

ЗАВТРА ЭТО БУДУТ  
ЗНАТЬ ВСЕ

# НЕЙРОПЛАСТИЧНОСТЬ

МОХЕБ КОСТАНДИ

УДК 612.82  
ББК 28.707.3  
К72

**Костанди М.**

К72    Нейропластичность / Мохеб Костанди : Пер. с англ. — М. : Издательская группа «Точка», Альпина Паблишер, 2017. — 176 с. : ил.

ISBN 978-5-9614-6115-2 (Альпина Паблишер)  
ISBN 978-5-9908700-1-7 (Издательская группа «Точка»)

Книга «Нейропластичность» Мохеба Костанди из серии «Базовые знания» издательства MIT Press посвящена нейропластичности, под которой подразумеваются различные механизмы изменчивости нервной системы. В книге приводятся основные сведения о нейропластичности, описываются ключевые экспериментальные результаты, методы и технологии их получения, а также эволюция представлений о мозге. Издание предназначено для широкого круга читателей, интересующихся наукой и техникой, и тесно связано с другими книгами из серии «Базовые знания»: «Машинное обучение: новый искусственный интеллект» Этема Алпайдина, «Технологическая сингулярность» Мюррея Шанахана и «Роботы» Джона Джордана.

УДК 612.82  
ББК 28.707.3

*Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме, электронными или механическими средствами (включая фотокопирование, запись, хранение и извлечение информации) без разрешения правообладателя в письменной форме.*

ISBN 978-5-9614-6115-2    © Massachusetts Institute of Technology, 2016  
(Альпина Паблишер)       © Перевод на русский язык, оформление,  
издание. Издательская группа «Точка», 2017  
ISBN 978-5-9908700-1-7    © ООО «Интеллектуальная Литература», 2017  
(Издательская группа «Точка»)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Обращение к читателям .....	v
Предисловие .....	vii
1 Введение .....	1
2 Сенсорное замещение .....	13
3 Пластичность в период развития .....	29
4 Синаптическая пластичность .....	43
5 Нейрогенез у взрослых .....	65
6 Тренировка мозга .....	77
7 Повреждение нерва и травма мозга .....	91
8 Зависимость и боль .....	105
9 Изменения головного мозга в течение жизни ....	115
10 Заключение .....	133
Примечания .....	145



## ОБРАЩЕНИЕ К ЧИТАТЕЛЯМ

Миссия Фонда развития промышленности — поддержка передовой российской индустриальной сферы, организация новых производств, способных не только заменить импортную продукцию, но и производить востребованные на мировом рынке товары. Мы решаем эти задачи в партнерстве с успешными и амбициозными предприятиями, предоставляя им льготные займы и доступ к другим мерам поддержки. Россия не испытывает недостатка в умных, энергичных предпринимателях, но зачастую нашим промышленникам не хватает информации о технологических, экономических и гуманитарных инновациях, перспективных разработках и передовых исследованиях. Книги серии «Завтра это будет знать все», выходящие в свет при поддержке нашего Фонда, посвящены главным вызовам, с которыми человечество сталкивается в науке и экономике, а также перспективам, открывающимся перед теми, кто готов ответить на эти вызовы. Я уверен, что эти издания вдохновят читателей на смелые решения и ответственные действия, которые принесут пользу им самим и всему миру.

*Алексей Комиссаров,  
Директор Фонда развития промышленности*



## ПРЕДИСЛОВИЕ

За последнее время нейробиология добилась внушительных успехов в понимании механизмов функционирования мозга, предъявив научному сообществу множество новых концепций и многообещающих результатов, из которых наибольший интерес вызывает феномен нейропластичности.

Шестьдесят лет назад идею о том, что нервная ткань может изменяться, предавали анафеме в нейробиологии. Считалось общепринятым, что мозг взрослого человека имеет фиксированную структуру, а следовательно, «нельзя научить старую собаку новым трюкам». С тех пор эта догма была опровергнута множеством исследований, которые показали, что мозг не просто может, но и постоянно, на протяжении всей жизни, меняется тем или иным образом, реагируя на все, что мы делаем, на каждый полученный нами опыт.

Нейропластичность — собирательный термин, обозначающий множество различных механизмов изменчивости нервной системы. Этот термин недостаточно точно определен нейробиологами, которые используют его для описания различных сторон изучаемого феномена. Среди широкой публики эта концепция часто понимается неправильно; распространены неверные представления о том, что такое нейропластичность и каковы ее возможности.

В этой книге приводятся основные сведения о нейропластичности, описываются ключевые экспериментальные результаты, методы и технологии их получения, а также эволюция наших представлений о мозге.

