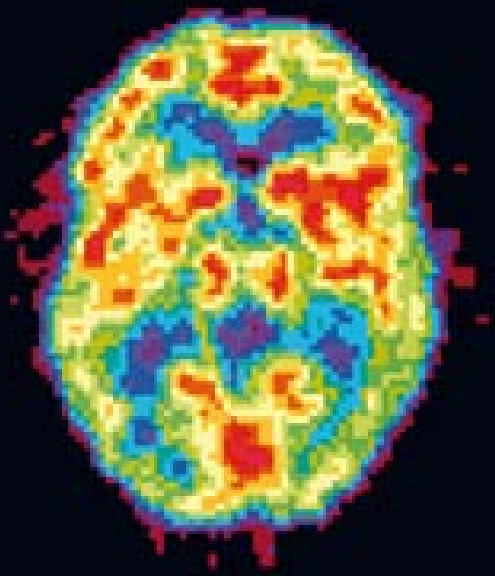
50 идей,

о которых нужно знать

МОЗГ ЧЕЛОВЕКА



Мохеб Костанди

ББК 84.4
К72

Copyright © Moheb Costandi, 2013

Нейробиолог Мохеб Костанди – активный популяризатор науки, он сотрудничает с самыми авторитетными изданиями, такими как *Nature*, *New Scientist*, *Science*, *Scientific American*. Его научный блог «Нейрофилософия», который он ведет на портале газеты *Guardian*, читают сотни тысяч людей по всему миру.

Костанди, Мохеб

К72 Мозг человека. 50 идей, о которых нужно знать. – Пер. с англ. Ш. Мартыновой. – М.: Фантом Пресс, 2015. – 208 с.

Эта книга – квинтэссенция из столетних размышлений о мозге. В нее вошли все важнейшие представления нейробиологии. Здесь вы найдете как давно существующие концепции, но рассмотренные в свете последних научных данных, так и новейшие теории о человеческом мозге, возникшие недавно. Книга проливает свет на устройство и работу самого плохо изученного органа человека. Рассмотрены в книге и этические вопросы, связанные с мозгом и разумом. Некоторые верят, что лучшее понимание работы мозга даст нам ответы на главные вопросы жизни. Но наука о мозге не объясняет, что значит – быть человеком. Но она помогает понять, как мы функционируем, дает возможность излечить многочисленные тяжелые расстройства – вредные привычки, болезнь Альцгеймера, инсульты и параличи. «Мозг человека» поможет вам разобраться в том, что творится у вас в голове.

ISBN 978-5-86471-697-7 © Ш. Мартынова, перевод, 2014
© «Фантом Пресс», оформление, издание, 2015

Мохеб Костанди
МОЗГ ЧЕЛОВЕКА
50 идей,
о которых нужно знать

Перевод
Шаши Мартынова
Редактор
М. Немцов
Научный консультант
А. Петрова
Корректоры
Ольга Андрюхина,
Елена Кочугова
Директор издательства
Алла Штейнман
Подписано в печать 26.02.2014.
Формат 70×90/16.
Печать офсетная.
Заказ № 1500640.
Тираж 3500 экз.
Гарнитура «NewBaskervilleC».
Издательство «Фантом Пресс»:
Лицензия на издательскую деятельность
код 221 серия ИД № 00378
от 01.11.99 г.
127015 Москва,
ул. Новодмитровская, д. 5А, 1700
Тел.: (495) 787-34-63
Электронная почта:
phantom@phantom-press.ru
Сайт: www.phantom-press.ru

Отпечатано
в полном соответствии
с качеством
предоставленного
электронного
оригинал-макета
в ОАО «Ярославский
полиграф-комбинат»
150049, Ярославль,
ул. Свободы, 97

Оглавление

Введение 3

УСТРОЙСТВО И ФУНКЦИИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

01 Нервная система 4
02 Нейронная доктрина 8
03 Глиальные клетки 12
04 Нервный импульс 16
05 Синаптическая передача 20
06 Чувственное восприятие 24
07 Движение 28
08 Топография мозга 32
09 Специализированные области мозга 36
10 Асимметрия мозга 40

ВАШ МОЗГ, ВЫ САМИ

11 Зеркальные нейроны 44
12 Коннектом 48
13 Воплощенное мышление 52
14 Осознание тела 56
15 Свободная воля 60
16 Половые различия 64
17 Личность 68
18 Пациенты с поражениями мозга 72
19 Театр сознания 76
20 Расстройства сознания 80

МЫСЛИТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС

21 Внимание 84
22 Рабочая память 88
23 Обучение и память 92
24 Умозрительные путешествия во времени 96
25 (Ре)консолидация памяти 100
26 Принятие решений 104
27 Поощрение и мотивация 108
28 Восприятие речи 112
29 Исполнительная функция 116

