

### 6.2.3. Запоминание.

Робин Вэнс (Robin Vance) и Кара Валин (Kara Wahlin) дают классификацию типов памяти и соотносят их с областью мозга и определенной группой нейронов. Они определяют виды памяти следующим образом: “Виды памяти – это группы, связанных между собой нейронов, которые выстреливают вместе, чтобы раскрыть информацию”<sup>1</sup> (Vance, Wahlin, 2008: 159).

Вэнс и Валин описывают типы памяти согласно латерализации (зависимости от правого или левого полушария). Они приписывают (1) внутреннюю или неосознаваемую память правому полушарию и (2) внешнюю или осознаваемую память - левому полушарию, а также выделяют типы памяти, для которых нужны (3) оба полушария. Существует также категоризация памяти на (4) кратковременную память, долговременную память и рабочую память.

За извлечение из памяти отвечает дорсолатеральная префронтальная кора, а за усвоение через восприятие – затылочная и теменная кора. Ниже

---

<sup>1</sup> “Memories are groups of interlinked neurons that fire together to reveal information”.

приводятся основные положения из описаний этих видов памяти (Vance, Wahlin, 2008).

(1) Внутренняя или неосознаваемая память правого полушария управляет нашими действиями, реакцией и ответом тела с небольшим осознанием или без осознания вообще. Для кодирования или извлечения она не требует осознанного усилия.

К этому типу памяти относятся *эмоциональная память, автобиографическая память, эпизодическая память, визуально-пространственная память, память привычек.*

*Эмоциональная память* поддерживается амигдалой, гиппокампом и медиальной префронтальной корой. *Автобиографическая память* (главные события, относящиеся к себе лично, подтип эпизодической памяти) и *эпизодическая память* (когда произошло событие, которое стало личным опытом, а до этого могло быть просто семантическим фактом, т.е. человек знал об этом, скажем, из книг) поддерживаются орбитофронтальной корой и гиппокампом.

*Визуально-пространственная память* поддерживается гиппокампом и средней частью височной доли.

*Память привычек* основывается на работе дорсального стриатума. Исследования показывают, что свои воспоминания, вызванные эмоционально заряженной литературой, заставляют взволнованного читателя резонировать когнитивно или эмоционально с мышлением автора (Vance, Wahlin, 2008). С другой стороны, произведение искусства может быть интерпретировано по-разному, так как оно вызывает разные формы эмоциональной памяти.

(2) Внешняя или осознаваемая память левого полушария – это *семантическая память и вербальная память.*

За *семантическую память*<sup>2</sup> или память о фактах (факты, концепты, верования, социальная история и традиции безотносительно к личному опыту) отвечают гиппокамп и префронтальная кора. (Де)Кодирование происходит через дорсолатеральную префронтальную кору. *Вербальная память* связана с областью Вернике и областью Брока, а вербальная рабочая память еще и с гиппокампом и медиальной височной корой.

(3) *Моторная память и поведенческая память* вовлекают оба полушария. *Моторная память* – это память тела на движения, где главную роль играют теменная кора, соматосенсорная и моторная полоски коры. *Поведенческая память* базируется на работе базальных ганглиев и моторной коры.

(4) Существует также категоризация памяти на *долговременную память, кратковременную память и на рабочую память.*

Кратковременная память, долговременная память и рабочая память - разные виды памяти и могут регулироваться разными мозговыми структурами. *Кратковременная память* не требует производства протеина, как

---

<sup>2</sup> Некоторые исследователи выделяют декларативную память, включающую семантический и эпизодический типы памяти, так как оба типа памяти содержат знания, которые могут быть рассказаны, декларированы.

долговременная память, и она основывается на функциональных связях нейросетей (Vance, Wahlin, 2008).

*Рабочая память* – является функцией трех различных функционирующих компонентов. Первый компонент - это фонологическая петля (произношение отдельных звуков, остатки слухового лингвистического материала); второй компонент - визуально-пространственный блокнот изображений, основывающийся на визуальных и пространственных репрезентациях; и третий компонент - эпизодические буферы, использующие информацию, хранящуюся в долговременной памяти.

