



Витторио Галлезе,
Джакомо Риццолатти
и Леонардо Фогасси

Зеркальная часть

МОЗГА

Особый класс
нейронов в
двигательной
коре мозга играет
ключевую роль в
освоении человеком
сложнейших
социальных и
познавательных
навыков

Джон наблюдает, как Мэри срывает цветок. Он прекрасно знает, что и зачем она делает. Девушка улыбается Джону, и тот догадывается, что цветок предназначен ему в подарок. Незамысловатая сценка длится всего несколько мгновений, и столь же быстро мелькают в голове молодого человека соображения по поводу смысла происходящего. Но как же ему удастся без всяких усилий понять и действия Мэри, и ее намерения?

Еще десятилетие назад большинство нейробиологов и психологов объяснили бы способность человека распознавать действия и цели других умением быстро выстраивать причинно-следственные связи, как мы поступаем при решении логических задач. Некий сложный когнитивный аппарат в головном

мозге Джона, быстро переработав информацию, предоставленную ему органами чувств, и сравнив результат с хранящимся в памяти аналогичным прошлым опытом, позволил юноше сделать правильное умозаключение о действиях и намерениях девушки.

В некоторых ситуациях мозг действительно выполняет подобные сложные операции (особенно, если поведение человека трудно поддается расшифровке), но та легкость и быстрота, с которыми мы обычно понимаем действия окружающих, наводят на мысль о существовании некоего более простого механизма. Исследователям подсказало это одно случайное наблюдение. В начале 1990-х гг. авторы настоящей статьи и Лучано Фадига (Luciano Fadiga) изучали необычный класс нейронов головного мозга обезь-

ян, генерировавших импульсы при выполнении простых целенаправленных движений (например, хватании кусочков фруктов с тарелки). Самым удивительным в работе клеток было то, что они реагировали точно так же, когда животное видело, как движение выполняет кто-то другой (например, лаборант). Нам показалось, что активность нервных клеток отражала в мозге

подавались разнообразные сигналы, а когда животные реагировали на них тем или иным способом, их движения сопровождалось изменением импульсной активности определенных групп нервных клеток.

Затем мы заметили нечто странное: когда кто-нибудь из нас брал ломтик фрукта, корковые нейроны обезьяны начинали работать точно так же, как если бы лакомство взя-

вать» действия по сопровождающим их звукам. Мы регистрировали активность зеркальных клеток в то время, когда обезьяна наблюдала за движениями кисти руки, рвущей лист бумаги или давящей скорлупу арахиса, что сопровождалось характерными звуками. Затем моделировалась ситуация, когда животное не видело, зато слышало происходящее. Мы обнаружили, что многие зеркальные нейроны поля F5, изменявшие свою активность, когда обезьяна видела и слышала движение, реагировали также и на сами звуки. Мы назвали такие клетки аудиовизуальными зеркальными нейронами.

Затем мы предположили, что если зеркальные нейроны участвуют в понимании поведения, то они должны реагировать и в ситуации, когда животное не видит действия, но получает достаточное количество подсказок, чтобы мысленно его воссоздать. Для проверки гипотезы мы давали примату возможность наблюдать, как лаборант протягивает руку и берет кусочек лакомства. Затем перед обезьяной помещали экран, загораживавший движения руки человека, так что она могла лишь догадываться о завершении действия. Оказалось, что более половины зеркальных нейронов зоны F5 активизировались и в том случае, когда обезьяна могла лишь вообразить, что происходит по другую сторону непрозрачного заграждения.

Существует ли аналогичная система зеркальных нейронов в головном мозге человека? Для ответа на данный вопрос мы провели серию опытов с использованием позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) в миланской больнице Сан-Рафаэле. Оценивалась нейронная активность различных областей головного мозга добровольцев, следивших за хватательными движениями кисти руки лаборанта (в контрольных опытах испытуемые рассматривали неподвижные предметы).

