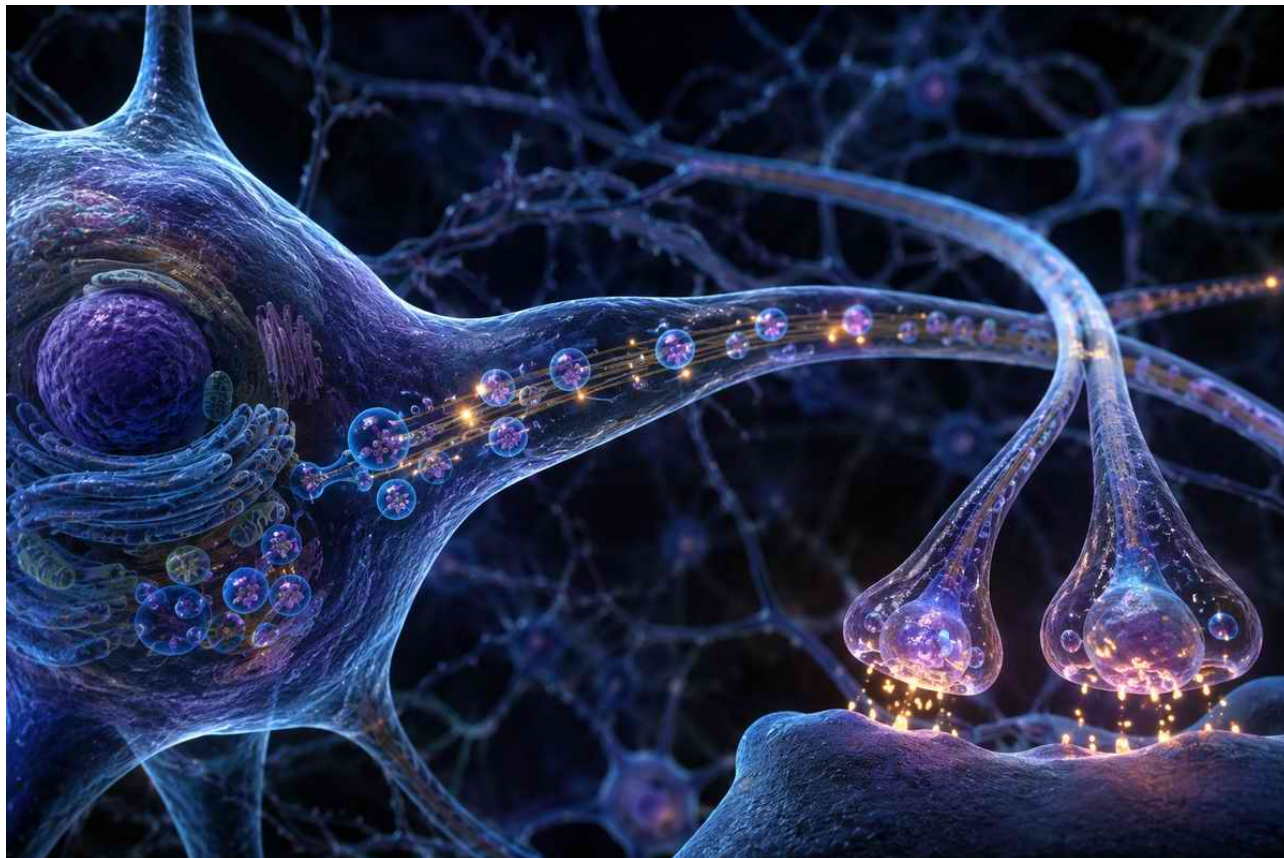


Ученые раскрыли скрытый механизм связи нейронов: обнаружен необычный путь транспортировки белков в мозге



Дата публикации: 16.05.2026

Нервная система человека считается одной из самых сложных биологических структур в природе, и одной из ее главных загадок остается организация внутриклеточного транспорта в нейронах. Новое исследование международной группы ученых позволило обнаружить ранее малоизученный механизм перемещения белков внутри нервных клеток, который играет критически важную роль в поддержании синаптической связи между нейронами. Работа раскрывает нетрадиционный путь доставки рецепторов вдоль аксонов и открывает новые перспективы для понимания нейродегенеративных заболеваний и восстановления нервной ткани.

Нейроны отличаются от большинства клеток организма своей необычной структурой. Их аксоны — длинные тонкие отростки, передающие электрические сигналы, — могут достигать огромной длины. У человека некоторые аксоны простираются более чем на метр, соединяя головной мозг с мышцами и внутренними органами. Из-за этого нейроны сталкиваются с серьезной

логистической проблемой: белки и другие жизненно важные молекулы синтезируются в теле клетки, но затем должны быть доставлены к удаленным участкам аксона, где происходит передача нервных импульсов.