Рабочая память сильно страдает от стресса, так как она может быть заблокирована постоянным выделением кортизола при стрессе, который уменьшает объем гиппокампа (Vance, Wahlin, 2008; Elzinga and Roelofs 2005; Sapolsky, 2004a). Чрезмерное возбуждение амигдалы также препятствует рабочей памяти.

Нейроученые-материалисты считают, что запоминание и забывание объясняются работой нейронов. Процесс запоминания служит для консервации энергии организма: формируются модели поведения, нужные для определенной ситуации, и самые оптимальные модели запоминаются и используются в аналогичных ситуациях (Carr, 2008a). Активация нейронов зависит от поступления глюкозы и кислорода из близлежащих клеток и кровяных сосудов. При частом стимулировании нейрона, его дендриты разрастаются, и увеличивается количество рецепторов, способных принимать химическое вещество (нейромедиатор), выделяющееся в синаптическую щель при возбуждении нейрона. Принцип возбуждения нейрона основывается на достаточном количестве возбудительной силы. Если силы недостаточно, то возбуждения не происходит. Способность нейрона возбудиться зависит от количества рецепторов и нейромедиатора для этих рецепторов. Нейронные сети организуются в соответствии со специфическими функциями нейромедиатора (для каждого рецептора – свой нейромедиатор<sup>3</sup>). Действие нейромедиатора усиливается (или уменьшается) под влиянием присутствующего при этом нейромодулятора и (или) гормона. Нейромодулятор, гормон и нейромедиатор вносят свой вклад в процесс запоминания и интеграции опыта организма. Связи между нейронными сетями формируются особенно усиленно в период развития ребенка. После того, как связи сформировались, и нейроны в нейросетях запомнили свою работу, при этом в определенных местах начали выделяться химические вещества, отменить или изменить привычную схему работы уже трудно. Нейросети будут стремиться воспроизвести такой же паттерн активации, когда возникают похожие обстоятельства. Только когда нейросеть формируется при неопределенной ситуации, то есть когда конечный результат все время разный, то нейросеть остается способной к обучению и функционированию по-новому (Carr, 2008a). Это ведет к синаптической пластичности (нейропластичности), процессу, который требует реорганизации нейросетей для того, чтобы обеспечить нужную работу в

---

<sup>3</sup> Нейромедиатор, или другое название в литературе – “нейротрансмиттер”. Описание работы синапса и нейромедиаторов в главе 1, часть I.

новых условиях. Другими словами, нейросеть либо формируется при неизвестности результатов и новой ситуации, используя все время обратную связь (ей необходимо понять, что есть оптимально в данной ситуации, и в случае подтверждения успеха через обратную связь, мозг запоминает свою реакцию), то есть нейросеть еще учится, либо существует другой вариант - нейросеть работает автоматически, бессознательно, проецируя сложившиеся отношения и нейросвязи на саму ситуацию (при этом не предполагается корректировка через обратную связь, так как нейросеть уже выучила урок и изменять свою работу не хочет, ей так привычней и легче работать) (Carr, 2008a).

*Долговременное запоминание* зависит от двух типов рецепторов на постсинаптической мембране.

Первый тип рецепторов реагирует на главный возбуждательный нейромедиатор мозга – глутамат в обычном для нейрона режиме при последовательности “стимул – реакция”.

Второй тип рецепторов - NMDA-рецепторы - сопротивляется активации от обычного стимула. Только при достаточном повторении и интенсивной стимуляции с помощью глутамата, NMDA-рецепторы увеличиваются в числе и снижают порог активации (их легче активировать от малейшего стимула), и они становятся очень быстрыми и надежными реагирующими агентами (Carr, 2008a). Дендриты с NMDA-рецепторами усиливают активность между нейронами, создавая нейросети, которые легче активировать, причем по скорости и надежности активации NMDA-рецепторы превосходят первый тип рецепторов. Благодаря скорости и активности NMDA-рецепторов такая нейросеть легче обеспечивает себя энергией и выживанием. Она дольше работает, и отсюда у человека сохраняются воспоминания на долгое время.