Паттерн нейронной активности отражает реально существующую в голове модель действия независимо от того, кто является его исполнителем

наблюдателя те действия, что совершали окружающие, поэтому мы решили назвать их зеркальными нейронами.

Подобно тому, как нейронные сети способны хранить память о тех или иных событиях, популяции зеркальных нейронов, похоже, могут кодировать «трафареты» определенных действий. Такая особенность позволяет человеку или животному не только автоматически осуществлять обычные двигательные операции, но и понимать поведение других индивидов, не испытывая нужды в их логическом обосновании. Джон знает, что делает Мэри, потому что она рвет цветы не только у него на глазах, но и фактически у него в голове.

Мгновенное узнавание

Зеркальные нейроны впервые были обнаружены нами в зоне F5 двигательной (моторной) коры мозга, связанной с движениями кистей и рта. Изучая данную область, мы пытались выяснить, каким образом в импульсной активности нейронов закодированы команды, вызывающие осуществление тех или иных действий. Для этого мы регистрировали активность отдельных нейронов коры мозга макака. Обезьянам

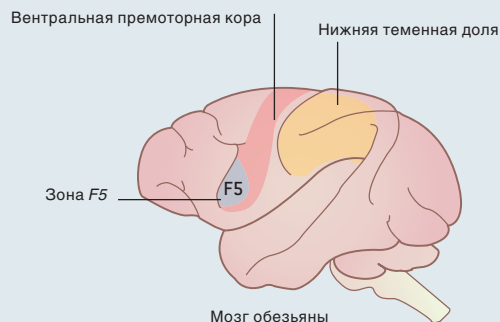
ло само животное. Вначале мы приписали столь странный феномен вмешательству постороннего фактора (например, тому, что обезьяна, наблюдая за экспериментатором, незаметно совершает аналогичное движение рукой). Но когда нам удалось исключить влияние подобных случайностей, мы поняли, что паттерн нейронной активности, связанный с наблюдаемым действием, отражает реально существующую в головном мозгу животного «модель» самого движения — независимо от того, кто его осуществляет.

Чтобы проверить предположение, что функционирование зеркальных нейронов связано с «осознанием» действия, а не просто с его зрительной регистрацией, мы изучили активность данных клеток в ситуации, когда обезьяна могла определить смысл действия, но не имела возможности его видеть. Если верно то, что зеркальные нейроны опосредуют понимание происходящего, — рассуждали мы, — то характер их активности скорее связан с его значением, чем с визуальными характеристиками.

Нами было проведено две серии опытов: во-первых, мы решили выяснить, способны ли зеркальные нейроны корковой зоны F5 «узна-

ОТРАЖЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

В ходе опытов на обезьянах авторы статьи обнаружили особые популяции нейронов, расположенные в моторных областях мозговой коры (справа), работа которых тесно связана с выполнением животными определенных действий и узнаванием тех же движений, выполняемых лаборантом. Поскольку активность зеркальных клеток показывала, что животные различали и цели происходящего, исследователи заключили, что зеркальный механизм мозга связан с пониманием смысла поступков. Зеркальные нейроны по-разному реагировали на одинаковые действия лаборанта, осуществляемые с разными намерениями, т.е. эти клетки обеспечивали также понимание животными окончательных целей происходящего



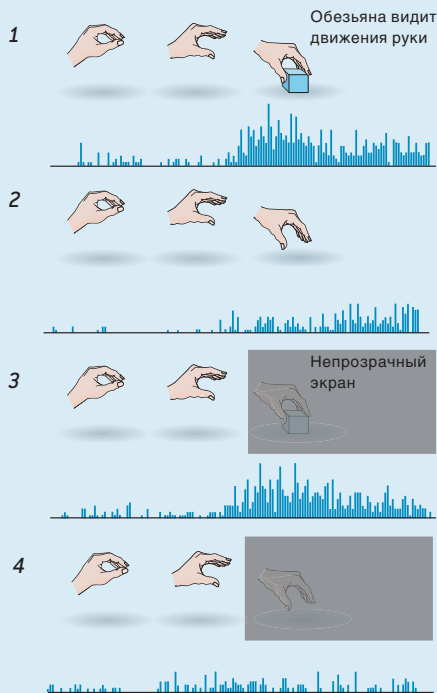
ПОНИМАНИЕ

Нейрон премоторной зоны F5, связанной с движениями рук и рта, активизировался, когда обезьяна брала с тарелки изюмину (1). Тот же нейрон задействовался и в том случае, когда на глазах у животного лакомство брал человек (2)



