

Хирург, собирающийся подключить вас к интернету через мозговой имплантат

<https://www.technologyreview.com/s/609232/the-surgeon-who-wants-to-connect-you-to-the-internet-with-a-brain-implant/>

- Перевод
- Эрик Льютхардт считает, что в недалёком будущем мы позволим докторам засовывать нам в мозг электроды, чтобы мы могли напрямую общаться с компьютерами и друг с другом

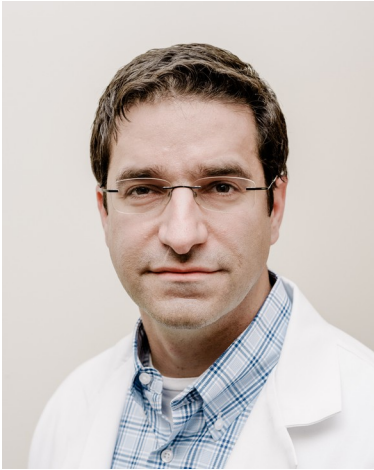
Утром понедельника, последовавшего за премьерными выходными фильма «Бегущий по лезвию 2049» Эрик Льютхардт [Eric Leuthardt] стоит в центре залитой светом операционной, одетый в халат и маску, склонившись над пациентом, находящимся без сознания.

«Я думал, что он человек, но не был уверен», — говорит Льютхардт хирургу-ординатору, стоящему рядом с ним, одновременно рисуя линию на побритой коже головы пациента, там, где он собирается делать первые надрезы в рамках нейрохирургической операции. «А ты думал, он репликант?»

«Я точно думал, что он репликант», — отвечает ординатор, имея в виду термин из фильма, обозначающий реалистичных андроидов.

«Мне кажется очень интересным, что в будущем постоянно показывают летающие автомобили», — говорит Льютхардт, передавая ординатору маркер и беря в руку скальпель. «Антиутопию они показали: всё время рассуждали о биологии, о репликантах. Но большие куски будущего отсутствуют. Где, например, нейропротезы?»

На эту тему Льютхардт, 44-летний учёный и нейрохирург, думал очень много. Кроме своей деятельности как нейрохирурга в Вашингтонском университете в Сент-Луисе, он ещё опубликовал два романа и написал получившую награду пьесу, призванную «подготовить общество к предстоящим переменам». В первом романе, техно-триллере «Красный дьявол 4» [RedDevil 4], 90% населения выбрало имплантацию компьютерного оборудования прямо в мозг. Это позволило обеспечить связь между людьми и компьютерами и огромное количество чувственных ощущений стало доступно, прямо не выходя из дома. Льютхардт считает, что за следующие несколько десятилетий такие имплантаты станут чем-то вроде пластической хирургии или татуировок, и их будут устанавливать, не раздумывая.



*Эрик Льютхардт*

«Моя работа состоит в том, чтобы вскрывать людей, — говорит он. — Так что это довольно легко представить».

Но Льютхардт сделал гораздо больше, чем просто представил будущее. Он специализируется на операциях на пациентах с трудноизлечимой эпилепсией, и все они должны провести по несколько дней перед основной операцией с электродами, имплантированными в их кору, в то время как компьютеры собирают информацию о последовательностях нейронов, активирующихся у них перед припадками. В это время они привязаны к больничной койке, и им часто очень скучно. Лет 15 назад Льютхардту было прозрение: почему бы не завлечь их побыть испытуемыми в эксперименте? Это развеет их скуку и поможет приблизить его мечты к реальности.

Льютхардт начал разрабатывать для них задания. Затем он анализировал сигналы их мозга, чтобы понять, что он может узнать по поводу декодирования мозгом мыслей и намерений, и как такие сигналы можно использовать для контроля внешних устройств. Достаточно ли данных, к которым у него есть доступ, для описания планируемого движения? Можно ли услышать внутренний монолог человека? Возможно ли расшифровать сознание?

