



НЕЙРОФИЗИОЛОГИЯ танца

Стивен Браун и Лоренс Парсонс

Новые томографические исследования показали, что за нашей способностью танцевать скрывается сложнейшая нейронная хореография

Наше чувство ритма столь естественно, что большинство из нас воспринимают его как нечто само собой разумеющееся: услышав музыку, мы начинаем неосознанно постукивать ногой или покачиваться из стороны в сторону, причем сами того не замечая. Однако каково бы ни было предназначение данного инстинкта, он представляет собой нечто новое в эволюции. Ни

у млекопитающих, ни у каких-либо других представителей царства животных ничего подобного не наблюдается. Мы оказываемся подсознательно захваченными ритмом, и такая способность лежит в основе танца — сплава движения, ритма и жестов. Танец сопровождается большей синхронизацией в группе людей, чем какая-либо другая человеческая деятельность; он требует такой степени координации

между людьми во времени и пространстве, которая не возникает практически ни в каком другом социальном контексте.

Несмотря на то что танец представляет собой фундаментальную форму самовыражения людей, нейрофизиологи уделяли ему очень мало внимания. Однако недавно ученые провели первые томографические исследования как профессиональных танцоров, так

и любителей. Были поставлены принципиальные вопросы. Как танцоры ориентируются в пространстве? Как они выбирают темп своих шагов? Как люди обучаются сложным последовательностям движений, образующим фигуры танца? Полученные результаты позволяют составить некоторое представление о сложнейшей мозговой координации, требующейся для выполнения даже самых простых танцевальных движений.

Поймать ритм

Нейрофизиологи уже давно изучают такие простые движения, как, например, вращение в лодыжке или постукивание пальцем. Из этих работ мы в целом уже знаем, как мозг управляет простейшими действиями. Однако для того чтобы только лишь попрыгать на одной ноге — даже если не пытаться при этом одновременно еще и похлопывать себя по голове — нужно провести вычисления в сенсомоторной системе, учитывающие окружающее пространство, силу гравитации и поддержание равновесия, намерение и привязку ко времени, равно как и множество других факторов. Если несколько упростить картину, то получится, что область мозга, называемая задней теменной корой (ближе к задней стороне мозга), переводит зрительную информацию в двигательные команды и посылает сигналы вперед к областям, ответственным за планирование движений — в премоторную кору и дополнительную моторную область. Далее сформированные команды передаются в первичную моторную кору, которая генерирует нервные импульсы, идущие в спинной мозг и затем к мышцам, заставляя их сокращаться (*врезка на следующей стр.*).

В то же самое время сенсорные органы в самих мышцах обеспечивают обратную связь с мозгом, информируя его о точном расположении частей тела в пространстве с помощью сигналов, идущих по нервным волокнам через спинной мозг к коре больших полушарий. Подкорковые структуры — мозжечок на задней

стороне мозга и базальные ганглии в его глубине — также помогают корректировать двигательные команды на основе сенсорной обратной связи и обеспечивают большую точность производимых движений. Способны ли эти механизмы обеспечить столь грациозное движение, как, скажем, танцевальный пируэт, остается пока неясным.

Чтобы исследовать данный вопрос, мы провели первое томографическое исследование танцевальных движений. В сотрудничестве с нашим коллегой Майклом Мартинесом (Michael J. Martinez) из Центра наук о здоровье при Техасском университете в Сан-Антонио, мы пригласили в качестве испытуемых непрофессиональных танцоров танго. Было проведено сканирование мозга пяти мужчин и стольких же женщин с помощью позитронно-эмиссионного томографа (ПЭТ), который регистрирует изменения мозгового кровотока, возникающие как следствие изменения активности мозга. Исследователи интерпретируют усиление кровотока в какой-либо области мозга как признак большей активации располагающихся в ней нейронов. Наши испытуемые ложились на спину внутрь сканера, и их головы фиксировались, однако они могли шевелить ногами и водить ими по наклонной поверхности (*врезка на стр. 29*). Сначала мы просили их выполнять ногами «квадрат» из классической салиды (*первые восемь базовых шагов танго. — Прим. пер.*) аргентинского танго, причем движения нужно было выполнять под записи инструментальной музыки танго, которую испытуемые прослушивали через наушники. Затем мы проводили сканирование



