

Нервы

Мой знакомый говорил: «Нервы у меня стальные, только очень разболтанные». Раньше я и сам думал, что нервы по своему назначению и устройству похожи на электрические провода. Теперь знаю, что это не так. Хотя по нервным волокнам и распространяются электрические импульсы, но происходит это по-другому, совсем не как в стальной проволоке.

Основа биологической электропроводимости – мембрана.

В 1902 году Бернштейном была выдвинута мембранная теория биопотенциалов. Но только в 50-х годах эта теория была развита и экспериментально обоснована Ходжкиным, которому принадлежат основные идеи о роли ионов в возникновении биопотенциалов и о механизме их распределения между клеткой и средой.

Суть этой теории заключается в том, что потенциал покоя и потенциал действия являются по своей природе мембранными потенциалами, обусловленными полупроницаемыми свойствами клеточной мембраны и неравномерным распределением ионов между клеткой и средой, которое поддерживается механизмами переноса, работающими в самой мембране.

Между внутренней и наружной поверхностями клеточной мембраны всегда существует разность электрических потенциалов. Эта разность потенциалов в состоянии физиологического покоя клетки называется потенциалом покоя.

Концентрация ионов калия внутри клеток в 20-40 раз превышает их содержание в окружающей жидкости. Напротив, концентрация ионов натрия в межклеточной жидкости в 10-20 раз выше, чем внутри клеток.

Такое неравномерное распределение ионов обусловлено активным переносом ионов – работой натрий-калиевых насосов.

Согласно теории Ходжкина, Хаксли, Катца, клеточная мембрана в состоянии покоя проницаема, в основном, только для ионов калия.

Ионы калия диффундируют через клеточную мембрану в окружающую жидкость; анионы не могут проникать через мембрану и остаются на ее внутренней стороне.

Так как ионы калия имеют положительный заряд, а анионы, остающиеся на внутренней поверхности мембраны, – отрицательный, то внешняя поверхность мембраны при этом заряжается положительно, а внутренняя – отрицательно.

Перенос ионов продолжается до того момента, пока не установится равновесие между силами возрастающего электрического поля и силами натрий-калиевого насоса.

Суммарный заряд потока положительных и отрицательных частиц через мембрану в этом установившемся режиме равен нулю.

Клетки нервных тканей под действием различных раздражителей способны переходить в состояние возбуждения, когда меняется электрическое состояние мембраны.

Изменение разности потенциалов между клеткой и средой, происходящее при возбуждении, называется потенциалом действия. Он обеспечивает проведение возбуждения по нервным волокнам и инициируют процессы сокращения мышечных и секреции железистых клеток.

Потенциалы действия возникают в результате избыточного по сравнению с покоем диффузии ионов натрия из окружающей жидкости внутрь клетки.

Формирование потенциала действия обусловлено двумя ионными потоками через мембрану: поток ионов натрия внутрь клетки приводит к перезарядке мембраны, а противоположно направленный поток ионов калия обуславливает восстановление исходного потенциала покоя.

Потоки приблизительно равны по величине, но сдвинуты во времени. Благодаря этому сдвигу во времени и возможно появление потенциала действия.

Потенциал действия, возникнув на одном участке нервной клетки, быстро распространяется по всей ее поверхности.

В момент возбуждения полярность мембраны изменяется на обратную: ее внешняя поверхность заряжена отрицательно по отношению к внутренней (рис. 8).

В результате этого между возбужденным и невозбужденным участками мембраны появляется разность потенциалов. Наличие этой разности приводит к появлению между ними электрических токов,

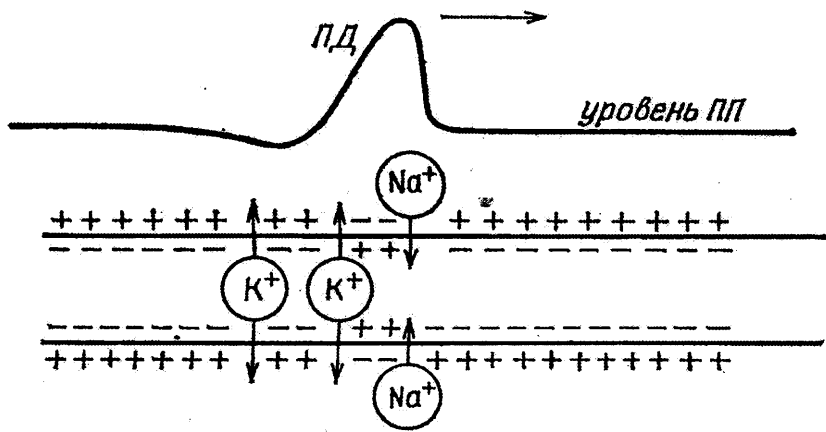


Рис. 8. Распределение зарядов на мембране.

