они не отвечают на главный (“трудный”, по Чалмерсу) вопрос: почему же при работе мозга возникает то, что мы ощущаем как мир внутренних, то есть субъективно переживаемых, феноменов. Попыткой приблизиться к поиску ответа на этот вопрос является четвёртый подход, который объясняет возникновение субъективного опыта особой организацией процессов мозга. Эта концепция будет рассмотрена более подробно, потому что она восходит, в частности, к моим работам [8, 9, 10] по теории информационного синтеза. Соответствующие исследования были проведены в 1970–1990-х годах, но есть смысл вернуться к ним в рамках обсуждаемой проблемы в связи с данными, опубликованными в последние годы.

Теория информационного синтеза была сформулирована на основе исследований мозговых механизмов ощущений. В эксперименте испытуемый решал задачу по различению интенсивности ощущений. Одновременно записывались вызванные потенциалы (ВП) на подаваемые сигналы и определялись психофизические показатели возникающих ощущений. Для определения последних была использована теория обнаружения сигнала [11], описывающая восприятие по двум параметрам: показателю сенсорной чувствительности и критерию решения, определяемому мотивацией. Затем рассчитывались корреляции между количественными показателями физиологии и психологии. Работа проводилась на двух анализаторах – зрительном и соматосенсорном, причём результаты в обоих случаях были принципиально сходны. Оказалось, что показатель сенсорной чувствительности коррелировал с ранними, сенсорными, волнами ВП. Наоборот, амплитуда поздних волн коррелировала с критерием решения. Эти результаты были, до известной степени, ожидаемы. Новизна заключалась в том, что амплитуда промежуточных волн ВП коррелировала с обоими перцептивными индексами, то есть эти волны отражали синтез на нейронах коры но-

вой сенсорной информации о поступившем сигнале со сведениями о его значимости.

Но самое интересное ожидало нас дальше. Оказалось, что латентность волн ВП, обнаруживших такую двойную корреляцию (около 150 мс), совпала со временем возникновения ощущений. Данные о том, что ощущение возникает значительно позднее прихода сенсорных импульсов в кору, получены ещё несколько десятилетий назад путём применения так называемой обратной маскировки [12]. Но наиболее точные измерения были проведены лишь недавно [13]. Маскирующий эффект при этом достигался применением транскраниального магнитного стимула. Полученные результаты указывали на то, что время появления ощущений составляет около 160 мс после предъявления зрительных изображений, что достаточно близко к латентности промежуточных волн ВП. Важно также, что маскирующий эффект достигался лишь при приложении магнитного импульса к зрительной коре, то есть там, где только и проявлялась двойная корреляция с перцептивными индексами.

Возник вопрос: что же происходит в мозге за это время? Иными словами, что обеспечивает переход физиологического процесса на психический уровень? Данные о генезе отдельных волн ВП и анализ литературы позволили прояснить картину. Ощущение возникает в результате кольцевого движения импульсов с активацией центров памяти, включая структуры гиппокампа, и мотивационных структур с последующим возвратом возбуждения в проекционную кору. Такой механизм обеспечивает возможность сопоставления и синтеза информации о физических и сигнальных свойствах стимула, что, как мы предполагаем, лежит в основе ощущений. Возврат возбуждения в зрительную кору был описан в последнее время и в работах Е.С. Михайловой с соавторами [14]. Континуум сознания, согласно нашим взглядам, состоит из последовательности образов продолжительностью около 100–150 мс каждый. Отметим, что эти взгляды близки к “кинематографической теории восприятия” У. Фримена [15].

Предложенная гипотеза даёт ответ и на один из существенных вопросов теории сознания, а именно — о мозговых механизмах осознания собственного “я”. Чувство “я” возникает в результате активации следов памяти, вызванной внешним сигналом. Ведь “я” — это, по существу, память о своей жизни, своих поступках в прошлом (что соответствует “автобиографическому я”, по А. Дамасио). Мозговые процессы организованы таким образом, что восприятие “я” и внешней реальности тесно связаны друг с другом: субъективный образ возникает в результате соединения внешнего сигнала и следов памяти, а в самом ощущении незримо присутствует “я” как субъект восприятия.

