

# Обучение

Выращивайте клетки своего мозга

Когда школьники в школах Тайтусвилла или Нейпервилла пробегают свою дистанцию в спортивном зале или на стадионе, они заряжаются готовностью к учебе. Их ощущения обостряются, настроение и способность к концентрации повышаются, они становятся менее напряженными, появляются мотивация и энергия. То же самое происходит и со взрослыми в том учебном классе, который представляет собой жизнь. Новые революционные достижения науки помогают легче и быстрее усваивать материал. Физические упражнения, заряжая энергией наш мозг, оказывают на него позитивное влияние на клеточном уровне, повышая способность к поглощению и обработке новой информации.

Дарвин утверждал, что учение — это механизм выживания, который мы используем, чтобы адаптироваться к постоянно меняющейся окружающей среде. Внутри инфраструктуры самого мозга это подразумевает создание новых связей между его клетками для передачи информации. Когда мы учим что-либо, например новое французское слово или движение в сальсе, клетки мозга связываются в определенном порядке, чтобы закодировать эту информацию. Таким образом, можно допустить, что наша память физически встраивается в мозг, становясь его частью. Эта гипотеза существует уже более века, но только недавно была подтверждена экспериментально. Сегодня мы знаем, что мозг гибок, или *пластичен*, как любят выражаться нейрофизиологи, даже в большей степени, чем глина для фарфора. Это адаптирующийся орган, который можно «сформировать» влиянием извне почти так же,

как и накачать мускулы поднятием тяжестей. Чем больше вы используете мозг, тем сильнее и гибче он становится.

54

Концепцию пластичности можно считать основополагающей с точки зрения понимания работы мозга и того, как его активность улучшает и функции, и качество его же деятельности. Все, что мы делаем, думаем и чувствуем, контролируют клетки мозга, или нейроны, и их связи. То, что люди представляют себе в качестве психологического портрета человека, основывается на биологических механизмах этих связей. С другой стороны, наши мысли и действия, а также окружающая обстановка влияют на нейроны, определяя модели соединений между ними. Наш мозг не запрограммирован раз и навсегда, как когда-то считали ученые. Скорее, он постоянно *перепрограммируется*. И я в этой книге научу каждого из вас быть программистом для самого себя.

## Нейромедиаторы как курьеры

Мозг — это сплошные связи. Он состоит из сотни миллиардов различных нейронов, которые общаются с помощью сотен различных нейрохимических веществ, имея целью управлять каждой нашей мыслью и действием. Любая нервная клетка мозга получает «вводные» от сотен тысяч других подобных клеток, прежде чем «выстрелит» свой сигнал. Пространство, существующее в месте сближения нейронов, называется «синапс», и именно в нем начинается передача сигнала. В синапсах нейроны не соприкасаются, что иногда сбивает с толку, поскольку нейрофизиологи часто говорят, что синапсы «соединены, словно электроцепь». На самом деле электрический сигнал, возникающий в нейроне, проходит по его ответвлению, называемому аксоном, вплоть до синапса. А уже здесь он переносится через синаптический разрыв с помощью химического вещества. С другой стороны, в дендрите, или «приемном» ответвлении принимающего нейрона, нейромедиатор попадает в рецептор (как ключ в замок), и благодаря этому в клеточной мембране принимающего нейрона открываются ионные каналы, которые снова преобразовывают химический сигнал в электрический. Если электрический сигнал в принимающем

нейроне превышает некий порог, этот нейрон проводит сигнал в собственное ответвление, или аксон, и процесс повторяется.

Около 80% всех сигналов в клетках мозга передаются двумя нейромедиаторами (их еще называют нейротрансмиттерами), которые обычно уравнивают друг друга: *глутаматами* (солями глутаминовой кислоты), возбуждающими активность нейронов, и *гамма-аминомасляной кислотой* (ГАМК), снижающей активность нейронов. Когда между двумя нейронами, не соединенными раньше, действует глутамат, их активность возрастает. Чем чаще их взаимодействие, тем сильнее возникающее между ними притяжение, которое нейрофизиологи называют «нейронными связями».

*Глутаматы* — это рабочие лошадки нейронных взаимосвязей. Но ученые обращают большее внимание на группу других нейромедиаторов, выступающих регуляторами сигнальных процессов в мозге и вообще всего, что он делает. Эти нейромедиаторы носят название *серотонина*, *норэпинефрина* и *дофамина*. И хотя производящие их нейроны составляют лишь 1% от сотни миллиардов клеток мозга, именно эти нейромедиаторы играют огромную роль в нашей жизни. Они могут заставить нейрон синтезировать больше глутамата, или придать ему большую активность, или изменить чувствительность его рецепторов. Они могут «накладываться» на сигналы, поступающие с синапса, снижая таким образом «посторонние шумы» в мозге. Или, наоборот, усиливать эти сигналы. Они способны передавать сигналы непосредственно от нейрона к нейрону, как это делают глутаматы и ГАМК, однако их первичная задача — регулировка потока информации таким образом, чтобы обеспечивать баланс других нейрохимических веществ, присутствующих в нашем мозге.

*Серотонин*, о котором вы многое узнаете в последующих главах, часто называют полицейским мозга, потому что он помогает контролировать его деятельность. Он влияет на настроение человека, его импульсивность, гнев и склонность к агрессии.

*Норэпинефрин*, первый нейромедиатор, который исследовали ученые, чтобы понять настроение, усиливает сигналы, влияющие на внимание, восприятие, мотивацию и возбуждение.

*Дофамин*, который также часто считают нейромедиатором, способствующим обучению, чувству удовлетворения, повышению внимания и двигательной активности, может иногда оказывать и противоположное действие на клетки мозга.

Большинство медицинских препаратов, которые мы используем для улучшения душевного и психического состояния, имеют цель воздействовать на уровень в организме этих трех нейромедиаторов. Однако простым увеличением или снижением их уровня невозможно добиться совершенно четких и однозначных результатов, поскольку наша нервная система очень сложна. Воздействие только на один нейромедиатор может иметь побочные эффекты. К тому же действие соответствующих препаратов может быть неодинаковым в несхожих обстоятельствах и у разных людей.