Каждая глава посвящена исследованиям определенного аспекта нейропластичности. После экскурса в историю описываются структурные перемены, происходящие в процессе развития мозга; изменения в мозге слепого или глухого человека; механизмы синаптической пластичности, лежащие в основе обучения; формирование новых клеток в мозге взрослого человека; трансформации мозга, вызванные различными типами обучения, например обучением игре на музыкальном инструменте или изучением иностранного языка; пагубная роль нейропластичности в формировании зависимостей и болевых синдромов; ключевые перестроения в мозге на разных этапах жизни человека. В заключительной главе резюмируются основные положения, описываются недавно открытые формы пластичности и приводятся некоторые из многих вопросов, на которые пока нет ответов.

Механизмы пластичности столь многочисленны и разнообразны, что их невозможно подробно рассмотреть в одной маленькой книге. Тем не менее данное издание поможет читателю получить общее представление о том, что мы знаем о нейропластичности, разобраться с основами и узнать важные исторические сведения о развитии нейробиологии, а также приобрести некоторое понимание процесса научного исследования.



## ВВЕДЕНИЕ

---

Если ввести в Google запрос «программирование мозга», появится список наиболее популярных фраз, соответствующих этому запросу. Если верить результатам поиска, можно запрограммировать мозг на любовь и счастье, на успех в работе и даже на поиск смысла жизни. Дальше — больше: выработка позитивного мышления и уверенности в себе, улучшение сна и избавление от прокрастинации. В интернете пишут, что можно улучшить почти любой аспект своего поведения и преобразовать свою жизнь, если перепрограммировать мозг.

Но что значит «перепрограммировать мозг»? Речь идет о концепции нейропластичности. Нейропластичность — очень слабо определенный термин, означающий один из механизмов изменчивости нервной системы. Всего 60 лет назад идея о том, что мозг взрослого человека может каким-то образом изменяться, считалась ересью. Исследователи полагали, что меняться может только мозг ребенка, который постепенно затвердевает, как влажная глина на воздухе, обретая к концу детства перманентно фиксированную структуру. Считалось также, что мы рождаемся

с неизменным количеством клеток головного мозга и мозг не может регенерировать, а значит, любые его повреждения нельзя исправить.

В действительности все это далеко от правды. Мозг взрослого человека не только может преобразовываться, но и постоянно, на протяжении всей жизни, меняется тем или иным образом, реагируя на все, что мы делаем, на каждый полученный нами опыт. В процессе эволюции нервная система получила возможность адаптироваться к внешним условиям и определять наилучший способ действий в любой сложившейся ситуации, исходя из того, чему нас учит полученный опыт. Это справедливо не только для людей, но и для всех организмов, имеющих нервную систему. Эволюционируя, нервная система обрела изменчивость; и нейропластичность — неотъемлемое свойство всех нервных систем.

Поэтому концепция нейропластичности красной нитью проходит через все направления исследований мозга, и нейробиологам приходится учитывать тот факт, что любой эксперимент приводит к некоторым изменениям в нервной системе изучаемого организма. Разные исследователи определяют нейропластичность по-разному, в зависимости от того, какой именно аспект мозга и поведения они изучают. Этот термин настолько неясен, что он практически не имеет смысла при использовании вне контекста и без пояснений о том, какие именно изменения происходят. Тем не менее идея о том, что мы можем по собственной воле менять свой мозг, чтобы изменить себя, оказалась весьма привлекательной и захватила воображение общественности.

Сегодня нейропластичность — популярное слово, которое можно услышать где угодно. Выражение «перепрограммируй свой мозг» превратилось в мантру мотивационных



МОЗГ ВЗРОСЛОГО ЧЕЛОВЕКА НЕ ТОЛЬКО МОЖЕТ, НО И ПОСТОЯННО, НА ПРОТЯЖЕНИИ ВСЕЙ ЖИЗНИ, МЕНЯЕТСЯ ТЕМ ИЛИ ИНЫМ ОБРАЗОМ, РЕАГИРУЯ НА ВСЕ, ЧТО МЫ ДЕЛАЕМ, НА КАЖДЫЙ ПОЛУЧЕННЫЙ НАМИ ОПЫТ.

ораторов и гуру личностного роста, а педагоги-теоретики и бизнес-менеджеры взяли на вооружение концепцию изменчивости мозга в попытках улучшить обучаемость и лидерские навыки. Однако в этих контекстах обычно нет четкого определения нейропластичности и достаточно заблуждений. Одни приписывают ей чудотворные целительные силы, другие пытаются связать ее с психотерапией «Нью Эйдж», но все это зачастую преувеличено, а порой и полностью безосновательно.

## КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ НЕЙРОПЛАСТИЧНОСТИ

Нейропластичность часто описывается как новое революционное открытие, однако данная концепция в той или иной форме известна уже более 200 лет. В начале 1780-х гг. швейцарский натуралист Шарль Бонне (Charles Bonnet) и итальянский анатом Мишель Винченцо Малакарне (Michele Vincenzo Malacarne) обсуждали в переписке возможность развития мозга путем умственных упражнений и предлагали различные способы экспериментальной проверки этой идеи. Малакарне провел опыт, используя пару собак одного помета и пару птиц из одной кладки яиц. Он интенсивно обучал одно животное из каждой пары на протяжении нескольких лет, после чего изучил их мозг и заявил, что мозжечок тренированных животных был гораздо крупнее, чем нетренированных.

Вскоре после этого, в 1791 г., был издан важный труд по анатомии, в котором немецкий физиолог Самуэль Томас фон Зёммеринг (Samuel Thomas von Sommerring) выдвинул следующую идею: «Может ли применение и напряжение

умственных способностей постепенно менять физическую структуру мозга, аналогично тому, как мышцы от тяжелого труда становятся сильнее, а кожа грубеет? Это не является неправдоподобным, хотя это не получится легко продемонстрировать с помощью скальпеля».

В начале XIX века Иоганн Шпурцхайм (Johann Spurzheim), один из основателей френологии, предположил, что развитие умственных способностей и связанных с ними структур мозга можно стимулировать упражнениями и обучением. Жан Батист Ламарк (Jean-Baptiste Lamarck), оппонент Чарльза Дарвина (Charles Darwin), утверждавший, что эволюция происходит путем наследования приобретенных характеристик, считал, что специализированные участки мозга развиваются при должном использовании связанных с ними способностей<sup>1</sup>.

В 1830-х гг. физиолог Теодор Шванн (Theodore Schwann) и ботаник Маттиас Шлейден (Matthias Schleiden) разработали клеточную теорию, в соответствии с которой клетки являются базовыми структурными элементами всех живых организмов. Однако микроскопы в то время были недостаточно мощными и не позволяли подробно рассмотреть нервную ткань. Было неясно, применима ли клеточная теория к нервной системе, и на протяжении XIX века шли споры о структуре головного и спинного мозга. Исследователи разделились на два лагеря: нейронисты, считающие, что нервная система, как и все живое, должна состоять из клеток, и ретикуляристы, полагающие, что она состоит из непрерывного волокна.

Споры утихли в 1890-х гг. благодаря работам испанского нейроанатома Сантьяго Рамон-и-Кахаля (Santiago Ramon y Cajal). Используя более совершенные микроскопы

и новые методы окрашивания, Кахаль изучил и сравнил нервную ткань представителей различных биологических видов, в том числе человека, и, будучи искусным художником, представил свои наблюдения в виде прекрасных рисунков. Благодаря работам Кахалья и других исследователей было получено достаточно доказательств, чтобы убедить научное сообщество в том, что нервная ткань состоит из клеток (нейронов), которые формируют связи друг с другом. Сегодня Кахаль считается отцом-основателем современной нейробиологии как отдельной дисциплины<sup>2</sup>.

Дарвин размышлял о нейропластичности в труде «Происхождение человека», опубликованном в 1874 г. «Я показал, что мозг домашнего кролика значительно уменьшился по сравнению с мозгом дикого кролика или зайца, — писал он. — Это может быть связано с тем, что многие поколения кроликов содержались в ограниченном пространстве и крайне мало использовали интеллект, инстинкты, чувства и двигательную систему».

Термин «пластичность» впервые появился в 1890 г. в книге «Принципы психологии», написанной Уильямом Джеймсом (William James). Джеймс определяет пластичность как «обладание структурой достаточно слабой, чтобы поддаваться влиянию, но достаточно сильной, чтобы не изменяться всей сразу» и объясняет приобретение привычек усилением синапсов и формированием новых связей: «Если привычки возникают из-за податливости вещества мозга внешним воздействиям, то мы можем сразу увидеть, под какими внешними воздействиями изменяется мозг, если изменяется вообще... Кора полушарий мозга так восприимчива из-за бесконечно слабых импульсов, проходящих через сенсорные нервные корешки. Импульсы, поступившие на вход,