ДИНАМИЧЕСКИЙ МОЗГ

30 Миграция клеток и аксональное наведение 120
31 Клеточная смерть 124
32 Синаптический прунинг 128
33 Нейропластичность 132
34 Отрочество 136
35 Стресс и мозг 140
36 Старение мозга 144
37 Нейродегенерация 148

СВОБОДА ОТ ДОГМЫ

38 Нейрогенез взрослых 152
39 Эпигенетика 156
40 Пассивный режим 160
41 Ритмы мозга 164
42 Ошибка прогноза 168

НОВЕЙШИЕ ТЕХНОЛОГИИ И НЕПРОСТЫЕ ВОПРОСЫ

43 Стволовые клетки мозга 172
44 Стимулирование мозга 176
45 Улучшение умственной деятельности 180
46 Сканирование мозга 184
47 Расшифровка 188
48 Нейрокомпьютерные интерфейсы 192
49 Нейробиология и закон 196
50 Нейроэтика 200

Словарь терминов 204
Предметный указатель 206

Введение

Современная нейробиология восходит к 1890-м годам: тогда ученые впервые установили, что нервная система, как и вообще все живое, состоит из клеток. Прошло сто лет, президент Джордж У. Буш объявил 1990-е «Десятилетием мозга», и с тех пор исследования этого чрезвычайно сложного органа набрали потрясающие обороты. Говорят, за последние десять лет мы узнали о мозге больше, чем за предыдущие сто. Тем не менее мы по-прежнему возимся на поверхности, и громадную часть знаний еще предстоит добыть.

За эти недолгие годы возникло множество теорий работы мозга и того, как он порождает наши мысли и поступки. Например, френология, дисциплина XIX века, пытавшаяся соотнести черты личности с формой головы, имела в свое время большое влияние, но позднее от нее отказались как от псевдонауки. Другие ранние представления — к примеру, нейронная доктрина, то есть представление о мозге как о совокупности клеток — по-прежнему занимают центральное место в современной нейробиологии.

С развитием техники и нашего понимания мозга возрос и интерес широкой публики к наукам о мозге, к поразительным новым открытиям и их значению для людей. В то же время исследования мозга окружает немалая шумиха, и, уж конечно, они плодят уйму неподтвержденных сведений. Кроме того, множатся мифы о мозге. Один из самых расхожих примеров — представление о том, что левое полушарие у человека «логическое», а правое «творческое». Это представление, похоже, имеет все более широкое хождение, особенно в образовательной и деловой среде.

Эта книга — попытка извлечь квинтэссенцию из столетних размышлений о мозге. Она объединяет значимые представления нейробиологии, в свете последних данных приводит старые концепции к современному виду, а также предлагает новые, возникшие совсем недавно. Она пытается дать достоверные объяснения представленным идеям в доступной форме, отделить зерна от плевел и пролить свет на загадочное вещество у нас в головах. Там, где возможно, я объясняю, как именно были добыты те или иные данные — какие методики применены и как исследователи уточняют свои представления по мере поступления новых сведений.

Некоторые верят, что понимание работы мозга даст нам ответы на главные вопросы жизни. Нет, не даст: исследование мозга не объяснит нам досконально ни кто мы есть, ни что это значит — быть человеком. А вот возможность лечить многочисленные тяжелые расстройства, коим мы подвержены, — вредные привычки, болезнь Альцгеймера, инсульты и параличи, например, — такое понимание предлагает. «Мозг человека» рассматривает — с осторожным оптимизмом — и эти надежды.

01 Нервная система

Нервная система человека состоит из двух ключевых компонентов. Первый, центральная нервная система, включает в себя головной и спинной мозг; они принимают информацию от остального тела и обеспечивают единство его действий. Второй — периферическая нервная система, она обеспечивает доставку информации от тела к мозгу и наоборот.

Человеческий мозг состоит из миллиардов клеток, организованных в систему высочайшей упорядоченности, — ее нередко считают самой сложной структурой в известной нам Вселенной, однако весит наш мозг всего 1,5 кг. Он состоит из двух полушарий, и каждое управляет зеркально противоположной половиной тела и получает от нее информацию. Кора головного мозга, покрывающая полушария, имеет четыре доли с разными функциями, и отделяются они друг от друга глубокими бороздами.

Лобная доля осуществляет сложные мыслительные функции — логические рассуждения, принятие решений, а также содержит моторные области, отвечающие за планирование и выполнение осознанных движений.

Теменная доля содержит соматосенсорные области — они заняты обработкой осязательной информации, поступающей от тела. Здесь же собираются разнообразные данные о положении тела в пространстве.