НОВОЕ СВОЙСТВО ТАНГО

В 2007 г. Гэммон Иерхарт (Gammon M. Earhart) и Маделейн Хэкни (Madeleine E. Hackney) из Медицинской школы Вашингтонского университета в Сент-Луисе обнаружили, что исполнение танго улучшало подвижность у пациентов, страдающих от болезни Паркинсона. Исследователи обнаружили, что после 20 танцевальных занятий танго больные стали реже испытывать так называемые «замирания». В сравнении с другими пациентами, посещавшими физкультурные занятия, «танцоры» лучше поддерживали равновесие и получали более высокие баллы в тесте «Встаньте и идите», который позволяет выявить тех больных, для которых велик риск падения

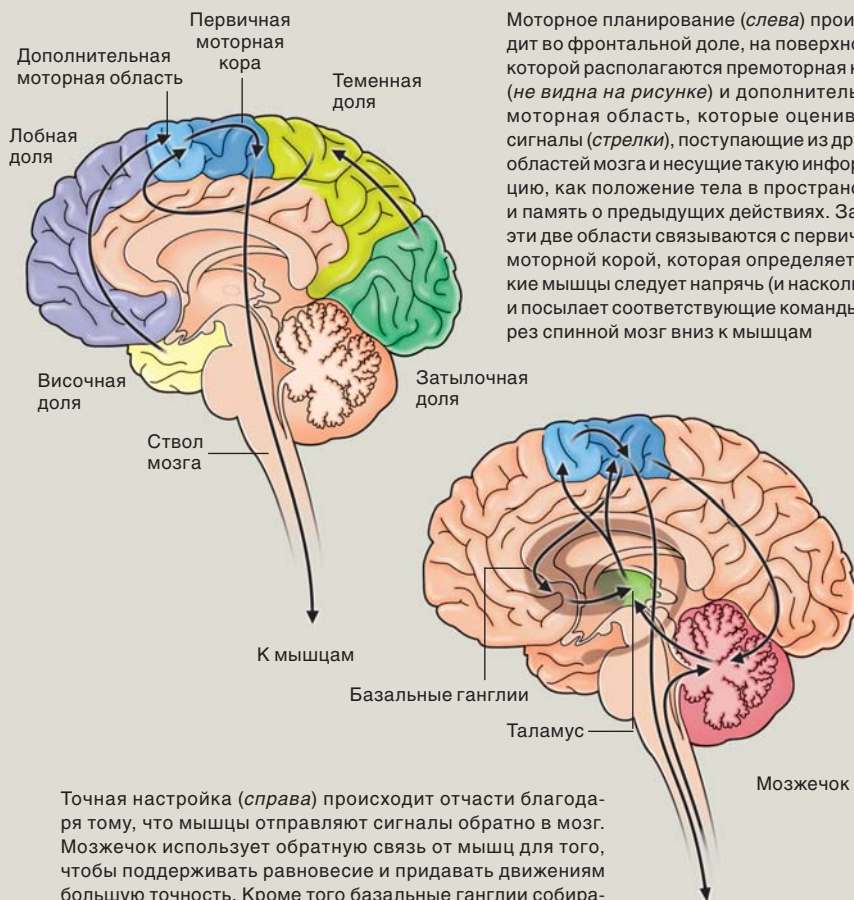
в другой ситуации, когда наши танцоры просто напрягали мышцы ног в такт музыке, но движений не производили. Вычитая активность мозга, вызванную простым напряже-

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Танец представляет собой фундаментальную форму самовыражения людей, которая, вероятно, развилась совместно с музыкой как способ рождения ритма.
- Танец требует специализированных навыков, обеспечиваемых мозгом. Одна область мозга отображает положение тела, помогая направлять наши движения в пространстве; другая обеспечивает синхронизацию, позволяя нам двигаться под музыку.
- Музыкальный ритм захватывает нас, и мы неосознанно начинаем постукивать ногой — так проявляется наша инстинктивная склонность к танцу. Это становится возможным благодаря тому, что определенные подкорковые области мозга обмениваются информацией, минуя высшие слуховые области.

