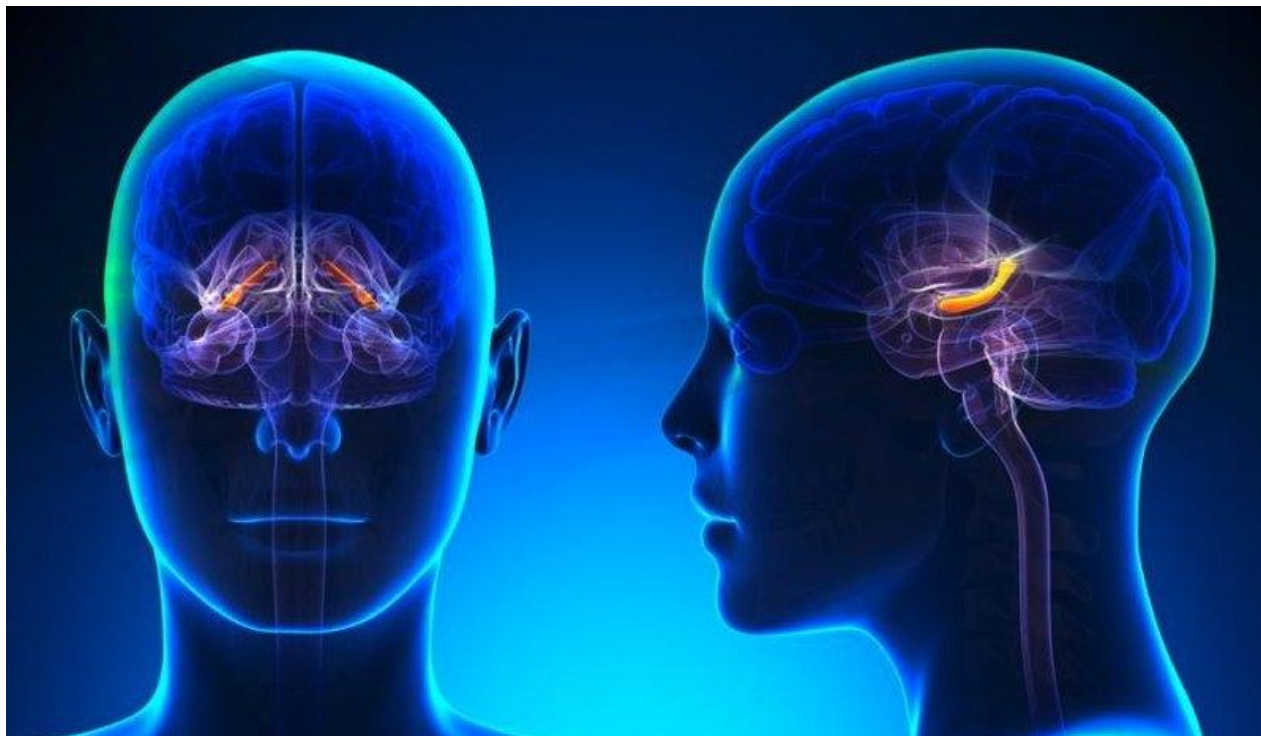


## Как работает человеческая память: одна из главных научных проблем.

Павел Балабан



*Загадка человеческой памяти — одна из главных научных проблем XXI века, причем разрешать ее придется совместными усилиями химиков, физиков, биологов, физиологов, математиков и представителей других научных дисциплин. И хотя до полного понимания того, что с нами происходит, когда мы «запоминаем», «забываем» и «вспоминаем вновь», еще далеко, важные открытия последних лет указывают правильный путь.*

На сегодняшний день даже ответ на базовый вопрос — что собой представляет память во времени и пространстве — может состоять в основном из гипотез и предположений. Если говорить о пространстве, то до сих пор не очень понятно, как память организована и где конкретно в мозге расположена. Данные науки позволяют предположить, что элементы ее присутствуют везде, в каждой из областей нашего «серого вещества». Более того, одна и та же, казалось бы, информация может записываться в память в разных местах.