Я часто говорю людям, что пробежка оказывает такое же влияние на организм, как прием небольшой дозы антидепрессантов или противотревожных препаратов, поскольку, как и эти лекарства, движения повышают уровень нейромедиаторов в нашем мозге. Более глубокое объяснение — физическая активность гармонизирует нейромедиаторы, равно как и другие важные нейрохимические вещества. А как вы увидите дальше, если удастся поддерживать мозг в сбалансированном состоянии, это чрезвычайно позитивно влияет на всю вашу жизнь.

## Учиться — значит расти

Как бы ни были важны нейромедиаторы, в организме есть еще один класс мастер-молекул, изучение которых за последние годы кардинально изменило понимание связей в мозге, а особенно тех процессов, благодаря которым они развиваются и растут. Я имею в виду семейство белков, объединенных широким наименованием *факторы*, главным из которых считается *нейротрофический фактор мозга (BDNF)\**. Если нейромедиаторы служат для передачи

---

\* Нейротрофический фактор мозга (нейротропный фактор мозга) — белок человека, кодируемый геном BDNF. Относится к нейротрофинам — веществам, стимулирующим и поддерживающим развитие нейронов.  
*Прим. перев.*

сигналов между нейронами, то нейротрофины — это строительный материал для всей нейронной инфраструктуры мозга.

С начала 1990-х годов, когда ученые обнаружили свидетельства нейронного механизма памяти, они обратили самое пристальное внимание на нейротрофины, изучение которых превратилось в отдельную область нейрофизиологии. В 1990-х годах было опубликовано около десяти научных работ о нейротрофинах, когда были установлены их присутствие в мозге человека и их роль в качестве своеобразных «удобрений» для роста и развития нейронов. А потом, по словам нейрофизиолога Ээро Кастрена из шведского Каролинского университета, разразилось «цунами» из экспериментов, проведенных в университетах и исследовательских центрах фармацевтических компаний. Сегодня список библиографии по нейротрофинам насчитывает около 5,5 тысяч наименований. А когда стало понятно, что они присутствуют и в гиппокампе, том отделе мозга, который отвечает и за память, и за обучение, ученые стали уже прицельно рассматривать их роль в формировании памяти.

Процесс обучения требует усиления связанности между нейронами, которое обеспечивается динамическим механизмом — *долговременной потеннциацией*\*. Когда мозг начинает воспринимать какую-то информацию, это естественным путем повышает активность в связях между нейронами. Чем выше эта активность, тем сильнее корреляция и тем легче соответствующему сигналу пройти между ними и установить некую цепочку. Активность нейрона заставляет имеющиеся в аксонах запасы глутамата пересечь синаптический разрыв и подготовить рецепторы близлежащего нейрона к принятию сигнала. Пока этот нейрон в покое, его электрический заряд увеличивается, и вследствие этого он, словно магнит, легко притягивает несущий сигнал глутамат. Если поступление таких сигналов в нейрон продолжается, генный

---

\* Долговременная потеннциация — усиление синаптической передачи между двумя нейронами, сохраняющееся длительное время после воздействия на синаптический проводящий путь. Участвует в механизмах синаптической пластичности, обеспечивающих нервную систему возможностью адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды. Большинство теоретиков нейрофизиологии полагают, что ДП и долговременная депрессия лежат в основе клеточных механизмов памяти и обучения. *Прим. перев.*

механизм его ядра создает новый строительный материал для синапса и, таким образом, усиление нейронной инфраструктуры позволяет информации задерживаться в нейронах в виде памяти.

Предположим, вы заучиваете какое-то французское слово. Когда вы слышите его в первый раз, те нейроны, которые «выбраны» для создания новой цепочки, обмениваются друг с другом сигналами, переносимыми глутаматом. Если вы больше никогда не повторите это слово, взаимосвязь между синапсами соседних нейронов естественным образом ослабнет. Угаснет и сигнал между ними. Вы забудете это слово. Открытие, которое поразило исследователей человеческой памяти и в 2000 году принесло нейрофизиологу из Колумбийского университета Эрику Канделу Нобелевскую премию, состояло в том, что повторная активация (или повторение) заставляет синапсы самостоятельно увеличиваться и устанавливать более прочные связи между собой. Нейрон похож на дерево, в котором вместо листьев имеются своеобразные разветвления, оканчивающиеся синапсами. Эти «ветки» все время появляются, создавая все больше синаптических окончаний для установления множества связей. Этот механизм — разновидность клеточной адаптации, называемой синаптической пластичностью\*, в которой нейротрофины играют ключевую роль.

Вскоре ученые обнаружили: если выделенные в чашке Петри нейроны обработать нейротрофинами, мозговые нервные клетки автоматически выбрасывают новые ветки, осуществляя, таким образом, свой структурный рост для потребностей обучения. Это навело меня на мысль, что нейротрофины служат своеобразными «удобрениями» или «присадками» для развития мозга, подобно тому, как подкормки известной агрофирмы Miracle-Gro позволяют улучшать растения в саду.

Белки нейротрофины также усиливают рецепторы нейронов в синаптических зонах, активизируя потоки ионов, что увеличивает электрический заряд и силу сигнала между нейронами. Внутри самого нейрона нейротрофины активизируют гены, чтобы

---

\* Синаптическая пластичность — возможность изменения силы синапса (величины изменения трансмембранного потенциала) в ответ на активацию постсинаптических рецепторов. Она считается основным механизмом, с помощью которого реализуется феномен памяти и обучения. *Прим. перев.*

те увеличивали синтез BDNF, а также серотонина и белков для более активного строительства синаптических окончаний у нейронов. Нейротрофины регулируют движение и создают дороги между нейронами. В целом же они улучшают работу нейронов, способствуют их росту и защищают от естественного старения и смерти клеток. Наконец — и я постараюсь показать это на протяжении всей книги, — нейротрофины оказываются важнейшим биологическим связующим звеном между нашими мыслями, чувствами и движениями.

### Связь между телом и мозгом

Мозг нужен только двигающемуся живому существу, отмечает нейрофизиолог из Нью-Йоркского университета Родольфо Льянас в своей книге *I of the Vortex: From Neurons to Self* («Я в водовороте: от нейронов к себе»), изданной в 2002 году. В качестве иллюстрации он приводит пример маленького, похожего на медузу морского животного под названием асцидия. Имеющее от рождения примитивный спинной мозг и три сотни нейронов, это мешкообразное существо плавает в неглубоких местах, пока не находит подходящий отросток коралла, к которому и прирастает. После появления асцидии на свет у нее всего 12 часов, чтобы сделать это, иначе она погибает. Прикрепившись к кораллу, асцидия медленно съедает свой мозг. Большую часть жизни она выглядит скорее как растение, а не как животное. Поскольку асцидия не передвигается, мозг ей не нужен. Льянас интерпретирует это так: «То, что мы называем мышлением, появилось у человека в результате эволюционного усвоения движений».

