

ИНФОРМАЦИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ ПАМЯТИ

НАУЧНАЯ ПУБЛИКАЦИЯ УДК 57.024:159.91



Светлана Пашкевич,
завлабораторией
нейрофизиологии Центра мозга
Института физиологии
НАН Беларуси,
кандидат биологических наук;
skypasht@mail.ru

Резюме. В статье анализируются результаты исследований процессов формирования памяти на психологическом, психофизиологическом, генетическом и нейрофизиологическом уровнях. Обсуждаются способы улучшения памяти и риски воздействия манипулятивных технологий.

Ключевые слова: информация, память, нейронные сети, нейрогенез.

Носителем информации является любой объект или субъект, который способен ее записывать, хранить, читать, передавать и создавать. Адаптация, биологические ритмы и выживание биологических систем невозможны без приобретения, сохранения, применения и приумножения опыта. Индийские йоги полагают, что наше тело хранит память миллионов лет эволюции [1]. Фактически речь идет о генетической памяти, обеспечивающей передачу наследуемых признаков из поколения в поколение. Эмбрион человека повторяет этапы развития многих живых существ Земли. Гомеозисные гены (hox-гены), которые определяют порядок процессов роста и дифференцировки и кодируют транскрипционные факторы, контролирующие программы формирования органов и тканей, внешнего облика, локализованы в геноме согласно сегментам тела – от головы до брюшка. Они консервативны и, как правило, имеют одинаковый порядок у насекомых, рептилий, млекопитающих [2]. Иммунная память обеспечивает защиту организма от проникновения в него генетически чужеродных тел, неврологическая (нервная) формируется в клетках нервной системы. Предполагают, что во время индивидуального развития 10^{11} нейронов устанавливают свыше 10^{15} синаптических контактов, создавая кластеры, специализирующиеся на обучении и обмене информацией, формируя мыслящий мозг [3].

Накапливая знания, мы передаем их во время общения (а также в генетических кодах), изображаем и храним в виде глиняных табличек, книг, магнитных лент, цифровых носителей, в пространстве облачных технологий и т.д. Человечество обладает уникальным свойством создавать и оживлять память: по ископаемым останкам воспроизводить эпизоды жизни давно ушедших эпох; реставрировать, возрождать памятники искусства и естественные условия окружающей

среды. Информация вокруг нас формирует память, которая дает инструменты познания и преобразования внешнего мира в подобный нашему внутреннему.

К структурам генетической памяти относят центры инстинктивных программ (пищевое поведение, оборона, удовольствие, агрессия, половое поведение, эмоции и эталоны потенциально полезных или опасных образов) таламогипоталамического комплекса. Приобретаемые во время жизни навыки и поведенческие автоматизмы, а также долговременная память, которая является основой интуиции, размещаются в лимбической системе. Гиппокамп является местом кодирования, таламус – переключения и интеграции потоков информации, а кора головного мозга (неокортекс) служит в качестве репозитория для воспоминаний [4–5].

Признак высокого уровня развития цивилизации – внедрение цифровых технологий в разные сферы жизни. С этих позиций выделяют два направления в исследовании мозга. В первом – «киберструктуралисты» пытаются точно воспроизвести структуры реального мозга, чтобы их реализовать в компьютерной модели [6]. Одним из акцентов признаны клеточные популяции гиппокампа. Есть надежда, что, когда разберемся в принципах его работы, сможем понять, что же такое память. Но процессы обновления нервных клеток (нейрогенез) и их связей (синаптическая пластичность) сложно охарактеризовать даже с применением расчетов на основе искусственных нейронных сетей. Развивая второе направление, «киберфункционалисты» не копируют мозг, а моделируют его функции при помощи биоморфных или электронных устройств. По одной из гипотез, разум – это гиперсетевая структура мозга, обладающая когнитивной гиперсетевой функцией – когнитомом [7], аналогично «вавилонской библиотеке» Х.Л. Борхеса.

