

## **Нейробиологические основы долговременной памяти и формирования навыка**

Проблема формирования навыка имеет междисциплинарный характер и в современной науке рассматривается исследователями с позиций разных подходов, интеграция которых в изучении этого вопроса на сегодняшний день является недостаточной. Тем не менее, потребности прикладных наук в условиях неуклонного роста информатизации общества и темпа жизни современного человека диктуют необходимость более точного описания сложных механизмов этого явления, что преследует ряд целей:

1. Обеспечение условий, при которых навык может формироваться максимально быстро.
2. Разработка конкретных подходов в структуре наук и обучающих практик, обеспечивающая наиболее длительное и точное сохранение наработанных умений.
3. Снижение влияния фактора старения на обучаемость.
4. Обеспечение наиболее длительного сохранения уже имеющихся и возможности формирования новых навыков при патологических состояниях головного мозга, сопровождающихся когнитивными расстройствами, например, при деменции, что, по сути, будет являться одним из механизмов ее лечения.

Прежде всего, необходимо определиться с предметом обзора. Навык представляет собой последовательность действий, как правило, целенаправленного характера, доведённую в процессе научения до стадии автоматизма. То есть это именно приобретённое, а не врождённое автоматизированное умение, формирующееся в активном процессе обучения. Очевидно, что в основе любого навыка лежит способность нервной системы организма формировать долговременную (вплоть до пожизненной) сенсомоторную память. Долговременную память принято разделять на два вида: декларативную (эксплицитную) и процедурную (имплицитную). При этом двигательный навык относится ко второму виду [марков]. Очевидно, что в большинстве процессов научения у человека задействованы оба типа с постепенным смещением в процессе закрепления информации в сторону процедурной памяти, то есть бессознательного или автоматического выполнения выученных действий (Андерсон, 2002).

Можно выделить, по крайней мере, пять уровней, с позиции которых в настоящее время рассматриваются вопросы долговременной памяти и формирования навыков: молекулярный, клеточный, уровень мозговых структурно-функциональных образований (нейроанатомический), нейропсихологический и педагогический.

Одним из основных открытий нейронаук о памяти на молекулярном уровне стало понимание того, что для длительной фиксации информации, мозговым элементам необходим синтез новых молекул (так называемых, «белков памяти»), что, безусловно, требует активизации детерминирующих их образование ядерных структур (генетического материала). Это выглядит обоснованным с биологической точки зрения, ведь гены представляют собой универсальные депо информации об индивиде, которая тянется из глубины веков. Кратковременное хранение в новом синтезе не нуждается, возможно, по причине стремления биологических систем к экономии времени и энергии. Было

установлено, что в основе как кратковременной, так и долговременной памяти лежит один и тот же механизм – усиление активности нейронных связей, которые структурно представлены синапсами. Информация в головном мозге кодируется не только частотой и амплитудой нейронных потенциалов действия, но и межнейронными связями, формирующими функционально нагруженные группы клеток. Это объясняет то, что для сохранения информации, очевидно, необходима реверберация (циркуляция) возбуждения с определёнными характеристиками в определённых нейронных цепях, что обеспечивает «выживаемость» информации во времени. Однако для того, чтобы какие-либо конкретные связи между нейронами были активны в течение некоторого времени, синапсы между такими клетками должны быть «усилены» [Филдс]. С этого начинаются различия между механизмами кратковременной и долговременной памяти. Как указывает Д. Филдс, при недолгом удержании в памяти каких-либо событий, активированные этой информацией синапсы «сенситизируются» за счёт частого прохождения через них сигналов, что делает их более восприимчивыми к последующим возбуждающим влияниям, локально повышая эффективность синаптической передачи. Это выражается в том, что в ответ на прохождение следующих стимулов в синапсе будут возникать более сильные отклонения потенциала. Очевидно, что повышенная частота прохождения импульсов – явление временное, зависящее, в первую очередь, от длительности и интенсивности воздействия внешних раздражителей, несущих информацию, которая удерживается в мозге, и именно поэтому через некоторое время после прекращения действия этого раздражителя, сенситизация нейронной связи закономерно ослабевает и, как следствие, информация надолго не сохраняется.