ДВИЖУЩИЕ ЧАСТИ МОЗГА

Для того чтобы выявить области мозга, управляющие танцем, исследователям прежде всего нужно было понять, как мозг позволяет нам выполнять произвольные движения. Здесь представлена упрощенная схема процесса



Моторное планирование (слева) происходит во фронтальной доле, на поверхности которой располагаются премоторная кора (не видна на рисунке) и дополнительная моторная область, которые оценивают сигналы (стрелки), поступающие из других областей мозга и несущие такую информацию, как положение тела в пространстве и память о предыдущих действиях. Затем эти две области связываются с первичной моторной корой, которая определяет, какие мышцы следует напрячь (и насколько), и посылает соответствующие команды через спинной мозг вниз к мышцам

Точная настройка (справа) происходит отчасти благодаря тому, что мышцы отправляют сигналы обратно в мозг. Мозжечок использует обратную связь от мышц для того, чтобы поддерживать равновесие и придавать движениям большую точность. Кроме того базальные ганглии собирают сенсорную информацию от различных областей коры и передают ее через таламус в моторные области коры

нием мышц, из активности во время «танца», мы смогли выявить области мозга, необходимые для того, чтобы направлять ноги в пространстве и создавать конкретные последовательности движений.

Как и предполагалось, вычитание позволило исключить из рассмотрения многие базовые моторные области мозга. Осталась, однако, та часть теменной коры, которая участвует в восприятии пространства и ориентации в нем как у людей, так и у других млекопитающих. Во время танца восприятие пространства преимущественно кинестетическое: вы ощущаете положение своего туловища и конечностей в любой

момент времени, даже если ваши глаза закрыты, что становится возможным благодаря сенсорным образованиям в мышцах. Эти органы передают в мозг информацию об угле поворота в каждом суставе, о натяжении каждой мышцы, и на этой основе мозг создает отчетливое представление о положении всего тела и его частей. Если говорить точнее, то мы видели активацию предклинья — области теменной доли, располагающейся рядом с местом, где находится кинестетическое представление ног. Мы полагаем, что предклинья содержит кинестетическую карту, позволяющую людям ощущать положение своего

тела в пространстве при перемещении среди окружающих объектов.

Независимо от того, вальсируете ли вы или просто идете по прямой линии, предклинья помогает наметить путь, причем выполняет свои расчеты относительно центра вашего тела, т.е. в так называемой «эгоцентрической» системе координат.

Затем мы сравнили картины активности мозга, полученные во время танца, с томограммами, взятыми при выполнении испытуемыми движений танго в отсутствие музыки. Исключив участки мозга, активировавшиеся в обеих ситуациях, мы надеялись выявить области, необходимые для синхронизации движений с музыкой. И снова вычитание исключило практически все двигательные области мозга. Основное различие наблюдалось в той части мозжечка, которая получает вход от спинного мозга, — в передней части червя. Несмотря на то что данная область была задействована в обеих ситуациях, танцевальные движения, синхронизированные с музыкой, приводили к значительно более выраженному усилению кровотока в этой области, чем те же движения, но выполняемые испытуемыми в собственном ритме.

Предварительные результаты подтверждают гипотезу, согласно которой данная часть мозжечка служит своего рода дирижером, наблюдающим за информацией от различных областей мозга и помогающим согласовывать выполняемые действия (см.: Бауэр Д., Парсонс Л. Этот загадочный мозжечок // ВМН, 2003, № 10). Мозжечок в целом хорошо удовлетворяет критериям нейронного метронома: он получает множество сенсорных входов от слуховой, зрительной и соматосенсорной кортикальных систем (это необходимо для того, чтобы можно было подстраивать движения к разнообразным сигналам, от звуков до зрительных стимулов и прикосновений), и содержит сенсомоторное отображение всего тела.

