

Список использованных источников

1. Сивухин, С. Д. Общий курс физики : в 5 т. / С. Д. Сивухин. – 4-е изд. – Москва : Наука, 1977. – Т.3: Электричество. – 656 с.
2. Benedicks, C. Tetziger Stand grundlegenden Keuntrisse der Thermoelektrizität / C. Benedicks // Erg. Exact. Naturwiss. – 1929. – Bd. 8. – P. 26-67.
3. Шушкевич, В. Л. Термоэлектронные явления в TiNi / В. Л. Шушкевич, В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл. // Актуальные проблемы прочности : сборник материалов XLIII международной конференции, Витебск, 27 сент. – 1 окт. 2004 г.: в 2 ч. – Витебск, 2004. – Ч.1. – С. 345-346.
4. Фурмаков, Е. Ф. Электрический ток, вызванный движением поверхности раздела фаз в металле / Е.Ф. Фурмаков // Фундаментальные проблемы естествознания. – Санкт-Петербург, 1999. – Т. 1, вып. 21. – С. 377-378.
5. Anatyuchuk, L.I. Thermoelectric Phenomena under Large Temperature Gradients / L.I. Anatyuchuk, L.P. Bulat // Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano-Structured Materials / D.M. Rowe, editor by D.M. Rowe. – CRC Press: New York, London, Tokyo, 2005. – Chapter 3. – С. 3-1–3-11.

УДК 577.352

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА
КЛЕТКИ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ
«ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА»**

Студ. Булах А.В., доц. Маркова Л.В.

УО «Витебский государственный университет им. П.М.Машерова»

Студ. Шилин К.А.

УО «Витебский государственный медицинский университет»

Программа «Электрогенез в клетках» создана для лабораторного практикума по курсу «Физиология человека и животных» в УО «ВГУ им. П.М. Машерова» и используется студентами биологического факультета для детального изучения генерации мембранного потенциала.

С помощью данной программы можно оценивать влияние каждого параметра рассматриваемой модели (концентрация ионов, проницаемость мембраны, работа $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATФазы}$) на генерацию потенциала).

Изучение механизма возникновения клеточных потенциалов стало возможным, прежде всего, благодаря применению методов клеточной электрофизиологии, в развитии которых важную роль сыграли, во-первых, разработка техники микроэлектродных отведений, во-вторых, создание специальных усилителей биопотенциалов, в-третьих, выбор удачных объектов исследования, начиная с аксона кальмара и кончая разнообразными модельными мембранами. Использование результатов электрофизиологических опытов в сочетании с физическим и математическим моделированием транспортных процессов лежит в основе современных теорий электрогенеза в клетках.

Первая рассматриваемая модель описывается уравнением Нернста–Планка и может быть применена к изучению диффузионного потенциала, формирующегося в системе электролитов типа «1:1», диссоциирующего на катион и анион. Тогда диффузионный потенциал является разностью потенциалов, возникающей в системе, находящейся в стационарном состоянии, между растворами электролитов с концентрациями C_1 и C_2 . При отсутствии электрического тока должно выполняться следующее соотношение для потоков катионов и анионов в единицу времени:

$$J_+ = J_-$$

где J_+ , J_- – плотности потоков катионов и анионов.

Условие электронейтральности должно выполняться для каждого элементарного объема:

$$C_+(x) = C_-(x) = C(x).$$

Применяя уравнение Нернста–Планка получим, используя только $z_+ = 1$, $z_- = -1$:

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{D_+ - D_-}{D_+ + D_-} \frac{RT}{F} \frac{1}{C} \frac{dC}{dx}.$$

Для моделирования вводим в таблицу параметры концентраций ионов $[Na^+]$, $[K^+]$, $[Cl^-]$ для цитозоля и интерстициальной жидкости изучаемого объекта (аксон кальмара, нервное волокно, мышца лягушки, кардиомиоцит и т. д.).

Вторая модель описывается уравнением Гольдмана. Внутри живой клетки электрический потенциал φ_m отличается от потенциала снаружи φ_n , $\varphi_m = \varphi_n - \varphi_n$ – мембранный потенциал.

Модель учитывает односторонние потоки через мембрану и различную проницаемость мембраны для конкретных ионов.

Для равновесного состояния мембранный потенциал описывается уравнением Нернста:

$$\varphi_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{C_K^H}{C_K^B} \approx 59,1 (mV) \lg \frac{C_K^H}{C_K^B} \equiv \varphi_K.$$

Если в мембране открыты каналы только для одного типа ионов (K^+), тогда потенциал покоя клетки описывается данным уравнением.