В 2008 г. была опубликована работа [16], которая по постановке задачи и выводам весьма близка к нашей. Авторы использовали 48-канальную запись ВП и более сложные методы математического анализа (преобразования Лапласа для расчёта плотности тока по поверхности коры с построением соответствующих карт). Вывод следующий: ощущение возникает через 160 мс после предъявления стимула за счёт рекуррентных (обратных) связей к проекционной затылочной коре. Авторы сопоставляли силу тока лишь с точностью опознания, а не с отдельными перцептивными индексами, что было сделано в нашей работе и что позволило раскрыть внутренний смысл происходящих в коре процессов в виде синтеза сенсорной информации с памятью.

Идея о возврате импульсов к местам первоначальных проекций как основе психических функций и сознания человека высказывалась и другими исследователями. Наиболее развитой концепцией в этом ряду является теория “повторного входа” Дж. Эдельмана [17, 18]. Согласно этой теории, возврат импульсов к местам первоначальных проекций после опроса других структур даёт возможность сравнить новую поступившую информацию с прошлым опытом и на этой основе провести его корректировку. Эта теория получила заслуженное мировое признание.

К.В. Анохин развивает концепцию реконсолидации (перезаписывания) следов памяти после их извлечения и использования в данных конкретных условиях. Эта идея, как нам представляется, хорошо согласуется с теорией синтеза сенсорной информации с памятью как основой психических феноменов. Она близка и к теории повторного входа Дж. Эдельмана. Если это сходство действительно имеет глубокие корни, то оно, возможно, позволит соединить представления об организации нервных процессов с определёнными молекулярными механизмами. В основе сознания лежит, таким образом, идея обновления, которая придаёт жизни её высший смысл и определяет постоянное стремление человека к новому.

Сознание человека состоит не только из последовательности образов. Оно также способно манипулировать этими образами и символами, формируя мыслительный процесс. В последующих исследованиях идея информационного синтеза была развита нами применительно к механизмам мышления. В этих работах [10, 20] изучалась картина корковых связей при решении конкретных когнитивных заданий. Установлено, что сравнительно простой и симметричный рисунок связей, характерный для состояния покоя, при мышлении меняется: связи начинают сходиться к определённым полям ассоциативной коры. Такие центры связей были названы “фокусами взаимодействия”. Топография фокусов определяет

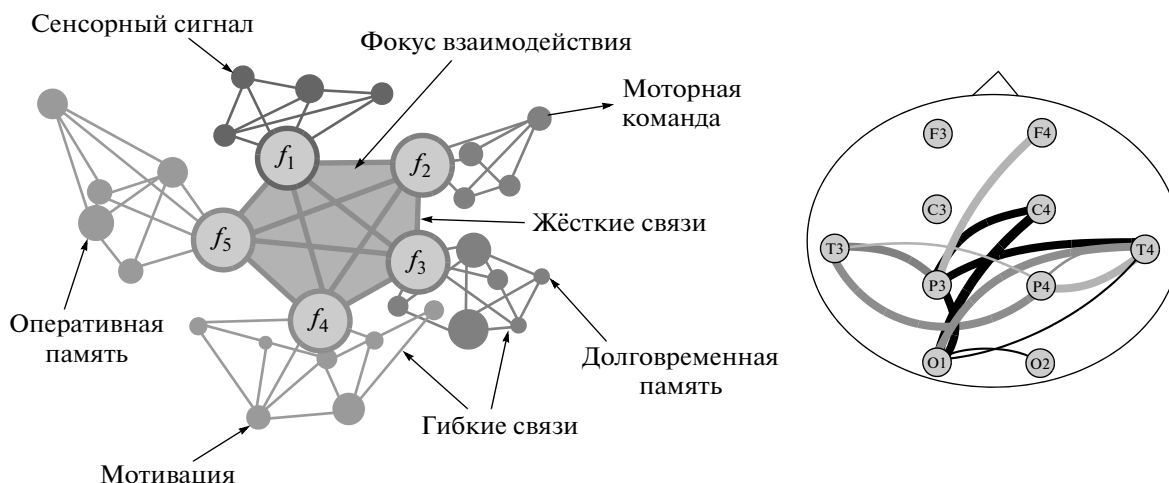


Рис. 1. Схема фокуса взаимодействия, осуществляющего синтез информации в процессе мышления

Фокус состоит из групп нейронов, объединённых жёсткими связями. Каждая группа представляет в фокусе определённую нервную сеть, нейроны которой объединены на основе принципа изосинхронии. Справа показана картина гибких корковых связей при решении задачи на пространственное мышление