По мере того как человеческий вид эволюционировал, чисто физические навыки его представителей превращались в абстрактные способности предвидеть, оценивать, проводить связь между явлениями, планировать, наблюдать за собой, выносить суждения, исправлять ошибки, менять тактику, а затем и запоминать все, что делалось в целях выживания. Те нейронные цепочки, которые наши далекие предки использовали, чтобы добывать огонь, мы сегодня применяем, например, для изучения французского языка.

Возьмем мозжечок, который координирует наши движения и позволяет безошибочно делать все — от возврата мяча на теннисном корте до сопротивления силе земного тяготения. Когда были получены доказательства, что пучки нервных волокон, соединяющих мозжечок с префронтальной корой, у человека значительно толще, чем у обезьян, возникло представление, будто этот орган головного мозга участвует также в генерировании мыслей, внимания, эмоций и даже навыков социального общения. Я называю мозжечок центром «ритм-энд-блюза», то есть центром настроения мозга. Выполняя физические упражнения, особенно связанные со сложными движениями, мы также тренируем те отделы нашего мозга, которые включены в мыслительную деятельность. Мы заставляем его посылать сигналы по уже устоявшимся нейронным цепочкам, что укрепляет связи между ними.

Когда мы чему-нибудь учимся, в мозге задействуется целый ряд связанных между собой участков и отделов. Например, гиппокамп почти всегда работает под плотным «присмотром» со стороны префронтальной коры. Вообще префронтальная кора контролирует нашу активность — и физическую, и мыслительную, — получая сигналы извне и затем отдавая команды через нейронную сеть мозга. Префронтальную кору можно представить в виде своеобразного начальника. Она прежде всего отвечает за оценку окружающей ситуации, задействуя рабочую память, формируя импульсы и отдавая команды к действиям, суждениям, планированию, предвидению и так далее — то есть разнообразным исполнительным функциям. В качестве генерального директора мозга префронтальная кора всегда находится в тесном контакте с исполнительным директором — двигательной зоной коры головного мозга, а также с другими его отделами.

Гиппокамп представляет собой нечто вроде штурмана, который получает сведения из рабочей памяти, связывает их с уже имеющимися данными, сравнивает, создает новые ассоциации и направляет в префронтальную кору. Ученые полагают, что память — это набор фрагментов информации, рассредоточенных в мозге. Гиппокамп, как некое депо, получает эти фрагменты из коры, связывает и направляет назад в виде новой карты нейронных связей.

Сканирование мозга человека показывает: когда он заучивает новое слово, префронтальная кора его головного мозга активизируется (как и гиппокамп, и некоторые другие прилегающие участки, например слуховая кора). После того как благодаря химическим сигналам глутамата создана новая нейронная цепочка и слово зафиксировано в памяти, активность префронтальной коры снижается. Она проконтролировала начальные этапы проекта, а теперь может переложить ответственность на других членов команды и заняться очередными проблемами.

Таким образом мы узнаем новое и до автоматизма отработываем свежие навыки, такие как, например, езда на велосипеде. Автоматические мыслительные и двигательные функции управляются базальными ядрами, мозжечком и стволом — древними зонами, которые исследователи до последнего времени связывали только с моторными функциями. Передача фундаментальных навыков и знаний в эти зоны мозга, связанные с нашим подсознанием, освобождает другие важные его отделы для работы по адаптации к окружающим условиям. Этот элемент в устройстве работы мозга очень важен. Представьте, что нам нужно было бы на некоторое время останавливаться и вспоминать, как спродуцировать ту или иную привычную мысль или совершить то или иное привычное движение. Мы изнывали бы от усталости еще до того, как налили бы себе утреннюю чашку кофе. Поэтому, кстати, пробежка по утрам так важна.

## Первая искра

В 1995 году я занимался некоторыми исследованиями, готовя к публикации книгу *A User's Guide to the Brain* («Путеводитель по нашему мозгу»), когда натолкнулся на одностраничную статью в журнале *Nature*, рассказывавшую о связи между физической активностью и нейротрофинами (BDNF), обнаруженной в экспериментах на мышах. Текста там меньше, чем в газетной колонке, но сказано было очень много. А именно: двигательная нагрузка приводила к росту содержания нейротрофина (того самого волшебного удобрения, подобного Miracle-Gro) в мозге подопытных животных.

Проводивший эти эксперименты Карл Котман, директор Института старения и деменции Калифорнийского университета в Ирвине, рассказывал: «Я ожидал, что движения мышей могут вызвать значительные изменения в сенсорной системе мозга — двигательной коре, мозжечке, соматосенсорной коре, возможно, даже в базальных ядрах, — поскольку все элементы сенсорной системы мозга ассоциировались с движением. Мы проявили первые пленки с рентгеноскопией мозга мышей, и, о боже, изменения выявились и в *гиппокампе*. Важность этого момента состояла в том, что гиппокамп — это участок мозга, который сильно поражается дегенеративной болезнью и играет большую роль в обучении человека. Я тотчас же сказал себе: “Это полностью меняет дело!”»

Такая новость стала для меня полной неожиданностью. Многие годы я был убежденным сторонником использования физических упражнений в лечении синдрома дефицита внимания / гиперактивности, а также других психологических расстройств. При этом я основывался на наблюдениях за своими пациентами, а также на известном положительном эффекте, который двигательная активность оказывала на баланс нейромедиаторов. Но здесь речь шла о другом. Показав, что нагрузка «зажигает» мастер-молекулу процесса обучения, Котман установил прямую биологическую связь между движением и мыслительными функциями мозга. Сделав это, он открыл путь к изучению фактора движения в нейрофизиологии.

Котман проводил свои эксперименты вскоре после того, как был обнаружен сам факт наличия нейротрофинов в мозге. Тогда ничто не говорило о том, что физическая активность может оказывать какое-то влияние на уровень присутствия этих белков. Его гипотеза была просто актом креативности. Котман как раз закончил большое исследование, связанное с вопросами старения, в ходе которого пытался выявить нечто общее у тех пожилых людей, мозг которых сохранился лучше других. За четыре года наблюдений он установил, что таких людей объединяли три фактора: образование, самодостаточность и двигательная активность. Первые два сюрпризом не были. Котмана больше всего заинтересовал третий фактор. «Я стал думать, что вообще происходит, — говорит ученый. — Тогда существовало представление,

будто движение прямо на мозг не влияет, но во мне крепло убеждение, что это не так».