Иначе обстоят дела при длительной фиксации информации. Для этого в мозге созданы молекулярные механизмы, обеспечивающие локальное повышение эффективности синаптической передачи на долгое время. Как раз эти механизмы и связаны с безусловно энергозатратными процессами синтеза «молекул памяти». В последние годы было показано, что длительная и интенсивная, и, что не менее важно, неоднократно повторяющаяся входящая синаптическая стимуляция нейрона, приводящая к его активации определённым образом за счёт эпизодического повышения в теле клетки концентрации ионов кальция. По видимому, так на субклеточном уровне реализуются знакомые каждому с начальной школы или с ещё более раннего возраста условия закрепления информации надолго («повторенье – мать ученья»). При этом распределение пиков концентрации кальция в клетке во времени отражает временной код активизирующих нейрон входящих импульсов, что запускает каскад внутриклеточных реакций с участием большого количества молекул, которые способствуют активации только тех генов, что соответствуют «прочитанному» нейроном временному коду. Одной из наиболее известных на сегодняшний день молекул, участвующих в процессах перехода информации в долговременную память, является транскрипционный фактор CREB [Josselyn et al., 2002], активирующийся за счёт фосфорилирования его ферментами протеинкиназами, которые оказываются активными при определённой концентрации кальция в нейроне. Функция CREB состоит в том, чтобы, связавшись в ядре клетки с молекулой ДНК, запустить транскрипцию соответствующих генов, на основании которых будут образованы белки – дальнейшие участники биохимического каскада реакций перехода кратковременной памяти в долговременную. При этом транскрипция приводит к синтезу молекул, важность которых в формировании долговременной памяти известна

учёным со второй половины прошлого века. Речь идёт о матричной РНК (мРНК), несущей информацию от конкретного гена. По более ранним представлениям, мРНК каким-то образом имела непосредственное отношение к длительному хранению воспоминаний, поскольку было обнаружено, что блокирование транскрипции ДНК в мРНК или трансляции мРНК в соответствующий белок на рибосомах в цитоплазме нейронов приводит к нарушению долговременной памяти, но совершенно не затрагивает кратковременную. Однако в последнее время представления несколько изменились, и матричной РНК отводится важная, но промежуточная роль в процессе закрепления воспоминаний. Эта молекула в дальнейшем на рибосомах нейронов транслируется в белки, которые распространяясь по дендриту, определённым образом на длительный срок повышают его чувствительность к поступающему возбуждению (то есть «усиливают» синапс). При этом подобной трансформации подвергаются только те синапсы, которые в момент синтеза данных белков находились в активированном состоянии (то есть поддерживали кратковременную память). Таким образом, в отличие от недолгого удержания информации, где основная роль принадлежит функциональной нагруженности конкретных синапсов, долговременная память связана с их структурной трансформацией, что и обеспечивает более длительный период повышенной чувствительности соединения между нейронами.

Исследования на клеточном уровне также привели к значительному прояснению того, как выглядит формирование долговременных воспоминаний в мозге. Было обнаружено, что упомянутая выше структурная трансформация синапсов имеет не только качественное, но и количественное выражение, заключающееся в увеличении числа контактов между нейронами, вовлечёнными в процесс запоминания. Эти контакты называются дендритными шипиками. Эксперименты на данную тему были проведены на животных, однако полученные результаты, по мнению авторов, могут быть экстраполированы на всех млекопитающих. Выяснилось, что в процессе приобретения какого-либо двигательного навыка в пирамидных нейронах коры головного мозга происходит увеличение количества межклеточных контактов, другими словами, нейроны как бы «расширяют сферу влияния». И происходит это за счёт того, что на дендритах образуются новые отростки, способные воспринимать сигнал от соседних клеток. Эти отростки или области контакта были названы дендритными шипиками. При этом количество вновь образованных в процессе обучения шипиков находится в прямой корреляционной связи с эффективностью обучения. По-видимому, синапс образованный шипиком, будет более эффективным передатчиком сигналов, чем какое-либо другое соединение, например, контакт аксонной терминали и тела нейрона. Можно попытаться объяснить данное явление тем, что в районе шипика формируется контакт, имеющий строго «подобранную» площадь и узко специализированный под актуальную на данный момент и наделённую определёнными характеристиками импульсацию. Это, очевидно, обеспечит максимальную точность и эффективность проведения электрического сигнала, то есть быстрое и точное воспроизведение действий, составляющих навык. При этом было обнаружено, что после завершения процесса обучения в коре млекопитающих происходит постепенное отмирание подавляющего большинства вновь образованных дендритных шипиков. И по истечении некоторого времени остаётся менее 1% из них, однако эта малая доля сохраняется на всю жизнь. И это, по всей видимости, тоже представляет собой нейробиологическую основу процесса «оттачивания» навыка, когда обучение идёт

