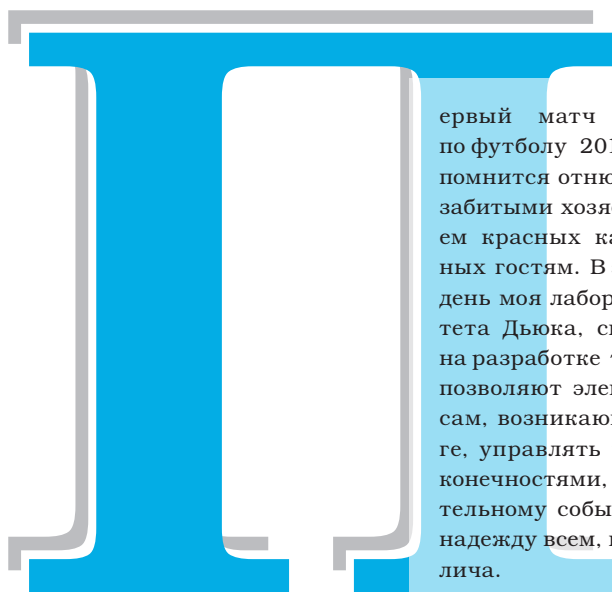


Мигель Николелис

СИЛОЙ МЫСЛИ

Представьте себе, что когда-нибудь разбитые параличом и обездвиженные люди все-таки смогут управлять своими конечностями исключительно посредством мысленного усилия, — и это совсем не голливудские фантазии



Первый матч Чемпионата мира по футболу 2014 г. в Бразилии запомнится отнюдь не только голами, забитыми хозяевами поля, и обилием красных карточек, выставленных гостям. В этот торжественный день моя лаборатория из Университета Дьюка, специализирующаяся на разработке технологий, которые позволяют электрическим импульсам, возникающим в головном мозге, управлять роботизированными конечностями, готовится к знаменательному событию, которое подает надежду всем, кто страдает от паралича.

Если нам удастся-таки осуществить задуманное, то тогда на церемонии открытия чемпионата первый удар по мячу нанесет парализованный подросток. Этот парень, закрепивший на своем теле, будто рыцарь латы, специальное роботизированное облачение, сам выйдет на поле и пройдет между двумя командами. Необычное устройство-протез, которое специалисты называют

экзоскелетом, будет полностью интегрировано с ногами подростка. Управление протезом-экзоскелетом осуществляется так: сигналы, возникающие в головном мозге, передаются по беспроводной сети в компьютер размером с ноутбук, помещенный в рюкзак за спиной у пациента. Далее компьютер преобразует электрические импульсы мозга в цифровые двигательные команды, после чего экзоскелет приводит в движение роботизированные ноги, одновременно с этим контролируя центр тяжести носителя этого удивительного спецкостюма. В результате парализованный парень сам без посторонней помощи зашагает по футбольному полю. Затем, подойдя к мячу, он «продумает», как его нога наносит удар по мячу, и в результате тут же, буквально через какие-то триста миллисекунд, роботизированная нога получит команду от головного мозга: бей по мячу, как говорится, по-нашему, по-бразильски!



ОБ АВТОРЕ

Мигель Николеллис (Miguel A.L. Nicolelis), профессор нейробиологии Медицинской школы Университета Дьюка и содиректор Центра нейротехнологий Университета Дьюка, стоял у истоков нейропротезирования.



Подобная демонстрация принципиально новой технологии, созданной европейскими и бразильскими разработчиками, призвана донести до миллиардов зрителей следующую мысль: идея, что механическими устройствами можно управлять с помощью головного мозга, не только находится на стадии воплощения, но и переходит к новому этапу реализации. Мечты фантастов, как и демонстрационные образцы, созданные в единичном экземпляре, — все это уходит в прошлое. И теперь мы вступаем в новую эпоху, когда инвалиды, обездвиженные в результате травм и тяжелых заболеваний, смогут передвигаться с помощью различных устройств и механизмов. Быть может, уже в следующем десятилетии появятся технологии, которые позволят интегрировать головной мозг человека с механическими, электронными и виртуальными устройствами. В результате можно вернуть подвижность не только людям, получившим травмы и увечья в результате несчастных случаев и боевых действий, но также и тем пациентам, кто страдает от бокового амиотрофического склероза (БАС), болезни Паркинсона и других страшных недугов, при которых