На вопрос, какие переменные влияют на здоровье мозга, большинство ученых привычно отвечали — нейротрофический фактор, потому что нейротрофины считались важнейшим условием выживания нейронов. Если бы Котман смог связать физическую активность с ростом содержания нейротрофинов в мозге, он, по крайней мере, смог бы удовлетворительно объяснить обнаруженную им роль движения в замедлении старения.

Котман разработал эксперимент для измерения уровня нейротрофинов в мозге мышей, проявлявших повышенную физическую активность. Важным условием эксперимента была добровольность соответствующего поведения, потому что если бы мышей заставляли бегать по ленте тренажера, коллеги сказали бы, что рост уровня нейротрофинов был вызван борьбой со стрессом. Хорошо, решил Котман, мы используем обычные колеса, в которых так любят бегать грызуны. Насколько новыми для своего времени были исследования Котмана, можно увидеть хотя бы из того, что изготовление соответствующего оборудования для эксперимента, которое одобрил бы университет, было настоящим мучением. Ученый должен был платить до тысячи долларов за колесо из нержавеющей стали, устраивающее комиссию. «Я помню, как подписывал заказ на его изготовление и думал, насколько это все тяжело. У меня даже появилась надежда, что *ничего не работает*», — шутит Котман. К тому же никто из докторантов не захотел участвовать в исследованиях, поэтому ученому пришлось искать помощников среди аспирантов. В конечном счете удалось договориться с аспирантом, который специализировался на вопросах физиотерапии и проявил интерес к теме исследований.

В отличие от людей, грызуны, как представляется, от природы любят движение, поэтому мыши Котмана за ночь пробежали несколько километров. Они были разделены на четыре группы: в первой бегали две ночи, во второй — четыре, в третьей — семь, а мышам из четвертой группы вообще не поставили колес. Когда в мозг грызунов ввели молекулу, прилепляющуюся к молекулам нейротрофина, и просканировали мозг, то установили, что у подвижных мышей уровень нейротрофина BDNF не только

возрастает, но и повышается *в арифметической зависимости* от величины нагрузки. Котман увидел результаты и обнаружил, что рост уровня BDNF коснулся и гиппокампа, — и не поверил своим глазам. «Я решил: мы, видимо, сделали что-то не так». Но этот чертов гиппокамп продолжал светиться. Мы вынуждены были повторить эксперимент: слишком уж значимыми оказались результаты. В повторных опытах мы увидели то же самое».

Когда связь между нейротрофинами и физической активностью была подтверждена, стало ясно, что белки BDNF важны не только для выживания нейронов, но и для их развития (появления новых ответвлений), а значит, и для обучения. Ээро Кастрен, а также Сьюзен Паттерсон из лаборатории Кандела в Колумбийском университете обнаружили: если в мышцах стимулировать долговременную потенциацию, заставляя их учиться, то уровень нейротрофинов в мозге растет. Заглянув в мозг мышей, ученые установили, что мышцы без BDNF теряют способность к долговременной потенциации. И наоборот, инъекции BDNF в мозг приводили к ее усилению. Вскоре один из докторантов Котмана, нейрохирург Фернандо Гомес-Пинилья, показал, что если у мышечей нейтрализовать нейротрофин, они медленнее находят выход из своей клетки. Все это убедительно свидетельствует о том, что физическая активность помогает мозгу в обучении.

«Одно из очень примечательных свойств физической активности, о котором иногда забывают, состоит в повышении *скорости и эффективности* обучения. Я считаю это очень важным, — говорит Котман. — Предполагается, что если вы в хорошей форме, то можете быстрее обучаться чему-то новому и эффективнее задействовать свежие навыки».

Действительно, в серии исследований возможностей человека, проведенной в 2007 году, немецкие ученые установили, что скорость запоминания иностранных слов после физических упражнений повышается на 20%, а эффективность обучения прямо коррелирует с уровнем нейротрофинов в мозге. Одновременно было выявлено, что люди с различными генными отклонениями, лишаящими их нейротрофинов, обычно испытывают различные трудности и расстройства при обучении. Без волшебного «удобрения Miracle-Gro» в виде BDNF мозг склонен закрываться от окружающего мира.

Хотя и неохотно, психиатрия восприняла идею, что физическая активность помогает улучшить состояние нашего мозга, создавая благоприятные условия для обучения. А работы Котмана подтвердили, что упражнения усиливают молекулярные механизмы обучения. Нейротрофины предоставляют нейронным синапсам так необходимые им инструменты, с помощью которых они воспринимают информацию, обрабатывают, связывают с имеющимися данными, запоминают и включают в существующий контекст. Это не значит, что пробежка сразу же превратит вас в гения. Котман подчеркивает: «Нельзя ввести себе BDNF и моментально стать умнее. В вопросах обучения человека все сложнее. Но в процессе обучения обязательно должно присутствовать “нечто”».

И вне всякого сомнения, это «нечто» играет очень важную роль.

## Природа воспитания

Еще во времена нейробиолога Рамон-и-Кахаля\* (который в 1906 году получил Нобелевскую премию за выдвижение идеи, что центральная нервная система человека состоит из отдельных нейронов, взаимодействующих между собой с помощью «полярных связей») некоторые ученые полагали, что процесс обучения включает в себя возникновение изменений в синапсах. Несмотря на одобрительные отзывы об этой теории, большинство исследователей все же не поверили в нее. Так продолжалось до 1945 года, пока психолог из Университета Макгилла Дональд Хебб\*\* не наткнулся на первое подтверждение. В те дни лабораторный режим был не таким строгим, как сейчас, и ученый посчитал возможным принести домой несколько лабораторных крыс в качестве домашних животных для забавы своим детям.

---

\* Сантьяго Рамон-и-Кахаль (1852–1934) — испанский врач и гистолог, один из основоположников современной нейробиологии. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине за 1906 год. *Прим. перев.*

\*\* Дональд Хебб (1904–1985) — канадский физиолог и нейропсихолог. Известен работами, приведшими к пониманию значения нейронов для процесса обучения. Его называют одним из создателей теории искусственных нейронных сетей, так как он предложил первый работающий алгоритм обучения искусственных нейронных сетей.