называемых локальными токами или токами действия. На поверхности клетки локальный ток течет от невозбужденного участка к возбужденному; внутри клетки он течет в обратном направлении.

Этот процесс происходит непрерывно и вызывает распространение импульсов возбуждения по всей длине клетки в обоих направлениях. В нервной системе прохождение импульсов только в определенном направлении обеспечивают синапсы, имеющие, как электронные диоды, одностороннюю проводимость.

Под влиянием локальных токов волна возбуждения распространяется вдоль нервного волокна без затухания. Это обеспечено тем, что потенциалы действия на каждом участке мембраны поддерживаются независимыми ионными потоками, перпендикулярными к направлению распространения возбуждения.

Скорость распространения нервного импульса от 3 до 120 м/с. Для сравнения: скорость звука в воздухе – 300 м/с, в воде – 1500 м/с, скорость света в вакууме – 300000000 м/с. Человек и животные с точки зрения передачи сигналов – очень медленные низкочастотные электрохимические устройства.

На основе мембран природа создала много уникальных аналогов электронной аппаратуры. Хотя, наверное, будет более правильным

сказать, что мы в электронике повторили устройства, которые природа создала давно до нас.

Аналог задающего генератора – пейсмейкер

Пейсмейкер (англ. pacemaker, задающий ритм, водитель ритма) — очаг спонтанно возникающего возбуждения, которое, распространяясь, навязывает свой ритм какой-либо функциональной системе или органу. Естественный П. — группа специализированных нервных и мышечных клеток, обладающая способностью к самовозбуждению.

В результате собственной, спонтанной деполяризации, достигающей критического уровня, в клетках возникает импульсация, которая, распространяясь, влияет на ритм органа, регулируя таким образом его деятельность. В целостном организме существует большое количество иерархически соподчиненных П. Например, синусно-предсердный узел сердца (пейсмейкер сердца) относится к П. первого порядка; он определяет ритм сердца.

От него возбуждение распространяется по поверхности предсердий и доходит до предсердно-желудочкового узла, являющегося П. второго порядка. Возбуждение последнего приводит в активное состояние желудочки сердца или изменяет, ритм их сокращений. Пейсмейкерная активность нервных клеток дыхательного центра формирует ритм дыхания. Автоматизмом обладают также гладкие мышцы кишечника, мочевыводящих путей и других полых органов. Функциональные нарушения или повреждения структур, образующих тот или иной П., могут проявляться нарушением деятельности сердца, дыхания, мочеиспускания и т.д. Для коррекции нарушений пейсмейкерной деятельности разработаны и используются в клинической практике искусственные П.

<http://www.nedug.ru/library>

Аналоги антенны – электрорецепторы

По способности воспринимать и использовать в своей жизнедеятельности электрические поля водные животные разделяются на две группы. У большинства рыб — незлектрочувствительные виды — реакции на электрическое поле появляются при градиентах потенциала более 1 мВ/см. Эти реакции носят, как правило, непроизвольный характер и не связаны с наличием специфических электрорецепторов.

У электрочувствительных первичноводных позвоночных (пластиножаберных, ганоидных, сомообразных и других рыб, а также круглоротых и некоторых амфибий) поведенческие реакции возникают при напряженностях электрического поля 0,01-100 мкВ/см, что связано с наличием в составе органов боковой линии специализированных электрорецепторных образований.

<http://fiziologiya.info/>

Электрорецепторы обнаружены не только у рыб и амфибий (саламандр и аксолотля), но и у млекопитающих (утконоса). По поводу человека информации (пока?) нет. По этой причине сказать что-то о конкретном механизме сокращения мышц лозоходца, приводящему к повороту рамки, мы не можем. На что влияет довольно слабый ток, появляющийся в результате движения лозоходца? Непосредственно на мышцу, ведь мембрана любой клетки реагирует на электрическое поле? На нейрон, который управляет мышцей? На специальные электрорецепторы, пока еще не известные науке?

Мы опираемся только на прямые опыты, в которых наблюдалось вращение рамки лозоходца в изменяющемся электрическом поле.

Генераторы высоковольтного импульсного напряжения

Древние греки использовали электрические импульсы скатов для обезбоживания при операциях и деторождении.