Однако мембраны проницаемы также для ионов Na^+ и Cl^- . Для каждого типа ионов в клетке в результате действия клеточных насосов и пассивной проницаемости устанавливается свое определенное различие в концентрациях внутри и снаружи клетки, а также устанавливается свой равновесный мембранный потенциал.

Экспериментально установлено для потока J одного вещества через проницаемую мембрану:

$$J = P \Delta C,$$

где P – коэффициент проницаемости мембраны для данного вещества.

В состоянии покоя через мембрану токи не текут, поэтому плотность тока I равна нулю:

$$I = F \sum_i z_i J_i = 0.$$

Применяя это условие к мембране, проницаемой для ионов K^+ , Na^+ , Cl^- , получим:

$$J_K + J_{Na} - J_{Cl} = 0.$$

После ряда преобразований получаем, что

$$\varphi_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K C_K^H + P_{Na} C_{Na}^H + P_{Cl} C_{Cl}^B}{P_K C_K^B + P_{Na} C_{Na}^B + P_{Cl} C_{Cl}^H}.$$

Разделим каждую из проницаемостей на проницаемость для ионов калия P_K ,

$$r = \frac{P_{Na}}{P_K} \text{ и } s = \frac{P_{Cl}}{P_K},$$

тогда

$$\varphi_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{C_K^H + r C_{Na}^H + s C_{Cl}^B}{C_K^B + r C_{Na}^B + s C_{Cl}^H}.$$

В состоянии покоя $r = 0,04$; $s = 0,45$. Подставляя в модель значения концентраций для соответствующих ионов и проницаемость мембраны в состоянии покоя и возбуждения, получим соответствующие значения φ_m .

В опыте для аксона определено, что $\varphi_m = -60$ мВ, что совпадает с величиной трансмембранного потенциала, рассчитанного по формуле Гольдмана.

Для моделирования в таблицу дополнительно вводим значения проницаемостей P мембраны для различных ионов. Учитываем при этом, что в состоянии покоя и возбуждения проницаемость мембраны различна.

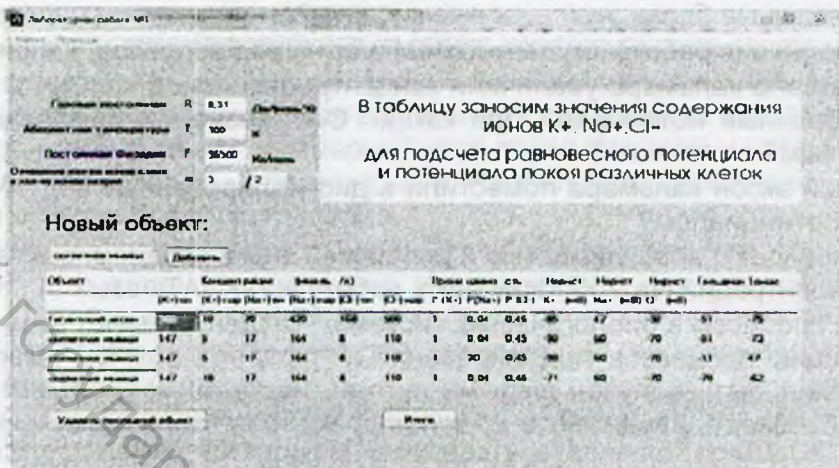


Рисунок – Диалоговое окно программы «Электрогенез в клетках»

Третья модель учитывает работу Na^+K^+ -АТФазы и описывается уравнением Томаса:

$$\varphi_M = -\frac{RT}{F} \ln \frac{mP_K [K^+]_{ВН} + P_{Na} [Na^+]_{ВН}}{mP_K [K^+]_{НАР} + P_{Na} [Na^+]_{НАР}}$$

где m – отношение количества ионов натрия к количеству ионов калия, перекачиваемых ионными насосами через мембрану. Na^+K^+ -АТФаза работает в режиме, когда $m = 3/2$, m всегда больше 1. (Модель предполагает отсутствие ионных насосов, перекачивающих Cl^- , поэтому в уравнении Томаса отсутствуют члены $P_{Cl} [Cl^-]$.)

Повреждение клеточной мембраны приводит к повышению проницаемости клеточных мембран для всех ионов: и P_K , и P_{Na} , и P_{Cl} . Вследствие уменьшения различия проницаемостей абсолютное значение мембранного потенциала $|\varphi_M|$ снижается.