ся типом мышления. При образном мышлении фокусы локализуются в теменно-височной, а при вербально-логическом мышлении — в лобной коре. Гипотетически фокус состоит из групп нейронов, каждая из которых соединена гибкими связями с нейронами на периферии. Они работают на той же частоте и объединены в единую нейросеть на основе принципа изосинхронии. Внутри фокуса группы нейронов объединены жёсткими связями, что даёт возможность интегрировать информацию, циркулирующую в отдельных нейросетях (рис. 1). Синтез в фокусе информации, поступающей из сенсорных систем, из памяти и центров мотиваций, лежит в основе принятия решения. Эти взгляды в известной степени сходны с развиваемыми Дж. Эдельманом и Дж. Тонони [18] представлениями о том, что существенную роль в обеспечении сознания играют кластеры нервных элементов, обозначаемые как “динамические сердцевины”. Эти структуры соединяют в себе два свойства: связанность элементов между собой и сложность, которая определяется неоднородностью входящих в структуру элементов. По образному сравнению авторов, такая структура напоминает семью, где каждый член имеет свои собственные знакомства и интересы, но все они объединяются в одну ячейку, живущую общими интересами. Сходные представления развивает и А. Дамасио [21], который считает, что центры активации, выявляемые в коре методом функционального магнитного резонанса, являются зонами, к которым сходятся различные виды информации. Представляется знаменательным, что близкие взгляды на механизм сознания высказываются авторами, работающими независимо друг от друга и использующими разные методы.

Таким образом, можно сделать вывод, что синтез информации, включающей три основных компонента (сенсорная информация, сведения, извлекаемые из памяти и приходящие от центров мотивации), очевидно, является важным звеном в генезе субъективно переживаемых феноменов.

Ритмические корреляты когнитивных функций. Выше были описаны фокусы взаимодействия, в которых осуществляется синтез информации, что, как мы полагаем, лежит в основе процесса принятия решения. Важной особенностью нейросетей, объединяемых в фокусе, являются их ритмические свойства. Ещё в первых работах Г. Бергера в конце 1920-х годов были получены данные о связи мыслительных процессов с ритмами мозга. Ритмы альфа- и тета-диапазонов связывают с процессами внимания и памяти. Изменения ритмов мозга во время выполнения заданий имеют тонкую частотную структуру [22].

Наши эксперименты, выполненные в последние годы, также демонстрируют явную зависимость ритмов мозга от когнитивных процессов. Эта зависимость имеет столь выраженный характер, что оказалось возможным распознавать тип мыслительной деятельности на коротких отрезках электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в режиме времени, близком к реальному [23, 24, 25].

Испытуемым для решения предлагались задания двух типов — пространственно-образные и вербально-логические — в двух модальностях (слуховой и зрительной). Среднее время решения задач составило 10–15 с. С некоторыми испытуемыми эксперимент был повторён через несколько дней или месяцев. Всего было подготовлено шесть видов заданий для каждого типа мышления, в зрительной и слуховой модальности (около

