

[Избранные темы по физиологии]

Мембранный потенциал покоя кратко (доцент Сазонов В.Ф.)

Зачем нужно знать, что такое потенциал покоя?

Что такое "животное электричество"? Откуда в организме берутся "биотоки"? Как живая клетка, находящаяся в водной среде, может превратиться в "электрическую батарейку"? На эти вопросы мы сможем ответить, если узнаем, как клетка создаёт себе электрический заряд на мембране.

Как работает нервная система? С чего в ней всё начинается? Откуда в ней берётся электричество для нервных импульсов?

На эти вопросы мы также сможем ответить, если узнаем, как нервная клетка создаёт себе электрический заряд на мембране.

Итак, понимание того, как работает нервная система, начинается с того, что надо понять, как работает отдельная нервная клетка - нейрон. В основе же работы нейрона лежит изменение электрического заряда на его мембране. Можно сказать, что нейрон создаёт на своей мембране электрический потенциал (это и есть электрический заряд, если выражаться более по-русски).

Таким образом, самый первый шаг к пониманию работы нервной системы - это понять, каким образом появляются электрические заряды на нервных клетках. В норме, когда клетка готова к работе, у неё уже есть электрический заряд на поверхности мембраны. Он называется **мембранный потенциал покоя**. Обратите внимание на то, что заряд мембраны измеряется изнутри клетки, а не снаружи.

Потенциал покоя - это разность электрического заряда между внутренней и наружной сторонами мембраны, когда клетка находится в состоянии покоя. Его средняя величина составляет -70 милливольт.

(Если говорить уж совсем примитивно просто, то получается, что снаружи вокруг клетки будут преобладать "плюсики", т.е. положительные заряды, а внутри - "минусики", т.е. отрицательные заряды. Можно сказать, что внутри клетка электроотрицательна. И теперь ещё надо объяснить, как это так получилось.)

Формирование потенциала покоя

Попробую рассказать коротко, откуда берётся мембранный потенциал покоя в нервных клетках - нейронах. Ведь, как всем теперь известно, наши клетки только снаружи положительные, а внутри они весьма отрицательные, и в них существует избыток отрицательных частиц - анионов.

И вот тут исследователя и студента поджидает одна из логических ловушек: внутренняя электроотрицательность клетки возникает не из-за появления лишних отрицательных частиц (анионов), а наоборот - из-за потери некоторого количества положительных частиц (катионов).

Сущность нашего рассказа будет заключаться не в том, что мы объясним, откуда

берутся отрицательные частицы в клетке, а в том, что мы объясним, каким образом в нейронах получается дефицит положительно заряженных ионов - катионов. Куда же деваются из клетки положительно заряженные частицы? Напомню, что это ионы натрия Na^+ и калия K^+ .

Дело в том, что в мембране нервной клетки постоянно работают насосы-обменники, образованные специальными белками, встроенными в мембрану. Что они делают? Они меняют "собственный" натрий клетки на наружный "чужой" калий. Из-за этого в клетке оказывается в конце концов недостаток натрия, который ушёл на обмен. И в то же время клетка переполняется ионами калия, который в неё натащили эти насосы.

Чтобы легче было запомнить, образно можно сказать так: "*Клетка любит калий!*" (Хотя об истинной любви здесь не может идти и речи!) Поэтому она и затаскивает его в себя, несмотря на то, что его и так полно. Поэтому она невыгодно обменивает его на натрий, отдавая 3 иона натрия за 2 иона калия. Поэтому она тратит на этот обмен энергию АТФ. И как тратит! До 70% всех энергозатрат нейрона может уходить на работу натрий-калиевых насосов. Вот что делает любовь, пусть даже не настоящая!

Итак, **результат** деятельности мембранных ионных насосов-обменников:

1. Дефицит натрия (Na^+) в клетке.
2. Избыток калия (K^+) в клетке.

Можно сказать так: ионные насосы мембраны создают *разность концентраций* ионов, или *градиент (перепад)* концентрации, между внутриклеточной и внеклеточной средой.

Именно из-за получившегося дефицита натрия в клетку теперь "полезет" этот самый натрий снаружи. Так всегда ведут себя вещества: они стремятся выравнять свою концентрацию во всём объёме раствора.

И в то же время в клетке получился избыток ионов калия по сравнению с наружной средой. Потому что насосы мембраны накачали его в клетку. И он стремится уравнять свою концентрацию внутри и снаружи, и поэтому стремится выйти из клетки.