Височная доля принимает информацию от ушей, а в ее внешней поверхности находятся области, занятые распознаванием речи. На внутренней поверхности расположен гиппокамп, необходимый для формирования памяти; вместе с прилегающими участками он также играет важную роль в пространственном ориентировании.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1700 до н. э.
Так называемый папирус Эдвина Смита — первое описание нервной системы

900
Ар-Рази описывает черепно-мозговые нервы в медицинском трактате «Китаб аль-Хави фи аль тибб» («Аль-хави»)

1543
Издан трактат Андреаса Везалия «О строении человеческого тела»

Слои сложности

Кора — чрезвычайно затейливая складчатая ткань, рельефно облегающая внешнюю поверхность мозга. Кора головного мозга человека имеет гораздо большую площадь, чем у других животных: в расправленном виде — около 0,2 кв. м. Ее складчатость придает мозгу привычный нам вид — со множеством извилин и борозд. В толщину кора всего несколько миллиметров, однако состоит из шести слоев, и в каждом клетки организованы на свой манер. Несмотря на одинаковое устройство каждого слоя, кора содержит множество отдельных участков со своими особыми функциями.

Затылочная доля расположена в задней части мозга, и там находятся десятки областей, занятых обработкой и интерпретацией зрительных данных.

Мозг обнаженный Под корой залегают несколько крупных пучков нейронов. Таламус (или «внутренняя камера») находится в самой середине и передает информацию от органов чувств соответствующим областям мозга. Таламус окружают базальные ганглии – совокупность структур, занятых преимущественно управлением движениями тела. Лимбическая система – еще одна общность подкорковых структур, расположенных между базальными ганглиями и корой. Иногда называемая «рептильным мозгом», лимбическая система эволюционно примитивнее и обслуживает эмоции, поощрение и мотивацию. В нее входят гиппокамп и амигдала (миндалевидное тело) – оба участвуют в работе памяти.

Средний мозг – небольшая область, располагающаяся на вершине мозгового ствола. Здесь спрятаны пучки нейронов, контролирующих движения глаз, и он является главным источником нейромедиатора дофамина. Нейроны, вырабатывающие дофамин, также производят пигмент мелатонин, из-за чего средний мозг имеет темную окраску. Оттого эта часть среднего мозга называется «черным веществом».

Задний мозг заключает в себе три структуры, находящиеся сразу над спинным мозгом и вместе образующие мозговой ствол. Нижняя часть мозгового ствола (продолговатый мозг) контролирует жизненно важные непроизвольные функции – дыхание и сердцебиение, а также

1641
Франциск Сильвий описывает борозду в боковой части мозга

1664
Томас Уиллис (Фома Виллизий) публикует *«Cerebri anatome, cui accessit nervorum descriptio et usus»* («Анатомия головного мозга с добавлением к ней описания и функции нервов»).

1695
Издана «Анатомия мозга» Хамфри Ридли

задействована в процессах возбуждения. Над продолговатым мозгом размещается варолиев мост, соединяющий кору головного мозга со спинным, – он тоже имеет отношение к возбуждению. Третий компонент заднего мозга – мозжечок, он отвечает за равновесие и координацию движений. Он играет важнейшую роль в приобретении двигательных навыков вроде езды на велосипеде, но также занят и в переживании эмоций, и в мыслительных процессах.

Воистину час пик Спинной мозг – главная магистраль транспортной системы организма, пучок колоссальной плотности, состоящий из миллионов нервных волокон, передающих информацию между телом и мозгом. Эта неимоверно хрупкая структура, защищенная позвоночным столбом, умеет делать кое-что сама, без команды из мозга, – например, осуществлять коленный рефлекс. Спинной мозг сегментирован, нервы входят и выходят из него через определенные интервалы, очень упорядоченно. В поперечном сечении он напоминает бабочку.

> **«Человеческий мозг... сложнейшая известная нам организация материи»**
>
> **Айзек Азимов (1920–1992), американский писатель-фантаст, популяризатор науки**

Волокна двигательных нейронов выходят из передней части спинного мозга наружу и простираются к мышцам тела, донося к ним из головного мозга информацию о произвольных движениях. Аксоны чувствительных (сенсорных) нейронов несут информацию от тела к задней стороне спинного мозга и образуют связи с нейронами второго порядка, а те передают информацию в мозг. Переплетение аксонов двигательных и чувствительных нейронов создает периферическую нервную систему.

Гонцы Периферическая нервная система объединяет все нервы, выходящие из головного и спинного мозга, и состоит из двух компонентов. Первый, соматическая нервная система, объединяет чувствительные и двигательные нервные волокна, передающие информацию между телом и спинным мозгом. Эти нервные волокна обеспечивают телесные ощущения и управление движениями.

Второй компонент – автономная, или вегетативная, нервная система, она контролирует работу сердца, желез и гладких мышц кровеносных сосудов и кишечника, а также глазных – все эти мышцы не подчиняются контролю.