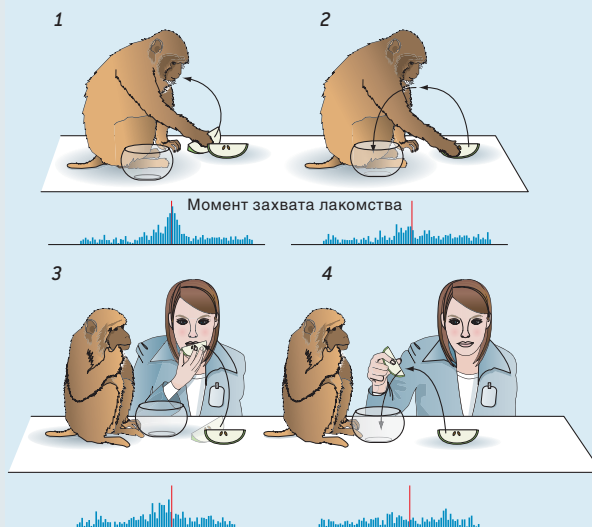
РАЗЛИЧЕНИЕ ЦЕЛЕЙ

Зеркальный нейрон зоны F5 активировался, когда обезьяна наблюдала, как рука лаборанта тянется к угощению (1). Однако если лакомства не было, аналогичный жест не вызывал активации зеркальной клетки (2). Клетка реагировала на целенаправленное движение руки и в том случае, когда животное знало, что за непрозрачным экраном находится еда, но не видело ее (3). Если же обезьяна знала, что ничего съедобного за экраном нет, отмечалась слабая активация нейрона (4)



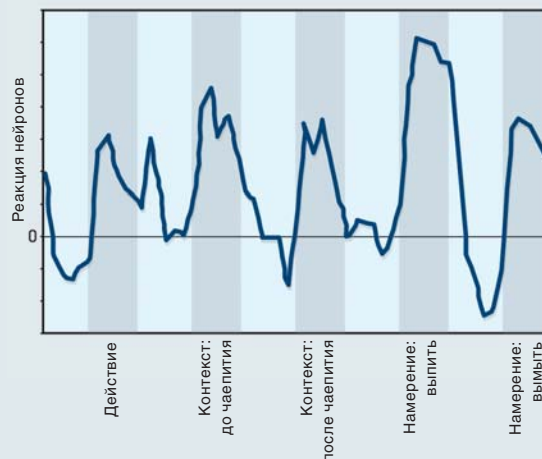
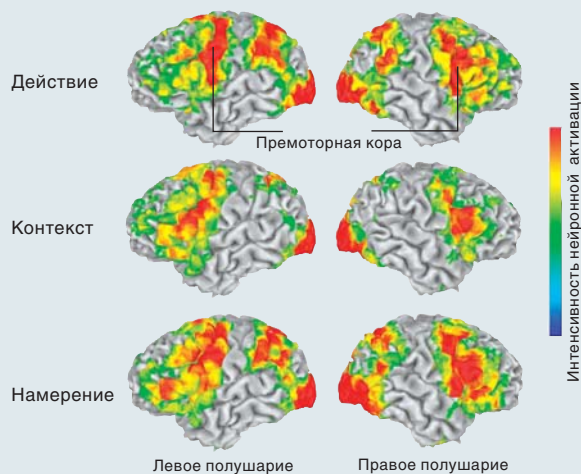
РАСПОЗНАНИЕ НАМЕРЕНИЙ

