

Ученые раскрыли, как ацетилхолин, дофамин и серотонин управляют сознанием, сном и работой мозга



Дата публикации: 14.07.2026

Сознание, внимание, сон и способность мозга быстро переключаться между различными режимами работы остаются одними из самых сложных и малоизученных явлений современной нейронауки. Несмотря на десятилетия исследований, ученые до сих пор пытаются понять, каким образом миллиарды нервных клеток синхронизируют свою активность, формируя наше восприятие окружающего мира, память, эмоции и способность бодрствовать. Новое исследование международной группы нейробиологов позволило значительно приблизиться к ответу на этот вопрос, раскрыв роль трех важнейших химических посредников мозга — ацетилхолина, дофамина и серотонина.

Работа, опубликованная в журнале PLOS Computational Biology, объединила современные экспериментальные методы изучения мозга с одной из самых детализированных вычислительных моделей коры головного мозга, созданных на сегодняшний день. Исследователи из Ньюкаслского университета, проекта Blue Brain Федеральной политехнической школы Лозанны (EPFL) и научных центров

Испании показали, каким образом нейромодуляторы способны одновременно изменять электрическую активность десятков тысяч нейронов, определяя состояние всей нервной сети.

В отличие от классических нейромедиаторов, которые передают сигналы между двумя соседними нейронами в течение долей секунды, нейромодуляторы действуют значительно шире. Они изменяют чувствительность целых нейронных сетей, регулируют силу передачи сигналов и помогают мозгу переключаться между различными функциональными состояниями. Именно благодаря этим веществам человек способен быстро переходить от глубокого сна к бодрствованию, концентрировать внимание, обучаться новому, испытывать мотивацию и эмоциональные переживания.

Особый интерес ученых давно вызывают три нейромодуляторные системы. Ацетилхолин традиционно связывают с процессами внимания, обучения и памяти. Дофамин играет ключевую роль в системе вознаграждения, мотивации, принятии решений и контроле движений. Серотонин участвует в регуляции настроения, сна, тревожности, эмоциональной устойчивости и многочисленных когнитивных процессов. Несмотря на огромный объем накопленных знаний, до настоящего времени оставалось неясным, каким образом эти химические системы совместно управляют активностью огромных популяций нейронов.

Первым этапом нового исследования стало создание максимально точной карты распределения нейромодуляторных волокон в соматосенсорной коре головного мозга крысы. Для этого специалисты использовали современные методы иммуногистохимического окрашивания тканей, стереологический анализ и высокоточное микроскопическое картирование. Такой подход позволил определить плотность, пространственное расположение и особенности ветвления нервных волокон, по которым распространяются химические сигналы.

Полученные результаты показали, что холинергическая система, использующая ацетилхолин, значительно превосходит остальные по плотности иннервации. Количество специализированных участков высвобождения ацетилхолина оказалось примерно в 2,3 раза выше, чем аналогичных структур серотонинергической системы. Это подтверждает центральную роль ацетилхолина в организации работы коры головного мозга.

Однако главной особенностью исследования стало не только получение новых анатомических данных. Впервые столь детальная карта была интегрирована в сложную биофизическую компьютерную модель, воспроизводящую работу настоящей корковой ткани. Модель включала десятки тысяч взаимосвязанных нейронов с учетом их морфологии, электрических свойств и особенностей взаимодействия между различными типами клеток.

Такой подход позволил ученым наблюдать, как активация отдельных нейромодуляторных систем изменяет электрическую активность всей нейронной сети практически так же, как это происходит в живом мозге.

Одним из наиболее важных результатов стало объяснение механизма действия ацетилхолина. Компьютерное моделирование показало, что этот нейромодулятор эффективно подавляет медленные дельта-ритмы, характерные для глубокого сна. Именно снижение выраженности таких волн позволяет коре переходить в состояние бодрствования, повышенной готовности и концентрации внимания.