Автономную нервную систему можно разделить на симпатическую и парасимпатическую – это две противоположные функции. В симпатической нервной системе задействован нейромедиатор норадреналин – он усиливает сердцебиение, расширяет зрачки и дыхательные каналы, отводит кровь от пищеварительной системы. Так тело готовится к действию в ситуациях «бей или беги». Парасимпатическая нервная система

задействует нейромедиатор ацетилхолин – от него зрачки и дыхательные каналы сужаются, сердечный ритм замедляется, а пищеварительная функция активизируется.

Нервы, расположенные в черепной коробке, тоже часть периферической нервной системы. Эти нервные волокна выходят из мозгового ствола и передают информацию мозгу от органов чувств. Блуждающий, или десятый черепно-мозговой, нерв – самый длинный из них и ветвится аж до сердца, грудины и брюшной полости.

«Ум — таинственная форма материи, производимая мозгом»

Эмброуз Бирс (1842–1913/14), американский писатель, журналист

В сухом остатке

Нервная система чрезвычайно сложна и высокоорганизованна

02 Нейронная доктрина

Современная нейробиология основывается преимущественно на представлении о мозге как об общности клеток. Мозг человека содержит поражающее воображение количество нейронов — от 80 до 120 миллиардов, они образуют прихотливо переплетенные системы, в которых обрабатывается информация. Нейроны (нервные клетки), одна из двух разновидностей клеток мозга, производят электрические сигналы и взаимодействуют друг с другом.

В 1830-х годах двое немецких ученых предложили теорию, утверждавшую, что все живые существа состоят из клеток. В те времена микроскопам не хватало мощности, чтобы выявить структуру нервной системы достаточно подробно, и потому оставалось неясным, применима ли клеточная теория к нервной ткани; эта тема еще долго вызывала споры. Некоторые исследователи полагали, что нервная система, как и остальные части тела, должна состоять из клеток, а другие считали, что это непрерывная сеть ткани.

Совершенствование микроскопов и методов химических цветовых реакций позволило ученым рассматривать нервную ткань все подробнее. Значительным прорывом стала так называемая «черная реакция», предложенная Камилло Гольджи, — метод окрашивания и отвердения ткани при помощи растворов бихромата калия и аммония с последующим погружением ее в раствор нитрата серебра. «Черная реакция» целиком окрашивает случайное небольшое число нейронов в образце ткани, делая их очертания полностью видимыми.

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1655
Роберт Хук (Гук) обнаруживает клетки в живой материи

1838
Роберт Ремак выдвигает предположение, что нервные волокна подсоединены к нервным клеткам

1839
Теодор Шванн и Маттиас Шлейден формулируют клеточную теорию

1865
Посмертная публикация описания аксонов и дендритов Отто Дейтерса

В 1880-х годах испанский нейроанатом Сантьяго Рамон-и-Кахаль начал использовать метод окрашивания при сравнительном изучении тканей многих участков мозга у различных видов животных. Кахаль усовершенствовал методику Гольджи повторной обработкой растворами. Теперь можно было окрашивать нейроны глубже и изучать их еще подробнее.

«Я — как энтомолог, охотящийся за яркими разноцветными бабочками: мое внимание притягивал цветник серого вещества, содержащего клетки хрупкой, изящной формы — загадочные бабочки души»

Сантьяго Рамон-и-Кахаль (1852–1934), испанский врач, гистолог

Кахаль заключил, что мозг, несомненно, состоит из клеток, а на конференции 1889 года в этом убедились и все остальные, и так родилась нейронная доктрина – представление о нейроне как о базовой структурной и функциональной единице нервной системы. В 1906 году Кахаль и Гольджи получили за свой вклад в науку Нобелевскую премию по физиологии. Несмотря на то что изобретенный им метод привел к открытию нейрона, Гольджи, как ни парадоксально, и дальше придерживался представления о нервной системе как о непрерывной сети ткани. Кахаль же, с другой стороны, общепринято считается отцом современной нейробиологии.

Вестники тела Человеческий мозг содержит нейроны не менее нескольких сотен, а то и тысяч разновидностей, всевозможных форм и размеров, но их все – в соответствии с функциями – можно разделить на три типа. Чувствительные (сенсорные) передают информацию от органов чувств в мозг; двигательные (моторные) отправляют команды мышцам и органам; вставочные (ассоциативные) отвечают за сообщение между нейронами в локализованных нервных цепях и на бóльших расстояниях – между разными участками мозга.

Несмотря на это потрясающее разнообразие, основные свойства у большинства нейронов одинаковы. Традиционно устройство нейрона представляют трехчастным, у каждой части – свои функции.

Дендрит. Название происходит от греческого «дендрон» – дерево; это разветвленный отросток тела клетки. Дендрит – сегмент нейрона, отвечающий за «ввод данных»: он принимает и обрабатывает сигналы от других нейронов, после чего передает их клеточному телу.