Хотя ответы на некоторые из этих вопросов были далеки от однозначных, они были вдохновляющими. Достаточно вдохновляющими для того, чтобы сделать Льютхардта истинным верующим — тем, чьи идеи могли бы звучать безумно, если бы он не был нейрохирургом, работающим в обстановке жизни и смерти в операционной, когда не остаётся места для иллюзий или высокомерия. Льютхардт лучше других знает, что нейрохирургия — дело опасное, пугающее, и сложное для пациента. Но его понимание мозга дало ему чёткое представление о присущих ему ограничениях — и о потенциале технологии, способной помочь преодолеть их. Он настаивает, что когда остальной мир поймёт все возможности, и технологии совершат нужный прогресс, человеческая раса сделает то, что делала всегда. Эволюционирует. На этот раз — при помощи чипов, имплантированных в головы.

*Пациент подготовлен к минимально инвазивной лазерной хирургии для лечения опухоли мозга. Подобные операции высокой точности сделали имплантацию электродов безопаснее и менее пугающим*

«Настоящая нейроинтеграция обязательно произойдёт, — говорит Льютхардт. Это вопрос времени. Пройдёт 10 или 100 лет, в долгосрочной перспективе это будет существенным развитием человечества».

Льютхардт вовсе не единственный человек, имеющий экзотические амбиции по созданию интерфейсов мозг-компьютер. В прошлом марте Илон Маск, основатель Tesla и SpaceX, запустил проект Neuralink, предназначенный для создания устройств, облегчающих объединение мозга и машин. Марк Цукерберг из Facebook выражал те же самые мечты, и этой весной его компания обнаружила тот факт, что 60 её инженеров работают над созданием интерфейсов, которые позволят вам печатать силой мысли. Брайан Джонсон, основатель платёжной системы Braintree, использует свои средства для поддержки компании Kernel, разрабатывающей нейропротезы, которые, как он считает, когда-нибудь будут улучшать интеллект, память и прочее.

Но все эти планы находятся на ранних этапах, и о них мало распространялись, в связи с чем сложно определить, какой прогресс уже было достигнуто, или насколько заявленные цели являются реалистичными. Проблем с интерфейсами мозг-компьютер вагон. Те устройства, о которых толкуют Маск и Цукерберг, потребуют не только гораздо лучшего по качеству оборудования, способного поддерживать непрерывное механическое соединение и передачу данных между кремниевыми компьютерами и беспорядочным серым веществом человеческого мозга. Они должны будут обладать достаточной вычислительной мощностью, чтобы разобрать массив данных, производимых в любой момент любым количеством из сотни миллиардов нейронов мозга. А кроме того, нам пока неизвестен используемый мозгом код. Иначе говоря, нам придётся научиться читать мысли людей.

Но Льютхардт считает, что он увидит это ещё при жизни. «Зная скорость, с которой меняются технологии, вполне можно представить, что в течение 20 лет всё, что содержится в современном сотовом телефоне, поместится в рисовом зёрнышке, — говорит он. — А это уже можно поместить в вашу голову минимально инвазивным способом, и оно сможет производить необходимые вычисления для того, чтобы быть по-настоящему эффективным интерфейсом мозг-компьютер».

## **Расшифровываем мозг**

Учёные давно знают, что активация нейронов позволяет нам двигаться, чувствовать и думать. Но взломать код, на котором нейроны общаются друг с другом и остальным телом — слушать это общение, понимать, как именно клетки мозга позволяют нам функционировать — очень давно является одной из самых сложных задач нейробиологии.

В начале 1980-х инженер Апостолос Георгопулос [Apostolos Georgopoulos] из Института им. Джона Хопкинса, проложил путь сегодняшней революции интерфейсов мозг-компьютер. Георгопулос определил нейроны в высокоуровневых зонах обработки двигательной коры, активирующиеся перед каждым движением — будь то взмах кистью вправо или давление рукой сверху вниз. Важным это открытие стало потому, что эти сигналы можно было записывать и использовать для предсказания направления и силы движений. Некоторые из этих схем активации нейронов управляли поведением множества нейронов низкого уровня, работающих сообща над движением отдельных мускулов, и, в итоге, конечности.

Используя массивы из десятков электродов, отслеживающие высокоуровневые сигналы, Георгопулос показал, что он может предсказать, не только в какую сторону обезьяна двинет джойстик в трёхмерном пространстве, но и скорость движения, и его изменение во времени.