Каждый электрический орган состоит из многочисленных собранных в столбики электрических пластинок — видоизменённых (упло-

щённых) мышечных, нервных или железистых клеток, мембраны которых являются электрическими генераторами. Количество пластинок и столбиков в электрических органах разных видов рыб различно: у электрического ската около 600 расположенных в виде пчелиных сот столбиков по 400 пластинок в каждом, у электрического угря – 70 горизонтально размещенных столбиков по 6000 в каждом, у электрического сома электрические пластинки (около 2 млн.) распределены беспорядочно. Пластинки в каждом столбике соединены последовательно, а электрические столбики — параллельно. Электрические органы иннервируются ветвями блуждающего, лицевого и языкоглоточного нервов, подходящими к электроотрицательной стороне электрических пластинок. Разность потенциалов, развиваемая на концах электрических органов, может достигать 1200 вольт (электрический угорь), а мощность разряда в импульсе от 1 до 6 киловатт (*Torpedo occidentalis*). Разряды излучаются сериями залпов, форма, продолжительность и последовательность которых зависят от степени возбуждения и вида рыбы. Частота следования импульсов связана с их назначением (например, электрический скат излучает 10-12 «оборонных» и от 14 до 562 «охотничьих» импульсов в секунду в зависимости от размера жертвы). Величина напряжения в разряде колеблется от 20 (электрические скаты) до 600 вольт (электрические угри), сила тока – от 0,1 (электрический сом) до 50 ампер (электрические скаты). Рыбы, обладающие электрическими органами, переносят без вреда напряжения, которые убивают рыб, не имеющих таковых (электрический угорь – до 220 вольт). Электрические разряды крупных рыб опасны для человека.

Разряды ската «торпедо» очень сильны. Если этот скат попадет в рыбачью сеть, его ток может пройти по влажным нитям сети и ударить рыбака. Электрические разряды защищают торпедо от хищников – акул и осьминогов – и помогают ему охотиться за мелкой рыбой, которую эти разряды парализуют или даже убивают.

Электричество у торпедо вырабатывается в особых органах, своеобразных «электрических батареях». Они находятся между головой и грудными плавниками и состоят из сотен шестигранных столбиков студенистого вещества. Столбики отделены друг от друга плотными

перегородочками, к которым подходят нервы. Верхушки и основания столбиков соприкасаются с кожей спины и брюха. Нервы, подходящие к электрическим органам, имеют внутри «батарей» около полумиллиона окончаний.

За несколько десятков секунд торпедо испускает сотни и тысячи коротких разрядов, идущих потоком от брюха к спине. Напряжение тока у разных видов скатов колеблется от 80 до 300 В при силе тока в 7-8 А.

В наших морях живут несколько видов колючих скатов райя, среди них черноморский скат – морская лисица. Действие электрических органов у этих скатов гораздо слабее, чем у торпедо. Можно предполагать, что электрические органы служат райя для связи друг с другом, вроде «беспроволочного телеграфа».

В восточной части тихоокеанских тропических вод живет скат дископиге глазчатый. Он занимает как бы промежуточное положение между торпедо и колючими скатами. Питается скат мелкими рачками и легко их добывает, не применяя электрического тока. Его электрические разряды никого не могут убить и, вероятно, служат лишь для того, чтобы отгонять хищников.

<http://pryshchik.ru/faq/>

Когда познакомился с теорией биопотенциалов, многие вещи стали понятными. Например, роль обычной поваренной соли в жизни человека и животных. Вспомнилось, как бабушка издавна, из соседней деревни, приносила каменную соль, чтобы корова могла ее лизать. В охотхозяйствах егеря кладут ее в кормушки для лосей и кабанов.

Когда-то соль была дорогим товаром. Ломоносов писал, что в то время за четыре небольших куска соли в Абиссинии можно было купить раба. Соль подавали на стол в дорогих солонках, ее берегли, экономили, хвастались ею: наличие соли на столе было признаком достатка и благополучия. Солью запасались на случай бедствий и ею расплачивались вместо денег. Латинское слово «salarium» – соль, и английское слово «salary», означающие «жалованье», «зарплата», –

имеют «солевое» происхождение – часть зарплаты римские легионеры получали именно солью.

Из-за соли происходили народные волнения и военные столкновения – вспомните знаменитые «соляные бунты» и войны за месторождения каменной соли и соляные водоемы. Ценность соли породила целый ряд пословиц, поговорок, афоризмов, в которых подчеркивалось важное значение соли в жизни человека. Одно из значений русского слова соль – квинтэссенция, основа, фундамент. Или вспомните присказку «Не солоно хлебавши». Или пословицу «Без золота прожить можно, а без соли нельзя».

У бабушки «соль и спички» (эти слова она почти никогда не разделяла) всегда были запрятаны в укромном уголке «на черный день». Спички – это способ выжить зимой.

Сейчас соль объявили «белым врагом» и все сели на бессолевую диету, а раньше все было совсем не так.

А.Н. Некрасов.

Солёная

Никто как бог!
Не ест, не пьет
Меньшой сынок,
Гляди – умрет!

Дала кусок,
Дала другой –
Не ест, кричит:
«Посыпь солью!»

А соли нет,
Хоть бы шепот!
«Посыпь мукой», –
Шепнул господь.

Раз-два куснул,
Скривил роток.
«Соли еще!» –
Кричит сынок.

Опять мукой...
А на кусок
Слеза рекой!
Поел сынок!

Хвалилась мать –
Сынка спасла...
Знать, солона
Слеза была!..