1873
Камилло Гольджи открывает «черную реакцию»

1889
Сантьяго Рамон-и-Кахаль доказывает: нервная система состоит из клеток

2005
Ицхак Фрид и его коллеги обнаруживают «нейроны Дженнифер Энистон»

Клетки Дженнифер Энистон

Исследуя мозг страдающих эпилепсией, ученые обнаружили нейроны, реагирующие на образы знаменитостей вроде Дженнифер Энистон или Хэлли Берри или же на легендарные объекты — Эйфелеву башню или Белый дом. Эти клетки расположены в области мозга, содержащей структуры, необходимые для производства памяти. Далее те же исследователи установили, что эти клетки активизируются не только в тех случаях, когда пациент видит образы знаменитостей или объектов, но и когда просто о них думает. Эти открытия привели к предположению, что индивидуальные клетки отвечают за кодирование абстрактных понятий. Однако более вероятным видится такой вывод: каждая клетка есть часть распределенной системы, содержащей несколько миллионов нейронов, и эта система кодирует воспоминание о знаменитости или объекте. Отдельные клетки, вероятно, участвуют в миллионах других систем, и каждая система кодирует определенное воспоминание или понятие.

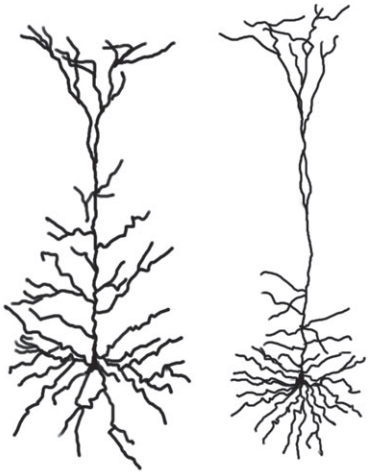
Клеточное тело. В этом отсеке происходит обработка сигналов, поступающих от дендрита, и производится исходящий сигнал. Здесь же расположено ядро клетки, а в нем – ДНК, длинная молекула, хранящая информацию для синтеза тысяч белков, контролирующих функции клетки. Каждый тип нейронов определяется уникальной комбинацией генов, придающих ему его особые свойства.

Аксон. Одиночный отросток на другом конце нейрона, проводник исходящего сигнала нейрона. Электрические сигналы генерируются в основании аксона и отводятся от клеточного тела, после чего передаются другим клеткам. Конец аксона образует ветвистые терминали, они и доносят сигнал до множества «целевых» клеток. Мы уже знаем, однако, что импульсы могут возникать в любой части нейрона и двигаться в обоих направлениях.

Вымуштрованная армия Большинство нейронов – около 80% – располагается в мозжечке. Клетки в его коре (внешней оболочке) устроены высокоупорядоченными слоями, подобно дисциплинированным солдатам в войсках особого назначения. Два типа клеток в этой части мозга наглядно показывают, насколько разнообразны бывают нейроны. Клетки Пуркинье – крупнейшие нейроны мозга. Они широкие, плоские и чрезвычайно разветвленные. Гранулярные же клетки, напротив, мельчайшие. У них одиночное волокно вблизи клеточного тела раздваивается

и ответвляется перпендикулярно дендритам клетки Пуркинье. Каждая клетка Пуркинье формирует связи примерно с 250 000 волокон гранулярных клеток.

Кора головного мозга тоже слоиста, и каждый слой — предельно упорядоченная общность нейронов. Пирамидальные клетки, расположенные во всех слоях, кроме самого верхнего, — один из основных видов клеток, они собраны в скопления определенного устройства, воспроизводимого на каждой тридцатитысячной доле миллиметра. Структура этих клеток в разных слоях и участках мозга разная, но у всех узнаваемая пирамидальная форма клеточного тела, сильно разветвленные дендриты и ветвистые аксоны, простирающиеся к клеткам в других слоях коры и удаленных областях мозга.



Пирамидальные нейроны из разных участков коры головного мозга

В сухом остатке

Нейроны — кирпичики нервной системы

03 Глиальные клетки

Помимо нейронов в мозге также содержатся и другие клетки, именуемые глиальными (клетками глии). Почти всю историю современных наук о мозге клетки глии считались незначимыми, обслуживающими. Ныне же известно, что они, играя важную сопровождающую роль, все же ключевой фактор в развитии мозга, его деятельности и болезней.

Более 150 лет глиальные клетки считали необходимыми лишь для удержания нейронов на своих местах, их защиты и питания. Современные исследования, однако, показали, что эти клетки очень значимы для способностей мозга к обработке информации.

Глиальных клеток в мозге больше, чем нейронов, но с тех пор как их открыли, ученые ими, в общем, пренебрегали. Теперь-то делается все яснее, что для развития нашего понимания работы мозга эти клетки принимать в расчет необходимо. Они не просто актеры второго плана: глиальные клетки играют важные роли на сцене работы мозга, а могут и вообще оказаться звездами этого спектакля.

Знакомство с глиальными клетками В мозге содержатся разные типы глиальных клеток, и у каждого — свои особые функции.