Начиная с 1960 г. сотрудники Управления перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США анонсировали перспективность исследований в области симбиоза человека и компьютера,

поскольку расширенный интеллект превзойдет по всем параметрам полностью искусственный. Так, компьютерная информация хранится на транзисторах, каждый из которых имеет один бинарный бит с двумя возможными состояниями (0 или 1), из которых только один может быть принят в любой момент. В головном мозге информация формируется в синапсах (местах контактов нервных клеток) благодаря наличию процессов синаптической пластичности. При усилении синаптической передачи (долговременная потенция) нейроны CA1 области гиппокампа получают ~4,7 бит на синапс с 26 различными состояниями [8]. Кроме того, на основе 3D-реконструкции ткани гиппокампа – структуры головного мозга, отвечающей за хранение кратковременной памяти (аналог оперативной памяти у компьютера), в 10% случаев отмечено дублирование связей и контактов нервных клеток, то есть они передают минимум две копии одного и того же сигнала [8]. Таким образом, объем памяти приближается к нескольким петабайтам информации, а сами нейроны гиппокампа сочетают низкий уровень энергопотребления с высокой производительностью.

Наш мозг является самым эффективным устройством для вычислительной работы и хранения памяти. Однако в повседневной жизни этот значительный ресурс люди предпочитают использовать минимально. Вопросы повышения эффективности извлечения информации актуальны для разработки способов контроля и коррекции исполнительного функционирования, познавательных способностей, регулирующих поведение, для повышения концентрации внимания при выполнении текущих задач. Для этого осуществляют поиск безопасного избирательного влияния на некоторые сигнальные пути в мозге, включая передачу нейромедиаторов и нейротрофических факторов. Значительными темпами развиваются процессы перемещения памяти на внешние носители, создается и познается искусственное (виртуальное) пространство, или дополненная реальность.

Делегирование функции памяти вовне (человеческим, бумажным или электронным ресурсам) сопровождается развитием принципиально новых и утратой прежних, сложившихся в процессе онто- и филогенеза, закодированных в генах и т.д. способностей у человека. Организация систем обработки и использования информации вне центральной нервной системы фактически приводит к созданию единого информационного



**В СРЕДНЕМ В ПАМЯТИ ЛЮДЕЙ
СОХРАНЯЕТСЯ НЕ БОЛЕЕ 20% ПЕРВОНАЧАЛЬНО
ВОСПРИНЯТЫХ ИМИ ДАННЫХ**



пространства – коллективной памяти – заключенной в технологиях экзокортекса [9]. Например, частью экзокортекса является смартфон, который находится рядом с нами 24 часа в сутки. Доступ в Интернет позволяет расширять возможности памяти, оптимизировать, ускорять принятие решений и отслеживать их выполнение. Таким образом, ИТ-экзокортексы становятся частью нашего головного мозга и вопросы инвазивности или неинвазивности этих интерфейсов перестают волновать человечество. Мысли и действия людей – производные информации, поэтому технологические данные сегодня полагают составляющей общества, подобной генетической в биологии [10]. Доступ к безграничной памяти, вычислительным способностям и навыкам оперативной коммуникации, в том числе модификации и на генетическом уровне, приведет к появлению индивидов с непревзойденным интеллектом и, как следствие, к разделению человеческой популяции. Обмен информацией характеризуется компрессией времени и пространства, соответственно, претерпевают изменение и пространственно-временные факторы в человеческих взаимоотношениях. Происходит конвергенция телесного и цифрового планов бытия. Если мы сможем стать едиными с нашим электронным мозгом, насколько далек или близок тот день, когда будут решены проблемы ухудшения или утраты интеллектуально-мнестических способностей?

Все сложнее становится понять мудрость древних «*Tantum scimus, quantum memoria tenēmus*» («Мы знаем столько, сколько удерживаем в памяти»). Индивидуум может обладать памятью всего человечества, но воспользоваться базой данных могут только те, кто знает, надежна ли эта информация и как максимально точно ее не просто воспроизвести, а применить для решения практической задачи.