поражается двигательная функция конечностей и больной не в состоянии частично или полностью двигать рукой, совершать пальцами рук хватательные движения, передвигаться и говорить. На помощь придут устройства, созданные на основе технологий нейропротезирования; они позволят осуществлять взаимодействие между человеком и машиной (подобное взаимодействие часто называют «нейрокомпьютерным интерфейсом» или же «интерфейсом мозг-компьютер»). Такие технологии не только могут помочь инвалидам, но также способны сделать нечто большее: к услугам роботизированных механизмов могут прибегнуть и вполне здоровые люди. Зачем? Для того чтобы эти механизмы, усилив и многократно увеличив сенсорные и двигательные способности человека, позволили ему исследовать окружающий мир невиданными доселе способами.

В этом сказочном, фантастическом мире будущего человек при помощи электрических сигналов головного мозга — а их можно сравнить с биологическим алфавитом, лежащим в основе человеческого мышления, — сможет на расстоянии управлять роботизированными

устройствами разных размеров и летательными аппаратами. Более того, с их помощью люди смогут даже, наверное, обмениваться друг с другом мыслями и ощущениями через всемирную сеть, к которой каждый человек сможет подключить свой головной мозг.

Думающие машины

Легкий экзоскелет, предназначенный для счастливица, который станет открывать Чемпионат мира по футболу (его кандидатура еще не утверждена), пока находится в стадии разработки. Однако опытный образец протеза в настоящее время уже создают сотрудники лаборатории моего большого друга и соавтора Гордона Чэна (Gordon Cheng). Он работает в Мюнхенском техническом университете и выступает одним из основателей проекта *Walk Again*, появившегося в результате некоммерческого международного сотрудничества между Центром нейротехнологий при Университете Дьюка, Мюнхенским техническим университетом, Федеральной политехнической школой Лозанны, а также находящимся в бразильском городе Натале Международным институтом нейронауки им. Эдмонда и Лили

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- С помощью электрических сигналов, генерируемых головным мозгом, человек способен управлять не только движением курсора на мониторе и роботизированными руками, но и экзоскелетом, который в недалеком будущем позволит парализованным людям передвигаться, причем грациозно.
- Задача управления экзоскелетом с помощью сигналов, зафиксированных в коре головного мозга, требует применения новейших биоэлектрических технологий, ставших за последнее время более продвинутыми.
- Ожидается, что на торжественной церемонии открытия Чемпионата мира по футболу в 2014 г. в Бразилии на поле выйдет подросток-инвалид с парализованными конечностями и сможет нанести символический удар по мячу.

Сафра. В ближайшие несколько месяцев к этой международной команде ученых присоединятся несколько новых организаций, в том числе ряд крупных научно-исследовательских институтов и университетов из разных стран мира.

Наш проект возник в ходе почти двадцатилетней исследовательской работы, проводимой Университетом Дьюка и нацеленной на создание нейрокомпьютерных интерфейсов. В свою очередь, работы в данной области начали проводить еще в 1960-е гг. на основе экспериментов, в ходе которых ученые впервые попытались подключиться к головному мозгу животных и посмотреть, можно ли нейронную активность мозга перенаправить в компьютер, а затем привести в движение какое-либо механическое устройство. Начиная с 1990 г. и на протяжении всего

и с его помощью подавали порождаемые мозгом сигналы на роботизированные конечности, пытаясь тем самым привести последние в движение. Мощный прорыв произошел в прошлом году, когда ученые нашей лаборатории научили двух обезьян силой мысли двигать виртуальной рукой, изображенной на экране монитора. Обезьяны смогли не только дотрагиваться ею до виртуальных предметов, но и при помощи обратной — «виртуальной тактильной» — связи распознавать их на ощупь. С помощью компьютерных технологий подопытные животные научились осязать виртуальные объекты, касаться их виртуальными пальцами, которые двигались под воздействием мысли этих приматов.