Глутаматовые нейропути связывают гиппокамп, амигдалу и префронтальную кору с прилежащим ядром (nucleus accumbens) - центром удовольствия в мозге. (Carr, 2008a; Cauli and Morelli 2005). Эти структуры важны для запоминания и усвоения. Если человек получает удовольствие и ему интересно, он запоминает быстрее. Познавательная деятельность необходима для стабилизации психики человека.

Однако ненормально длительное глутаматовое стимулирование изменяет концентрацию кальция и калия внутри нейрона и снаружи нейрона, приводя к повреждению нейрона или смерти от токсичных (отравляющих) условий при чрезмерной активации. Такой токсикоз при возбуждении усиливается во время таких болезненных состояний как травма, депрессия, беспокойство, шизофрения, амнезия, эпилепсия, болезни Хантингтона, Паркинсона и Альцгеймера, СПИД, деменция (слабоумие) (Carr, 2008a). Для того, чтобы предотвратить токсичное возбуждение, должен быть быстрый и достаточный обратный захват глутамата. Соседствующие и поддерживающие клетки глии – астроциты (основная функция - снабжение глюкозой и кислородом) обычно убирают токсичные вещества (Carr, 2008a).

Для памяти важна работа гиппокампа. Длительная депрессия воздействует на гиппокамп, он уменьшается в размере, и происходит забывание на

синаптическом уровне (Carr, 2008a). Нейросети забывают свой выученный урок и начинают работать, как если бы нуждались в обратной связи, чтобы подтвердить необходимость так действовать. Былые связи теряются с годами или в течение несколько часов. Синаптическая память, сформированная в результате механизма долговременной памяти или депрессии, оставляет свой либо возбуждающий, либо тормозной след с помощью выделения соответствующего нейромедиатора (Carr, 2008a; Sheng, Kim, 2002). Carr выделяет около 50 различных нейромедиаторов, способствующих различным типам психосоциального поведения (Carr, 2008).

Дуглас Филдз (Douglas Fields) описывает механизм нейрозапоминания следующим образом (Филдз, 2004). Уже в 1960-х гг. стало известно, что чтобы запустить синтез белков (создание новых рецепторов для усиления синапса) требуется активация генов в ядре нейрона, а для активации генов требуются электрохимические сигналы от удаленных участков клетки. При этом гены направляют свой ответ обратно в отростки клетки. Информация о людях, месте, событиях (декларативная память) должна пройти через гиппокамп перед тем, как она будет “записана” в коре больших полушарий. Запоминание происходит тогда, когда у нервных клеток повышается эффективность синапсов (связей между двумя нейронами). При формировании кратковременной памяти эффект длится минуты или часы. При формировании долговременной памяти синаптическая связь усиливается надолго. Если синапс работает с высокой частотой (хотя и недолго), то он повышает свою эффективность, и в ответ на последующие стимулы в нем будут возникать более сильные отклонения потенциала. Такое временное усиление синаптической связи формирует кратковременную память. Для долговременной памяти требуется долговременное усиление связи, для которого постсинаптическая клетка должна выработать специальные белки, усиливающие синаптическую связь. Эти белки участвуют в формировании новых добавочных рецепторов, изменяя постсинаптическую мембрану в синапсе, а также могут влиять на пресинаптическую клетку.

Итак, гены принимают участие в превращении памяти из кратковременной в долговременную через синтез новых белков. Эксперименты с животными показали, что их обучение требует синтеза новых белков в мозге в течение нескольких первых минут тренинга, иначе информация в памяти впоследствии будет утрачена. Сильная или повторяющаяся стимуляция временно усиливает синаптическую связь, и в ядро посылается приказ сохранить информацию. Чтобы усилить синаптическую связь, необходимо активировать белок под названием CREB<sup>4</sup>, который активирует определенные гены, запуская их транскрипцию в матричную РНК, которая покидает ядро (Филдз, 2004). То есть, чтобы произвести новый белок,

---

<sup>4</sup> CREB (cAMP response element-binding protein) - транскрипционный фактор. CREB связывается с определёнными последовательностями ДНК, регулируя (усиливая или ослабляя) транскрипцию соответствующих генов.