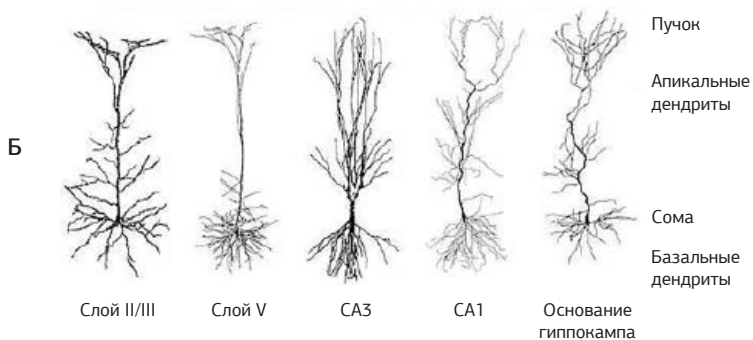
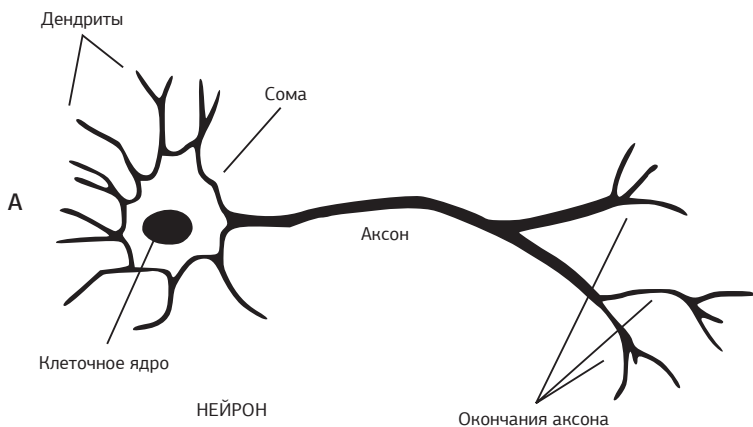


Рис. 1. (А) Схематическое изображение основных структур нервной клетки ([https://commons.wikimedia.org/wiki/Neuron#/media/File:Neuron\\_-\\_annotated.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Neuron#/media/File:Neuron_-_annotated.svg), СС BY-SA 3.0). (Б) Пирамидальные нейроны из различных слоев и областей коры больших полушарий, на основе рисунков Кахала

должны найти выход. Выходя, они оставляют следы на путях, которыми идут. Коротко говоря, единственное, что они могут сделать, — усилить старые пути или проложить новые».

В 1894 г. Кахаль предположил, что пластичность обеспечивает соединения между нервными клетками, а умственные упражнения ведут к появлению новых отростков нервной ткани. «Теория свободного разветвления клеточных отростков, способных расти, кажется не только весьма правдоподобной, но и весьма обнадеживающей, — заявил он на докладе Лондонскому королевскому обществу. — Непрерывная, заранее сформированная сеть, похожая на телеграфную систему без возможности создания новых станций и новых линий, была бы жесткой и неизменной, что противоречит нашему представлению о том, что мыслительный орган может изменяться в определенных пределах... особенно в период развития организма... Кора больших полушарий подобна саду с бесчисленными деревьями — пирамидальными клетками, — которые при правильном уходе могут увеличивать число ветвей и глубже пускать корни, производя плоды и цветы самой различной формы и качества».

Три года спустя британский нейрофизиолог Чарльз Шеррингтон (Charles Sherrington) назвал эти связи «синапсами», от греческих слов «συν» — «вместе» и «ἄπτειν» — «связывать», и заявил, что синапсы, вероятно, являются узлами, отвечающими за обучение. Он говорил об усилении синаптических связей следующее: «Лишенная любых возможностей самовоспроизведения, нервная клетка направляет свою внутреннюю энергию на расширение связей с другими такими же клетками в ответ на возбуждающие ее события».



Другие ученые ставили под вопрос утверждение о том, что обучение может приводить к появлению новых отростков нервной ткани, приводя в доказательство тот факт, что различий в размерах мозга гораздо меньше, чем в размерах других органов, и объем мозга, судя по всему, остается неизменным большую часть жизни. Кахаль, предвосхищая эти возражения, предположил, что происходит «взаимное уменьшение клеточных тел или сокращение других областей, функции которых не имеют прямого отношения к умственным способностям».

Однако менее чем через десять лет Кахаль изменил свое мнение. В 1913 г. он написал в книге «Дегенерация и регенерация нервной системы» следующее: «Когда заканчивается период развития, источник роста аксонов и дендритов безвозвратно иссякает. В центрах взрослого человека нервные пути постоянны и неизменны. Все отмирает, ничто не регенерирует». Это мнение быстро стало одной из основных догм нейробиологии, и исследователи пришли к общему мнению, что обучение, тренировки и опыт не влияют на физическую структуру мозга<sup>3</sup>.