Неожиданно второй анализ пролил свет на естественную склонность людей неосознанно постуки-

ПРИЧУДЛИВАЯ РАБОТА НОГАМИ

Для того чтобы выявить области мозга, важные для танца, авторы обратились к исполнителям танго с предложением пройти обследование на томографе. Испытуемых попросили занять в нем горизонтальное положение, а их голову зафиксировали. Они прослушивали музыку в ритме танго через наушники и двигали ногами по наклонной поверхности (фото)



В одном из таких экспериментов аппарат производил сканирование мозга при двух различных условиях: когда танцоры напрягали мышцы ног в такт музыке, но не двигали конечностями, и когда испытуемые выполняли основные шаги танго (врезка) ногами, опять же в такт музыке. Когда авторы вычли активность мозга, связанную с простым напряжением мышц (верхняя томограмма), из результатов, полученных при исполнении танго, то выделенной осталась часть теменной коры под названием предклинье (нижняя томограмма)

вать ногой в такт музыке. При сравнении томограмм, полученных при синхронизированных движениях и движениях, выполняемых в собственном ритме, мы обнаружили, что относительно низкий уровень слухового пути, а именно подкорковая структура, называемая медиальным коленчатым телом (МКТ), высвечивалась лишь в первом случае. Сначала мы решили, что этот результат просто отражал наличие звукового стимула — т.е. музыки — в условиях синхронизации, однако проведенное дополнительно сканирование мозга заставило нас отвергнуть данную интерпретацию: когда наши испытуемые слушали музыку, но не двигали при этом ногами, мы не обнаруживали никаких изменений кровотока в МКТ.

Таким образом, мы заключили, что активность в МКТ была специфическим образом связана с синхронизацией, а не просто с прослушиванием музыки. Данное открытие позволило нам сформулировать гипотезу, согласно которой при неосознанном подчинении ритму слуховая информация попадает непо-

средственно в мозжечок, минуя высшие уровни — слуховые области коры больших полушарий.

Вы полагаете, что умеете танцевать?

Когда мы наблюдаем и разучиваем танцевальные движения, то вовлекаются и другие области мозга. Бетрис Кальво-Мерино (Beatriz Calvo-Merino) и Патрик Хаггард (Patrick Haggard) из Лондонского университета колледжа исследовали вопрос, активируются ли определенные области мозга, когда люди наблюдают выполнение другими исполнителями танцевальных движений, которыми они сами владеют. Или, иначе говоря, есть ли такие области мозга, которые включаются у балетных танцоров, когда те смотрят балет, а не, скажем, капоэйру (афро-бразильское боевое искусство, выглядящее как танец и исполняемое под музыку)?

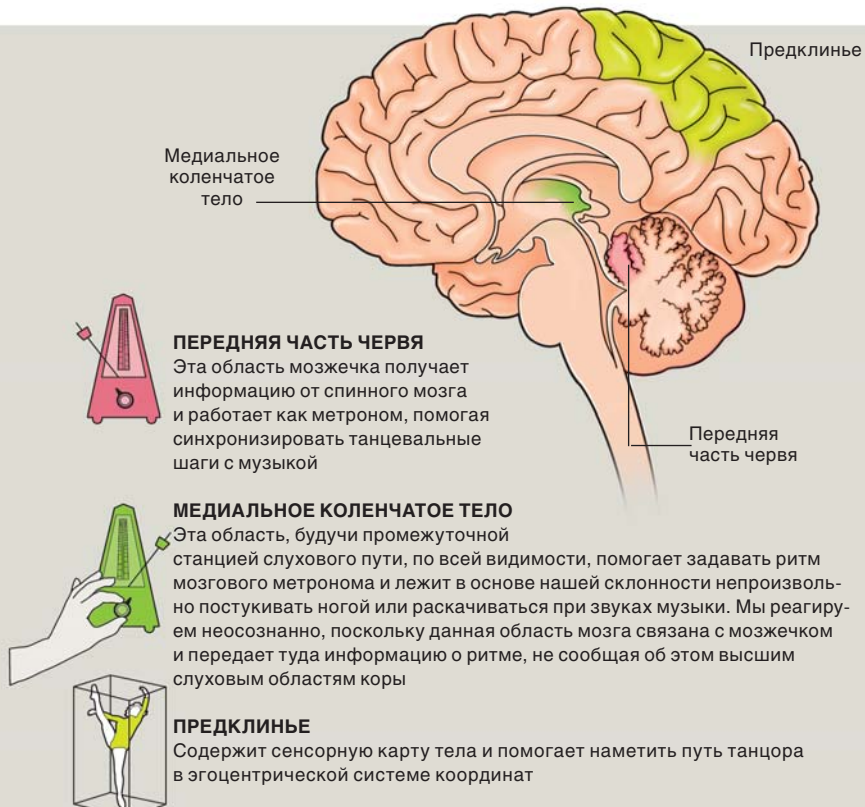
Для выяснения данного вопроса группа ученых воспользовалась функциональной магниторезонансной томографией и провела исследование мозга балетных танцоров,