методом проб и ошибок, осуществления большого количества лишней активности и энергозатрат, которые в процессе повторения постепенно исчезают, оставляя на всю оставшуюся жизнь только тот точный набор действий, который ведёт к достижению результата. Также было обнаружено, что чем быстрее утрачиваются старые дендритные шипики, то есть связанные с наличием какого-то прошлого навыка, тем эффективнее идёт процесс научения новому. И эти данные также создают основу для известного в педагогике факта, что переучивание – это более длительный и трудоёмкий процесс, чем научение заново.

Исследования последних лет обогатили науку знаниями о том, как осуществляется функция памяти в мозге на уровне его структурно-функциональных образований. И множество учёных сходятся во мнении, что одной из наиболее важных структур в головном мозге, обеспечивающих формирование долговременных воспоминаний является лимбическая система, и в особенности, одна из ее частей – так называемый гиппокамп. Гиппокамп – это филогенетически древнее образование головного мозга, располагающееся в медиальных частях обеих его височных долей. В процессе длительных исследований (с середины прошлого века), в том числе, связанных с патологическими состояниями и нейрохирургическими вмешательствами при них у людей, было открыто, что гиппокамп является не столько хранителем долговременных воспоминаний, сколько специфическим передатчиком, который переводит информацию из кратковременной памяти в долговременную (то есть осуществляет консолидацию). Последняя хранится в других отделах головного мозга, связанных с гиппокампом (например, сенсорная или моторная кора) и отвечающих за операции с этой информацией. Это стало понятно, когда медики заметили, что пациенты с повреждённым или удалённым гиппокампом преставали формировать новые навыки и долговременные воспоминания, при этом совершенно не утратив ранее наработанный опыт. То есть при том, что сохранилась давно приобретённая информация, обучаемость стала невозможной. Таким образом, гиппокамп является важнейшей структурой, которая активно участвует в определённом отборе воспоминаний для сохранения, по всей видимости, на основании уровня их биологической (или, как указывают некоторые авторы [Величковский], личностной) значимости, осуществляет их обработку и проецирует в соответствующие зоны коры или подкорки. Существуют исследования [Ращ, 2007], которые указывают на то, что в активный процессинг гиппокамп особенно вовлечён во время фазы медленного сна (и это в большей степени касается декларативной памяти). В это время в его нейронных цепях происходит активное «прокручивание» последовательности усвоенных в состоянии бодрствования импульсов, что закрепляет описанные выше связи между нейронами за счёт многократной реверберации возбуждения. С укреплением моторных навыков (процедурная память) принято связывать фазу быстрого сна.

Как уже было сказано, декларативная память хранится в тех отделах мозга, которые ответственны за осознанное восприятие и осознанное воспроизведение информации, поэтому в неё вовлечены преимущественно корковые концы анализаторов. А процедурная память, являющаяся по большей части бессознательной, хранится не только в корковых отделах больших полушарий (моторная кора), но в подкорковых образованиях, особенно важным из которых является отдел базальных ганглиев, называемый стриатумом. Этот участок мозга является ключевым образованием в

структуре экстрапирамидной системы, которая ответственна за произвольный контроль движений, осуществление автоматизированных двигательных актов. При прямом или опосредованном нарушении функции стриатума развиваются так называемые экстрапирамидные расстройства (например, при хорее Гентингтона, болезни Паркинсона, лекарственном паркинсонизме и пр.), характеризующиеся с большим трудом или вовсе не поддающимися волевому контролю двигательными нарушениями. Преимущественная функция стриатума в сохранении долговременных моторных воспоминаний в этом свете представляется обоснованной, поскольку уход последовательности действий из-под сознательного контроля (автоматизация) является необходимым и определяющим этапом приобретения навыка. Важными структурами в обеспечении его формирования, кроме моторной коры и базальных ганглиев, являются также мозжечок и миндалина. Последняя тесно связана с эмоционально насыщенными аспектами воспоминаний, особенно с тревогой и гневом.

В этот обзор не входит задача рассмотрения нейро-психологического и педагогического уровней, на которых были получены важнейшие знания о вопросе формирования навыка задолго до успехов наук о биологии мозга. Однако следует подчеркнуть огромный вклад в изучение этой темы работ советского учёного Н.А. Бернштейна, который сформулировал свой уровневый подход к проблеме приобретения навыков ещё в конце первой половины прошлого века [Бернштейн, 1947].

В процессе изучения иностранных языков, без сомнения, участвуют все виды памяти, при этом в качестве конечной цели обучения преследуется формирование перцептивной (восприятие речи на слух и чтение) и сенсомоторной (разговорная речь и письмо) имплицитной долговременной памяти. Очевидно, что для скорейшего и наиболее эффективного достижения этого результата активность преподавателя и студента с самых ранних периодов обучения должна быть в большей мере направлена на использование методик, активирующих именно этот тип памяти. А это, как указывалось выше, на мозговом уровне будет представлено установившимися на всю жизнь межнейронными связями в отделах головного мозга, ответственных за осуществление автоматизированных актов. Но на деле ситуация выглядит несколько иным образом. Как указывает Б. Величковский, «как правило, обучение иностранным языкам в школе представляет собой чрезвычайно медленный и неэффективный процесс. Согласно британским данным, даже лучшие учащиеся не способны выучить в этих условиях более 4 слов за урок, а около 25% учащихся обычно вообще не запоминают ни одного» (Величковский, 2006). Возможно, такое положение вещей связано с системой преподавания, либо вообще не вовлекающей долговременную память (например, однократный контроль домашнего задания по усвоению новых слов), либо ориентированной на её декларативный тип (заучивание отдельных, оторванных от контекста слов или «зубрёжка» правил грамматики, которой посвящается чрезмерное время). При этом живое и непринуждённое общение (пусть и не без ошибок) учеников с преподавателем или друг с другом практически невозможно по различным причинам (страх перед оценивающим преподавателем, авторитарный стиль ведения занятия, опасения студентов сделать ошибку, отсутствие мотивации к изучению языка у учеников, отсутствие мотивации у преподавателя и пр.). Однако именно такой стиль построения занятия может способствовать постепенной выработке именно процедурной памяти, то есть, по сути, устойчивого навыка. При этом особую важность

приобретает наличие у преподавателя естественного носительства изучаемого языка, поскольку скорость и эффективность обучения, как было показано выше, зависят от быстроты образования новых межнейронных связей и их структурно-функциональной точности (с целью достижения которой и формируются дендритные шипики). Точность образования перцептивной имплицитной памяти (при восприятии иностранной речи преподавателя), и как следствие, сенсомоторной имплицитной памяти (при бессознательном копировании этой речи во время разговора студента на иностранном языке) будет формироваться за счёт отточенно естественной (являющейся отражением очень давно сформированного навыка у самого учителя) преподавательской речи.

Упомянутый выше Б. Величковский, опираясь на труды американской исследовательницы М. Кай, работавшей со студентами, изучавшими, однако, не иностранный язык, а физиологию, по всей видимости, экстраполируя полученные данные на процесс обучения любому предмету, пишет, что «лучшим предиктором успешности обучения были вопросы и замечания студента по поводу собственных знаний. Иными словами, для обучения важна метакогнитивная активность студента, провоцируемая общением как таковым и направляемая в определенное русло совместным предметом обсуждения».

Таким образом, в результате обзора можно заключить, что, только основываясь на научном подходе, в том числе на основании нейробиологических открытий, нужно создавать специфические условия обучения, которые могут привести к совершенно конкретным нейробиологическим структурно-функциональным трансформациям в головном мозге на различных его уровнях, и будут направлены большей частью на формирование имплицитной долговременной памяти. И это является залогом достижения устойчивого результата.