Особенно интересным оказалось объяснение самого механизма передачи сигнала. В течение многих лет нейробиологи спорили, действует ли ацетилхолин преимущественно через диффузное распространение молекул в окружающей ткани или же его влияние осуществляется главным образом посредством точечной передачи между отдельными клетками. Новые расчеты убедительно свидетельствуют в пользу второго варианта, показывая, что именно локальная высокоточная передача обеспечивает наиболее реалистичное поведение нейронной сети.

Не менее интересными оказались результаты исследования дофаминовой системы. Хотя дофамин традиционно связывают прежде всего с центрами удовольствия, мотивацией и двигательным контролем, моделирование показало, что он оказывает значительно более широкое влияние на деятельность сенсорной коры. Активация дофаминовых волокон также подавляет медленные мозговые колебания, способствуя переходу нервной системы в более активное и менее синхронизированное состояние.

Особенность дофаминовой системы заключается в том, что ее волокна охватывают практически все слои коры головного мозга и взаимодействуют как с возбуждающими, так и с тормозными нейронами. Благодаря этому дофамин способен регулировать общий баланс активности целых нейронных сетей, изменяя эффективность обработки информации.

Еще более неожиданными оказались результаты, связанные с серотонином. Помимо способности подавлять медленные ритмы, этот нейромодулятор вызывал появление более быстрых тета-колебаний. Такие ритмы давно связывают с процессами обучения, пространственной навигации, формирования памяти и обработки сенсорной информации.

Авторы исследования предполагают, что именно этот ранее недооцененный механизм может частично объяснять особенности действия современных антидепрессантов, влияющих на серотонинергическую систему. Хотя сами

препараты имеют значительно более сложный механизм действия, новые данные позволяют по-новому взглянуть на роль серотонина в перестройке работы нейронных сетей.

Полученные результаты имеют большое значение не только для фундаментальной науки, но и для клинической медицины. Нарушения работы ацетилхолиновой, дофаминовой и серотониновой систем лежат в основе многих тяжелых неврологических и психических заболеваний. Дефицит ацетилхолина считается одним из ключевых механизмов развития болезни Альцгеймера, снижение уровня дофамина вызывает характерные симптомы болезни Паркинсона, а изменения серотонинергической передачи тесно связаны с депрессией, тревожными расстройствами и рядом других психических нарушений.

Более точное понимание того, как именно эти химические системы воздействуют на отдельные нейроны и целые сети, может помочь в разработке новых поколений лекарственных препаратов. Вместо общего изменения концентрации нейромедиаторов в мозге будущие методы терапии смогут точнее воздействовать на конкретные механизмы работы нейронных цепей, снижая вероятность побочных эффектов и повышая эффективность лечения.

Не менее перспективным выглядит применение результатов исследования в области искусственного интеллекта. Современные нейросетевые алгоритмы пока значительно уступают человеческому мозгу в способности быстро адаптироваться к изменяющимся условиям и гибко перераспределять вычислительные ресурсы. Биологические принципы нейромодуляции могут стать основой для создания нового поколения нейроморфных вычислительных систем, способных динамически изменять собственную архитектуру и режим работы в зависимости от поступающей информации.

Особую ценность работе придает политика открытой науки. Авторы сделали свободно доступными не только полученные экспериментальные данные, но и всю биофизическую модель коры головного мозга. Это позволит исследовательским группам по всему миру использовать результаты в собственных проектах, проверять новые гипотезы и совершенствовать модели функционирования мозга.

Исследование демонстрирует, насколько тесно сегодня переплетаются нейробиология, вычислительная математика, искусственный интеллект и современные технологии моделирования. Создание цифровых моделей мозга постепенно превращается в один из важнейших инструментов изучения сознания и высших функций нервной системы. Благодаря подобным работам ученые получают возможность наблюдать процессы, которые невозможно

увидеть даже с помощью самых современных методов нейровизуализации, а значит, становятся на шаг ближе к пониманию фундаментальных механизмов работы человеческого мозга.

Ссылка: «Количественная анатомия и биофизическое моделирование восходящих нейромодуляторных систем в развивающейся неокортексе крысы»
DOI: [10.1371/journal.pcbi.1014460](https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1014460).