Консорциум *Walk Again*, в который входит интернациональная команда специалистов в области нейроби-

изображения. Пациент надевает стереоскопические очки и шлем, позволяющие неинвазивно регистрировать работу мозга (здесь применяются методы электроэнцефалографии, т.е. ЭЭГ, и магнитоэнцефалографии), и полностью погружается в виртуальную среду, окружающую его со всех сторон (для начала мы выберем подростка с небольшим весом). Затем юноше надо будет научиться с помощью мыслей управлять движениями виртуального тела. Постепенно сложность движений виртуального тела увеличится, и в конечном итоге молодой человек сможет совершать движения, требующие более сложной координации, т.е., например, ходить по неровной поверхности или откручивать крышку виртуальной банки варенья.

Подключаемся к нейронам

В отличие от управления виртуальным телом, управлять движениями экзоскелета не так-то просто, и потому здесь процесс обучения более сложен. Для управления роботизированными конечностями нужно имплантировать электроды непосредственно в головной мозг. Кроме того, необходимо научиться считывать информацию с огромного числа нейронов, причем одновременно на всех участках коры головного мозга. А для этого придется вживлять множество сенсоров в двигательную область коры, нейроны которой непосредственно контролируют и координируют работу мышц. Попутно заметим, что в области лобной доли генерируется, так сказать, двигательная программа, загружаемая в спинной мозг. (Часть нейробиологов полагают, что подобного взаимодействия между головным мозгом и мышцами можно достичь с помощью неинвазивного метода регистрации мозговой активности, например ЭЭГ; однако на сегодня эта задача не решена).

Один из сотрудников моей группы в Университете Дьюка Гэри Лихью (Gary Lehew) разработал новый тип сенсора, измеряющего активность головного мозга. Он представляет собой регистрирующее устройство кубической формы, которое после

Мы установили, что после вживления гибкие микроэлектроды способны улавливать очень слабые электрические разряды, порожденные сотнями отдельных нейронов, находящихся в лобной и теменной частях коры головного мозга животных

первого десятилетия XXI в. мы с моими коллегами по Университету Дьюка впервые стали использовать имплантацию сотен гибких датчиков (микроэлектродов) толщиной с человеческий волос в головной мозг крыс и обезьян. За последние два десятилетия мы установили, что после вживления гибкие микроэлектроды вполне способны улавливать очень слабые электрические разряды (потенциалы действия), порожденные сотнями отдельных нейронов, находящихся в лобной и теменной частях коры головного мозга животных. Именно в этих отделах мозга расположены многочисленные зоны, отвечающие за произвольные движения.

В течение десяти лет в экспериментах на животных мы использовали нейрокомпьютерный интерфейс

ологии, робототехники, компьютерных наук, нейрохирургии и медицинской реабилитации, уже начал эффективно применять результаты описанных выше лабораторных опытов с целью создания на основе нейрокомпьютерного интерфейса принципиально новых способов обучения и реабилитации, помогающих восстановить полную подвижность тела парализованных пациентов. Молодой человек, которому выпадет честь открывать Чемпионат мира по футболу, будет учиться ходить, находясь внутри так называемой камеры автоматической виртуальной среды, сокращенно *CAVE* (от англ. *Cave Automatic Virtual Environment*), где воссоздаются условия виртуальной реальности: на стены и потолок проецируются компьютерные

имплантации способно улавливать в трехмерном пространстве сигналы по всему объему коры головного мозга. В отличие от сенсоров предыдущих типов, состоящих из плоских микроэлектродов, концы которых регистрируют электрическую активность нейронов, сенсорные микропровода аппарата Лихью пространственно ориентированы во все стороны по всей длине стержневидной структуры.

В последней версии созданных нами регистрационных кубов содержится до тысячи записывающих микропроводов. А поскольку один микропровод может собирать информацию по крайней мере с пяти-шести отдельных нейронов, то каждый регистрационный куб потенциально способен фиксировать электрическую активность 4–6 тыс. нейронов. Если имплантировать несколько таких кубов в лобную и теменную доли коры головного мозга (а эти области отвечают за управление движением и принятие решений), то мы смогли бы регистрировать активность одновременно десятков тысяч нейронов. Как показали результаты компьютерного моделирования, подобная конструкция вполне смогла бы осуществлять сложные виды движений, достаточные для того, чтобы «двуногий» экзоскелет начал ходить; тем самым мы сможем реально помочь парализованным пациентам восстановить двигательные способности.