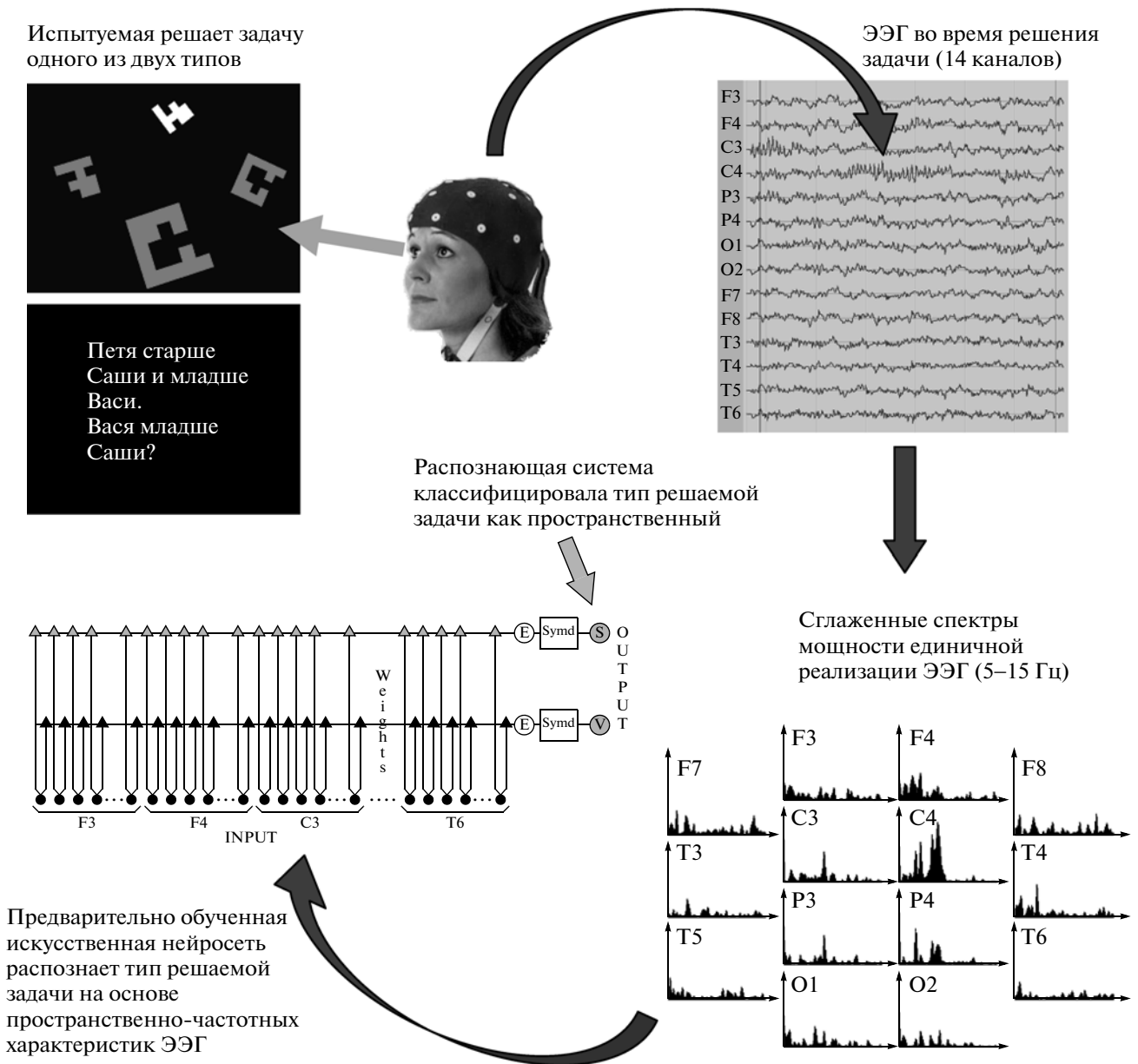


Рис. 2. Опознание типа совершаемой в уме мыслительной операции по рисунку ЭЭГ
Опознание производит искусственная нейронная сеть, предварительно обученная на образцах спектров ЭЭГ

100 стереотипных задач для каждого вида, то есть в общей сложности около 1200 задач). Отдельные виды заданий включали, например, сечение куба или транспортную развязку для пространственного мышления и решение анаграмм или поиск недостающего слога, который служил бы окончанием первого и началом второго слова, для вербального мышления.

На рисунке 2 в верхнем левом углу показаны два вида заданий: вербально-логическое и пространственное, оба в зрительной модальности. Следует упомянуть, что пространственные задачи, предъявленные на слух, содержали признаки

вербальности, ввиду того что испытуемый слушал и осмысливал словесную инструкцию, прежде чем решал задачу (в некоторых случаях решение и осмысление инструкции проходило одновременно). Испытуемые тренировались решать задачи до начала эксперимента. На этом же рисунке изображена схема метода. Отрезки ЭЭГ длительностью 3–20 с, соответствующие решению задач в уме, подвергались спектральному анализу, а именно, вычислению квадратов модуля быстрого преобразования Фурье для каждого канала ЭЭГ в полосе 5–20 Гц. Полученные таким образом единичные спектры (которые являются оценкой

устанавливаемых на время решения паттернов ритмов мозга) были разделены на две выборки: учебную и контрольную. Например, учебная выборка могла состоять из спектров, полученных в начальном эксперименте, в то время как контрольная — из спектров, полученных в отсроченном эксперименте несколько месяцев спустя; либо данные одного дня могли быть случайным образом разделены на две части.

Применялась двухслойная искусственная нейронная сеть (ИНС) типа Перцептрон [25]. На учебной выборке данных сеть научалась различать или два принципиальных класса входных векторов (вербальное и пространственное мышление), или несколько их классов (конкретные виды когнитивных заданий). Обученная ИНС идентифицировала затем единичные отрезки ЭЭГ из контрольной выборки как принадлежащие к одному из рассматриваемых классов, основываясь на ритмических свойствах анализируемых отрезков ЭЭГ. Таким образом, ИНС “распознавала” отрезки и относила их либо к одному из типов мышления (вербально-логическому или пространственному), либо к одному из конкретных видов задач.