участок ДНК<sup>5</sup>, находящийся в клеточном ядре, копируется на молекулу матричной РНК (мРНК<sup>6</sup>), которая затем входит в цитоплазму клетки, где специальные клеточные органеллы считывают закодированные в ней инструкции и затем синтезируют молекулы белка. Белки воздействуют только на синапс и временно повышают его эффективность при воздействии исходного стимула (Филдз, 2004). Было обнаружено, что если заблокировать процесс транскрипции ДНК в мРНК или трансляции мРНК в белок, то долговременная память не формируется, хотя кратковременная память от этого не пострадает.

Развивающийся мозг имеет сначала лишь грубую приблизительную схему связей, запрограммированную генами. Затем, благодаря личному опыту, молодой мозг сохраняет самые эффективные связи, а ненужные - утрачиваются.

Когда потенциал на клеточной мембране достигает критического уровня, клетка разряжается потенциалом действия, и кальциевые каналы начинают открываться на какое-то время. Потоки ионов кальция, втекающие в нейрон по этим каналам, с каждым нервным импульсом переводят электрический процесс в преимущественно химический процесс: нейромедиаторы и нейромодуляторы начинают принимать участие в процессе. Филдз обнаружил, что нельзя представить путь от клеточной мембраны до ДНК в виде одной простой последовательности химических реакций, так как на каждом этапе, начиная со входа кальция через мембрану, важны временные параметры реакции, от которых зависит, какой именно сигнальный путь достигнет ядра (Филдз, 2004). Филдз заметил, что одни сигнальные пути отвечали быстро и тут же возвращались в исходное состояние. Это означало, что они реагировали на высокочастотные залпы потенциалов действия, но не могли поддерживать постоянную активацию, если вспышки импульсов прерывались длительными паузами (Филдз, 2004). Другие же пути передавали сигналы медленно и не могли ответить на быстрые залпы импульсов. Когда они все же активировались, они были способны сохранять активность между залпами импульсов, разделенными длительными промежутками покоя (Филдз, 2004). Активация генов будет ответом на не часто, но регулярно поступающие стимулы. Филдз пришел к заключению, что сигналы с разными временными паттернами распространялись по разным путям, которые были настроены именно на них и, в конечном счете, управляли различными транскрипционными факторами и генами (Филдз, 2004). Измерения показали, что CREB быстро активировался потенциалами действия, но медленно инактивировался после того, как стимуляция нейрона прекращалась. Филдз пришел к выводу, что CREB, очевидно, способен сохранять активацию между повторяющимися залпами импульсов, разделенными интервалами в 30 и более минут, такими же промежутками бывают разделены повторы, необходимые для обучения новым навыкам или для запоминания новых фактов (Филдз, 2004).

---

<sup>5</sup> ДНК - дезоксирибонуклеиновая кислота.

<sup>6</sup> мРНК - матричная рибонуклеиновая кислота.

Увеличение эффективности синапса после высокочастотной стимуляции называется длительной потенциацией (ДП). Филдз обнаружил, что если после высокочастотной стимуляции изредка подавать тестирующие импульсы, то потенциал, возникающий в синапсе, будет постепенно уменьшаться и спустя несколько часов вернется к своему исходному значению (Филдз, 2004). Это временное повышение эффективности синапса называется ранней ДП и может служить клеточной моделью кратковременной памяти (Филдз, 2004). Если ту же самую высокочастотную стимуляцию подавать повторно, то возникает устойчивое повышение эффективности синапса, которое называется поздней ДП, при этом стимулы нельзя подавать сразу друг за другом, так как нейроны должны иметь достаточно длительный период покоя между своими залпами. Филдз обнаружил на клеточной модели, что кратковременная память не связана с ядром, в то время как долговременная зависит от него (Филдз, 2004). Таким образом, происходит следующая цепочка событий согласно Филдзу: сначала стимул, затем возникновение синаптической связи между двумя нейронами, затем в результате активизация белка CREB происходит активизация гена в ядре клетки нейрона, затем транскрипция определенного гена в матричную РНК. После чего мРНК покидает ядро и идет в цитоплазму клетки. Затем органеллы в цитоплазме нейронной клетки транслируют мРНК в белки. Эти новые белки распространяются по мембране отростков клетки в виде рецепторов и усиливают синаптическую связь от данного стимула. Чем больше рецепторов, способных принять нейромедиатор, тем сильнее синапс. Так возникает запоминание.