Чтобы справиться с обработкой лавинообразно нарастающего объема данных, получаемых с этих датчиков, вживленных в головной мозг, нами были специально разработаны нейрочипы нового поколения. После того как их вместе с микроэлектродами имплантируют в черепную коробку пациента, они смогут непосредственно получать информацию о двигательных командах, необходимых для управления экзоскелетом.

Сигналы, зарегистрированные в головном мозге, нужно затем передать протезам. Недавно выпускник Университета Дьюка Тим Хансон (Tim Hanson) сконструировал 128-канальную беспроводную систему регистрации сигналов, оснащенную датчиками и микрочипами,

Хронология

ДОЛГАЯ ДОРОГА К ПРОТЕЗАМ, УПРАВЛЯЕМЫМ СИЛОЙ МЫСЛИ

На протяжении тысячелетий человек стремился заменить утраченные или необратимо поврежденные конечности искусственными — и это вполне понятно, ведь как иначе можно поставить на ноги воина, получившего ранения в бою, или человека с врожденными дефектами? В наше время технология настолько продвинулась вперед, что стало возможным управлять протезами с помощью электрических импульсов, порождаемых непосредственно головным мозгом.

1500–1000 гг. до н.э.

ПЕРВОЕ УПОМИНАНИЕ

В священной книге индуистов, написанной в этот период, упоминается воительница Вишпала, которой после ранения, полученного в бою, отсекали раненую ногу, заменив ее на железную. В результате Вишпала снова смогла ходить и вернулась к своему войску.

IV в. до н.э.

АНТИЧНЫЙ ПРОТЕЗ

Один из древнейших протезов, копия которого показана на фотографии, был найден на юге Италии в 1858 г. Он был изготовлен примерно в 300 г. до н.э. и состоит из медных и деревянных деталей. Протез предназначался, по-видимому, для инвалида, лишённого ноги ниже колена.



XIV в.

ПУШКИ И АМПУТАЦИЯ КОНЕЧНОСТЕЙ

Появление пороха привело к значительному увеличению количества тяжелых увечий солдат на полях сражений в Европе. В ответ на это в XVII в. хирург Амбруаз Паре (Ambroise Pare), служивший при дворе нескольких французских королей, разработал методику протезирования верхних и нижних конечностей, а также повторно ввел в медицинскую практику использование лигатуры при перевязке кровеносных сосудов.



1861–1865 гг.

ГРАЖДАНСКАЯ ВОЙНА В США

Во время Гражданской войны в США проводились многочисленные ампутации конечностей. Среди раненых оказался бригадный генерал Стивен Джозеф Макгрорти (McGroarty), потерявший руку. Приток государственного финансирования и появление средств анестезии, позволявших увеличить время операции, не могли не оказать положительного воздействия на технологии протезирования.



1963 г.

ПРОСТЕЙШИЙ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНТЕРФЕЙС

Хосе Мануэль Родригес Дельгадо (Jose Manuel Rodriguez Delgado) вживил радиоуправляемый электрод в хвостатое ядро, расположенное во внутренней части головного мозга быка, и смог остановить движение этого животного, всего лишь нажав кнопку пульта дистанционного управления. Устройство Дельгадо стало предшественником современного нейрокомпьютерного интерфейса.

1969 г.

НОВАТОРСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Эберхард Фетц (Eberhard Fetz) из Вашингтонского университета провел эксперимент, в результате которого обезьяны научились порождать электрические импульсы головного мозга и контролировать скорость реакции отдельных нейронов, сигналы которых регистрировались металлическим микроэлектродом.

1980 г.

РЕГИСТРАЦИЯ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ

Апостолос Георгопулос (Apostolos Georgopoulos) из Университета Джона Хопкинса установил факт изменения активности некоторых нейронов в моторной коре головного мозга макаков-резусов в тот момент, когда обезьяна двигала рукой.

НАЧАЛО 1990-х гг.

ПОДКЛЮЧЕНИЕ

Джон Чэпин (John Chapin), работающий в настоящее время в Государственном университете Нью-Йорка, и Мигель Николеллис применили метод, который позволил регистрировать информацию, поступавшую одновременно от десятков рассредоточенных нейронов, при этом в опыте использовались вживленные электроды. Тем самым ученые сделали первый шаг в области исследования нейрокомпьютерного интерфейса.