Астроциты имеют форму звездочки, размещаются в пространстве между нейронами. Снабжают питательными веществами и регулируют химический состав нейронов, а к тому же необходимы для обработки информации.

Эпендимальные клетки выстилают стенки желудочков мозга, производят и выделяют спинномозговую жидкость. У этих клеток имеются волоски-протуберанцы, именуемые ресничками, — они торчат внутрь

СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1839
Теодор Шванн описывает структуру периферической нервной системы и наблюдает клетки, впоследствии названные его именем

1856
Рудольф Вирхов называет клетки глии *nervenkitt*, что означает «клей нервов»

1896
Георге Маринеску обнаруживает, что глия поглощает нейроны в процессе фагоцитоза

желудочков и колышутся, тем самым улучшая циркуляцию спинномозговой жидкости.

Микроглиальные клетки – отряд особого реагирования мозга, первая линия обороны от микробов, уборщики отходов за умирающими нейронами (*см. стр. 126–127*).

Олигодендроциты производят жировую ткань миелин – изолятор для аксонов. Благодаря ей нервные импульсы перемещаются вдоль аксонов с большей эффективностью. (Для периферической нервной системы эту функцию выполняют шванновские клетки.)

Радиальная глия наличествует только на ранних стадиях развития мозга (*см. след. стр.*). Клетки этого вида производят громадное количество нейронов мозга и направляют их к развивающейся коре.

Аварийная бригада мозга

Микроглия формируется костным мозгом, клетки микроглии — иммунная система мозга. Эти клетки постоянно патрулируют мозг, вытягивая и поджимая похожие на пальцы отростки, — проверяют, не возникло ли каких-нибудь признаков инфекции, повреждения или болезни. Обнаружив в мозге микробы, микроглиальные клетки ползут, подобно амебам, к чужакам и поглощают их; этот процесс называется фагоцитозом (букв. «поедание клетки»). Микроглиальная клетка в этом процессе обволакивает микроб своей клеточной мембраной, включает его в свое тело, после чего уничтожает. Микроглия задействована и в случаях поражений мозга: микроглиальные клетки принимают сигнал о химических неполадках, отправленный поврежденными и умирающими нейронами, и ползут к месту поражения. По прибытии они прибирают мертвые клетки и другие клеточные отходы.

Микроглиальная клетка

1920
Пио дель Рио-Ортега подразделяет глиальные клетки на четыре типа

1966
Стивен Куффлер с коллегами доказывает, что глия реагирует на сигналы от нейронов

1970
Паско Ракич описывает миграцию молодых нейронов вдоль волокон радиальных глиоцитов

Не просто клей В переводе с греческого «глия» означает «клей» — это название отражает давние представления о роли этих клеток. Однако исследования, обнародованные за последние десять лет, показывают, что глиальные клетки на самом деле жизненно важны во всех аспектах деятельности мозга.

Астроциты, к примеру, суть гораздо больше, чем просто набивка между нейронами, удерживающая их на местах. У этих клеток свои действующие системы, они общаются друг с другом и с нейронами при помощи химических сигналов, тем самым добавляя еще один уровень сложности к механизмам обработки информации. К тому же они вносят важный вклад в формирование синапсов (связей между нейронами) в период развития мозга.

Эти звездообразные клетки управляют общением между нейронами, а значит, незаменимы для функционирования синапсов в зрелом мозге. Они тесно контактируют с синапсами — сжимают их своими пальцеподобными отростками, которые могут ослаблять или усиливать хватку, регулируя тем самым поток химических сигналов, проходящих между нейронами. Так же действуют и другие отростки астроцитов — базальные ножки: они обвиваются вокруг капилляров и контролируют движение крови в мозге.

> **«Глиальные клетки — необходимые участники любого значимого процесса развития мозга, его деятельности и болезни»**
>
> **Бен Баррес (р. 1955), американский нейробиолог**

Астроциты еще и регулируют так называемую синаптическую пластичность — усиление или ослабление отклика на воспринимаемое извне. Эти сравнительно недавно открытые функции привели некоторых исследователей к предположению: некогда скромные астроциты необходимы мозгу для работы памяти.

Но и этим дело не исчерпывается. Радиальные глиоциты играют ключевую роль в развитии мозга. На ранних стадиях этого развития нервная система представляет собой полую трубку, из которой потом на одном конце образуется головной мозг, а на другом — спинной. У клеток радиальной глии есть одиночные отростки, проницающие толщу трубки, разветвляющиеся у внутренней поверхности и производящие незрелые нейроны.

Юные нейроны взбираются по волокнам клеток произведшей их радиальной глии к внешней поверхности трубки.

Эта «радиальная миграция» происходит волнами — так складываются специфические по свойствам слои коры головного мозга, формируясь изнутри наружу, т. е. первая волна мигрирующих нейронов образует

внутренний слой коры, а все последующие минуют уже образовавшийся слой и выстраивают следующий, ближе к поверхности трубки.