Обучение ИНС состоит в настройке весов связей между входным и выходным слоями нейроноподобных элементов. В грубом приближении эти веса можно считать аналогом синапсов в реальных нейронных сетях. Анализируя веса, найденные ИНС на этапе обучения, экспериментатор может видеть, какие ритмические свойства электрической активности мозга являются наиболее специфичными для тех или иных типов умственной активности.

Полученные результаты можно кратко суммировать следующим образом:

- в процессе выполнения когнитивных заданий в электрической активности мозга человека появляются характерные ритмы тета-, альфа- и бета-диапазонов. Совокупность одновременно присутствующих ритмов образует характерный пространственно-частотный паттерн ЭЭГ;
- ритмические паттерны различны для разных типов когнитивной деятельности;
- характерные ритмические паттерны индивидуальны; тем не менее испытуемые разбиваются на группы (типы) по характеру устанавливаемых ритмических паттернов (работы по созданию типологии индивидуальных паттернов продолжаются);
- свойства ритмических паттернов устойчивы во времени, во многих случаях они сохраняются неизменными в течение нескольких месяцев. Каждый раз, когда испытуемый решает задачу определённого типа, в электрической активности

его мозга устанавливается один и тот же пространственно-частотный паттерн;

- паттерны мало зависят от модальности стимулов и степени сложности задания, следовательно, они отображают тип мышления как таковой;
- паттерны могут иметь смешанную природу: в процессе решения пространственной задачи, предъявленной на слух, они способны приобретать свойства обоих типов мышления (вербального и пространственного), поскольку испытуемый слушает и осмысливает вербальную инструкцию до или в процессе решения пространственной задачи;
- в ходе эксперимента показана возможность распознавать тип задачи в процессе её решения на основе анализа ритмических свойств нескольких секунд ЭЭГ (начиная от 3 с), то есть в режиме времени, близком к реальному.

Высокая межиндивидуальная вариабельность электроэнцефалографических признаков типов мышления может быть объяснена тем, что признаки, используемые для классификации/распознавания, соответствуют неспецифическим информационным процессам мозга, таким как направленное внимание, память, эмоциональный статус или мотивация. Привычный для данного лица набор таких сопровождающих процессов позволяет решать знакомую задачу надёжно и стандартным способом.

В последние годы интерес к работам по анализу информационной, содержательной стороны работы мозга по его физиологическим показателям значительно возрос. Эта проблема обозначается как “чтение мозга” (*brain reading*) по аналогии с тем, как человек постигает содержание текста по буквенным символам. Помимо чисто теоретического значения, проблема имеет и практические выходы — при создании более совершенного поколения интерфейсов между мозгом и компьютером.

Большинство работ описывают распознавание категорий предъявляемых стимулов по единичным реализациям сигнала, используя показатели функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) длительностью порядка 20 с с надёжностью распознавания около 90%. Это прежде всего исследования Дж. Хаксби, в которых стимулы предъявлялись зрительно [26], и П. Пьетрини с тактильным предъявлением стимулов [27], а также работы С.В. Шинкарёвой [28]. Однако следует отметить несколько важных отличий наших исследований. Во-первых, мы распознаём не просто восприятие сенсорных стимулов, а типы сложной когнитивной деятельности. Во-вторых, у нас лучшее временное разрешение. Наконец, ЭЭГ несравненно дешевле и доступнее, чем фМРТ, что позволяет рассчитывать на практиче-

ское применение разрабатываемой технологии. Скажем, когда авиадиспетчер следит на экране радара за полётами самолётов и его внимание отвлеклось, система способна сразу это отследить и дать оператору предупредительный сигнал.

Гипотеза биологических основ понимания. Проблема понимания, разрабатывавшаяся ранее преимущественно психологами и философами, приобрела особое значение в связи с исследованиями по созданию искусственного интеллекта. Принято считать, особенно после трудов Р. Пенроуза [29], что компьютер, в отличие от живого мозга, способен только к вычислениям, но не к пониманию. Остаётся загадкой, почему компьютер, совершенное создание человеческого мозга, не способен понимать, в то время как, например, кошка может понимать. Что же может сказать по этому поводу физиолог, претендующий на объяснение происхождения психических феноменов?

Анализируя процесс понимания, можно прийти к выводу, что он базируется на ассоциативном мышлении и способности сравнивать незнакомые явления с уже известными, на возможности группировать сходные объекты, отличая их от других. Может ли компьютер выполнять подобные операции? Ответ очевиден: может — пример в предыдущем разделе. Не значит ли это, что понимание в нашем представлении должно опираться на некоторую более глубокую биологическую основу?