На протяжении многих лет считалось, что основным способом доставки белков внутри нейронов является прямой транспорт через так называемый секреторный путь. В этом процессе вновь синтезированные белки проходят через аппарат Гольджи, где сортируются, упаковываются и направляются к нужным участкам клетки. Однако новое исследование показало, что часть белков использует значительно более сложный и необычный маршрут.

Речь идет о механизме транцитоза — своеобразного «обходного пути» внутриклеточного транспорта. При таком способе белки сначала перемещаются к поверхности клеточной мембраны, затем повторно втягиваются внутрь клетки и только после этого направляются по аксону в удаленные участки нейрона. Несмотря на то что транцитоз давно известен в биологии, его роль в нервной системе до последнего времени оставалась малоизученной.

Для изучения этого процесса исследователи сосредоточились на рецепторе TrkA — одном из важнейших белков нервной системы. Этот рецептор отвечает за восприятие фактора роста нервов NGF, который регулирует рост, выживание и взаимодействие нейронов. TrkA играет ключевую роль в формировании нервных связей и поддержании нормальной работы нейронных сетей.

Чтобы проследить движение рецепторов внутри нейронов, ученые использовали микрофлюидные камеры — специальные устройства, позволяющие разделять тело нейрона и его аксоны на отдельные компартменты. Такой подход дал возможность независимо воздействовать на разные части клетки и с высокой точностью отслеживать перемещение белков с помощью флуоресцентных меток и электронной микроскопии высокого разрешения.

Полученные результаты показали, что рецептор TrkA далеко не всегда движется напрямую к аксону. Вместо этого он сначала достигает поверхности тела клетки, затем вновь погружается внутрь нейрона и только после этого транспортируется к удаленным окончаниям аксона. Этот процесс активируется сигналами NGF, поступающими с дальнего конца нервного волокна. Таким образом формируется своеобразная система обратной связи: аксон сообщает телу клетки о необходимости дополнительной доставки рецепторов и других компонентов.

Исследователи также смогли выяснить, каким образом осуществляется этот сложный транспорт. Оказалось, что рецепторы перемещаются внутри специализированных мембранных структур — эндосом и мультивезикулярных

тел. Эти внутриклеточные контейнеры транспортируются вдоль аксона при помощи моторного белка KIF1A, который действует как молекулярный двигатель, перемещающий груз по микротрубочкам цитоскелета.

Особый интерес вызвало наблюдение, что транцитированные рецепторы направляются преимущественно к пресинаптическим варикозным расширениям — небольшим утолщениям на аксонах, где высвобождаются нейромедиаторы. Именно эти участки отвечают за передачу сигналов между нейронами и другими клетками организма.

Чтобы проверить значение обнаруженного механизма, ученые создали генетически модифицированную модель мышей, у которых путь транцитоза был нарушен. Результаты оказались весьма показательными: количество пресинаптических структур уменьшилось, сами они стали меньше, а эффективность передачи сигналов между нейронами заметно снизилась. Это подтверждает, что транцитоз играет важнейшую роль в поддержании нормальной синаптической коммуникации.

Полученные данные имеют большое значение не только для фундаментальной нейробиологии, но и для медицины. Многие нейродегенеративные заболевания, включая болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона и боковой амиотрофический склероз, сопровождаются нарушением внутриклеточного транспорта в нейронах. Если транспортные механизмы работают неправильно, нервные клетки постепенно теряют способность поддерживать связи, что приводит к их деградации и гибели.

Кроме того, понимание механизмов доставки белков может оказаться полезным для разработки методов восстановления поврежденных нервов после травм спинного мозга и периферической нервной системы. Ученые предполагают, что воздействие на систему транцитоза в будущем позволит стимулировать рост аксонов, улучшать регенерацию тканей и восстанавливать нейронные сети после повреждений.

Современные методы сверхточной микроскопии и клеточной визуализации постепенно раскрывают скрытую организацию нервной системы на молекулярном уровне. Исследование показывает, что даже хорошо изученные процессы передачи нервных сигналов могут включать сложные механизмы, о существовании которых ученые ранее только догадывались.

Авторы работы подчеркивают, что открытие нового маршрута транспорта рецепторов меняет представления о внутренней логистике нейронов. Вместо простой линейной схемы нервная клетка использует многоступенчатую и динамическую систему доставки, позволяющую быстро адаптироваться к

изменениям активности и потребностям синапсов.

В перспективе дальнейшее изучение транскитоза может помочь создать принципиально новые подходы к терапии заболеваний мозга и нервной системы. Исследователи считают, что понимание молекулярных путей перемещения белков внутри нейронов станет одной из ключевых задач нейробиологии ближайших десятилетий.

Ссылка: «Антероградный транспорт рецептора TrkA, опосредованный транскитозом, способствует формированию пресинаптических участков в симпатических нейронах» DOI: [10.1126/scisignal.aea7078](https://doi.org/10.1126/scisignal.aea7078).