Уборка насмарку Глиальные клетки играют роль во многих неврологических расстройствах. Рассеянный склероз, к примеру, заболевание, при котором иммунная система по ошибке нападает на олигодендроциты и разрушает миелиновую оболочку, которую они производят. В результате способность нервов передавать импульсы ухудшается, что приводит к симптомам этого расстройства. В тяжелых случаях нарушение миелинового слоя, изолирующего периферические нервы, вызывает паралич, а поражение зрительного нерва – к слепоте.

> **«Это связующее вещество... своего рода клей, в который погружены элементы нервной системы»**
>
> **Рудольф Вирхов (1821–1902), немецкий врач, гистолог, физиолог, патологоанатом, политик**

Эти клетки также играют роль в нейродегенеративных заболеваниях – например, болезнях Альцгеймера и Паркинсона. Такого рода недуги характеризуются неестественным скоплением нерастворимых белковых комков внутри или вокруг нейронов. В здоровом мозге микроглиальные клетки приглядывают за порядком и прибирают любые отходы, но, как показывают новейшие исследования, разобраться с этими белковыми комками микроглиоцитам пациентов с нейродегенеративными расстройствами не удается. Недавно ученые обнаружили, что у людей с болезнью под названием «боковой амиотрофический склероз» (разновидность заболевания двигательных нейронов) мутировавшие астроциты испускают ядовитые вещества, убивающие двигательные нейроны.

В сухом остатке

Глиальные клетки играют главные роли на сцене мозга

04 Нервный импульс

Нейроны производят электрохимические возмущения, перемещающиеся по их волокнам. Эти возмущения, именуемые нервными импульсами или потенциалами действия, генерируются малыми электрическими токами вдоль мембраны нервной клетки. Нейроны способны производить до тысячи потенциалов действия в секунду, в последовательности и длительности которых закодирована информация.

Нервные импульсы — электрохимические возмущения, передаваемые вдоль нервных волокон; через них нейроны взаимодействуют друг с другом и с остальным телом. Электрическая природа нервных импульсов задается структурой клеточной мембраны, которая состоит из двух слоев, разделенных небольшим зазором. Мембрана действует и как конденсатор — накапливает электрический заряд, собирая на себе ионы, и как сопротивление, блокируя ток. У нейрона в покое вдоль внутренней поверхности мембраны образуется облако отрицательно заряженных ионов, а вдоль внешней — положительных.

Нейрон, активируясь, испускает (также говорят «генерирует») нервный импульс. Он возникает в ответ на сигналы, полученные от других клеток, и являет собой краткое обратное изменение разности потенциалов мембраны: внутри она становится на мгновение положительно заряженной, после чего быстро возвращается к состоянию покоя. Во время нервного импульса мембрана нервной клетки пропускает внутрь ионы определенных видов. Поскольку ионы электрически заряжены, их движение есть электрический ток сквозь мембрану.

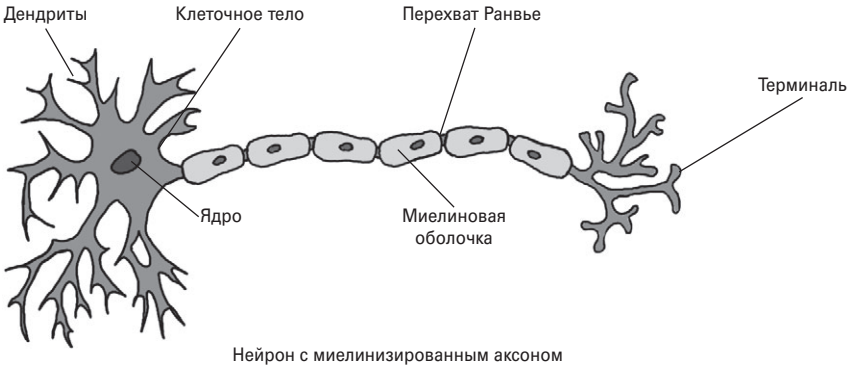
СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

1791
Луиджи Гальвани изучает биологическое электричество на лягушках и их рефлексах

1848
Эмиль Дюбуа-Реймон открывает нервный импульс

1850
Герман фон Гельмгольц измеряет скорость проводимости импульсов в нервах лягушки

1878
Луи-Антуан Ранвье описывает узлы на миелиновой оболочке



Нейрон с миелинизированным аксоном

Нейроны в покое Внутри нейронов находятся ионы, но и сами нейроны окружены ионами в других концентрациях. Частицам свойственно двигаться из области с высокой концентрацией в область с низкой, однако мембрана нервной клетки препятствует этому движению, поскольку в основном непроницаема.

Получается, что одни ионы концентрируются снаружи мембраны, а другие – внутри. В результате внешняя поверхность мембраны заряжена положительно, а внутренняя – отрицательно. Мембрана, таким образом, оказывается поляризована.