Значимое место в нейробиологических исследованиях памяти занимают процессы запоминания (кодирования), хранения, воспроизведения (извлечения и актуализации) и забывания (стирания) информации. При анализе ее формирования выделяют два подхода: психологический (установление закономерностей на психофизиологическом уровне) и психофизиологический (с построением модели из нейроноподобных элементов). В общем виде психофизиологический анализ отражен в схеме «человек – нейрон – модель» [4].

Архивация информации происходит в виде автобиографической (эпизодической), семантической (смысловой) и процедурной памяти в произвольной

или произвольной форме. В основе и линейных, и ассоциативных механизмов работы памяти лежит способность устанавливать взаимосвязи и классифицировать их для оптимального и эффективного извлечения по запросу. Например, закономерности процессов ассоциативной памяти (адресация по содержанию) применяют для запуска детекторов частиц в Большом адронном коллайдере [11].

Выделяют три уровня памяти: иконическую, кратковременную и долговременную [4]. Формирование последней предполагает смысловую переработку данных и их обобщение, при этом сохраняются многие детали восприятия, которые актуализируются в ответ на поиск нужной информации. Мы имеем значительные различия в способах получения понятных для нас данных. В зависимости от разных типов сенсорных систем, которые при этом играют ведущую роль, выделяют зрительную, слуховую, тактильную, обонятельную, вкусовую и цифровую память. Как правило, человек может запомнить 8 десятичных знаков, 7 букв, расположенных не по алфавиту, 4–5 цифр, 5 синонимов.

Иконическая (сенсорная) память сохраняет полный образ предмета (0,1–0,5 с, емкость 4 ± 1 элемента). После однократного восприятия объекта могут сформироваться эйдетические образы (*фотографическая* память с пожизненным периодом хранения). Распознавать речь или определять нахождение источника звука позволяют механизмы *эхоической* памяти. Ее образы хранятся дольше, чем зрительной, в течение 2–3 с после краткого слухового стимула, что позволяет воспринимать слова, а не отдельные звуки. *Эмоциональная* память прочно закрепляется в деталях и воспроизводится за секунды в зависимости от наличия эмпатии, или способности к сопереживанию, умению чувствовать других людей. *Кратковременная* память не полностью фиксирует отображение предмета, события, явления (5–60 с, емкость 7 ± 2 элементов), а при отсутствии команд о приоритетности не сохраняется. Как правило, память тем надежнее, чем большими затратами (времени, ресурсов, внимания и др.) сопровождается процесс ее формирования.

Исследование закономерностей процессов запоминания позволяет применять их с целью создания технологий творческого долголетия. Так, установление, что непрерывное и последовательное предъявление новой информации способно переполнить индивидуально ограниченный объем кратковременной памяти. Это приводит к вытеснению или замещению

недавно поступивших на хранение новых знаний. В среднем в памяти людей сохраняется не более 20% первоначально воспринятых ими данных [12]. Расширить объем *механической* произвольной памяти (3–4 несвязанных элемента запоминаются мгновенно) можно, структурируя материал путем временного кодирования информации (запоминаемый материал отражается в виде определенных последовательно расположенных символов в слуховой или зрительной системе человека). *Оперативная* память (от 40 минут до нескольких суток) избирательна, хранит только необходимый объем для достижения конкретной цели, и продолжительность ее можно задать произвольно (сдать экзамен и забыть навсегда). Далее она вытесняется более актуальной информацией либо становится долговременной. Иногда невозможно что-то вспомнить, но мы «чувствуем», что знаем, и проводим рекурсивный процесс воспоминания, при этом последовательные паттерны, извлекаемые из памяти, становятся ближе, но не достигают цели [12]. В попытках извлечения информации оптимально на время отложить задачу и мнемоническую активность сменить на физическую. Критерием успешности сохранения информации является воспроизведение (припоминание, воспоминание, представление) [4]. Определены два типа обработки воспоминаний: имплицитные (бессознательные) и эксплицитные (осознаваемые). Сразу после обучения мы «по инерции» продолжаем применять (тренировать) новые знания и профессиональные и физические навыки в небезопасных или неподходящих ситуациях. Ситуационный и/или социальный конфликты снижают успешность процессов формирования памяти, поскольку потенциально включают неблагоприятный опыт [4, 12].