Идея оказалась взаимовыгодной: когда через некоторое время он вернул крыс в лабораторию, обнаружилось, что те значительно превосходят оставшихся собратьев в тестах на обучаемость. Приобретенный крысами — любимцами детей опыт внимательного и даже любовного обращения оказал явно позитивное воздействие на их способность учиться, что Хебб интерпретировал как положительные изменения в их мозге. В признанном классическом труде *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory* («Организация поведения: нейропсихологическая теория») он описал это явление как «пластичность от использования» («синаптическая пластичность»). Его идея состояла в том, что под влиянием стимуляции, связанной с обучением, синапсы сами видоизменялись.

Теория Хебба полностью вписывается в оценку физической активности, потому что для живых существ та часто выступает как новый опыт, во всяком случае в том, что касается мозга. В 1960-х годах группа ученых из Калифорнийского университета в Беркли использовала модель эксперимента под названием «обогащение среды» для проверки теории Хебба. Исследователи не брали грызунов домой, но оборудовали их жилища большим количеством игрушек, препятствий, скрытыми кормушками и беговыми колесами. Они также объединили животных в группу, чтобы те могли общаться и играть.

Дело, к сожалению, окончилось для крыс не совсем удачно: после эксперимента их мозг был вскрыт. Исследование показало, что большое количество сенсомоторных и социальных импульсов изменило структуру и функции мозга грызунов. Они не только лучше выполняли задания на обучаемость. Мозг их оказался тяжелее, чем у тех особей, что жили в пустых клетках. Определение Хеббом пластичности не включало в себя рост мозга. «Он формулировал свою теорию, когда даже заикнуться о том, что мозг может изменяться, было все равно что нести ересь, — говорит нейрофизиолог Уильям Гриноу, который молодым аспирантом очень интересовался экспериментами в Беркли. — Особенно изменяться физически под влиянием нового опыта».

Гриноу мечтал присоединиться к исследованию влияния «обогащения среды» на мозг, но его предупредили о нежелательности

таких работ. Он вспоминает: «Научный руководитель сказал: если я выберу для изучения эту тему, наверняка окажусь во Вьетнаме». Однако по мере того, как эксперименты ученых из Беркли все же повторялись, постулат, что опыт может существенно влиять на мозг, обретал все более прочную базу. В серии параллельных исследований группа ученых из Гарварда доказала обратное: что при «обеднении среды» мозг может *усыхать*, или *сжиматься*. Изучая кошек, у которых один глаз был зашит, исследователи установили, что их визуальная кора становилась меньше, чем у обычных. Все это укрепляло у ученых идею, что мозг подобен мышце и может как развиваться, так и ослабевать.

Последствия экспериментов с «обогащением среды» были очень серьезными. И дело не только в том, что они сблизили разделенные до этого биологию и психологию. Опыты ученых из Беркли привели к созданию федеральной образовательной программы «Старт ума» (Head Start), на которую выделялись существенные средства, чтобы обучать детей с отставаниями в развитии и из бедных семей в подготовительных школах. Почему ранее было возможно оставлять этих бедных мальчиков и девочек в «голых клетках» без обогащенного окружения?

Таким образом открылась новая область исследований. Нейробиологи и нейрофизиологи принялись изучать различные способы стимуляции роста мозга. Когда Гриноу получил должность преподавателя в Иллинойском университете, он вернулся к интересующей его теме. В своих новаторских исследованиях 1970-х годов он использовал электронный микроскоп для обнаружения того, как «обогащение среды» позитивно влияло на рост новых ответвлений у нейронов. Стимуляция этого процесса за счет таких факторов «обогащения среды», как обучение новому, физические упражнения и социальные контакты, заставляла синапсы нейронов устанавливать новые связи с соседними нейронами. Одновременно синаптические окончания нейронов приобретали более толстую миелиновую оболочку, что позволяло эффективнее проводить поступающие сигналы.

Сегодня мы знаем, что для роста нервных клеток необходим нейротрофин (BDNF). Такая трансформация синапсов оказывает огромное воздействие на способность нейронных цепочек к обработке поступающей информации, что само по себе прекрасная

новость. Это означает, что вы обладаете способностью к изменению своего мозга. Все, что для этого необходимо, — завязать шнурки на своих кроссовках.

68

## Усиливая нейропластичность клеток мозга

По мере того как концепция синаптической пластичности упрочивала позиции в нейробиологии, все большее признание стала получать еще более радикальная идея. На протяжении значительной части XX столетия существовала научная догма, что мозг полностью «программируется» после окончательного развития в подростковом возрасте человека. Это предполагало, что все наши нейроны мы получаем при рождении. Мы в силах трансформировать синаптические связи, но нейроны можем только терять. Разумеется, мы в состоянии ускорить их разрушение, если, например, начнем рано принимать алкоголь, как пугали нас учителя биологии в восьмом классе средней школы. «Помните: алкоголь убивает нервные клетки, и они *не восстанавливаются*».

Но знаете что? Они *восстанавливаются*, причем тысячами. Ученые не могли обнаружить окончательное подтверждение этому до 1998 года, пока новая научная аппаратура по сканированию мозга не позволила заглянуть в его глубины. И открытие пришло с неожиданной стороны. Пациентам с раком мозга иногда вводятся контрастные вещества, которые показывают разрастание злокачественных клеток и позволяют следить за развитием болезни. Ученые исследовали безнадежно больных злокачественными опухолями, которые отдали свои тела науке, и обнаружили, что соответствующие маркеры буквально переполняли гиппокамп. Это стало наглядным подтверждением нейрогенеза — процесса деления и развития клеток мозга. Все происходило так же, как и в других органах человеческого тела. Так было сделано одно из величайших открытий в нейробиологии.

С тех пор повсюду — от Стокгольмского до Калифорнийского и Принстонского университетов — нейробиологи и нейрофизиологи стали предпринимать попытки понять, каким образом появляются новые нервные клетки и каковы их функции.

Значение этих исследований огромно, поскольку науке и медицине хорошо известно, что главной причиной страшных деструктивных процессов в мозге человека типа болезней Паркинсона и Альцгеймера оказывается именно разрушение клеток головного мозга. Старение человека также связано с гибелью нервных клеток, и вот неожиданно мы узнали, что организм имеет свои способы противодействия этому процессу, затрагивающему некоторые участки головного мозга. Стоит выяснить, как запустить процесс нейрогенеза, и мы сможем заменять целые части нашего мозга.