Именно такие данные, казалось, можно использовать для того, чтобы дать парализованному пациенту возможность управлять протезом силой мысли. Именно этой задачей и занялся один из протезе Георгопулоса, Эндрю Шварц [Andrew Schwartz], в 1990-х. К концу 1990-х Шварц, сегодня работающий нейробиологом в Питтсбургском университете, имплантировал электроды в мозг обезьян и начал демонстрации того, что их действительно можно натренировать контролировать роботизированные конечности силой мысли.

Льютхардт, готовящийся поступить на работу в Вашингтонском университете в 1999-м году, был вдохновлён этой работой: когда ему нужно было решать, как провести годовой перерыв на исследования, он понял, чем он хочет заняться. Первые успехи Шварца убедили Льютхардта в том, что научная фантастика вот-вот станет реальностью. Учёные наконец делали первые соблазнительные шаги к объединению человека с машиной. Льютхардт хотел стать частью наступающей революции.

Он думал посвятить свой год изучению проблемы рубцевания на мышцах: со временем электроды, имплантируемые Шварцем и другими, вызывали воспалительную реакцию или покрывались клетками мозга и переставали работать. Но когда Льютхардт со своим куратором взялись за разработку плана, у них появилась идея получше. Почему бы не изучить вопрос использования какой-нибудь другой технологии записи активности мозга?

«Нас вдруг осенило: „Эй, у нас же постоянно есть люди с электродами!“, — говорит Льютхардт. — Почему бы нам не провести над ними эксперименты?»

Георгопулос и Шварц собирали данные на основе техники, использующей микроэлектроды, расположенные рядом с мембранами отдельных нейронов, и отслеживающие изменения напряжения. Используемые Льютхардтом электроды, имплантируемые пациентам с эпилепсией перед хирургией, были гораздо больше, и располагались на поверхности коры, под скальпом, на кусочках пластика, записывая сигналы, испускаемые сотнями тысяч нейронов одновременно. Для их установки Льютхардт делал первичную операцию, в которой верхняя часть черепа удалялась, делался разрез [твёрдой мозговой оболочки](#) (самой внешней мембраны мозга), и электроды располагались прямо на вершине мозга. Затем он соединял

их с пучком проводов, шедшим из головы пациента, и подключал провода к аппаратам, анализирующим сигналы мозга.

Такие электроды десятилетиями успешно использовались для определения точного источника эпилептических припадков в мозгу пациента. После первой операции пациент прекращает принимать лекарства от припадков, что в итоге вызывает приступ — и данные о его физическом источнике помогают докторам, Льютхардту и другим, решать, какую часть мозга необходимо подвергнуть резекции, чтобы предотвратить приступы в будущем.

Но многие люди скептически относились к тому, что электроды смогут выдать достаточно информации для управления протезом. Чтобы это выяснить, Льютхардт привлёк Гервина Шалка [Gerwin Schalk], специалиста по информатике из Вадсворского центра, лаборатории здравоохранения Нью-Йоркского департамента здоровья. Прогресс оказался быстрым. Через несколько лет тестов пациенты Льютхардта продемонстрировали способность играть в Space Invaders — двигая виртуальный космический корабль влево и вправо — силой мысли. Затем они научились двигать курсор в трёхмерном пространстве на экране.

В 2006-м, после доклада о своей работе на конференции, с Шалком связался Элмар Шмайсер [Elmar Schmeisser], управляющий из Министерства исследований армии США. Шмайсер задумал нечто более сложное. Он хотел узнать, возможно ли декодировать «мысленную речь» — слова, которые человек не озвучивает, а проговаривает в голове. Шмайсер любил научную фантастику и давно уже мечтал о создании «мыслешлема», способного распознавать мысленную речь солдата и транслировать её в наушник его товарища.