В принципе, любая информация, которую мы фиксируем дольше одного часа, становится *долговременной* памятью [4]. Ночной сон необходим для переработки воспринятого, что и совершается во время увеличенной парадоксальной фазы сна, а поиск ответов на вопросы осуществляется в стадии сна с быстрым движением глаз. Время консолидации (гипотетический процесс, наблюдаемый сразу после образования начальной памяти и отражающий формирование и стабилизацию памяти) составляет в среднем от 15 с до 30 мин, при этом воздействие на нейроны сопровождается возбуждением, процессами синаптической пластичности и избирательным синтезом рибонуклеиновой кислоты. Поэтому при усвоении разной информации

необходимы минимальные перерывы длительностью в среднем 15 минут.

В первые часы после обучения увеличивается синтез белков, которые повышают эффективность передачи возбуждения, кроме того, синтезируются гормоны и нейропептиды, влияющие на ДНК и РНК ядер нейронов [3]. При формировании долговременной памяти задействуются и эпигенетические механизмы посттрансляционной модификации гистонов и метилирования ДНК на разных этапах хранения памяти, сопровождающиеся изменением хроматина и индукции или репрессии генов, вовлекаемых в обучение [13]. Изучают пептиды для улучшения запоминания, забывания, привыкания, узнавания, раздваивающие личность испытуемого, обладающие эффектом временного кодирования. Белковые молекулы живут в среднем всего несколько суток. Механизм их локального самовоспроизведения позволяет сохранять память в течение многих лет. Одной из молекул долговременной памяти полагают фермент протеинкиназы М ζ [14]. В процессе реконсолидации (дестабилизации памяти при напоминании и отражении возможности изменения консолидированной памяти) эта молекула и ее гомологи стабилизируют процесс воспроизведения информации. Модификацию памяти связывают с разрушением этого белка молекулой монооксида азота (NO). Монооксид азота в низких концентрациях активирует синтез белков, а в больших – их нитрозилирует: блокада синтеза нитроксида блокирует реконсолидацию, то есть не позволяет стереть память, в ситуации переучивания убирает старую информацию и позволяет хранить необходимые нам знания [3]. Нейроны, содержащие синтазу NO, выявляются еще в эмбриональном периоде, и, как полагают, монооксид азота может инициировать разветвление растущих аксонных и дендритных веточек, стимулировать образование шипиков и синапсов (материальный субстрат памяти). Значительную часть NO в процессе нитрификации мы получаем от наших симбиотных бактерий, живущих в ротовой полости, на коже, в желудочно-кишечном тракте [3, 15–16]. Рост активности аргиназы (катализирует гидролиз L-аргинина, субстрата для синтеза NO, до L-орнитина и мочевины) в клетках иммунной системы (микроглии) в областях головного мозга, отвечающих за процессы формирования памяти, сопровождается развитием симптомов болезни Альцгеймера [17].

Принято считать, что на клеточном уровне память кодируется в виде энграмм («внутренняя запись») [4].

Это специфические и устойчивые образования между нервными клетками. В принципе, каждое событие во времени кодируется группой нейронов только при укреплении их синаптических связей. Образующиеся в синапсах молекулярные, биохимические и биофизические изменения, преобразования и ультраструктурная их перестройка являются материальным субстратом для хранения следов памяти.

Нейронная сеть работает по принципу «кто выигрывает, тот забирает все». Например, когда две разные группы нейронов задействованы в передаче разнотной информации о внешнем мире, результирующее восприятие часто соответствует информации, получаемой только от одной группы, которая активирована сильнее, чем другая. Воспоминания о множестве событий могут быть закодированы одной нейронной сетью, а одно воспоминание может затрагивать взаимодействие множества нейронных популяций [18]. Подавляющее большинство этих закодированных переживаний (или воспоминаний) «очищаются», и лишь небольшая часть в конечном итоге сохраняется. Следовательно, чем быстрее забывается ненужное, тем лучше запоминается важное и актуальное.