Все началось с кальмара Механизм потенциала действия – волны возбуждения на мембране клетки – выяснили в начале 1950-х, в классическом эксперименте с микроэлектродами, введенными в аксоны гигантского кальмара. Эти эксперименты доказали, что потенциал действия генерируется последовательными перемещениями ионов сквозь мембрану.

В первой фазе потенциала действия мембрана ненадолго становится проницаемой для ионов натрия, и они заполняют клетку. Это вызывает деполяризацию клетки – разность потенциалов на мембране меняется на обратную, и внутренняя поверхность мембраны заряжается положительно. Вслед за этим клетку стремительно покидают ионы

> **Похоже, это правдоподобное заключение... что нерв выполняет функцию проводника**
>
> **Луиджи Гальвани (1737–1798), итальянский врач, анатом, физиолог, физик**

1893
Пауль Флексиг описывает развитие миелинового слоя в мозге

1952
Алан Ходжкин и Эндрю Хаксли описывают механизм нервного импульса в аксонах гигантского кальмара

1998
Род Маккиннон с коллегами определяют структуру потенциал-зависимого калиевого канала

Закон Ома

Закон Ома объясняет, как электрические свойства мозга меняются в зависимости от входящих сигналов. Он описывает соотношение между разностью потенциалов (напряжением) мембраны нервной клетки, ее сопротивлением и током, протекающим сквозь нее. Согласно этому соотношению ток прямо пропорционален напряжению на мембране и описывается уравнением $I = U/R$, где I — электрический ток, U — разность потенциалов, а R — сопротивление.

калия и разность потенциалов мембраны возвращается к исходному состоянию. Проникновение ионов калия внутрь делает заряд на мембране более отрицательным, нежели в состоянии покоя, и клетка, таким образом, оказывается гиперполяризована. В так называемый рефрактерный период нейрон не может произвести следующий потенциал действия, однако быстро возвращается к состоянию покоя.

Потенциалы действия генерируются в структуре, называемой аксонным холмиком, — это место, где аксон растет из клеточного тела. Потенциалы действия перемещаются вдоль аксона, потому что деполяризация одного сегмента волокна вызывает деполяризацию и соседнего. Эта волна деполяризации катится в направлении от клеточного тела и, достигнув терминали нервной клетки, вызывает выброс нейромедиаторов.

Одиночный импульс длится одну тысячную секунды; нейроны кодируют информацию точно выверенной по времени последовательностью импульсов (спайковых разрядов), однако до сих пор неясно, как именно кодируется информация. Нейроны часто производят потенциалы действия в ответ на сигналы от других клеток, однако порождают и импульсы без всяких внешних сигналов. Частота базальных пульсаций, или спонтанных потенциалов действия, варьирует у разных типов нейронов и может меняться в зависимости от сигналов других клеток.

> **Мембрана действует как барьер и препятствует смешиванию ионов из внешнего и внутреннего растворов**
>
> **Алан Ходжкин (1914–1998), английский нейрофизиолог, биофизик**

Пройдут немногие Ионы проникают через мембрану нервной клетки по белкам, имеющим форму бочки и именуемым ионными каналами. Они пронизывают мембрану и образуют сквозные поры. В ионных каналах есть сенсоры, распознающие изменения в разности потенциалов мембраны, они открываются и закрываются в ответ на эти изменения.

Быстрее Усэйна Болта*

Аксоны спинного и головного мозга изолированы толстой миелиновой тканью, производимой клетками мозга олигодендроцитами. У олигодендроцита ответвлений немного, и каждое состоит из крупного плоского полотна миелина, многократно обернутого вокруг маленького сегмента аксона, принадлежащего другому нейрону. Миелиновая оболочка вдоль длины всего аксона неравномерна: она прерывается с регулярными интервалами, и точки этих прерываний именуются перехватами Ранвье. Ионные каналы сгущаются как раз в этих точках, тем самым обеспечивая перескакивание потенциалов действия с одного перехвата на другой. Так ускоряется весь процесс движения потенциалов действия вдоль аксона — оно происходит со скоростью до 100 м/сек.

Нейроны человека содержат более десятка разных видов таких каналов, и каждый из них пропускает лишь один вид ионов. Активность всех этих ионных каналов во время потенциала действия строго регламентирована. Они открываются и закрываются в определенном порядке – так, что нейроны в ответ на сигналы, получаемые от других клеток, могут генерировать последовательности нервных импульсов.

* Усэйн Сент-Лео Болт (р. 1986) — ямайский легкоатлет, шестикратный олимпийский чемпион, восьмикратный чемпион мира по забегу на короткие дистанции. — *Здесь и далее прим. переводч., кроме оговоренных особо.*

В сухом остатке

Нейроны производят электрические сигналы, несущие информацию

Конец ознакомительного фрагмента - скачать книгу легально