1997 г.

БОЛЬШЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

В модернизированной версии протеза ноги C-Leg, управляемого с помощью микропроцессора, предусмотрен режим для езды на велосипеде.



1999–2000 гг.

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Лаборатории, руководимые Чэпином и Николеллисом, опубликовали работу, впервые описывающую нейрокомпьютерный интерфейс, управляемый при помощи сигналов головного мозга крысы: животные управляли движением силой мысли, при этом использовалась визуальная обратная связь. В следующем году лаборатория Николеллиса выпустила в свет первое исследование, описывающее эксперимент, в ходе которого обезьяна посредством сигналов, порождаемых мозгом, управляла движением руки робота.

2008–2011 г.

ЧЕЛОВЕК, БЕГУЩИЙ ПО ЛЕЗВИЮ БРИТВЫ

После неудачной попытки получить право выступать на летних Олимпийских играх 2008 г.

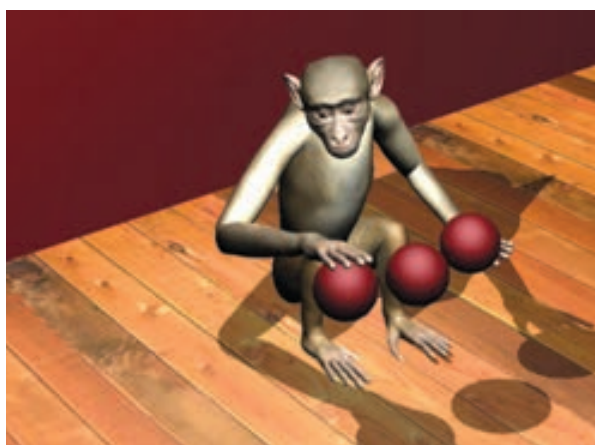


Оскар Писториус (Oscar Pistorius) стал чемпионом летних Паралимпийских игр 2008 г., а затем выступил в полуфинале забега на 400 м на Чемпионате мира 2011 г. в Тэгу, Южная Корея, проводимого под эгидой Международной ассоциации легкоатлетических федераций (IAAF).

2011 г.

ОБЕЗЬЯНА ДУМАЕТ, АВАТАР ВЫПОЛНЯЕТ

Сотрудники команды Николеллиса, работающие в Центре нейроинженерии при Университете Дьюка, показали, что обезьяна способна с помощью мыслей управлять движениями виртуального объекта на экране монитора.



2012 г.

МОЗГ ПРИКАЗЫВАЕТ РОБОТИЗИРОВАННОЙ РУКЕ

Джон Донохью (John Donoghue) и его коллеги из Университета Брауна продемонстрировали свою



совместную разработку — систему нейронного интерфейса BrainGate. Она позволяет парализованному пациенту с вживленным черепно-мозговым имплантатом управлять роботизированной рукой и самому пить напиток из банки.

2014 г.

КИБОРГ ОТКРЫВАЕТ ЧЕМПИОНАТ

Лаборатория Николеллиса намерена создать экзоскелет для подростка-инвалида, который должен нанести первый удар по мячу на церемонии открытия Чемпионата мира по футболу в Бразилии.

которые после имплантации в черепную коробку передают обнаруженные в мозге сигналы на удаленный приемник. Первая модификация нейрочипов конструкции Хансона в настоящее время была успешно испытана на обезьянах. Действительно, в последнее время мы наблюдаем следующее явление: обезьяны научились использовать нейрокompьютерный интерфейс в круглосуточном режиме и осуществлять беспроводную передачу сигналов мозга. И вот в июле мы официально обратились к бразильскому правительству за разрешением опробовать данную технологию на человеке.

Теперь вернемся к нашему футболисту, которому, как мы предполагаем, предстоит открывать чемпионат мира. Информация, собранная с помощью систем регистрации

осуществлять сам, без какого-либо вмешательства нервной системы. Чем-то напоминая фантастическое облачение космонавта, экзоскелет, с одной стороны, достаточно подвижен, но с другой стороны, сохраняет устойчивость, выполняя функцию позвоночника человека. Таким образом, экзоскелет представляет собой комбинацию нейрокompьютерного интерфейса и автоматических элементов. Мы надеемся, что в момент открытия чемпионата мира созданный нами аппарат сам вынесет на футбольное поле подростка-инвалида, используя лишь силу его мысли.