Четвертая модель учитывает последние научные достижения в области изучения генерации мембранного потенциала, т. е. электрические свойства клеток достаточно точно определяются моделью, в которой перенос заряда осуществляется через калиевые, натриевые и кальциевые каналы, а также Na^+K^+ -насосом и Na^+Ca^{2+} -обменником. Вклад всех остальных систем транспорта ионов через мембрану незначителен (при нормальных физиологических условиях токи утечки и токи других ионов несутся или скомпенсированы).

Уравнение для мембранного потенциала:

$$\varphi_M = \frac{FV_K}{C} \{ [K]_B - [K]_H + [Na]_B - [Na]_H + 2([Ca]_B - [Ca]_H) \}$$

где C – емкость клетки, F – постоянная Фарадея, V_K – постоянная величина.

Потенциал равен нулю, если не существует градиента концентраций (градиента заряда) ионов на мембране. Трансмембранное напряжение на мембране клетки вызвано избытком заряда внутри клетки и прямо пропорционально его величине. Данное уравнение справедливо, если внутриклеточная концентрация анионов равна внеклеточной. Так как катионы всегда сбалансированы в растворе анионами, то внутриклеточные / внеклеточ-

ные концентрации анионов должны быть близкими внутриклеточным / внеклеточным концентрациям катионов.

Во внеклеточной жидкости электронейтральность сохраняется благодаря балансу между высокой концентрацией ионов натрия и суммой высокой концентрации ионов хлора и небольшого количества непроникающих анионов (бикарбонат, фосфат, сульфат и т. д.). В цитоплазме высокая концентрация ионов калия, невысокая хлора уравнивают отрицательно заряженные белки, нуклеиновые кислоты, аминокислоты и фосфаты.

В ходе выполнения работы студенты отвечают на ряд вопросов, например:

1. Внутри аксона кальмара увеличили концентрацию ионов K^+ ($C_N K^+$). Как при этом изменится мембранный потенциал? При какой $C_N K^+$ значение мембранного потенциала станет пороговым?

2. Гигантский аксон кальмара поместили в дистиллированную воду. Что произошло с мембранным потенциалом?

3. Что произойдет с возбудимостью и реверсией знака кардиомиоцита, если изменить градиенты концентраций Na^+ ? K^+ ? Изменить работу $Na^+-K^+-ATФазы$?

Моделируя процессы в биологических системах, студенты имеют возможность выявить общую тенденцию процессов моделирования и получить важный вывод: конечный результат не может быть получен любыми путями, необходимо учитывать как биологическую целесообразность вводимых в модель параметров, так и неизученные связи между ними.

УДК 677.026.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА ПРОКАЛЫВАНИЯ НА ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Доц. Мачихо Т.А., студ. Турко А.В.

УО «Витебский государственный технологический университет»

В условиях кризиса сырья, существующего как в мировом текстильном производстве, так и в Республике Беларусь, предприятия-производители комплексно и экономно подходят к его использованию. Они стремятся все виды волокистых отходов шерстяной, хлопчатобумажной, льняной, химической промышленности использовать для получения текстильных изделий.

Предложена технология получения многослойных нетканых полотен вязально-прошивного способа формирования с использованием отходов льняного волокна. В качестве базовой была использована традиционная технология получения вязально-прошивных нетканых полотен, применяемая в шерстеперерабатывающей промышленности. Отличительной особенностью является то, что каретка для сложения ватки прочеса имеет дополнительный бункер, который имеет возможность дозированно между слоями ватки-прочеса подавать дополнительные волокна. В качестве дополнительно подаваемых волокон используются ранее не применяемые для производства нетканых материалов отходы льноперерабатывающей промышленности: очес короткий и мелкий, подметь и др. Отходы льняных волокон образуются в процессе первичной обработки льна и при выработке пряжи, тканей и трикотажа. При первичной обработке льняных волокон образуются отходы в виде холста, состоящего из спутанных коротких волокон с раздробленной костью, засоренностью до 20 %. При последующей переработке образуются: крутцы, состоящие из мягкого волокна с содержанием костры до 5 % и представляющие собой свитые жгутами льняные волокна; вытряска, состоящая из коротких волокон с содержанием 50 – 80 % костры и образующаяся при прочесывании длинного льняного волокна на чесальных машинах в виде выпадов, длина волокна в вытряске от очесов 60 – 80 мм, от короткого волокна 80 – 120 мм; подметь, состоящая из волокон с содержанием 50 – 60 % костры и других примесей. Также предполагается использовать путанку и рвань пряжную,