А что это означает для здорового мозга? Одна из первых важных находок в отношении нейрогенеза была сделана при изучении певчих птиц — американских синичек. Оказалось, что каждую весну они разучивают *новые* трели, и при этом в их гиппокампе образуется множество нервных клеток. Случайное совпадение? Растущие нервные клетки и указали на их некую связь с процессами обучения у птиц. Однако получить наглядные доказательства тогда было трудно. В 1998 году нейробиолог Фред Гейдж из Института биологических исследований Солка в Ла-Холье (Сан-Диего) вместе с Петером Эрикссоном из Швеции были первыми, кто провел прорывные эксперименты. «Как и синаптическая пластичность, нейрогенез, безусловно, прочно связан с нашим окружением — в отношении и эмоций, и мыслительной деятельности, — поясняет Гейдж. — Изучать, какую же на самом деле функцию он выполняет, — чрезвычайно интересное дело».

Нейроны рождаются из стволовых клеток мозга, а затем активно развиваются, только так и получая возможность выжить. Некоторые погибают. Установлено, что «новорожденному» нужно 28 дней, чтобы встроиться в нейронную сеть мозга. При этом по отношению к ним применима теория Хебба об активности в процессе обучения: если мы не задействуем новые нейроны, то теряем их. Гейдж использовал идею «обогащенной среды», чтобы испытать ее на грызунах. «Сначала мы испробовали много приемов, — объясняет он, — но как только поместили в клетки животных беговые колеса, то, к нашему удивлению, обнаружили, что это оказало колоссальный эффект на количество образующихся нейронов. Парадоксально, но у активно бегающих крыс число

гибнущих нейронов было таким же, как и у животных из контрольной группы, лишенных физической активности. Но у первой группы был гораздо обширнее пул стволовых клеток, из которых образуются нейроны. Важно, что для выживания и интеграции нейрона в сеть он должен как можно раньше задействовать свое окончание — аксон, по которому нервные импульсы идут к другим нейронам». Двигательная активность способствует генерации нейронов, а «обогащенная среда» помогает им выживать.

Первое убедительное доказательство связи между нейрогенезом и обучаемостью обнаружила одна из коллег Гейджа, Генриетта ван Праг. В ходе экспериментов ученые использовали небольшой водоем с непрозрачной водой, помещенный в клетку грызуна. В нем прямо под поверхностью одного из углов поставили небольшую платформу. Мыши не любят воду, и цель эксперимента состояла в определении скорости запоминания животным места расположения платформы, которую оно обнаружило при предварительных заплывах. Путь к платформе был своеобразной дорогой спасения для мыши. Когда исследователи сравнили результаты, показанные «неактивными» мышами, с теми, которые демонстрировали животные, пробежавшие от четырех до пяти километров за ночь, то оказалось, что последние запоминали дорогу к безопасному месту гораздо быстрее соплеменников из первой группы. Плавали грызуны примерно с одинаковой скоростью, но если «активные» мыши направлялись к платформе по прямой, то «неактивные» долго кружили по бассейну в поисках убежища. Когда мозг подопытных животных был вскрыт, ученые обнаружили в гиппокампе «активных» вдвое больше стволовых клеток, чем у остальных. Оценивая результат этих исследований, Гейдж сказал: «Между общим количеством нервных клеток в мозге мыши и ее способностью к решению сложных задач существует прямая зависимость. Если заблокировать нейрогенез у грызуна, он теряет способность к запоминанию информации».

Объектами этих исследований были мыши, но эксперимент позволил понять, что происходит со школьниками в Нейпервиллском школьном округе: занятия физкультурой вооружают их новыми мозговыми «инструментами» для обучения, а стимуляция новых нервных клеток во время занятий в классе позволяет им активно включиться в нейронную сеть, в которой они становятся ценными

единицами сигнальной системы мозга. Таким образом у новых нейронов появляется цель. Создается впечатление, что они, образуясь во время физических занятий, лучше «зажигают» долговременную потенциацию мозга. Они характеризуются высокой пластичностью. Нейрофизиолог из Принстонского университета Элизабет Гульд считает, что новые нейроны быстрее включаются в мыслительную деятельность, а префронтальная кора активно задействует их также в долговременной памяти. Гульд первая показала, что в мозге приматов возникают нейроны. Это наблюдение положило дорогу к экспериментам, касающимся нейрогенеза у человека.

Она и многие другие нейрофизиологи изучают связь нейрогенеза и процессов обучения. Исследуется также и связь с физической активностью. Однако интересно, что относительно мало ученых интересуются самой двигательной активностью. Скорее, они заставляют мышей бегать потому, что этот бег «приводит к массивному нейрогенезу», как провозглашало солидное исследование под названием «Гиппокамп» (2006). Ученые стремятся дешифровать цепочку сигналов, сопутствующих нейрогенезу. Это нужно фармацевтическим компаниям для производства новых лекарств. Они мечтают о создании препарата «Анти-Альцгеймер», которые регенерировал бы нейроны для сохранения памяти. Нейробиолог из Колумбийского университета Скотт Смол, который использовал новейшие образцы компьютерного томографа для наблюдения за нейрогенезом у людей, говорит: «В гиппокампе должно находиться какое-то нейрохимическое вещество, которое реагирует на двигательную активность и отдает команду на формирование новых нервных клеток — нейронов. Если мы сможем открыть природу этих молекулярных процессов, то сумеем изобрести какие-то мудрые способы биохимического запуска нейрогенеза».

Только представьте, что произойдет, если ученые смогут поместить физическую активность в бутылочку!

## Связь тело — мозг

Если в мозге растут новые клетки, нужно и какое-то «удобрение» для них. С самого начала ученые полагали, что эту функцию должны выполнять нейротрофины. Исследователи давно узнали,

что без белков BDNF, этих «помощников роста Miracle-Gro», мозг не в состоянии воспринимать новую информацию. Теперь они поняли, что без нейротрофинов новые нейроны вообще не могут образовываться.