Зеркальный нейрон нижней теменной области обнаруживал высокую активность, когда обезьяна брала фрукт, чтобы поднести его ко рту (1). Реакция нейрона была слабее, если животное намеревалось переложить плод в сосуд (2). Клетка обнаруживала высокую степень возбуждения и в том случае, когда примат наблюдал, как лаборант берет лакомство и подносит его ко рту (3), и слабую импульсацию, когда он помещал кусочек в сосуд (4). Во всех случаях реакции клетки были связаны с захватом лакомства, соответственно, первоначальная активация нейрона кодировала понимание конечного намерения действия



ПОНИМАНИЕ НАМЕРЕНИЙ

Понимание чужих намерений играет важнейшую роль в социальном поведении людей. Человек, вероятно, обязан данной способностью своим зеркальным нейронам. Испытуемым демонстрировались видеоклипы (внизу слева), показывающие руку, берущую чашку двумя различными способами, стол с посудой и контекст, позволяющий догадаться о том, что собирается сделать обладатель руки — взять чашку со стола, чтобы выпить чаю или чтобы вымыть ее. Особенно сильная активность зеркальных нейронов премоторной коры обоих мозговых полушарий (справа) отмечалась, когда испытуемым показывали действия с четкими намерениями. Зеркальные нейроны, кроме того, различали возможные намерения, обнаруживая более сильную активацию при виде руки, намеревающейся поднести чашку ко рту, а не вымыть ее



Оказалось, что наблюдение за действиями другого человека сопровождается активацией трех корковых областей: одна из них, верхняя височная борозда (ВВБ), содержала нейроны, реагирующие на движение частей человеческого тела. Две другие — нижняя теменная доля (НТД) и нижняя фронтальная извилина (НФИ) — соответствовали НТД и вентральной премоторной коре обезьян, т.е. тем зонам, где у животных были обнаружены зеркальные нейроны.

Намерения и цели

Вновь ненадолго вернемся к Джону и Мэри. Молодой человек

знает не только о том, что девушка срывает цветок, но и о том, что она собирается преподнести его ему в подарок. Джон догадывается о намерениях Мэри по ее улыбке. Он понимает поведение своей подруги, поскольку угадывает ее цель — ведь вручением цветка завершится череда действий, составляющих выполняемое ей движение.

Делая какой-либо жест, мы осуществляем целую серию связанных друг с другом моторных актов, последовательность которых определяется нашими намерениями: в результате одного ряда движений мы срываем цветок и подносим его к лицу, чтобы понюхать, а чтобы

взять цветок и вручить его знакомому, нужно совершить несколько иные телодвижения. Мы решили выяснить, обеспечивает ли система зеркальных нейронов понимание чужих намерений благодаря способности различать сходные маневры, выполняемые с разными целями.

Для этого мы регистрировали активность нейронов теменной области коры обезьяны в различных ситуациях. В первой серии опытов животное должно было схватить кусочек лакомства и поднести его ко рту. В следующей части эксперимента от обезьяны требовалось взять с тарелки такой же кусочек

пищи и положить его в сосуд. К нашему удивлению, большинство изученных нейронов обнаруживали разный паттерн активности во время «хватательной» части задания в зависимости от его конечной цели. Полученный результат навел нас на мысль, что моторная активность коры мозга животных организована в виде нейронных цепочек, в каждой из которых закодировано определенное намерение, с которым выполняется действие. Но лежит ли тот же механизм в основе другого явления — понимания животным того, что собирается сделать другое существо?

Для выяснения данного вопроса мы регистрировали электрическую активность изученных «хватательных» нейронов у обезьян, которые наблюдали за лаборантом, выполнявшим те же задания, что и животные в предыдущей серии опытов. В каждом случае большинство зеркальных нейронов активизировались по-разному, в зависимости от того, отправлял ли человек пищу в рот или клал ее в сосуд. Паттерны импульсации в точности совпадали с теми, что регистрировались при осуществлении действия самими обезьянами: зеркальные нейроны сильнее активизировались при поднесении лакомства ко рту, чем при помещении его в сосуд, точно так же они вели себя и при выполнении аналогичных маневров лаборантом.