Тут ещё важно понять, что ионы натрия и калия как бы "не замечают" друг друга, они реагируют только "на самих себя". Т.е. натрий реагирует на концентрацию натрия же, но "не обращает внимания" на то, сколько вокруг калия. И наоборот, калий реагирует только на концентрацию калия и "не замечает" натрий. Получается, что для понимания поведения ионов в клетке надо по-отдельности сравнивать концентрации ионов натрия и калия. Т.е. надо отдельно сравнить концентрацию по натрию внутри и снаружи клетки и отдельно - концентрацию калия внутри и снаружи клетки, но не имеет смысла сравнивать натрий с калием, как это часто делается в учебниках.

По закону выравнивания концентраций, который действует в растворах, натрий "хочет" снаружи войти в клетку. Но не может, так как мембрана в обычном состоянии плохо его пропускает. Его заходит немножко и клетка его опять тут же обменивает на наружный калий. Поэтому натрий в нейронах всегда в дефиците.

А вот калий как раз может легко выходить из клетки наружу! В клетке его полно, и она его удержать не может. Так вот он и выходит наружу через особые белковые дырочки в мембране (ионные каналы).

От химического - к электрическому

А теперь - самое главное, следите за излагаемой мыслью! Мы должны перейти от движения химических частиц к движению электрических зарядов.

Калий заряжен положительным зарядом, и поэтому он, когда выходит из клетки, выносит из неё не только себя, но и "плюсики" (положительные заряды). На их месте в клетке остаются "минусы" (отрицательные заряды). Это и есть мембранный

потенциал покоя!

Мембранный потенциал покоя - это дефицит положительных зарядов внутри клетки, образовавшийся за счёт утечки из клетки положительных ионов калия.

Составные части потенциала покоя

Потенциал покоя - отрицательный со стороны клетки и состоит как бы из двух частей.

1. Первая часть - это примерно -10 милливольт, которые получаются от неравносторонней работы мембранного насоса-обменника (ведь он больше выкачивает "плюсиков" с натрием, чем закачивает обратно с калием).
2. Вторая часть - это утекающий всё время из клетки калий, утаскивающий положительные заряды из клетки. Он даёт большую часть мембранного потенциала, доводя его до -70 милливольт.

Калий перестанет выходить из клетки (точнее, его вход и выход сравняются) только при уровне электроотрицательности клетки в -90 милливольт. Но этому мешает постоянно подтекающий в клетку натрий, который тащит с собой свои положительные заряды. И в клетке поддерживается равновесное состояние на уровне -70 милливольт.

Так что всё дело в натрий-калиевом мембранном насосе-обменнике и последующем вытекании из клетки "лишнего" калия. За счёт потери положительных зарядов при этом вытекании внутри клетки нарастает электроотрицательность. Она-то и есть "мембранный потенциал покоя". Он измеряется внутри клетки и составляет обычно -70 мВ.

Выводы

Мембранный потенциал покоя образуется за счёт двух процессов:

1. Работа калий-натриевого насоса мембраны.

Работа калий-натриевого насоса, в свою очередь, имеет 2 следствия:

1.1. Непосредственное электрогенное (порождающее электрические явления) действие ионного насоса-обменника. Это создание небольшой электроотрицательности внутри клетки (-10 мВ).

Виноват в этом неравный обмен натрия на калий. Натрия выбрасывается из клетки больше, чем поступает в обмен калия. А вместе с натрием удаляется и больше "плюсиков" (положительных зарядов), чем возвращается вместе с калием. Возникает небольшой дефицит положительных зарядов. Мембрана изнутри заряжается отрицательно (примерно -10 мВ).

1.2. Создание предпосылок для возникновения большой электроотрицательности.

Эти предпосылки - неравная концентрация ионов калия внутри и снаружи клетки. Лишний калий готов выходить из клетки и выносить из неё положительные заряды.

Об этом мы скажем сейчас ниже.

2. Утечка ионов калия из клетки.

Из зоны повышенной концентрации внутри клетки ионы калия выходят в зону пониженной концентрации наружу, вынося заодно положительные электрические заряды. Возникает сильный дефицит положительных зарядов внутри клетки. В итоге мембрана дополнительно заряжается изнутри отрицательно (до -70 мВ).

Итак:

Калий-натриевый насос создает предпосылки для возникновения потенциала покоя. Это - разность в концентрации ионов между внутренней и наружной средой

клетки. Отдельно проявляет себя разность концентрации по натрию и разность концентрации по калию. Попытка клетки выравнять концентрацию ионов по калию приводит к потере калия, потере положительных зарядов и порождает электроотрицательность внутри клетки. Эта электроотрицательность составляет большую часть потенциала покоя. Меньшую его часть составляет непосредственная электрогенность ионного насоса, т.е. преобладающие потери натрия при его обмене на калий.

© Сазонов В.Ф., 2009.

© <http://kineziolog.bodhy.ru>, 2009.