Например, установлено, что пространственная память (когда мы запоминаем некую впервые увиденную обстановку — комнату, улицу, пейзаж) связана с областью мозга под названием гиппокамп. Когда же мы попытаемся достать из памяти эту обстановку, скажем, десять лет спустя — то эта память уже будет извлечена из совсем другой области. Да, память может перемещаться внутри мозга, и лучше всего этот тезис иллюстрирует эксперимент, проведенный некогда с цыплятами. В жизни только что вылупившихся цыплят играет большую роль импринтинг — мгновенное обучение (а помещение в память — это и есть обучение). Например, цыпленок видит большой движущийся предмет и сразу «отпечатывает» в мозге: это мама-курица, надо следовать за ней. Но если через пять дней у цыпленка удалить часть мозга, ответственную за импринтинг, то выяснится, что... запомненный навык никуда не делся. Он переместился

в другую область, и это доказывает, что для непосредственных результатов обучения есть одно хранилище, а для длительного его хранения — другое.

### **Запоминаем с удовольствием**

Но еще более удивительно, что такой четкой последовательности перемещения памяти из оперативной в постоянную, как это происходит в компьютере, в мозге нет. Рабочая память, фиксирующая непосредственные ощущения, одновременно запускает и другие механизмы памяти — среднесрочную и долговременную. Но мозг — система энергоемкая и потому старающаяся оптимизировать расходование своих ресурсов, в том числе и на память. Поэтому природой создана многоступенчатая система. Рабочая память быстро формируется и столь же быстро разрушается — для этого есть специальный механизм. А вот по-настоящему важные события записываются для долговременного хранения, важность же их подчеркивается эмоцией, отношением к информации.

На уровне физиологии эмоция — это включение мощнейших биохимических модулирующих систем. Эти системы выбрасывают гормоны-медиаторы, которые изменяют биохимию памяти в нужную сторону. Среди них, например, разнообразные гормоны удовольствия, названия которых напоминают не столько о нейрофизиологии, сколько о криминальной хронике: это морфины, опиоиды, каннабиноиды — то есть вырабатываемые нашим организмом наркотические вещества. В частности, эндоканнабиноиды генерируются прямо в синапсах — контактах нервных клеток. Они воздействуют на эффективность этих контактов и, таким образом, «поощряют» запись той или иной информации в память. Другие вещества из числа гормонов-медиаторов способны, наоборот, подавить процесс перемещения данных из рабочей памяти в долговременную.



Механизмы эмоционального, то есть биохимического подкрепления памяти сейчас активно изучаются. Проблема лишь в том, что лабораторные исследования подобного рода можно вести только на животных, но много ли способна рассказать нам о своих эмоциях лабораторная крыса?

Если мы что-то сохранили в памяти, то порой приходит время эту информацию вспомнить, то есть извлечь из памяти. Но правильно ли это слово «извлечь»? Судя по всему, не очень. Похоже, что механизмы памяти не извлекают информацию, а заново генерируют ее. Информации нет в этих механизмах, как нет в «железе» радиоприемника голоса или музыки. Но с приемником все ясно — он обрабатывает и преобразует принимаемый на антенну электромагнитный сигнал. Что за «сигнал» обрабатывается при извлечении памяти, где и как хранятся эти данные, сказать пока весьма затруднительно. Однако уже сейчас известно, что при воспоминании память переписывается заново, модифицируется, или по крайней мере это происходит с некоторыми видами памяти.

### **Не электричество, но химия**

В поисках ответа на вопрос, как можно модифицировать или даже стереть память, в последние годы были сделаны важные открытия, и появился целый ряд работ, посвященных «молекуле памяти».