С помощью таких мощных протезов молодой человек сможет не только двигаться, но даже вполне реально чувствовать под собой твердость земной поверхности. Словом, экзоскелет поможет восполнить чувство

поверхность, чувствовать ее под собой, управлять роботизированными ногами и, по мере накопления опыта, ходить не только по футбольному полю, но и просто по обычной улице. Прежде чем мы начнем создавать экзоскелет для человека, необходимо на каждой стадии нашего проекта проводить тщательные эксперименты на животных. Кроме того, для обеспечения надлежащей научной экспертизы и с целью рассмотрения этико-правовых аспектов биомедицинских исследований с участием человека необходимо будет получить одобрение со стороны государственных органов Бразилии, США и Евросоюза. Мы хорошо понимаем, что успех нашей работы — величина вероятностная, к тому же проект должен быть выполнен в сжатые сроки, в течение которых необходимо публично продемонстрировать работу протеза. И все же, несмотря на эти трудности, стремление совершить мощный технологический рывок никогда раньше не вызывало столь неподдельного интереса бразильского общества к науке.

С помощью команд, порождаемых головным мозгом, носитель протеза-экзоскелета сможет ходить, регулируя при этом скорость своего передвижения; он сможет наклоняться и подниматься по лестнице

сигналов, будет передаваться по беспроводной связи в небольшое компьютерное устройство обработки данных, помещенное у парня за спиной в рюкзаке. Различные программные алгоритмы, используя силу сразу нескольких цифровых процессоров, станут переводить двигательные сигналы на язык цифровых команд, управляющих движущимися частями суставов, сочленений и прочих деталей роботизированного костюма.

Сила мысли

С помощью команд, порождаемых головным мозгом, носитель протеза-экзоскелета сможет ходить, регулируя при этом скорость своего передвижения; он сможет наклоняться и подниматься по лестнице. При этом некоторые виды несложных движений протез способен

осознания и равновесия. Каким образом? Благодаря микроскопическим датчикам-сенсорам, которые сначала регистрируют по ходу движения величину силы воздействия экзоскелета на поверхность, а потом немедленно передают эту информацию обратно в мозг. Таким образом, парализованный футболист сможет почувствовать, что его ноги вполне реально касаются мяча.

Опираясь на десятилетний опыт наших исследований в области создания нейрокompьютерных интерфейсов, мы с уверенностью можем сказать следующее: после того как футболист облачится в экзоскелет, мозг тут же воспримет этот роботизированный протез как истинное и вполне реальное продолжение схемы тела футболиста. В процессе обучения носитель экзоскелета постепенно научится осознать

Дистанционное управление

Участие человека, использующего экзоскелет, в открытии Чемпионата мира по футболу — а если вдруг наши ученые по каким-то причинам не уложатся в сроки, то в каком-нибудь другом мероприятии, скажем, в Олимпийских или Паралимпийских играх 2016 г. в Рио-де-Жанейро, — не просто ловкий и завлекательный трюк. Понять, каковы же перспективы технологии нейропротезирования, можно после знакомства с экспериментом на обезьянах, проведенным в два этапа. Напомним, что еще в 2007 г. наша группа исследователей из Университета Дьюка стала обучать макаков-резусов ходьбе по беговой дорожке на задних лапах, при этом у обезьян регистрировалась электрическая активность одновременно более чем двух сотен нейронов коры головного мозга. Между тем сотрудник лаборатории Интеллектуальной робототехники и связи Института передовых телекоммуникаций в Киото

Гордон Чэн создал интернет-протокол, с помощью которого можно отправлять данные о нейронной активности прямо в Киото, а затем передавать их электронным контроллерам человекообразного робота *CVI*. На первой фазе этого столь амбициозного трансконтинентального эксперимента Чэн вместе с руководимой мною группой исследователей из Университета Дьюка показал, что те алгоритмы, которые были разработаны ранее для перевода мыслей в сигналы, управляющие роботизированными руками, можно применить и для управления движением двух механических ног-протезов.