Белок BDNF концентрируется в особых резервуарах поблизости от синапсов и выбрасывается в нейронную инфраструктуру при активизации жизненных процессов. В этом также принимают участие некоторые гормоны. Среди них IGF-1 — инсулиноподобный фактор роста (ИФР), VEGF — фактор роста эндотелия сосудов (ФРЭС) и FGF-2 — фактор роста фибробластов (ФРФ). Во время физической активности эти гормоны активно поступают в организм через разветвленную систему капилляров, которые предотвращают попадание в кровь объемных чужеродных тел, таких как бактерии. Только недавно ученые узнали, что при поступлении в мозг эти гормоны взаимодействуют с нейротрофинами, запуская молекулярный процесс обучения. Они также генерируются в самом мозге и способствуют делению в нем стволовых клеток, особенно во время нагрузок. Очень важно, что эти гормоны обеспечивают прямую связь между нашим телом и мозгом.

Возьмем, например, инсулиноподобный фактор роста, который образуется в мышцах, когда они испытывают недостаток питательных веществ при упражнениях. Глюкоза — это главный источник энергии для мышц и единственный — для мозга. ИФР работает вместе с инсулином для обеспечения клеток энергией. Интересно, что он связан еще и с обучением. Возможно, в доисторические времена его действие как-то помогало людям находить пищу. Во время физических упражнений нейротрофины помогают мозгу увеличивать производство инсулиноподобного фактора, а он активизирует нейроны для выработки ими сигнальных нейромедиаторов — серотонина и глутамата. Он также способствует возникновению в нейронах большего числа рецепторов нейротрофинов, что усиливает нейронные связи и консолидирует нашу память. Судя по всему, нейротрофины особенно важны для формирования долговременной памяти.

Этот механизм очень разумен с точки зрения эволюции. Абстрагируясь от научных терминов, скажем: главная причина,

по которой нашим предкам необходима была способность к обучению, заключалась в приобретении навыка поиска и добычи пищи, а также ее сохранения. Мы нуждаемся в энергетических ресурсах, чтобы учиться; нам требуется способность к обучению, чтобы находить источники энергии. Все сигналы, исходящие от тела, поддерживают эти процессы, позволяют приспособляться к окружающим условиям и выживать.

Чтобы доставлять энергию к образованным клеткам, необходимы новые кровеносные сосуды. Когда организму не хватает кислорода, как это бывает во время систематического напряжения мышц при повышенной физической активности, в действие вступает фактор роста эндотелия сосудов, создающий много новых микрососудов — капилляров — в теле и мозге. Ученые подозревают: одна из причин исключительной важности этого фактора в нейрогенезе — то, что гормон VEGF (ФРЭС) существенно изменяет гематоэнцефалический барьер (ГЭБ)\*, позволяя другим гормонам проникать в мозг во время нагрузок.

Наш организм производит еще один важный элемент, который поступает в мозг: это фактор роста фибробластов, FGF-2 (ФРФ), активно вырабатывающийся при физической активности наряду с IGF-1 (ИФР) и VEGF (ФРЭС). Этот гормон помогает росту тканей, и он чрезвычайно важен для запуска в мозге долговременной потенциации.

С возрастом производство всех трех перечисленных гормонов, а также нейротрофинов снижается, ослабляя и нейрогенез. Как мы увидим, даже еще до наступления старости эти снижения могут проявиться в возрастании стрессовых состояний и депрессий. Но, с моей точки зрения, во всем написанном выше есть оптимистическая нота. Если физическая активность приводит

---

\* Гематоэнцефалический барьер — физиологический барьер между кровеносной системой и центральной нервной системой. ГЭБ имеют все позвоночные. Главная функция — поддержание гомеостаза мозга. Защищает нервную ткань от циркулирующих в крови микроорганизмов, токсинов, клеточных и гуморальных факторов иммунной системы, воспринимающих ткань мозга как чужеродную. ГЭБ — это высокоселективный фильтр, через который из артериального русла в мозг поступают питательные, биоактивные вещества; в направлении венозного русла с лимфатическим потоком выводятся продукты жизнедеятельности нервной ткани. *Прим. перев.*

к увеличению выработки нейротрофинов и факторов роста IGF-1 (ИФР), VEGF (ФРЭС) и FGF-2 (ФРФ), это значит, что мы располагаем определенным контролем над ситуацией.

Речь идет о росте против упадка; об активности против инертности. Наше тело создано, чтобы двигаться. Проявляя физическую активность, мы включаем и мозг. Способность к обучению и память развились в процессе эволюции; они тесно связаны с двигательными функциями, позволявшими доисторическим предкам находить пищу. Так что, говоря о мозге: если мы не двигаемся, нам не нужно и обучаться чему-либо.

### Тренируйте свой выбор

Теперь вы знаете, что физические упражнения повышают нашу способность к обучению на трех уровнях. *Первое:* они улучшают настрой мозга, повышая его восприимчивость, внимание и целеустремленность. *Второе:* они готовят и побуждают нервные клетки к активизации взаимных связей, что на клеточном уровне создает основу для восприятия новой информации. *И третье:* они способствуют развитию новых нервных клеток из стволовых, имеющихся в гиппокампе. Хорошо, скажете вы, а какие же упражнения лучше? Конечно, было бы хорошо располагать идеальным унифицированным набором и объемом упражнений, гарантированно укрепляющих и развивающих мозг, однако ученые еще только подходят к этой задаче. «Пока никто не занимался всерьез подобными исследованиями, — говорит Уильям Гриноу. — Однако, думаю, лет через пять наши знания по этому вопросу существенно расширятся».

И все же даже сейчас можно сделать определенные выводы из имеющихся данных. Об одном они говорят с определенностью: вы вряд ли сможете запоминать трудный материал *непосредственно во время* интенсивной физической активности, поскольку в это время кровь оттекает от префронтальной коры головного мозга, снижая ее исполнительные функции. Например, когда студенты колледжа занимались на стационарной беговой дорожке в течение 20 минут с нагрузкой, соответствующей 70–80% их максимальной частоты сердечных сокращений, они одновременно показывали

не очень хорошие результаты в задачах комплексного обучения. (Именно поэтому, поступая в юридический вуз, постарайтесь не готовиться к экзаменам, занимаясь во всю силу на эллиптических тренажерах, имитирующих ходьбу на лыжах.) Однако кровотоки в вашем организме перераспределяются почти сразу после завершения упражнений, и это — лучшее время, чтобы сосредоточиться над новым проектом или комплексным анализом проблем.