капоэйристов и людей, не владеющих танцем, в то время как те смотрели трехсекундные видеоклипы без звука, представлявшие балетные па или движения боевого искусства. Исследователи обнаружили, что наличие собственного опыта у испытуемых оказывало сильное влияние на активацию премоторной коры: активность в ней повышалась лишь в тех случаях, когда участники эксперимента наблюдали за танцем, который они сами могли исполнить. Данный факт объясняет другая работа. Ученые выявили: когда люди следят за простыми действиями, в премоторной коре включаются области, участвующие в выполнении данных движений, что свидетельствует о том, что мы мысленно повторяем то, что видим, и это наверняка помогает нам разучивать и понимать новые движения. В настоящее время исследователи изучают, насколько велико для человека значение подобной мысленной имитации.

В последующей работе Кальво-Мерино со своими коллегами сравнила активность в мозге балетных исполнителей мужского и женско-

ХОРЕОГРАФИЯ В ГОЛОВЕ

Авторы обнаружили, что следующие области мозга принимают участие в танце, выходящее за пределы простого управления движениями



го пола в то время как те наблюдали видеозаписи, на которых либо танцоры, либо танцовщицы выполняли движения, встречающиеся соответственно только в мужских или женских партиях. И снова наибольший уровень активности в премоторной коре встречался в тех случаях, когда мужчины видели мужские балетные па, а женщины, соответственно, — женские.

Способность мысленно воспроизводить движения абсолютно необ-

ходима для обучения двигательным навыкам. В 2006 г. Эмили Кросс (Emily S. Cross) и Скотт Графтон (Scott T. Grafton) из Дартмутского колледжа занялись вопросом, усиливается ли активность в областях, ответственных за мысленную имитацию, непосредственно в момент обучения. На протяжении нескольких недель исследователи проводили еженедельное томографическое исследование мозга танцоров, которые разучивали сложную после-

довательность движений современного танца. Во время сканирования их мозга испытуемые смотрели пятисекундные клипы, в которых были показаны либо те движения, которые они осваивали, либо совершенно иные. После каждого видеофрагмента участники оценивали, насколько хорошо, по их мнению, они смогли бы выполнить те движения, которые только что видели. Полученные данные подтвердили результаты Кальво-Мерино и ее коллег. Активность в премоторной коре повышалась во время обучения и действительно коррелировала с оценками самих испытуемых того, смогли бы они выполнить данный фрагмент танца.

Оба исследователя подчеркивают тот факт, что обучение сложной последовательности движений активизирует помимо моторной системы мозга, управляющей сокращениями мышц, также и систему двигательного планирования, которая несет информацию о способности выполнить каждое конкретное движение. Чем лучше человек освоил какое-либо сложное па, тем легче ему вообразить себе, что он будет ощущать при его выполнении, и, вероятно, тем легче становится его исполнить на практике.

Наше исследование показывает, что способность проиграть в уме последовательность танцевальных движений — или теннисную подачу, или удар в гольфе — не основывается на одном лишь зрении, как могло бы показаться из описанных выше работ, а в равной мере является также и кинестетической. Истинное освоение движения требует ощущения своих мышц — двигательного образа, который формируется в областях мозга, ответственных за планирование движения.