Таким образом, выявлена четкая связь между моторной организацией целенаправленных действий животных и их способностью понимать, что собираются делать другие. Когда обезьяны наблюдали за действиями человека в некой ситуации, первый («хватательный») компонент движения возбуждал зеркальные нейроны одной из моторных цепей, кодировавших определенные намерения. Какая из цепей активизировалась, когда животное наблюдало за действиями человека, зависело от ряда факто-

ров, например, от того, каким предметом пользовались участники опыта, от характера эксперимента и от воспоминания о предшествующих обстоятельствах.

Существует ли аналогичный механизм распознавания чужих намерений у людей? Мы вместе с Марко Якобони (Marco Iacoboni) и его коллегами из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе провели ряд исследований с использованием метода магнитно-резонансной томографии (МРТ). Участникам тестов демонстрировали три типа видеоклипов. В первой серии на экране появлялась человеческая рука, берущая чайную чашку двумя различными способами. Во второй демонстрировались тарелки, ножи и

деятельность системы зеркальных нейронов, а активность зеркальных клеток в обеих ситуациях была выше, чем в том случае, когда испытуемые следили за рукой, берущей чашку вне какого-либо смыслового наполнения или когда они попросту смотрели на расставленные на столе приборы.

Сопереживание, обучение, речь

Эмоции, как и действия, воспринимаются людьми неоднозначно. Наблюдение за чужими переживаниями запускает у нас когнитивную переработку соответствующей сенсорной информации, завершающуюся логическим заключением о чувствах другого человека. Однако

Когда люди говорят: «Я чувствую твою боль», они даже не подозревают, насколько точно выражают реальное положение вещей

другие столовые приборы; в первом случае они были аккуратно разложены на столе, сервированном для чаепития, а во втором — оставлены после еды. Третья серия кадров показывала человеческую руку, фигурировавшую в первой группе клипов и берущую чашку со стола из второй части.

Мы решили выяснить, смогут ли зеркальные нейроны испытуемых распознать действия руки человека, берущего чашку с намерением выпить чаю (контекст клипов, где показан стол перед чаепитием) и взявшего ее, чтобы вымыть (контекст кадров, демонстрирующих стол после чаепития). Оказалось, что зеркальные нейроны не только распознавали действия, но и интенсивно реагировали на их интенциональный компонент. Испытуемые, наблюдавшие за движениями руки в «питьевом» или «посудомоечном» контексте, обнаружили различную

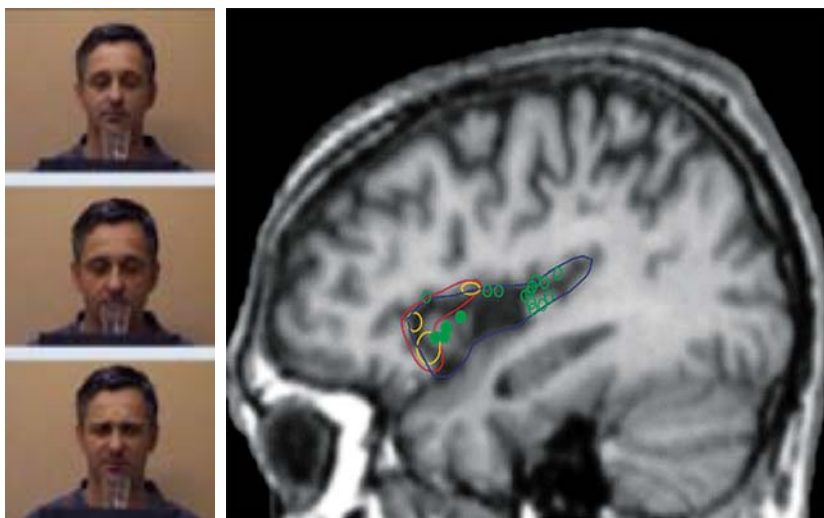
такой когнитивный процесс может привести и к непосредственному отображению сенсорной информации на моторные структуры, что заставит наблюдателя переживать то же самое. Между двумя