Новые нейроны генерируются в гиппокампе на протяжении всей жизни. Поскольку новые клетки интегрируются в его нейронные сети, они обязательно реконструируют существующую схему. Это ремоделирование может ухудшить память, уже сохраненную в этих цепях (или, по крайней мере, сделать их трудными для доступа) [19]. Одним из мест локализации новых нейронов, образовавшихся в процессе нейрогенеза у взрослых особей, являются нервные цепочки зубчатой извилины [19]. Направление дифференцировки и миграции определяют сигналы от микроокружения. Они реконструируют нейронные сети, что потенциально затрудняет доступ к информации, хранящейся в них. Установлено, что увеличение нейрогенеза гиппокампа после обучения побуждает как выучить новую, так и забыть недавно полученную информацию, включая контекстуальную память о страхе. Так, животные с простимулированным нейрогенезом начинают хуже выполнять некоторые задания, в частности те, для выполнения которых нужно было вспомнить некоторые детали из прошлых попыток. Продemonстрировано, что хемогенетическое торможение дорсальных нейронов гиппокампа нарушает поиск недавних, но не удаленных по времени контекстных воспоминаний о страхе у мышей-самцов [20]. Установлено,

что подавление нейрогенеза ухудшает способность животных к обучению, а стимуляция – улучшает [21].

Аэробные упражнения способствуют увеличению объема и улучшают функцию гиппокампа и коры головного мозга, обеспечивают нейропротекторный эффект при нейродегенеративных нарушениях. Физическая активность увеличивает нейрогенез гиппокампа у взрослых мышей, а вызванное бегством увеличение нейрогенеза приводит к забыванию о контекстуальном страхе и негативных пространственных воспоминаниях [22]. Возможно, желание убежать – это один из механизмов активного влияния на процесс забывания. Кроме того, фармакологические (например, мемантин, флуоксетин) и генетические (условные делеции р53 из нервных предшественников) манипуляции, искусственно повышающие нейрогенез в гиппокампе, когда они производятся после физической нагрузки, также ухудшают процессы воспоминания. Стресс сопровождается снижением скорости нейрогенеза, что не позволяет своевременно очищать память гиппокампа для кодирования новых воспоминаний [23].

Установлена важная роль метаболизма в активации покоящихся нейральных стволовых клеток (НСК), поскольку фармакологическое торможение (малонил-CoA) и условная делеция гена, кодирующего пальмитил-CoA-трансферазу I *in vitro* и *in vivo*, сопровождается изменением процессов образования новых нейронов [21, 24]. Разработка специальных диет представляет собой новый подход к оптимизации процессов нейрогенеза при заболеваниях, для которых характерно снижение репаративного потенциала стволовых клеток в стареющем мозге, а также ухудшение или потеря памяти [25].



ФАЛЬШИВЫЕ СТАТЬИ ОТ ИМЕНИ НАУЧНОГО КОЛЛЕКТИВА, АНКЕТИРОВАНИЕ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ПЕРСОНАЛЬНОГО РЕЙТИНГА, БЛИЗОСТЬ ВНЕДРЕМОГО ВОСПОМИНАНИЯ К НАШЕМУ КУЛЬТУРНОМУ ОПЫТУ И УРОВНЮ ИНТЕЛЛЕКТА – ВСЕ ЭТО, ЗА РЕДКИМ ИСКЛЮЧЕНИЕМ, ФОРМИРУЕТ У НАС ЛОЖНЫЕ ВОСПОМИНАНИЯ, А СЛЕДОВАТЕЛЬНО, И НОВУЮ ЛИЧНОСТЬ

Таким образом, определили, что забывание повышает гибкость и адаптивность памяти посредством уменьшения влияния устаревшей информации на принятие решений, которые могут быть основаны на неприятных воспоминаниях, и предотвращает влияние прошлых событий на систематизацию, обобщение новой информации и когнитивный контроль (способность мозга находить решения в новых, неожиданных ситуациях). Гораздо приятнее и продуктивнее общение с людьми, которые забывают личностные обиды, а не поддерживают их в актуальном состоянии. Исходя из этого, полагают, что биологическим смыслом памяти является не передача информации во времени как таковая, а оптимизация процесса принятия решений в динамично изменяющихся условиях внешней и внутренней среды [26].

