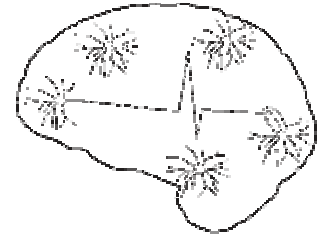
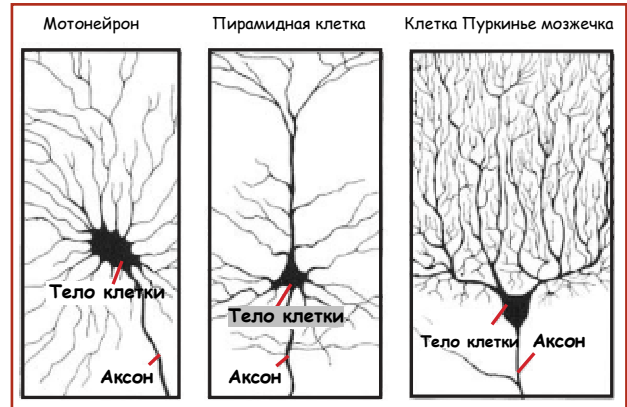


Нейроны и Потенциал Действия

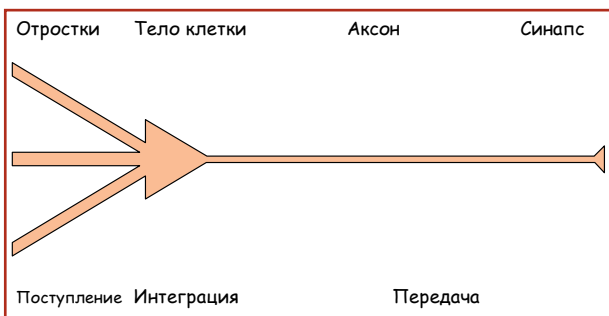


Все нейроны - чувствительные и двигательные, большие и маленькие - имеют два вида активности - электрическую и химическую. Нейроны взаимодействуют и соревнуются друг с другом в регуляции общего состояния нервной системы, подобно людям в обществе, кооперирующимся и соревнующимся в процессе принятия решения. Химические сигналы, получаемые дендритами от контактирующих с ними аксонов, преобразуются в электрические сигналы, которые суммируются или вычитаются от электрических сигналов всех остальных синапсов. Это приводит к принятию решения, будет ли сигнал передан дальше. Затем электрический потенциал распространяется по аксону к синапсам с дендритами следующих нейронов, и процесс повторяется.



Динамические нейроны

Как мы указали в предыдущей главе, нейрон состоит из дендритов, тела, аксона и синаптической терминали. Функциональное подразделение этих структур отражается в поступлении, интеграции и передаче информации. Проще говоря, дендриты получают, тело клетки интегрирует и аксоны передают информацию; эта концепция называется «поляризацией», потому что передаваемая информация предположительно движется только в одном направлении.

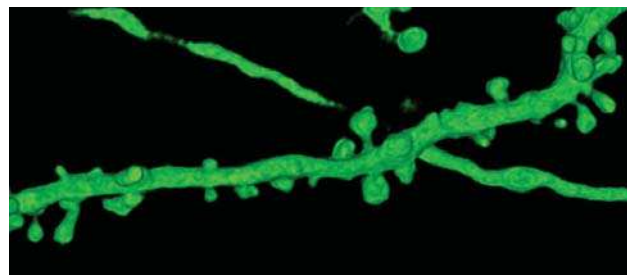


Ключевые понятия о нейроне

Подобно любой структуре, он должен быть сплоченным. Наружная мембрана, состоящая из жирового вещества, покрывает цитоскелет, построенный из стержней трубчатых и волокнистых белков, которые распространяются как в дендриты, так и аксоны. Конструкция немного походит на парусину, перекинутую через трубчатый каркас палатки. Различные части нейрона находятся в постоянном движении, процессе перестройки, отражающем собственную активность и активность соседних нейронов. По мере того, как нейрон старается «разговаривать» с соседними клетками громче или тише, дендриты изменяют форму, образуют новые контакты и удаляют другие, аксоны образуют новые окончания.