## РЕВОЛЮЦИЯ В СОВРЕМЕННОЙ НЕЙРОБИОЛОГИИ

Эта догма оставалась незыблемой до середины XX века. Однако в начале 1960-х гг. физиологи Дэвид Хьюбел (David Hubel) и Торстен Визель (Torsten Wiesel) сделали ряд важных открытий, связанных с влиянием сенсорного опыта на развивающийся мозг, а нейробиолог Пол Бах-и-Рита (Paul Bach-y-Rita) использовал оборудование для «сенсорной подстановки», позволяющее слепым людям «видеть»

посредством чувства осязания, для доказательства того, что мозг взрослого человека не имеет фиксированной структуры. Еще несколько исследователей сообщали о наблюдениях рождения новых клеток в мозге взрослых животных разных видов, но их по большей части игнорировали или высмеивали.

В 1973 г. Тим Блосс (Tim Bliss) и Терье Ломо (Terje Lomo) сообщили об открытии долговременной потенциации — физиологического механизма долговременного усиления синаптических связей. Это стало следующим шагом к прорыву в данной области. Сегодня синаптическая пластичность широко рассматривается в качестве основы клеточного механизма обучения и памяти, поэтому долговременная потенциация является наиболее изучаемой и хорошо понятой формой нейропластичности. Со времени ее открытия исследователи много узнали о молекулярных механизмах, лежащих в основе долговременной потенциации и связанных с ней процессов. Но, как ни странно, это мало говорит нам о том, как можно улучшить обучение и память.

В конце 1990-х гг. с обнаружением нервных стволовых клеток в мозге взрослого человека появились более явные доказательства нейропластичности. Это повлияло на научное сообщество больше, чем все предыдущее. Консенсус снова поменялся, и нейропластичность была провозглашена новым революционным открытием, перевернувшим все наши представления о мозге. Сегодня нейробиологи, вооруженные новейшими технологиями, могут визуализировать мозг с беспрецедентной детализацией и с большой точностью манипулировать нейронной активностью. Новые возможности позволили открыть много других видов нейропластичности и понять некоторые механизмы, лежащие в их основе.



НЕЙРОПЛАСТИЧНОСТЬ  
В ТОЙ ИЛИ ИНОЙ ФОР-  
МЕ ОБНАРУЖИВАЕТСЯ НА  
ВСЕХ УРОВНЯХ ОРГАНИ-  
ЗАЦИИ НЕРВНОЙ СИСТЕ-  
МЫ, ОТ НИЗШЕЙ МОЛЕ-  
КУЛЯРНОЙ АКТИВНОСТИ  
ДО ВЫСШИХ УРОВНЕЙ  
СИСТЕМ, ОХВАТЫВАЮЩИХ  
ВСЕЬ МОЗГ И ОПРЕДЕЛЯ-  
ЮЩИХ ЕГО ПОВЕДЕНИЕ.

Нейропластичность в той или иной форме обнаруживается на всех уровнях организации нервной системы, будь то низшая молекулярная активность, структуры и функции отдельных клеток, промежуточные уровни дискретных популяций нейронов и распределенных нейронных сетей или высшие уровни систем, охватывающих весь мозг и определяющих его поведение. Некоторые формы действуют на протяжении всей жизни, другие только в определенные периоды; одни функционируют по отдельности, другие совместно.

Если обобщить, существует два основных типа нейропластичности. Функциональная пластичность влияет на некоторые физиологические аспекты функционирования нервной клетки, такие как частота нервных импульсов и вероятность испускания химического сигнала (и то и другое может усиливать или ослаблять синаптические связи), и изменение степени синхронности популяций клеток. К структурной пластичности относят изменение объемов отдельных участков мозга и образование новых нейронных путей, причиной которых может быть формирование новых отростков нервной ткани и синапсов или рост и развитие новых клеток.

Изменения, связанные с разными типами пластичности, могут иметь разную длительность. Изменение синапсов может происходить за миллисекунды; создание или уничтожение отростков дендритов и синапсов длится несколько часов; клетки рождаются и умирают за несколько дней. Другие формы нейропластичности требуют еще больше времени: например, взросление мозга включает длительный период повышенной пластичности, сохраняющейся с позднего детства до ранней зрелости, а потеря зрения или слуха может происходить в результате постепенных изменений, накапливающихся неделями, месяцами и годами.