Во второй части эксперимента исследователи удивились еще больше: когда одна из наших обезьян по кличке Айдоя шла по беговой дорожке в Дареме, штат Северная Каролина, информация об электрической активности ее мозга транслировалась с помощью нейрокомпьютерного интерфейса через созданный Чэнгом интернет-протокол напрямую в Киото. А уже там *CVI* распознавал эти двигательные команды и практически тут же начинал двигаться. Правда, ему сначала требовалась устойчивость в области талии, но в последующих экспериментах он начинал двигаться уже самостоятельно в автономном режиме, выполняя команды, которые порождал головной мозг обезьяны, находившейся в совершенно другой точке земного шара.

Более того, даже в тот момент, когда беговая дорожка в Университете Дьюка остановилась и Айдоя перестала по ней передвигаться, обезьяна тем не менее все еще продолжала дистанционно управлять движением ног робота, находившегося в Киото. Каким же образом? Просто наблюдая за его передвижениями на экране монитора и мысленно представляя себе каждый последующий его шаг. Получилась интересная картина: мозг Айдой продолжал посылать сигналы, которые заставляли робота перемещаться, в то время как сама обезьяна не двигалась. Этот трансконтинентальный опыт, использующий

нейрокомпьютерный интерфейс, показал, что живое существо — человек или обезьяна — способно легко преодолевать пространство и время, действовать вопреки силам природы, с помощью одних лишь мыслей преодолевать ограниченность тела, сообщая их искусственному устройству, расположенному на значительном удалении.

Описанные здесь эксперименты показывают, что с помощью нейрокомпьютерного интерфейса люди вполне могут управлять роботами, помещенными в такую среду, куда человеку просто невозможно проникнуть. Например, можно будет оперировать микрохирургическим инструментом прямо внутри тела пациента или управлять человекоподобным роботом при ликвидации аварий на АЭС.

При помощи нейрокомпьютерного интерфейса люди смогут приводить в действие механизмы, управление которыми требует больших физических усилий, или же наоборот, манипулировать сверхчувствительными устройствами. Тем самым человек способен увеличить свою силу за счет внешнего роботизированного каркаса. Соединение мозга обезьяны с человекообразным роботом уже помогло преодолеть ограничения, накладываемые временем: мысли, порожденные обезьянкой Айдоей, преодолели моря и континенты за какие-то 20 миллисекунд — за этот же самый промежуток времени обезьяна даже не успела пошевелить пальцами!

Не только устремленность в будущее, но и эксперименты на обезьянах вселяют в нас уверенность в том, что наши планы в конце концов осуществляются. В момент написания этой статьи мы ожидали ответа от Международной футбольной ассоциации (*FIFA*) — организатора церемонии открытия мирового чемпионата: согласится ли она с нашим предложением вывести на поле молодого человека с парализованными ногами, соединенными с экзоскелетом? Разрешит ли ему принять участие в церемонии открытия первой игры Чемпионата мира по футболу 2014 г.? Заметим попутно, что правительство

Бразилии, ожидая одобрения *FIFA*, поддержало наше предложение, пусть и с оговорками.

Но прежде чем мы сможем воплотить свою идею в жизнь, нам придется столкнуться с множеством бюрократических преград и еще не решенных научных задач. И все же я все время мечтаю о том дне, когда в стране, боготворящей эту прекрасную игру — футбол, простой бразильский паренек-инвалид с парализованными ногами, управляя своими протезами силой мысли, на глазах у трехмиллиардной аудитории сможет-таки самостоятельно пройти по сочной траве футбольного газона и нанести удар по мячу — удар, символизирующий собой огромный научный прорыв. ■

Перевод: И.В. Ногаев

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Cortical Control of a Prosthetic Arm for Self Feeding. Meel Velliste et al. in *Nature*, Vol. 453, pages 1098–1101; June 19, 2008.
- Beyond Boundaries: The New Neuroscience of Connecting Brains with Machines — and How It Will Change Our Lives. Miguel Nicolelis. St. Martin's Griffin, 2012.
- Николелис М., Чэпин Д. Мысль управляет роботом // *ВМН*, № 2, 2003.
- Николелис М., Рибейра С. В поисках нейронного кода // *ВМН*, № 4, 2007.
- Видео, на котором показана работа опытного образца экзоскелета, см. по адресу: ScientificAmerican.com/sep2012/exoskeleton