Предлагается гипотеза, согласно которой понимание (а понимание, в сущности, только субъективное чувство, далеко не всегда верное) возникает, когда новая информация соотносится с конкретной жизненной потребностью. Используя терминологию И.П. Павлова, можно сказать, что понимание связано с подкреплением. В естественных условиях животное научается действовать определённым образом, чтобы удовлетворить ту или иную потребность, то есть оно начинает понимать, как достичь желаемого результата. Аналогичный приём используется при дрессировке. По сути, этот же принцип верен и для человеческого общества. Рыночные отношения целиком построены на желании заработать побольше, чтобы всё в большей мере удовлетворять растущие потребности.

В соответствии с одной из базовых теорем математической логики — теоремой Гёделя — невозможно доказать вычислениями правильность основных арифметических действий, например, что $1 + 1 = 2$, хотя для каждого из нас суть такого удвоения очевидна из повседневной практики. Важно, что способность к пониманию этого в эволюции возникает раньше, чем способность к счёту. Так, собака знает всех членов семьи хозяи-

на, отличая их от чужих людей. Ребёнок способен перечислить все свои игрушки, хотя не может их сосчитать.

Говоря о человеческих потребностях, необходимо иметь в виду, что они не ограничиваются простыми биологическими нуждами. Согласно П.В. Симонову [6], у человека, помимо биологических потребностей, есть и потребности социальные (например, занять определённое место в обществе), и идеальные — такие, как потребность познавать.

Итак, подкрепление показывает, является ли поведение правильным или ошибочным. Информация, поступающая по сенсорным путям и извлекаемая из памяти, подвергается в мозге вычислениям, возможно, сходным с теми, которые производит компьютер. Но сведения из мотивационных центров кодируются в мозге иначе. Скорее всего, при этом используется знаковая система координат $+/-$ (полезно/вредно). Сопоставление результатов вычислений с такой оценкой придаёт вычислениям определённый жизненный смысл.

Конечно, эта схема действует лишь в относительно простых случаях. В действительности ситуация обычно столь сложна, что её невозможно просчитать до конца. Поэтому субъект, как правило, должен довольствоваться лишь приемлемой вероятностью удовлетворения потребности, лишь приближением к желанной цели благодаря намечаемым поступкам. Именно этот уровень вероятности и воспринимается как субъективное чувство понимания, которое служит сигналом того, что надо прекратить вычисления и переходить к действиям. Предложенная гипотеза в целом хорошо соотносится с данными о том, что понимание возникает при активации поля ВА11 вентромедиальной орбито-фронтальной коры, связанной с удовлетворением потребности и наградой [30]. Знаменателен и следующий факт: префронтальная кора получает иннервацию и от дофаминэргических подкорковых нейронов. Таким образом, эволюционно наиболее поздний отдел мозга использует, в том числе, и один из наиболее старых медиаторов. Структура, обеспечивающая особенно сложные вычисления, как бы напрямую соотносится с отделами мозга, имеющими отношение к потребностям. Процесс эволюции здесь как бы закольцован. Отметим, что сходные с высказанными нами взгляды развивает У. Фримен [31], утверждая, что естественные вычисления, в отличие от искусственных, всегда интенциональны, направлены на достижение определённой цели.

В соответствии с предложенной гипотезой, для того чтобы создать понимающий компьютер,

необходимо снабдить его потребностями, и как раз на это направлены усилия учёных. Ясно, что это задача далеко не простая. Вряд ли можно считать признаком потребности писк мобильного телефона, когда его батарея разряжена.

В первой части доклада доказывалось, что субъективный опыт возникает в результате информационного синтеза, необходимым компонентом которого являются сведения о значимости сигнала. Тот же принцип, очевидно, применим и к субъективному чувству понимания. Общее правило: психическое возникает на основе синтеза новой информации с памятью и мотивацией.

Можно ли распространить эту формулу и на искусственный интеллект? Полагаю, что да, но вопрос остаётся открытым. Функция сознания — понимать окружающее, чтобы знать, как превратить желания в действия. При решении этой задачи понимающий компьютер мог бы быть не только советником, но и другом.

Завершить выступление я хотел бы выдержкой из стихотворения Фёдора Ивановича Тютчева, которое, мне кажется, близко по своей идее к нашим изысканиям, хотя оно было написано 150 лет назад:

Так связан, съединён от века союзом кровного родства
Разумный гений человека с творящей силой естества.
Скажи заветное он слово, и миром новым естество
Всегда откликнуться готово на голос родственный его.