Льютхардт договорился с 12-ю прикованными к постелям пациентами с эпилепсией, которые лежали в комнатах и скучали, ожидая припадков, и дал каждому из них 36 слов с простой структурой «согласная-гласная-согласная», такие, как “bet,” “bat,” “beat” и “boot”. Он попросил пациентов сначала произнести слова вслух, а потом просто представить, как они их произносят, следуя визуальным инструкциям на экране компьютера без аудио, а потом опять произнести слово вслух, уже без видеоподсказки, чтобы он мог определить входящие сенсорные сигналы. Полученные данные он отправил Шалку на анализ.

Программа Шалка работает с алгоритмами распознавания последовательностей — его систему можно натренировать на распознавание схем активации групп нейронов, связанных с определённой задачей или мыслью. При наличии 50-200 электродов, каждый из которых выдаёт 1000 значений в секунду, программе приходится перемалывать огромное количество переменных. Чем больше электродов и чем меньше нейронов приходится на каждый электрод, тем выше шансы декодировать осмысленные последовательности — если привлечь достаточно большие вычислительные мощности, способные справиться с отбрасыванием ненужного шума.

«Чем разрешение больше, тем лучше, но минимум у нас должно быть порядка 50000 чисел в секунду, — говорит Шалк. — Необходимо извлечь из них что-то одно, что вас интересует. Это нетривиальная задача».

Результаты Шалка были удивительно надёжными. Как можно было ожидать, когда пациенты озвучивали слово, данные говорили об активности в областях моторной коры, связанной с мускулами, воспроизводящими речь. Звуковая кора и соседняя с ней область, которую давно подозревали в связи с обработкой речи, также были активными в этот момент. Что интересно, когда испытуемые представляли слова, не озвучивая их, схемы активации нейронов получались очень похожими, хотя и немного отличались.

Шалк, Льютхардт и другие люди, занятые в проекте, считают, что они обнаружили этот тихий голосок, который мы слышим в своей голове, когда представляем себе речь. Система никогда не была идеальной: за несколько лет работы и улучшений алгоритмов программа Шалка способна угадывать слова правильно в 45% случаев. Но вместо того, чтобы пытаться улучшить этот результат (качество должно возрасти с улучшением датчиков), Шалк и Льютхардт сконцентрировались на расшифровке всё более сложных компонентов речи.

В последние года Шалк продолжает улучшать обработку реальной и мысленной речи (он может различить, что мысленно проговаривает испытуемый — речь Мартина Лютера Кинга "[У меня есть мечта](#)", или [Геттисбергскую речь](#) Авраама Линкольна). Льютхардт в это время пытается зайти в другую область: определять, как мозг кодирует интеллектуальные концепции при помощи различных участков.

Данные по этим исследованиям пока не опубликованы, но «честно говоря, мы пока ещё

пытаемся в них разобраться», — говорит Льютхардт. Он признаёт, что его лаборатория, возможно, приблизилась к пределу возможного на текущем уровне развития технологий.

## Имплантируя будущее

«Как только у нас появились свидетельства того, что мы можем декодировать намерения, — говорит Льютхардт, — я знал, что дело пошло».

Вскоре после получения результатов, Льютхардт взял отпуск на несколько дней, чтобы писать статьи, представлять себе будущее и думать о краткосрочных и долгосрочных целях. На первых строчках списка дел он решил разместить подготовку человечества к приближающемуся будущему — и эта работа пока ещё очень далека от завершения. Откинувшись на кресле в своём офисе после проведённой операции, Льютхардт утверждает, что при должном финансировании он уже мог бы создать имплантат-протез для свободной продажи, который позволял бы человеку использовать компьютер и управлять курсором в трёхмерном пространстве. Пользователи также могли бы делать такие вещи, как включать и выключать свет или регулировать температуру при помощи мысли. Они, возможно, даже могли бы испытывать искусственно наведённые тактильные ощущения и получить доступ к примитивным способам превращения мысленной речи в звук. «С текущими технологиями я мог бы сделать имплантат — но сколько людей в нём нуждается?» — говорит он. «Я думаю, очень важно делать практичные, небольшие шаги, чтобы люди отправились по этому пути к долгосрочной цели».