ОБ АВТОРАХ

Джакомо Риццоллатти (Giacomo Rizzolatti), **Леонардо Фогасси** (Leonardo Fogassi) и **Витторิโอ Галлезе** (Vittorio Gallese) работают в Пармском университете (Италия). Риццоллатти — декан факультета нейробиологии, а Фогасси и Галлезе — адъюнкт-профессоры. В начале 1990-х гг., изучая моторные системы головного мозга человека и обезьян, они впервые обнаружили существование нейронов с «зеркальными» свойствами. С тех пор деятельность исследователей посвящена изучению зеркальных нейронов приматов и человека, а также участия моторных систем мозга в познавательных процессах.

ЭМОЦИОНАЛЬНЫЕ ЗЕРКАЛА

Когда испытуемые вдыхали зловонный запах или видели гримасу отвращения на лице других людей при просмотре видеоклипов (*слева*), переживаемые ими отрицательные эмоции активизировали одни и те же области головного мозга. На показанном внизу поперечном разрезе мозга нейронные популяции, активированные непосредственным обонянием смрада, обозначены красным цветом, а те, что активизировались в результате созерцания гримас отвращения, отмечены желтыми кружками. (Синим цветом показаны изученные области мозга, а зеленым — зоны, исследованные в предшествующих тестах.)



способами распознавания эмоций существуют глубокие различия: в первом случае человек выводит умозрительное заключение о характере переживаний, но сам их не испытывает; во втором происходит непосредственное узнавание ощущений — зеркальный механизм вызывает у наблюдателя точно такое же эмоциональное состояние, что и у наблюдаемого. Выражая ближ-

нему сочувствие словами «Я чувствую твою боль», мы, как правило, и сами не осознаем, насколько точно эта фраза отражает глубинную суть вещей.

В качестве наглядного примера можно привести отвращение — эмоцию, выражение которой порой имеет для животных и человека жизненно важное значение. Выражая чувства в их наиболее

примитивной форме, животное предупреждает сородичей, что объект, который он обнюхал и попробовал, несъедобен, а возможно, и опасен. В исследовании, проведенном совместно с французскими нейробиологами методом МРТ, мы решили проверить предположение, что чувство омерзения, вызванное вдыханием зловония, и созерцание гримасы брезгливости на лице другого индивида вызывает активацию одних и тех же частей центральной доли (островка) коры головного мозга человека. В наших опытах зеркальные нейроны островка активизировались и в том случае, когда испытуемые сами обоняли неприятный запах, и когда они видели соответствующее выражение лица другого человека.

Таня Сингер (Tania Singer) из Лондонского университетского колледжа обнаружила сходное поведение зеркальных нейронов у людей, ощущавших боль, и у сопереживавших им наблюдателей. Участникам опытов причиняли боль с помощью электрического разряда, а затем они наблюдали, как электроды подключаются к руке другого добровольца, и подаётся сигнал к началу воздействия. В обоих случаях у испытуемых отмечалась активация одних и тех же участков переднего островка и передней поясной коры.

Результаты, полученные в ходе эксперимента, показывают, что люди способны понимать чувства (или хотя бы сильные отрицательные эмоции) за счет их непосредственного отображения на те части мозга, что отвечают за висцеральные моторные реакции. Конечно, такой зеркальный механизм понимания чужих ощущений не может дать исчерпывающего объяснения всем формам социального познания. Однако он определяет функциональный нейробиологический субстрат некоторых форм межличностных отношений, на

ОБЗОР: ЗЕРКАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОЗГА

- Выполнение тех или иных движений активирует особые популяции нейронов в головном мозге человека и обезьяны. Эти группы клеток задействованы и в том случае, когда участник эксперимента наблюдает за выполнением тех же самых маневров третьим лицом.
- Зеркальные нейроны обеспечивают непосредственное переживание индивидом наблюдаемых событий, а значит, его понимание действий другого человека, его намерений и эмоций.
- Зеркальные нейроны определяют и способность человека к имитации чужих жестов, следовательно, могут принимать принципиальное участие в обучении и развитии речи.