В 2007 году был проведен известный эксперимент, однозначно показавший: всего одна 35-минутная тренировка на дорожке для ходьбы с нагрузкой в пределах 60–70% максимальной ЧСС существенно повышает гибкость мышления. Объектами исследования стали 40 взрослых людей 50–64 лет. Их просили придумать как можно больше способов использования газеты: прежде всего она предназначена для чтения, но в нее можно заворачивать рыбу, ею легко накрывать клетку с птицей, в нее можно упаковывать вещи и так далее. Половина испытуемых смотрели фильм, другие занимались на тренажерах. Их тестировали непосредственно перед экспериментом, сразу же после него и еще раз — спустя 20 минут. У тех, кто смотрел фильм, никаких изменений не обнаружилось. А вот те, кто занимался на тренажерах, продемонстрировали улучшение скорости обработки информации и гибкости мышления всего после одной тренировки. Гибкость мышления — важная исполнительная функция мозга, которая отражает способность к переключению и обеспечению устойчивого потока креативных мыслей в противовес тривиальным. Это качество человека связано с высокой продуктивностью в тех направлениях, которые требуют высокой интеллектуальной отдачи. Так что, если во второй половине дня вам предстоит важное совещание типа «мозгового штурма», недолгая, но интенсивная пробежка во время обеда вам поможет.

Многие исследования, о которых я упоминал в этой главе, концентрируются вокруг влияния физических упражнений на гиппокамп, поскольку его роль в консолидации памяти очень важна с точки зрения обучения. Но гиппокамп не работает в одиночку, самостоятельно создавая новые нейронные цепочки. В обучении задействовано много различных участков мозга,

руководит которыми префронтальная кора. Мозг должен быть в состоянии воспринимать поступающие импульсы, удерживать их в рабочей памяти, давать эмоциональную оценку, проводить параллель между ними и прошлым опытом и только потом направлять полученный результат в гиппокамп. Префронтальная кора анализирует поступающую информацию, устанавливает последовательность событий и связывает их воедино. Она работает вместе с мозжечком и миндалевидным телом, поддерживающими ритм поступательного-возвратного движения информации. Повышение пластичности гиппокампа усиливает нейронные связи, однако процесс обучения формирует более разветвленные, здоровые и лучше интегрированные в нейронную сеть мозга нейроны. Чем больше мы создаем и тренируем нейронных связей, а также обогащаем запасы памяти и опыта, тем легче для нас обучение, потому что уже имеющиеся знания становятся фундаментом для более сложных мыслей.

Касательно того, какой объем аэробных упражнений необходим нам для ясности ума, интересно небольшое, но строго научно обоснованное исследование японских ученых. Оно показало, что получасовой джоггинг\* всего два-три раза в неделю за три месяца существенно улучшает исполнительные функции человека. Следует, однако, помнить о необходимости совершать и такие физические упражнения, которые требуют большей координации, чем попеременное переставление ног. Несколько лет назад Уильям Гриноу в эксперименте сравнивал две группы крыс: просто бегающих в колесе и выполняющих сложные движения, такие как ходьба по жердочке, по неустойчивым объектам или лазание по подвижным трапециям. После двух недель тренировок у крыс-акробатов обнаружился 35%-ный рост нейротрофинов в мозжечке, тогда как у крыс-бегунов никаких изменений в этом органе не произошло. Это подтверждает то, что мы знаем из изучения нейрогенеза: аэробные упражнения и сложные движения хотя и позитивно, но по-разному влияют на мозг. Положительный момент: они, по сути, дополняют друг друга. «Следует брать

---

\* Джоггинг — бег трусцой, от англ. jogging — «шаркающий» бег со скоростью 7–9 км/ч.

в расчет оба вида активности, — говорит Гриноу. — Пока это не доказано на 100%, но лучше, если режим вашей жизни включит в себя и простые аэробные движения, и сложные, требующие определенных навыков».

В этом плане я предложил бы либо выбирать такие виды двигательной активности, которые подразумевают одновременное задействование сердечно-сосудистой системы и мозга (например, теннис), либо начинать физические занятия с десятиминутной аэробной разминки, а затем продолжать более сложными видами, например скалолазанием или специальным комплексом развития навыков поддержания равновесия и стабильности тела. Если аэробные упражнения поднимают в вашем мозге уровень содержания нейромедиаторов и создают новые микрососуды, которые доставляют в организм факторы роста и генерируют новые клетки, то более сложная телесная активность использует весь этот материал для укрепления и расширения вашей нейронной сети. Чем сложнее движения, тем более непростыми становятся синаптические связи. И хотя новые нейронные цепочки создаются благодаря движениям тела, они могут быть задействованы и в мыслительных процессах. Именно поэтому обучение игре на пианино облегчает понимание математики. Префронтальная кора способна использовать когнитивный потенциал двигательных навыков и в других ситуациях, не связанных с моторикой.

Изучение асан в йоге, позиций в балете, гимнастических движений, элементов фигурного катания, пилатеса и формализованных упражнений (ката) в каратэ задействует нервные клетки в разных отделах мозга. Исследования, проведенные на танцорах, например, показывают, что их движения под музыку с необычным ритмом сильнее улучшают пластичность их мозга, чем под простые мелодии. Поскольку танцоры при этом совершают непривычные движения, это активизирует их способности к обучению так же, как в случае с мышами Хебба или экспериментами Гриноу.

Любой моторный навык человека, за исключением ходьбы, можно назвать приобретенным, поэтому обучение ему — всегда вызов для мозга. Сначала человек проявляет неловкость и терпит неудачи. Однако по мере упрочения нейронных цепочек,

связывающих мозжечок, базальные ядра и префронтальную кору, движения становятся все более точными. Упражняясь, вы наращиваете миелиновую оболочку на нервных волокнах, которая способствует мощности и скорости проводимых сигналов, а следовательно — эффективности нейронной цепи в целом. Если говорить о каратэ, изучая определенные ката, вы можете включать элементы из них в более сложные движения и вскоре будете способны к быстрому реагированию на возникающие ситуации. Так же и в обучении танго. То, что вы должны моментально отвечать на действия партнера, создает дополнительные требования к вниманию, оценкам и точности па, постепенно усложняя ситуацию. Прибавьте к этому удовольствие от слияния с музыкой и социальный аспект в виде общения, и вы поймете, что активизируете мозг и мышцы, равно как и весь организм. И тогда вы заряжены на восприятие новых вызовов, в чем и состоит смысл этого танца.



[Почитать описание, рецензии  
и купить на сайте](#)

Лучшие цитаты из книг, бесплатные главы и новинки:

