

Механизмы памяти (запоминание, забывание, «торможение»)

Итак, мы увидели, как может образоваться элемент памяти типа «если действует фактор1, то действует и фактор2». Запоминание происходит за счёт того, что между возбуждёнными логическими элементами может установиться логическая связь. Хотя факторы, вызвавшие возбуждение нейронов, могли действовать не вполне одновременно, сами нейроны после воздействия на них этих факторов пребывают в возбуждённом состоянии некоторое время ($T_{\text{актив}} = \text{время возбуждения}$), так что возбуждённость соседствующих нейронов пересекается во времени. То есть, имеется такой промежуток времени, когда оба соприкасающихся нейрона, между которыми возможно установление связи, одновременно находятся в возбуждённом состоянии. И вот, когда у возможной связи между двумя элементами возбуждены обе стороны, эта связь может образоваться. Тем самым, посредством установления гальванической связи, произойдёт запоминание логической связи между двумя событиями, которые объединяет то, что они произошли примерно в одно и то же время, в пределах пересечения времен активации этих нейронов. Конечно, такой механизм установления связей не обеспечивает самого эффективного отображения логических связей между событиями в окружающем мире из-за возможности установления связи в одном из двух возможных направлений, как показано ниже, но зато отображает их самостоятельно, **без какого бы то ни было внешнего вмешательства**, и достаточно успешно!

Как можно реализовать такое установление связи исключительно между парами возбуждённых нейронов технически? Принципиальная часть этого вопроса очень проста. А вот практическая реализация упирается в высокие технологии. Хотя принципиальное решение этого вопроса позволяет легко провести компьютерное моделирование процесса установления связей между нейронами. Но как же именно можно это сделать не программным путём, а созданием модели «в железе»?

Решение может быть следующим: пусть некоторое подмножество логических элементов-нейронов на отдельном участке мозга располагается так, что их входы-выходы находятся в механическом контакте, и между ними может установиться гальваническая связь. Каждый нейрон в спокойном (невозбуждённом) состоянии на входах (дендритах) и на выходе (аксоне) имеет потенциал, условно равный 0. А возбуждённый нейрон имеет потенциалы на выходе $U_{\text{out}} (>0)$ и на входе $U_{\text{in}} (<0)$ такие, что $\Delta U = U_{\text{out}} - U_{\text{in}} = |U_{\text{out}}| + |U_{\text{in}}| > U_{\text{cf}}$ (напряжения пробоя). Но по отдельности $|U_{\text{out}}| < U_{\text{cf}}$ и $|U_{\text{in}}| < U_{\text{cf}}$. Здесь U_{cf} есть разность потенциалов, при превышении которой происходит установление связи между точками с такой или большей разностью потенциалов. Скажем, происходит электрический пробой с установлением на месте пробоя долговременной электрической связи со сравнительно малым начальным электрическим сопротивлением r_{cf} (Рис 9).

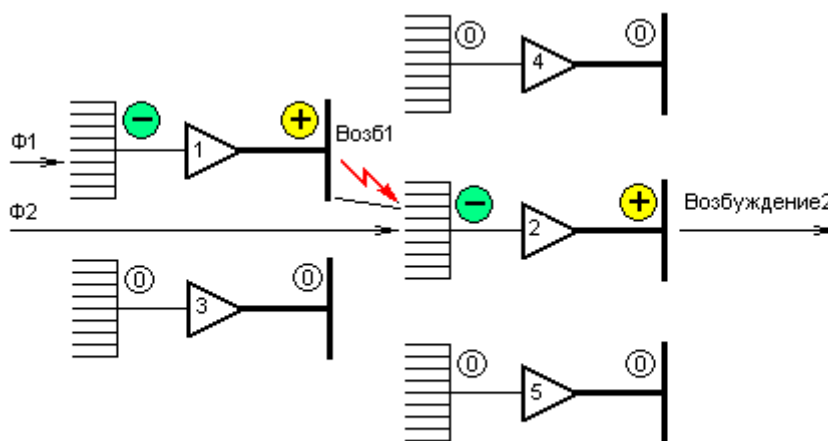


Рис 9.

Установление связи между двумя возбуждёнными нейронами (пробой)

В этом случае между выходом одного возбуждённого нейрона и входом другого возбуждённого нейрона установится постоянная связь на всю оставшуюся жизнь. Возможно, что сопротивление этой связи медленно увеличивается со временем $t_{cf} \rightarrow R_{cf}$. С другими же нейронами, не возбуждёнными в данный момент, связь установиться не может. Из-за того, что разности потенциалов недостаточны для пробоя!

Так что посредством связи, установившейся таким вот образом между двумя возбуждёнными нейронами, у нас, действительно, будет происходить запоминание того знаменательного факта, что в какой-то момент времени одновременно оба нейрона находились в возбуждённом состоянии. И на огромном количестве (порядка $1.5 \cdot 10^{14}$) таких простейших связей построена наша личность, кажущаяся неисчерпаемой по богатству восприятия и накопленным знаниям.

Понятно, что связь между двумя нейронами по какой-то причине может распасться – произойдёт полное забывание. Эта связь может разрушиться механически – разрыв. Может «умереть» один из связанных нейронов. Если связь между нейронами осуществляется электрическим способом, то для забывания достаточно изменения электрических характеристик этой связи, например, уменьшения проводимости. Если связь химического типа, то для ее прекращения достаточно изменений химических характеристик. И так далее. Ослабление связи соответствует более трудному вспоминанию.

Несколько сложнее, чем с забыванием, обстоит дело с так называемым торможением, проявляющимся в изменении поведения организма, в изменении рефлексов организма в ответ на изменения внешних обстоятельств. Когда возникает необходимость изменить поведение – подавить рефлекс, приводившие до изменения обстоятельств к положительным результатам, заменить их на другие, соответствующие новым обстоятельствам. То есть, переучиться. В настоящее время господствует мнение, что торможение представляет собой процесс, отличающийся от запоминания и противоположный ему – имеющаяся связь подавляется, причём на уровне отдельного логического элемента – нейрона. Предполагается, а иногда даже утверждается без достаточных оснований, что каждый нейрон имеет два типа входов: возбуждающие данный нейрон и препятствующие возбуждению данного нейрона, то есть, «тормозящие», подавляющие возбуждение. Отметим, что, на самом деле, подавление старых рефлексов экспериментально наблюдалось только на уровне поведения организма в целом, а не на уровне подавления возбуждения отдельного нейрона путём подачи сигнала на «тормозящие» входы нейрона. Поэтому утверждение о наличии «тормозящих» входов у каждого отдельного нейрона не имеет под собой экспериментального обоснования.

Однако для объяснения результирующего «торможения» существовавшего до того рефлекса достаточно существования всего лишь одного процесса – запоминания посредством установления связей с уменьшающимися со временем весами. Просто вновь образованные, и поначалу более весомые и более значимые, связи срабатывают быстрее, чем постепенно ослабевающие старые, давно образованные, опережая их на принципах конкуренции. Таким образом существовавший до того старый рефлекс вытесняется, но не подавляется, образованным параллельно ему новым рефлексом, более результативным в данный момент для организма. По этой же причине и вспоминаем мы недавние события, произошедшие минутой, час, день назад, гораздо легче, чем те, что произошли год назад. Новые связи более сильны, чем старые, поскольку новые имеют большую проводимость и больший логический вес!. Поэтому впоследствии, при прочих равных условиях, первыми успевают сработать именно самые новые связи, не затрагивая и не изменяя старые, которые со временем ослабевают сами по себе. А нейроны со старыми входными связями (старые рефлекс), несколько запоздав, уже не смогут сработать, поскольку потенциалы выходов нейронов предыдущих каскадов успеют несколько «подсесть» под влиянием уменьшения потенциалов нагружающих входов быстрее возбуждённых нейронов с новыми, более сильными связями. Уменьшение со временем весов связей между нейронами обеспечивает не только непосредственно забывание, но и способность организма к переучиванию, к изменению

поведения организма в изменяющихся условиях.

Такое положение дел может иметь место, когда в качестве веса связи на возможность активации следующего нейрона влияет электрическая проводимость данной связи (входа). Если проводимость связи со временем уменьшается (увеличивается ее сопротивление), причём без влияния каких бы то ни было внешних воздействий, то активировать нейрон через эту связь становится все труднее. По этой причине вспоминать старое всегда труднее, чем новое. Для воспоминания старого события одной старой связи уже не хватает для превышения порога возбуждения, поэтому требуются дополнительные возбуждающие связи – ассоциации. То же самое касается и рефлексов. Это преимущество новых связей ошибочно воспринимается, как принудительное изменение уже существующих старых связей, прямое их подавление. Хотя, на самом деле, прямое подавление совсем необязательно. «Результатирующее подавление» старых связей может быть обеспечено большей силой новых связей на фоне постепенного ослабления старых, что и приводит к срабатыванию в первую очередь недавно сложившихся рефлекторных цепочек, а не ослабевших старых. Таким вот образом, за счёт забывания, уменьшения со временем веса связей, автоматически обеспечивается возможность «переучивания» – изменения поведения организма при изменении обстоятельств. Диапазон переучивания – от изменения рефлексов до смены мировоззрения.

В связи с подавлением, «торможением» рефлексов можно упомянуть шуточное высказывание, что невозможно не думать о белой обезьяне. На самом деле, мы, конечно, легко уходим от темы белой обезьяны, но не через попытки прямо подавить эту мысль, а просто подумав о чем-то другом: о зеленых лесах, о синих морях, о белых снегах или, в крайнем случае, о рыжей обезьяне. На этом примере ясно видно, что для ухода от старых представлений, мыслей, рефлексов достаточно того, чтобы появились новые представления, мысли, рефлексы, которые поначалу наиболее сильны. И поэтому нет необходимости в прямом подавлении, «торможении» старых рефлексов. А природа вынуждена быть экономной. Поэтому явление, которое сегодня трактуется как отдельный процесс – торможение, противоположный процессу первоначального возникновения рефлексов, скорее всего, представляет собой процесс возникновения конкурирующих новых, и потому более сильных связей-рефлексов на фоне ослабления старых связей, уменьшения их значимости.

Как можно реализовать уменьшение со временем проводимости связей между нейронами технически? Похоже, что природа решила эту задачу следующим образом: аксон (выход логического элемента – нейрона) по ходу жизни удлиняется, обрастая все новыми контактами-связями с дендритами соседствующих нейронов. Понятно, что аксон растет в некоем выделенном направлении. Это направление может быть выделено разными полями и процессами: направлением предыдущего роста аксона, силой тяжести, биохимическими градиентами, потоками питательных и отработанных веществ, электрической активностью, или их комбинациями, или какими-то другими воздействиями. Скорее всего, направление роста аксона определяется, в основном, электрической активностью старых и вновь образовавшихся связей между нейронами.

Новым связям легче образоваться именно на кончике аксона – там и оболочка аксона тоньше, и напряжение пробоя меньше, и проводимость образовавшихся связей выше. Тогда как ранее установленные связи со временем приобретают все большее электрическое сопротивление – зарастают жирком-миелином по мере удаления от сегодняшнего дня – от кончика аксона, вернее, по мере продвижения кончика аксона, на связях с которым и фиксируются текущие события, от событий минувших дней к событиям сегодняшним и далее. Поэтому для воспоминания сегодняшнего события, т.е. для активации нейрона через свежие связи, достаточно подачи возбуждающих сигналов на 1 - 2 таких только что задействованных входа, имеющих пока максимальный вес. Для воспоминания относительно недавнего события через слегка устаревшие связи с уменьшившимся весом необходима активизация уже 3 - 5 входов (ассоциаций). Тогда как для воспоминания очень давнего события – возбуждения соответствующего нейрона – может понадобиться активизация 100

или даже более сильно ослабевших входных связей. По той причине, что сумма вкладов сигналов стандартного уровня (стандартных на выходах нейронов предыдущих каскадов), поступающих на вход логического элемента через множество ослабевающих со временем связей с уже большим сопротивлением должен быть достаточен для превышения порога возбуждения. Но даже сотни сигналов стандартного уровня, поступающих через входные связи на суммирующий вход логического элемента с его определённым входным сопротивлением, может не хватить для превышения порога возбуждения из-за того, что эти стандартные сигналы приходят через входные связи с очень высоким сопротивлением (с малым весом).

Возможно, рост аксона и изменение веса связей с другими нейронами стимулируется именно при его возбуждении (активации). Рост аксона в ходе жизни позволяет также довольно легко отсортировать воспринимаемые впечатления во времени.

В подтверждение сказанного можно сослаться на следующее: из лабораторных наблюдений над мозгом животных известно, что в процессе жизнедеятельности нервные волокна «прорастают» сквозь отростки других нейронов. Причём у молодых животных это прорастание происходит более активно, чем у старых [6]. А значит, легче устанавливаются новые связи, лучше работает память. Это уменьшение проводимости связи со временем по мере роста нейрона легко промоделировать на компьютере, уменьшая со временем логический вес каждой связи вплоть до нуля. А вот, если поставить перед собой задачу реализации ИМ на уровне работающих электрических схем, то как реализовать это увеличение сопротивлений схемотехнически «в железе»?