Зеркальная система мозга играет важнейшую роль в овладении новыми навыками

которых основаны более сложные формы социального поведения, что, возможно, и позволяет нам проникаться чувствами других людей. Не исключено, что нарушение работы зеркальной системы мозга лишает человека способности к сопереживанию, что, например, характерно для детей, страдающих аутизмом (см. в этом номере журнала: *Оберман Л. и Рамачандран В. Разбитое зеркало: теория аутизма*).

Как показывают недавние исследования, система зеркальных нейронов головного мозга принимает принципиальное участие и в освоении животными новых навыков. Хотя подражателя нередко называют «обезьяной», имитационные способности у этих животных достаточно ограничены: они плохо развиты у низших приматов и играют незначительную роль в жизни шимпанзе, горилл и других человекообразных. Напротив, у людей подражательство служит одним из важнейших средств обучения и овладения новыми навыками, речью и культурой. Обязаны ли мы этим преимуществом системе зеркальных нейронов? Одно из первых свидетельств в пользу данного пред-

положения получил М. Якобони, который провел МРТ-изучение головного мозга людей, наблюдавших или имитировавших движения пальцев руки. В обеих ситуациях отмечалась активация части системы зеркальных нейронов, локализованной в НФИ.

Однако в подобных исследованиях движения, воспроизводимые испытуемыми, были очень простыми и часто используемыми в жизни. А какую роль могут играть зеркальные нейроны, когда человек пытается посредством подражания научиться выполнять сложные и совершенно новые для него действия? Для ответа на этот вопрос Джованни Буччино (Giovanni Buccino) из Пармского университета недавно провел МРТ-исследование головного мозга людей, которые пытались брать аккорды на гитаре, посмотрев, как то же самое делает профессиональный гитарист. Наблюдение за музыкантом сопровождалось активацией фронтально-теменной системы зеркальных нейронов. Более сильное возбуждение в данной области отмечалось при попытке воспроизведения испытуемыми движений руки гитариста. Любопытно, что когда участ-

ники эксперимента, следя за рукой музыканта, перебирающей струны, готовились собственноручно повторить то же самое, отмечалась активация еще одной области мозга. Речь идет о префронтальном поле 46 — части моторной коры, связанной с рабочей памятью и моторным планированием и, таким образом, играющей ключевую роль в упорядочении элементарных двигательных актов в сложное действие, которое намеревается выполнить человек.

С тех пор как были открыты зеркальные нейроны, минуло всего десять лет. Исследователям еще предстоит разгадать многие тайны, связанные с работой данной системы мозга, в том числе и ответить на вопрос о возможной роли зеркальных нейронов в развитии речи — одного из самых сложных когнитивных навыков в жизни людей. Ведь система зеркальных нейронов включает и поле Брока — главный корковый центр, связанный с речью. И если, как полагают некоторые лингвисты, человеческая коммуникация началась с мимики и жестикуляции, то зеркальные нейроны, возможно, принимали важнейшее участие в эволюции речи и языка. ■

Перевод: В.В. Свечников

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ *Autonomic Responses of Autistic Children to People and Objects.* William Hirstein, Portia Iversen and Vilayanur S. Ramachandran in *Proceedings of the Royal Society of London B*, Vol. 268, pages 1883—1888; 2001.

■ *EEG Evidence for Mirror Neuron Dysfunction in Autism Spectrum Disorders.* Lindsay M. Oberman, Edward M. Hubbard, Joseph P. McCleery, Eric L. Altschuler, Jaime A. Pineda and Vilayanur S. Ramachandran in *Cognitive Brain Research*, Vol. 24, pages 190—198; 2005.

■ *A Brief Tour of Human Consciousness.* New edition. Vilayanur S. Ramachandran. Pi Press, 2005