Работа поддержана программой Президиума РАН “Фундаментальные науки — медицине”; программой Отделения биологических наук РАН; грантами РГНФ (проект № 08-06-00077а) и РФФИ (проекты № 08-04-01629а и № 09-04-12182-офи м).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Chalmers D.J.* Facing up to the problem of consciousness // *Journ. Consciousness Studies*. 1995. № 2.
2. *Павлов И.П.* Объективное изучение высшей нервной деятельности животных. Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности животных. Полн. собр. соч. Т. 3. Кн. 2. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1951. С. 236—250.
3. *Crick F., Koch Ch.* Towards a neurobiological theory of consciousness // *Seminars in the neurosciences*. 1990. № 2.
4. *Penfield W.* *The Mystery of the Mind*. N.Y., 1975.
5. *Damasio A.* *The feeling of what happens. Body and emotion in the making of consciousness*. San Diego—N.Y.—L.: A Harvest Book, 1999.
6. *Симонов П.В.* Лекции о работе головного мозга. Потребностно-информационная теория высшей нервной деятельности. М.: Наука, 2001.
7. *Singer W., Gray C.M.* Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis // *Ann. Rev. Neurosci.* 1995. № 8.
8. *Иваницкий А.М.* Мозговые механизмы оценки сигналов. М.: Медицина, 1976.
9. *Иваницкий А.М.* Информационный синтез в ключевых отделах коры как основа субъективных переживаний // *Журнал высш. нерв. деят.* 1997. № 47.
10. *Иваницкий А.М., Стрелец В.Б., Корсаков И.А.* Информационные процессы мозга и психическая деятельность. М.: Наука, 1984.
11. *Swets Y., Tanner W., Birdsall T.* Decision process in perception // *Psychol. Rev.* 1961. V. 68. P. 15.
12. *Froehlich F.W.* *Die Empfindungszeit: Ein Beitrag zur Lehre von der Zeit-Raum und Bewegungsempfindung*. Jena, 1929.
13. *Beckers G., Homberg V.* Impairment of visual perception and visual short term memory scanning by transcranial magnetic stimulation // *Exp. Brain Research*. 1991. № 87.
14. *Михайлова Е.С., Жила А.В., Славуцкая А.В. и др.* Траектории движения дипольных источников зрительного вызванного потенциала по мозгу человека // *Журнал высш. нервн. деят.* 2007. № 57.
15. *Freeman W.J.* A cinematographic hypothesis of cortical dynamics in perception // *Int. Journ. Psychophysiol.* 2006. № 60.
16. *Fahrenfort J.J., Scholfe H.S., Lamme V.A.F.* The spatiotemporal profile of cortical processing leading up to visual perception // *Journ. of Vision*. 2008. V. 8. P. 1—12.
17. *Эдельмен Дж.* Селекция групп и фазная повторная сигнализация: теория высших функций головного мозга // *Эдельмен Дж., Маунткасл В.* Разумный мозг / Под ред. Е.Н. Соколова. М.: Мир, 1981. С. 68—131.
18. *Edelman G., Tononi G.* *Consciousness. How Matter Becomes Imagination*. L.: Penguin Books, 2001.
19. *Иваницкий А.М.* О книге Джеральда Эдельмана и Джулио Тонони “Сознание. Как материя приобретает способность к воображению” (Gerald Edelman and Giulio Tononi. “Consciousness. How matter becomes imagination”. L.: Penguin Books. 2000) // *Журнал высш. нервн. деят.* 2002. № 52.
20. *Иваницкий А.М., Ильюченко И.Р.* Картирование биопотенциалов мозга при решении вербальной задачи // *Журнал высш. нерв. деят.* 1992. № 42.
21. *Damasio A.* *Descartes’ Error: Emotion, Reason and the Human Brain*. Grosset, Putnam, 1994.
22. *Fink A., Grabner R.H., Neuper C., Neubauer A.C.* EEG alpha band dissociation with increasing task demands // *Cognitive Brain Research*. 2005. № 24.
23. *Иваницкий Г.А.* Распознавание типа решаемой в уме задачи по нескольким секундам ЭЭГ с помощью обучаемого классификатора // *Журнал высш. нервн. деят.* 1997. № 47.
24. *Иваницкий Г.А., Наумов Р.А., Иваницкий А.М.* Технология определения типа совершаемой в уме

