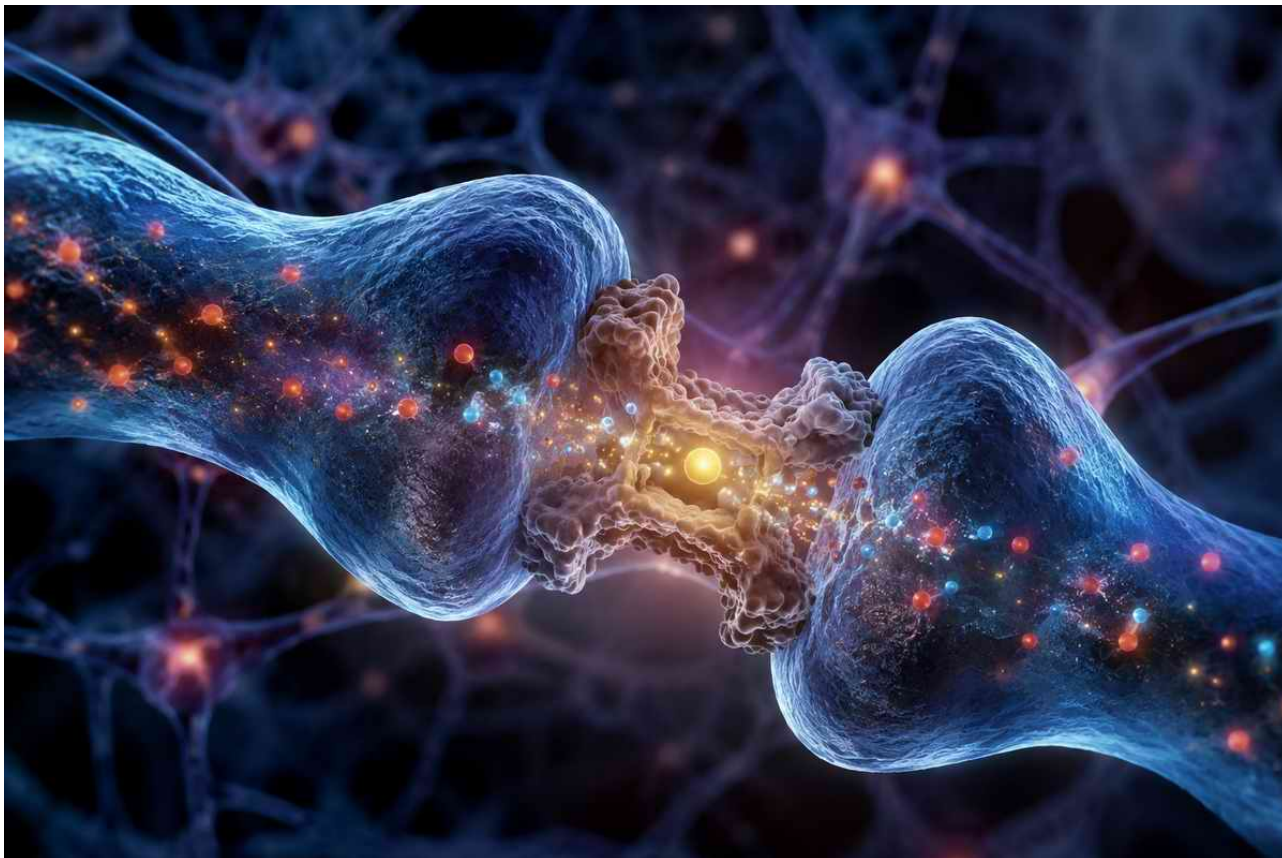


Как мозг различает кальций и магний: ученые впервые увидели молекулярный механизм памяти



Дата публикации: 18.05.2026

Механизмы памяти и обучения остаются одной из самых сложных загадок современной нейробиологии. Несмотря на огромный прогресс в изучении мозга, ученые десятилетиями не могли понять, каким образом нервные клетки различают два почти идентичных химических элемента — кальций и магний. Новое исследование международной группы ученых позволило впервые буквально заглянуть внутрь молекулярных «ворот» памяти и увидеть процесс, лежащий в основе формирования нейронных связей.