То есть важнее не сама память, а умение оперативно и эффективно применять знания. Схематично: организм при оценке экономики некоторой единицы информации находит ее бесполезной (отсутствие запросов на воспроизведение), достаточно быстро поток ресурсов для ее сохранения прекращается. Физиологической основой процессов забывания является торможение временных нервных связей (при этом они не исчезают полностью) [18], иначе в мозге формируется очаг устойчивой доминанты, не только снижающий адаптационный резерв, но и потенциально формирующий условия роста и развития опухолей [27] или нейродегенеративных и нейровоспалительных заболеваний [22].

С развитием технологий манипуляции сознанием в терапевтических (фобии, посттравматический шок), управленческих или коммерческих целях [12, 28] разрабатывают способы формирования памяти о событиях, которые не существовали. Наиболее действенен «эффект дезинформации»: формулировка имеет значение. Он основан на знании о том, что наши воспоминания никогда одинаково не воспроизводятся, а процесс реконсолидации нестабилен, значит, может быть скорректирован. С этой целью с помощью факторов окружающей среды, изменения газового состава, фармакологических агентов и иных воздействий на органы сенсорного восприятия, а также когнитивных технологий (вопросов и наводящих слов) провоцируют заданное воспоминание и/или воспоминание, ранее не принадлежавшее субъекту. Ложная память успешно детализируется, и даже в большей степени, чем настоящая, приобретает эмоциональную окраску. Особенно часто практикуют манипуляции

с информацией из детства. Нам сложно определить временные периоды прошлого, мало кто их помнит детально. Рассказ человека, «которому можно доверять», социологический опрос, компьютерное тестирование (бесплатно на любом сайте) «компетентно» убеждает и заставляет поверить во что угодно, вплоть до наличия у нас фобий, определенной потребности в чем-то или ком-то, желания поделиться финансами и т.д. Это происходит вопреки протестам и доводам близких людей и родственников (к ним снижена критичность). Фальшивые статьи от имени научного коллектива, анкетирование с определением персонального рейтинга, близость внедряемого воспоминания к нашему культурному опыту и уровню интеллекта – все это, за редким исключением, формирует у нас ложные воспоминания, а следовательно, и новую личность [28].

Поскольку человек никогда в своей эволюционной истории не жил так долго, никогда ранее не получал доступ к неограниченному объему информации, исследования процессов формирования памяти приобретают актуальность с позиций биологической и экономической безопасности. С этой целью в мире начата разработка систем кибербиобезопасности применительно к биологическим и биомедицинским системам [9–10]. ■

Статья поступила в редакцию 06.11.2018 г.

SUMMARY

The study of memory formation processes on the psychological, psychophysiological, and genetic neurophysiological levels in article are analyzed. Ways to improve memory and the risks of manipulative technology are discusses.

Keywords: information, memory, neural networks, neurogenesis.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Васудев Дж. Внутренняя инженерия. – М., 2018.
2. Brauchle M., Bilican A., Eyer C. et al. Xenacoelomorpha Survey Reveals That All 11 Animal Homeobox Gene Classes Were Present in the First Bilaterians // *Genome Biol. Evol.* 2018. Vol. 10 (9). P. 2205–2217.
3. Балабан П.М. Молекулярные механизмы модификации памяти // *Журнал высшей нервной деятельности*. 2017. Т. 67, №2. С. 131–140.
4. Кляцки Р.Л. Память человека. Структуры и процессы. – М., 1978.
5. Hwang K., Bertolero M.A., Liu W.B., D'Esposito M. The Human Thalamus Is an Integrative Hub for Functional Brain Networks // *J. Neurosci.* 2017. Vol. 37 (23). P. 5594–5607. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0067–17.

Полный список литературы размещен на сайте

 http://innosfera.by/2018/12/memory_formation