3 разновидности нейронов

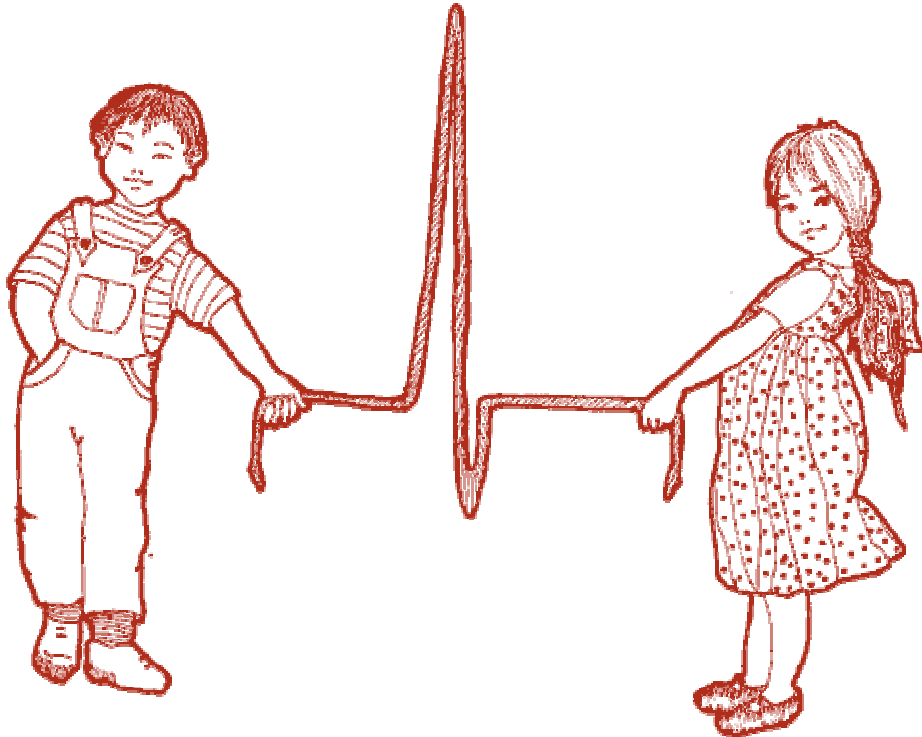
Внутри нейронов много составляющих. Они состоят из белков, преимущественно образующихся в теле клетки и транспортируемых вдоль цитоскелета. Крошечные возвышения, торчащие из дендритов, носят название **дендритные шипики**. Они находятся там, где подходящие аксоны образуют большинство своих контактов. Белки, транспортируемые в шипики, важны для создания и поддержания нейрональных связей. Эти протеины постоянно перемещаются, заменяясь новыми после того, как сделали свою работу. Вся эта активность нуждается в топливе, поэтому в клетке есть энергостанции (митохондрии), поддерживающие это все в рабочем состоянии. Концевые области аксонов также отвечают на молекулы под названием **факторы роста**. Эти факторы захватываются внутрь и транспортируются в тело клетки, где они влияют на экспрессию нейрональных генов и, поэтому, синтез новых белков. Это позволяет нейрону вырастить более длинные дендриты или сделать другие динамические изменения в его форме или функции. Информация, питательные вещества и посредники постоянно текут в тело и из тела клетки.



Дендритные шипики представлены маленькими зелеными выступами на зеленых дендритах нейрона. Это места, где находятся синапсы

Получение и решение

На получающей стороне клетки дендриты имеют тесные контакты с подходящими аксонами других клеток, каждый из которых отделен крошечным промежутком в 20 микрометров. Дендрит может контактировать с одним, несколькими и даже тысячами других нейронов. Эти места соединений названы синапсами, от классического греческого слова, означающего «соединяться вместе». Большинство синапсов нейронов коры мозга



расположены на дендритных шипиках, которые торчат как маленькие «микрофоны», ищущие слабые сигналы. Связь между клетками в этих точках называется синаптической передачей, которая обеспечивается химическим процессом, который будет описан в следующей Главе. Когда дендрит получает один из химических посредников, который был выделен аксоном, в шипике возникают миниатюрные электрические токи. Входящие токи вызывают **возбуждение**, а выходящие - **торможение**. Все эти положительные и отрицательные волны накапливаются в дендритах и передаются в тело клетки. Если уровень активности невысок, то токи скоро затухают, и больше ничего не происходит. Однако если токи в сумме достигают порога, то нейрон посылает сообщение другим нейронам.

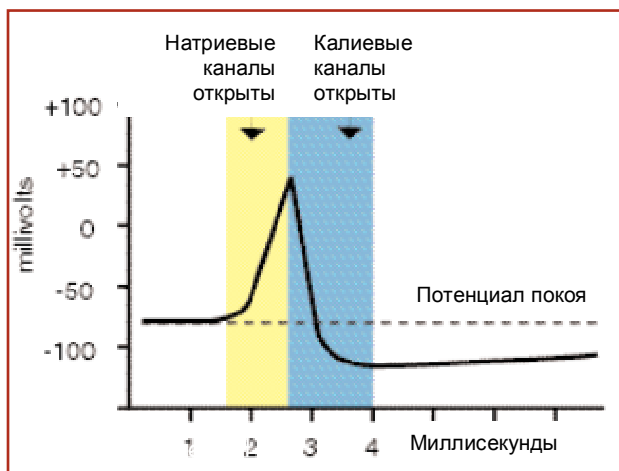
Таким образом, нейрон является миниатюрным калькулятором, который постоянно складывает и вычитает послания от других нейронов. Некоторые синапсы производят возбуждение, другие - торможение. То, как эти сигналы обеспечивают основу чувств, мышления и движения, очень сильно зависит от сети, в которой находится нейрон.