Работа, опубликованная в журнале *Nature Neuroscience*, посвящена рецепторам NMDAR — особым белковым каналам на поверхности нейронов. Эти рецепторы играют ключевую роль в передаче сигналов между клетками мозга и считаются одним из фундаментальных механизмов обучения, памяти и нейропластичности. Именно благодаря NMDAR мозг способен формировать новые связи, адаптироваться к опыту и закреплять информацию.

Функционирование рецепторов основано на тонком балансе между двумя ионами — кальцием и магнием. В обычном состоянии канал NMDAR блокируется ионом магния, который препятствует прохождению электрического сигнала. Однако при определенных условиях блокировка снимается, и через канал начинает проходить кальций. Этот процесс запускает сложные биохимические реакции, лежащие в основе обучения и запоминания.

Парадокс заключается в том, что кальций и магний имеют одинаковый электрический заряд и очень похожие химические свойства. В периодической таблице Менделеева они расположены рядом, из-за чего долгое время ученые не понимали, каким образом рецептор способен различать эти элементы с такой высокой точностью.

Исследователи из Лаборатории Колд-Спринг-Харбор под руководством профессора Хиро Фурукавы смогли найти ответ с помощью криоэлектронной микроскопии сверхвысокого разрешения. Технология позволила получить десятки тысяч изображений молекулярного канала в разных состояниях и фактически собрать из них динамическую последовательность, напоминающую научный фильм о работе рецептора на атомном уровне.

Ключ к разгадке оказался связан с водой. Магний значительно сильнее удерживает окружающие его молекулы воды, чем кальций. Перед тем как пройти через канал NMDAR, ион должен частично избавиться от этой водной оболочки. Для кальция этот процесс происходит относительно легко, а вот магний оказывается слишком «привязан» к воде. Именно это свойство позволяет рецептору работать как сверхточный молекулярный фильтр.

Особое внимание ученые уделили структуре, получившей название Asp-cage — своеобразной молекулярной клетке внутри канала. Она действует как селективный фильтр, определяющий, какие частицы могут пройти внутрь клетки. В ходе экспериментов исследователи обнаружили, что магний вместе с окружающими его молекулами воды буквально застревает перед этим фильтром, блокируя канал. Кальций же способен проходить дальше благодаря более слабому взаимодействию с водой.

Чтобы увидеть этот процесс, ученым пришлось обработать огромный объем данных. Были использованы более 50 000 криоэлектронно-микроскопических «кадров», полученных с различных углов. Затем изображения объединили с помощью высокопроизводительных вычислительных систем, что позволило реконструировать движение ионов и молекул воды практически в реальном времени.

Полученные результаты имеют не только фундаментальное значение для

нейробиологии, но и важные медицинские перспективы. Известно, что мутации в области *Asn-cage* связаны с тяжелыми нарушениями развития нервной системы, включая так называемые GRIN-расстройства. У пациентов с такими мутациями наблюдаются тяжелые когнитивные нарушения, судороги, задержка развития, потеря речи и двигательных функций.

До настоящего момента ученые не могли точно понять, каким образом эти мутации нарушают работу рецептора NMDAR. Теперь исследование дает возможность увидеть проблему на молекулярном уровне и открывает путь к созданию новых методов терапии, ориентированных на точную коррекцию работы рецепторов.

Работа также подчеркивает стремительное развитие криоэлектронной микроскопии — технологии, которая за последние годы стала одним из важнейших инструментов современной биологии. Еще несколько десятилетий назад наблюдать движение отдельных ионов и молекул воды внутри белковых каналов считалось практически невозможным. Сегодня ученые могут изучать эти процессы с атомной точностью, что радикально меняет понимание работы мозга.

Исследование показывает, насколько тонкими являются механизмы, лежащие в основе человеческой памяти. Даже небольшие различия в способности химических элементов удерживать воду оказываются критически важными для работы нервной системы. Именно такие молекулярные процессы определяют способность человека учиться, запоминать информацию и формировать сознательный опыт.

Ссылка: «Молекулярный механизм проницаемости кальция и блокады магния в NMDA-рецепторах» DOI: [10.1038/s41593-026-02283-3](https://doi.org/10.1038/s41593-026-02283-3).