- мысленной операции по рисунку электроэнцефалограммы // Технологии живых систем. 2007. № 4.
25. *Иваницкий Г.А., Наумов Р.А., Роик А.О., Иваницкий А.М.* Как определить, чем занят мозг, по его электрическим потенциалам? Устойчивые паттерны ЭЭГ при выполнении когнитивных заданий // Вопросы искусственного интеллекта. 2008. № 1.
 26. *Haxby J.V., Gobbini M.I., Furey M.L. et al.* Distributed and Overlapping Representations of Faces and Objects in Ventral Temporal Cortex // Science. 2001. № 293.
 27. *Pietrini P., Furey M.L., Ricciardi E. et al.* Beyond sensory images: Object-based representation in the human ventral pathway // PNAS. 2004. № 101.
 28. *Shinkareva S.V., Mason R.A., Malave V.L. et al.* Using fMRI brain activation to identify cognitive states associated with perception of tools and dwellings // PLoS ONE. 2008. Is. 1. P. 1394.
 29. *Пенроуз Р.* Тени разума. В поисках науки о сознании. Ч. 1. Понимание разума и новая физика. М.—Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2003.
 30. *Maguire E.A., Frith C.D., Morris R.G.* The functional anatomy of comprehension and memory: the importance of prior knowledge // Brain. 1999. № 22.
 31. *Freeman W.J.* The neurobiological infrastructure of natural computing: intentionality // New mathematics and natural computations. 2009. V. 5. № 1.

МОЗГ И ПАМЯТЬ: БИОЛОГИЯ СЛЕДОВ ПРОШЕДШЕГО ВРЕМЕНИ

ДОКЛАД ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН К.В. АНОХИНА

Науки о мозге занимают важное место в прогрессе человеческого познания. По складывающемуся в последние годы мнению, исследованиям мозга и биологии разума предназначено сыграть в первой половине XXI в. такую же роль, какую в науке второй половины XX в. сыграли исследования генов и химии жизни. Эта аналогия опирается на тот факт, что раскрытие структуры ДНК выступило триггером к объединению биологических наук в прошлом столетии, заложив единую интеллектуальную и методическую основу для генетики и биохимии, вирусологии и микробиологии, иммунологии и нейробиологии, биологии развития и эволюционной биологии, онкологии и многих медицинских наук. Сегодня есть все основания полагать, что наука о мозге обладает аналогичным потенциалом. Постижение высших функций мозга способно сформировать общую естественно-научную платформу для конвергентного развития психологии и философии, лингвистики и антропологии, филологии и педагогики, экономики и юриспруденции, социологии и истории, этики и искусствоведения — всех дисциплин, связанных с изучением процессов и результатов человеческой деятельности. В установлении этих связей между естественными и гуманитарными науками особая роль принадлежит науке о памяти.

НАУКА О ПАМЯТИ

Уникальное место исследований памяти в науках о мозге и разуме определяется тем необычайным диапазоном, которым обладает данная проблема. Рассмотрим лишь два полюса этой шкалы.

В биологии понятие “память” обозначает свойство живых систем сохранять и воспроизводить свои прошлые адаптивные состояния. Способность к обучению и памяти является, по-видимому, общей характеристикой организмов с нервной системой. Она присутствует даже у животных с простейшими сетями нейронов, например, у почвенных нематод *C. elegans*, имеющих всего 302 нервные клетки. Полагают, что простейшие формы памяти — привыкание и сенситизация — возникли у древних кишечнополостных, предков современных *Cnidaria* и *Ctenophora* и эволюционировали в ассоциативную память при цефализации нервной системы у древних *Bilateria*. По мнению некоторых авторов, именно появление обучения и памяти и связанное с этой поведенческой пластичностью освоение новых экологических ниш лежало в основе так называемого кембрийского взрыва, давшего 540–515 млн. лет назад большинство существующих сегодня видов животного царства [1]. Помимо нейробиологической, организмы обладают также иммунологической и эпигенетической памятью. Иммунологическая память, способность иммунной системы отвечать более быстро на антиген, с которым у организма был предварительный контакт, позволяет адаптивно отличать своё от чужого на донервном, молекулярном уровне. Эпигенетическая память отражает ещё более древние процессы — способность клеток сохранять функциональные или структурные состояния в отсутствии первоначально вызвавших их условий. Эта память не только играет ключевую роль в процессах развития и клеточной дифференцировки тканей и систем, включая нервную, но и определяет фенотипическую пластичность организмов, не имеющих