Стимул => синаптическая связь между нейронами => активизация белка CREB => CREB активирует ген в ядре клетки нейрона => транскрипция гена в мРНК => мРНК покидает ядро => мРНК в цитоплазме клетки нейрона => органеллы в цитоплазме клетки транслируют мРНК в белки => новые белки идут в отростки нейрона => образуются новые рецепторы на мембране постсинаптического нейрона => рецепторы постсинаптического нейрона могут принять больше нейромедиатора из пресинаптического нейрона => усиление синапса => долговременная память.

Если Филдз изучает события, связанные с памятью на клеточном уровне, то Голдберг исследует процесс запоминания, изучая работу полушарий. Голдберг считает, что обработка нового и старого различается по полушариям: правое занято обработкой новой информации, а левое полушарие - когнитивной рутинной (Голдберг, 2003). Традиционная нейропсихология подразумевает, что у всех людей функциональная топография мозга одинаковая, но Голдберг утверждает, что это противоречит здравому смыслу: неискушенные в музыке люди воспринимают музыку больше правым полушарием, а профессиональные музыканты – по большей части левым. Аналогично этому, незнакомые лица распознаются больше правым полушарием, а знакомые лица - больше левым полушарием. Однако новизна и рутина относительны во времени, так как то, что было новым, становится рутинной через некоторое время. Поэтому

Голдберг предполагает, что динамика процесса заключается в постепенном сдвиге от правого к левому полушарию. Благодаря массивным пучкам волокон (мозолистому телу и комиссурам), соединяющим два полушария, информация перетекает из одной половины в другую, причем как вербальная, так и невербальная (Голдберг, 2003). Такой сдвиг, как и профессиональная принадлежность и весь предшествующий жизненный опыт, вносит определенную проблему при сканировании мозга и связывании психических процессов с активацией определенных структур мозга. Кроме этого затруднения, существуют еще и индивидуальные различия. Голдберг также указывает на то, что внутренние модели развиваются в обоих полушариях интерактивно, а не просто сразу переносятся из одного полушария в другое, и скорости их формирования различны по полушариям, по стадиям и по индивидуальным особенностям познавательной деятельности. Все это влияет на переход из новизны в рутину и на процесс запоминания.

## Библиография

- Carr, R. (2008a) "Neurotransmitters, Neuromodulators and Hormones: Putting It All Together" in Noah Hass-Cohen and Richard Carr (eds.) *Art Therapy and Clinical Neuroscience*, London and Philadelphia, Jessica Kingsley Publishers: 76-91.
- Elzinga, B.M., Roelofs, K. (2005) "Cortisol-induced Impairments of Working Memory Require Acute Sympathetic Activation" in *Behavioral Neuroscience*, 119 (1): 98-103.
- Sapolsky, R. (2004a) "Stressed-out Memories: A Little Stress Sharpens Memory. But After Prolonged Stress, the Mental Picture Isn't Pretty" in *Scientific American Mind*, 14(5): 28-34.
- Vance, R., Wahlin, K. (2008) "Memory and Art" in Noah Hass-Cohen and Richard Carr (eds.) *Art Therapy and Clinical Neuroscience*, Jessica Kingsley Publishers, London: 159-173.
- Голдберг, Э. (2003) *Управляющий мозг: Лобные доли, лидерство и цивилизация*, Москва, Смысл.
- Филдз, Д. (2004) "Как сохранить воспоминания" *В Мире науки*, № 8.