Потенциал действия

Чтобы передаваться от одного нейрона другому, нейронные сигналы в первую очередь должны пройти вдоль аксона. Как они это делают?

Ответ заключается в энергии, запасенной в виде химического и электрического градиентов, а также в связывании этих сил эффективным образом. Аксоны нейронов передают электрические импульсы, называемые **потенциалами действия**.

Это обеспечивается тем, что аксональная мембрана содержит **ионные каналы**, которые могут открываться и закрываться, чтобы пропускать электрически заряженные ионы. Некоторые каналы пропускают иона натрия (Na^+), тогда как другие - ионы калия (K^+). Когда каналы открыты, Na^+ и K^+ потоки идут по химическому и электрическому градиенту в клетку и из нее, в ответ на **электрическую деполяризацию** мембраны.



Потенциал действия

Когда потенциал действия начинается в теле клетки, первыми открываются Na^+ каналы. В клетку входит поток натрия, и в течение миллисекунды устанавливается новое равновесие. Мгновенно трансмембранный потенциал меняется примерно на 100 мВ. Он перескакивает с отрицательного значения (около -70 мВ) на положительное (около +30 мВ). Этот скачок активирует K^+ каналы, что приводит к быстрому выходу ионов калия, что заставляет мембранный потенциал вернуться к исходному отрицательному значению. Потенциал действия занимает меньше времени, чем требуется на то чтобы включить и выключить домашний светильник. Примечательно, что лишь небольшое количество ионов проходит через мембрану во время потенциала действия, и концентрация ионов Na^+ и K^+ практически не изменяется. Однако при длительной активности ионный состав поддерживается ионными насосами, которые выкачивают из клетки избыток натрия. Это напоминает ситуацию, когда с небольшой течью в корпусе корабля можно бороться путем вычерпывания воды ведрами, при этом сохраняя способность корабля держаться на плаву.

Потенциал действия – это электрический процесс, причем достаточно сложный. Нервные волокна представляют собой электрические проводники (однако гораздо менее эффективные, чем изолированные провода). Потенциал действия, возникший в одной точке, вызывает разность потенциалов между возбужденным участком и соседним покоящимся. Таким путем потенциал действия активно распространяется в виде волны деполяризации от одного конца нерва до другого.

Проведение потенциала действия можно сравнить с горением бенгальского огня. Поджигание кончика вызывает очень быструю локальную вспышку активности (аналогично ионам, входящим и выходящим в месте возникновения потенциала действия), однако дальнейшее распространение искрящейся волны происходит гораздо медленней. Удивительным свойством нервных волокон является то, что после очень короткого периода молчания (**рефрактерный период**), мембрана восстанавливает свою взрывную способность, подготавливая мембрану аксона для следующего потенциала действия.

Большинство этих знаний было получено около 50 лет назад в блестящих экспериментах на очень больших нейронах и их аксонах, имеющих у некоторых морских животных. Большой размер этих аксонов дал возможность ученым вводить тонкие электроды внутрь и измерять изменяющийся электрический потенциал. В наше время существует современная методика под названием «патч-кламп», позволяющая нейробиологам изучать движение ионов через одиночные ионные каналы во всех видах нейронов, что позволяет сделать измерение токов более точным.

Изоляция аксонов

Во многих аксонах потенциалы действия распространяются достаточно хорошо, но не очень быстро. В других аксонах потенциалы действия буквально скачут вдоль нерва. Это возможно благодаря тому, что аксон покрыт жировой изолирующей оболочкой, состоящей из мембран глияльных клеток и названной «миелиновой оболочкой».

Передовые исследования



Нервные волокна (аксоны показаны фиолетовым цветом) покрыты Шванновскими клетками (красные), которые изолируют электрическое проведение от окружающей среды. Свечение флуоресцентных маркеров показывает локализацию недавно открытых белковых комплексов. Разрушение этих комплексов вызывает врожденную болезнь, приводящую к утомлению мышц.

Новые исследования помогают узнать о белках, входящих в состав миелиновой оболочки. Этот покров предотвращает утечку ионных токов, однако периодически он прерывается, и в этих местах концентрируются Na^+ и K^+ каналы, которые поддерживают значительную амплитуду потенциала действия и помогают ему буквально совершать скачки вдоль нерва. Это происходит очень быстро. В миелинизированных нервных волокнах скорость распространения потенциала действия достигает 100 метров в секунду!

Потенциалы действия подчиняются закону «все или ничего»: они не могут менять свою величину, только частоту. Поэтому единственным путем кодирования силы и длительности стимула является изменение частоты потенциалов действия. Наиболее эффективные аксоны могут проводить потенциалы действия с частотой до 1000 раз в секунду.

Алан Ходжкин и Эндрю Хаксли получили Нобелевскую премию за открытие механизмов проведения нервных импульсов. Они использовали «гигантский аксон» кальмара в своих исследованиях на базе Морской биологической лаборатории в Плимуте.