Для этого Льютхардт основал компанию NeuroLutions, которая должна продемонстрировать, что уже сегодня существует рынок для рудиментарных устройств, связывающих мозг с машиной, и находящихся в начале пути разработки технологий для помощи людям. NeuroLutions уже получила несколько миллионов в инвестициях, и уже испытывает на жертвах инсульта, потерявших контроль над одной стороной тела, неинвазивный интерфейс мозг-машина.

Это устройство состоит из электродов, отслеживающих работу мозга, расположенных на скальпе и соединённых с ортопедическим аппаратом. Оно способно определять характерную нейронную активность, связанную с намерением совершить движение, до того, как сигнал дойдёт до моторной области мозга. Нейросигналы идут со стороны мозга, противоположной уничтоженной инсультом — поэтому обычно не страдают. Обнаружив их, усилив и использовав их для управления устройством,двигающим парализованную конечность, Льютхардт может помочь пациенту восстановить утерянный контроль над конечностью быстрее и эффективнее, чем с текущими подходами, доступными на рынке. И, что важно, это устройство можно использовать и без вмешательства в мозг.

И хотя эта технология довольно скромна по сравнению с наполеоновскими планами Льютхардта на будущее, он считает, что эта область уже сегодня способна изменить жизнь людей. Каждый год в США появляется по 700 000 новых пациентов с инсультом, и самым распространённым увечьем оказывается паралич руки. Если можно найти способ помочь им

восстановить работу тела — и продемонстрировать, что этот способ более эффективен и быстр — то это продемонстрирует не только силу интерфейсов мозг-машина, но и удовлетворит огромный спрос, существующий в медицине.

*Льютхардт планирует траекторию лазерного зонда при помощи стереотаксической системы*



## *Хирургические инструменты Льютхардта*

Использование неинвазивных электродов, расположенных на скальпе, не так сильно сбивает с толку пациентов, но при этом налагает серьёзные ограничения. Электрические сигналы нервных клеток мозга сильно заглушаются скальпом, а также рассеиваются при прохождении через кость. Из-за этого их сложнее распознать и определить их источник.

Льютхардт может делать гораздо больше при помощи имплантированных электродов, находящихся непосредственно на коре мозга. Но на весьма болезненном опыте он выучился тому, что хирургию оправдать тяжелее — не только пациентам, но и инвесторам.

Когда они с Шалком в 2008-м основали NeuroLutions, то надеялись вернуть парализованным людям возможность двигаться, выведя интерфейс на рынок. Но инвесторам это было неинтересно. Стартапы, основанные нейробиологами, уже десяток лет пытались создать интерфейс мозг-компьютер, но у них мало что получалось в плане превращения технологии в рабочий вариант помощи парализованным пациентам. Количество потенциальных пациентов ограничено — по сравнению с другими проблемами, которые пытаются решить медицинские стартапы, разрабатывающие различные устройства, и конкурирующие за инвестиции. (В США параличом всех конечностей страдает 40 000 человек). И большинство задач, выполняемых таким интерфейсом, уже можно решить при помощи неинвазивных устройств. Даже самые тяжёлые пациенты способны мигать глазами или дёргать пальцем. Основанные на этих остаточных движениях методы можно использовать для ввода данных или передвижения инвалидной коляски без дополнительной опасности, времени на восстановление или средств, необходимых на имплантацию электродов прямо в кору мозга.

Так что после того, как у них не получилось получить инвестиций с первым проектом, Льютхардт и Шалк перенесли своё внимание на более скромную цель. Они обнаружили, что многие пациенты продолжают восстановление дополнительных функций даже после удаления ортопедического аппарата — это может быть, например, восстановление мелкой моторики пальцев. Часто им требуется очень небольшой стимул. После того, как новые нервные проводящие пути упрочняются, мозг продолжает переделывать и расширять их так, чтобы они передавали более сложные моторные команды руке.

Первый успех, которого Льютхардт ждёт от таких пациентов, должен вдохновить людей на переход к более надёжной инвазивной системе. «Через пару лет можно будет сказать: „Знаете, неинвазивная версия даёт вам вот такие возможности, но сейчас, благодаря науке и прочим знаниям, мы можем дать вам гораздо больше возможностей“, — говорит он. — Мы можем ещё сильнее улучшить ваше функционирование».