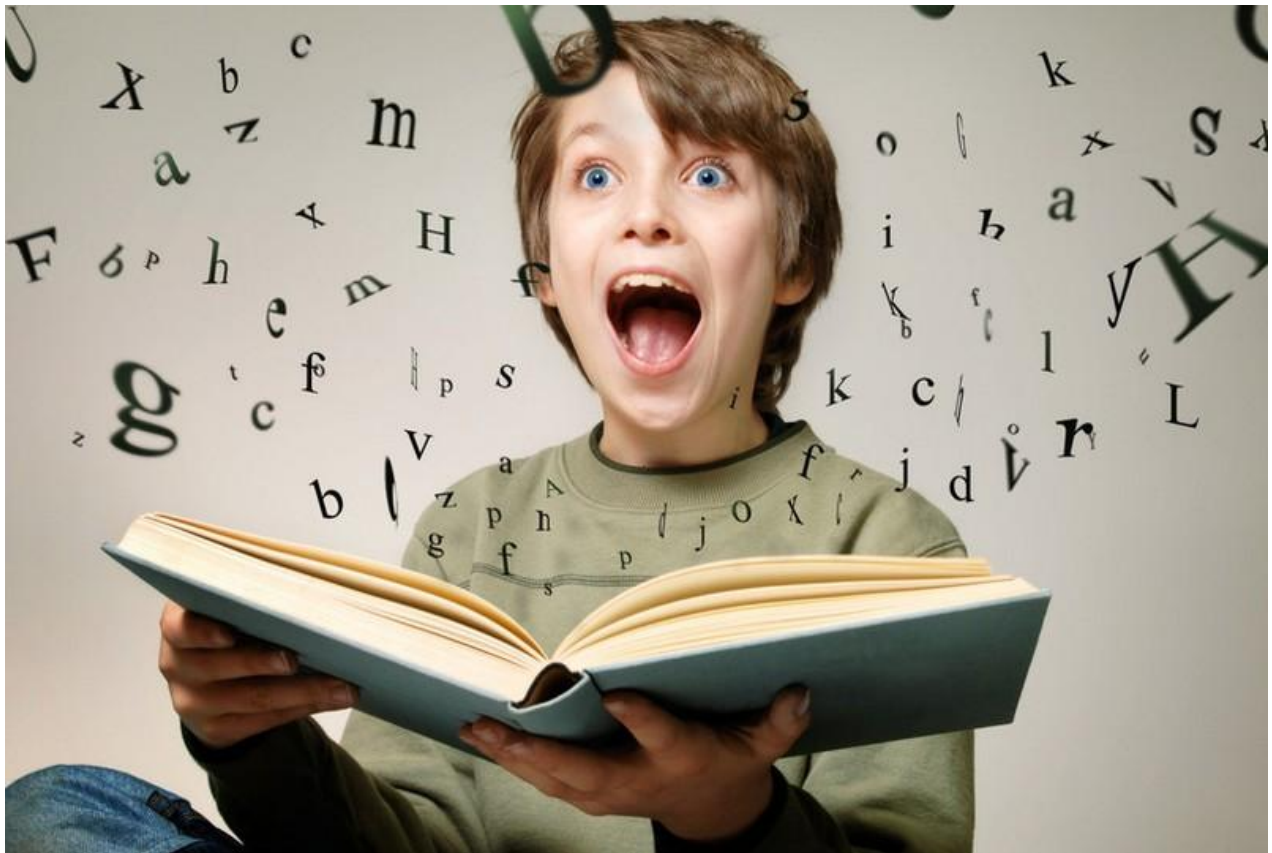
На самом деле такую молекулу или, по крайней мере некий материальный носитель мысли и памяти пытались выделить уже лет двести, но все без особого успеха. В конце концов нейрофизиологи пришли к выводу, что ничего специфического для памяти в мозге нет: есть 100 млрд. нейронов, есть 10 квадрионов связей между ними и где-то там, в этой космических масштабов сети единообразно закодированы и память, и мысли, и поведение. Предпринимались попытки заблокировать отдельные химические вещества в мозге, и это приводило к изменению в памяти, но также и к изменению всей работы организма. И лишь в 2006 году появились первые работы о биохимической системе, которая, похоже, очень специфична именно для памяти. Ее блокада не вызывала никаких изменений ни в поведении, ни в способности к обучению — только потерю части памяти. Например, памяти об обстановке, если блокатор был введен в гиппокамп. Или об эмоциональном шоке, если блокатор вводился в амигдалу. Обнаруженная биохимическая система представляет собой белок, фермент под названием протеинкиназа М-зета, который контролирует другие белки.