ОБ АВТОРАХ

Стивен Браун (Steven Brown) — директор лаборатории NeuroArts Lab кафедры психологии, нейронауки и поведения в Университете МакМастера в Онтарио. Его исследования направлены на изучение мозговых механизмов человеческого общения, включая речь, музыку, жесты, танец и эмоции. **Лоренс Парсонс** (Lawrence M. Parsons) — профессор кафедры психологии в Шеффилдском университете в Англии. Его исследования охватывают изучение функций мозжечка и нейрофизиологию выступления дуэтом, очередности в разговоре и дедуктивного умозаключения.

Социальная роль танца

Возможно, самый интригующий вопрос для нейрофизиолога состоит в том, почему вообще люди танцуют. Очевидно, что музыка и танец тесно связаны друг с другом; часто бывает, что сам по себе танец рождает звук. Ацтекские дан-

сантес в Мехико надевают гетры, на которых закреплены плоды дерева айойотль, называемые чачайотес, которые при каждом шаге производят характерный звук. Во многих культурах люди во время танца надевают на себя или прикрепляют к своей одежде различные приспособления, производящие шум — от колотушек до кастаньет и четок. Кроме того танцоры обычно хлопают, щелкают и топают. Основываясь на этом, мы выдвинули гипотезу «телесной перкуссии», согласно которой танец развился изначально как процесс извлечения звуков. Мы также предположили, что танец и музыка, в особенности игра на ударных инструментах, развились совместно как дополняющие друг друга способы рождения ритма. Первые ударные инструменты вполне могли быть украшениями танцоров — наподобие ацтекских чачайотес.

Однако в отличие от музыки танец имеет огромные возможности для изображения и подражания, что указывает на его возможность играть роль ранней формы речи. В самом деле, танец по сути дела является жестовым языком. Интересно отметить, что при выполнении испытуемыми любых двигательных заданий в нашем исследовании мы видели активацию области правого полушария, симметричной по отношению к области Брока левого полушария. Область Брока расположена в лобной доле, согласно классическим представлениям ее связывают с произнесением, речи. В последние десять лет было выявлено, что область Брока также содержит представительство рук.

Данные открытия подтверждают так называемую жестовую теорию эволюции речи, сторонники которой утверждают, что речь изначально возникла как жестовая система, и лишь позднее стала звуковой. Наше исследование показало, что движения ногами активируют правополушарный гомолог области Брока, и это служит доводом в поддержку идеи о том, что танец появился как форма репрезентативной коммуникации.



На ацтекских дансантес в Мехико надеты гетры с чачайотес, которые гремят при каждом шаге. Во многих культурах танцоры надевают на тело и прикрепляют к одежде различные звучащие предметы. Вероятно, танец и музыка развились совместно как способ рождения ритма. Однако в отличие от музыки с помощью танца можно ясно выразить свои мысли

Однако какова же может быть роль гомолога области Брока в танце? В 2003 г. Марко Якобони (Marco Iacoboni) из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе применил магнитную стимуляцию мозга для того чтобы нарушать работу либо самой зоны Брока, либо ее гомолога. В обоих случаях у испытуемых ухудшалась способность копировать движения пальцами правой руки. Группа Якобони пришла к выводу, что данные области чрезвычайно важны для подражания, которое является ключевым компонентом обучения и необходимо для распространения культуры. Мы же выдвигаем свою гипотезу. Хотя в нашем исследовании не было подражательных движений как таковых, тем не менее как исполнение танго, так и повторение действий пальцами требуют, чтобы мозг в правильном порядке расположил отдельные компоненты движения.

Подобно тому, как область Брока по-звляет нам правильно ставить друг за другом слова и фразы, ее гомолог, по-видимому, может соединять элементарные движения в плавную последовательность.

Мы надеемся, что последующие томографические исследования позволят заглянуть в мозговые механизмы, стоящие за танцем и его эволюцией, которая тесно переплетена с появлением как речи, так и музыки. Мы рассматриваем танец как союз репрезентативной емкости языка и ритмичности музыки. Такое взаимодействие позволяет людям не только рассказывать истории с помощью своего тела, но и делать это, синхронизируя свои движения с движениями других людей, что способствует социальному притяжению людей друг к другу. ■

Перевод: Б.В. Чернышев