Льютхардт так хочет, чтобы мир разделил его страсть к потенциальным преобразующим эффектам этой технологии, что попытался вдохновить людей и через искусство. Кроме того, что он пишет романы и пьесу, он ещё и работает над подкастом и роликами на YouTube со своим коллегой, в которых они обсуждают технологию и философию за кофе с пончиками.

В первой книге Льютхардта, «Красный дьявол 4», один персонаж использует «корковый протез» для получения ощущений от прогулок по Гималаям, оставаясь при этом на своём диване. Другой, полицейский детектив, телепатически обсуждает с коллегой допрос подозреваемого в убийстве, находясь при этом рядом с ним. У каждого персонажа есть мгновенный доступ ко всем знаниям мировых библиотек — они могут получить информацию так же быстро, как человек порождает любую спонтанную мысль. Никто не вынужден быть в одиночестве, а наши тела уже нас не ограничивают. С другой стороны, мозг каждого человека подвержен атаке компьютерных вирусов, способных превращать людей в психопатов.

Льютхардт признаёт, что сейчас у нас пока ещё нет возможности записывать и стимулировать такое количество нейронов, которое необходимо для воссоздания подобных вещей. Но он утверждает, что его беседы с инвесторами из Кремниевой долины лишь подпитывают его оптимистическую веру в то, что мы находимся на пороге взрыва инноваций.

Шалк не так оптимистичен. Он скептически относится к тому, что Facebook, Маск и прочие вносят какой-то ценный вклад в поиски лучшего вида интерфейса.

«Они не сделают ничего отличного от того, что может само научное сообщество, — говорит Шалк. — Возможно, что-то из этого получится, но не то, чтобы у них было что-то новое, чего не было бы ни у кого другого».

Шалк говорит, что «совершенно очевидно», что в следующие 5-10 лет некие формы интерфейса мозг-компьютер будут использоваться для реабилитации жертв инсульта, повреждения спинного мозга, хронических болей и других недугов. Но сегодняшние техники записи он сравнивает с компьютерами IBM 1960-х годов, называя их «архаичными». Чтобы технология достигла реального долгосрочного потенциала, считает он, необходимо появление нового вида сканирования мозга — чего-то, способного считывать гораздо большее количество нейронов за раз.

«На самом деле необходимо научиться слушать мозг и разговаривать с ним так, чтобы он не мог отличить этого от своих внутренних коммуникаций, а этого мы сейчас не умеем, — говорит Шалк. — На текущий момент мы не знаем, как это сделать. Но также мне очевидно, что это произойдёт. И когда это случится, наши жизни изменятся, причём совершенно беспрецедентно».

Когда и где случится этот прорыв, пока неясно. После десятилетий исследований и прогресса, у нас существуют всё те же технологические проблемы. И всё же, прогресс в нейробиологии и компьютерном оборудовании и программах делает результат неизбежным.

*Неинвазивный интерфейс мозг-компьютер через ЭКГ использует наборы электродов, чтобы помочь жертвам инсульта восстановить работу конечностей.*

По крайней мере, говорит Льютхардт, шумиха в Кремниевой долине «возбудила большой

интерес и побудила реально задуматься об интерфейсах мозг-компьютер, как о практической реальности». А это, говорит он, «нечто, чего мы раньше не видели». И хотя он признаёт, что если это окажется шумихой на пустом месте, это «может отбросить разработки в этой области на десять-двадцать лет», ничто не остановит нас от достижения конечной цели: технологии, которая позволит нас преодолеть когнитивные и физические ограничения, которые предыдущие поколения людей воспринимали, как само собой разумеющееся.

«Это случится, — настаивает он. — У этой идеи есть потенциал изменить направление эволюции человеческой расы».

Адам Пайор — автор книги «Создатели тел: наука человеческой инженерии» [*The Body Builders: Inside the Science of the Engineered Human*] о биотехнологиях.

[https://geektimes.ru/post/296333/.com\[perevod\]-hirurg--sobirayuschiysya-podklyuchit](https://geektimes.ru/post/296333/.com[perevod]-hirurg--sobirayuschiysya-podklyuchit)