Молекула работает в месте синаптического контакта — контакта между нейронами мозга. Тут надо сделать одно важное отступление и пояснить специфику этих самых контактов. Мозг часто уподобляют компьютеру, и потому многие думают, что связи между нейронами, которые и создают все то, что мы называем мышлением и памятью, имеют чисто электрическую природу. Но это не так. Язык синапсов — химия, здесь одни выделяемые молекулы, как ключ с замком, взаимодействуют с другими молекулами (рецепторами), и лишь потом начинаются электрические процессы. От того, сколько конкретных рецепторов будет доставлено по нервной клетке к месту контакта, зависит эффективность, большая пропускная способность синапса.

### **Белок с особыми свойствами**

Протеинкиназа М-зета как раз контролирует доставку рецепторов по синапсу и таким образом увеличивает его эффективность. Когда эти молекулы включаются в работу одновременно в десятках тысяч синапсов, происходит перемаршрутизация сигналов, и общие свойства некой сети нейронов изменяются. Все это мало нам говорит о том, каким образом в этой перемаршрутизации закодированы изменения в памяти, но достоверно известно одно: если протеинкиназу М-зета заблокировать, память

сотрется, ибо те химические связи, которые ее обеспечивают, работать не будут. У вновь открытой «молекулы» памяти есть ряд интереснейших особенностей.



Во-первых, она способна к самовоспроизводству. Если в результате обучения (то есть получения новой информации) в синапсе образовалась некая добавка в виде определенного количества протеинкиназы М-зета, то это количество может сохраняться там очень долгое время, несмотря на то что эта белковая молекула разлагается за три-четыре дня. Каким-то образом молекула мобилизует ресурсы клетки и обеспечивает синтез и доставку в место синаптического контакта новых молекул на замену выбывших.

Во-вторых, к интереснейшим особенностям протеинкиназы М-зета относится ее блокирование. Когда исследователям понадобилось получить вещество для экспериментов по блокированию «молекулы» памяти, они просто «прочитали» участок ее гена, в котором закодирован ее же собственный пептидный блокатор, и синтезировали его. Однако самой клеткой этот блокатор никогда не производится, и с какой целью эволюция оставила в геноме его код — неясно.

Третья важная особенность молекулы состоит в том, что и она сама, и ее блокатор имеют практически идентичный вид для всех живых существ с нервной системой. Это свидетельствует о том, что в лице протеинкиназы М-зета мы имеем дело с древнейшим адаптационным механизмом, на котором построена, в том числе и человеческая память.

Конечно, протеинкиназа М-зета — не «молекула памяти» в том смысле, в котором ее надеялись найти ученые прошлого. Она не является материальным носителем запомненной информации, но, очевидно,

выступает в качестве ключевого регулятора эффективности связей внутри мозга, инициирует возникновение новых конфигураций как результата обучения.

### **Внедриться в контакт**

Сейчас эксперименты с блокатором протеинкиназы М-зета имеют в некотором смысле характер «стрельбы по площадям». Вещество вводится в определенные участки мозга подопытных животных с помощью очень тонкой иглы и выключает, таким образом, память сразу в больших функциональных блоках. Границы проникновения блокатора не всегда ясны, равно как и его концентрация в районе участка, выбранного в качестве цели. В итоге далеко не все эксперименты в этой области приносят однозначные результаты.

Подлинное понимание процессов, происходящих в памяти, может дать работа на уровне отдельных синапсов, но для этого необходима адресная доставка блокатора в контакт между нейронами. На сегодняшний день это невозможно, но, поскольку такая задача перед наукой стоит, рано или поздно инструменты для ее решения появятся. Особые надежды возлагаются на оптогенетику. Установлено, что клеткой, в которой методами генной инженерии встроена возможность синтеза светочувствительного белка, можно управлять с помощью лазерного луча. И если такие манипуляции на уровне живых организмов пока не производятся, нечто подобное уже делается на основе выращенных клеточных культур, и результаты весьма впечатляющи.

***Автор** — доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, профессор, директор ИВНДиНФ РАН*