

УДК 576.3

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ БИОФИЗИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ПРОЦЕССОВ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН

Романов А.М.

Институт геофизических исследований, Курчатова, e-mail: ramix06@mail.ru

Выполнен анализ существующих биофизических представлений процессов, происходящих в клеточных мембранах. Цель – определение возможных погрешностей биофизических моделей клеток. Показано недостаточное соответствие известных представлений мембранных процессов закону электронейтральности. Модели «молекулярного сита», «электрогенного насоса» и «воротного механизма» процессов разделения ионов мембранными каналами, утверждения о возможности перераспределения ионов между внутриклеточными и внеклеточными растворами с помощью молекул АТФ определены как недостаточно корректные. Использование термодинамических представлений при объяснении клеточных процессов противоречит определяющему условию применимости термодинамики. Выражено сомнение в правомерности интерпретации опыта Уссинга по доказательству наличия электрического тока в коже лягушки при отсутствии на ней градиента потенциала. Указанные несоответствия являются основанием для утверждения необходимости модификации биофизических представлений процессов, происходящих в мембранах клеток.

Ключевые слова: клетка, клеточная мембрана, биофизические процессы, перераспределение ионов

ANALYSIS OF EXISTING BIOPHYSICAL REPRESENTATIONS OF PROCESSES OF CELL MEMBRANES

Romanov A.M.

Institute of geophysical research NNC RK, Kurchatov, e-mail: ramix06@mail.ru

The analysis of the existing biophysical representations of processes in cell membranes is made. The aim is to determine possible errors biophysical models of cells. The lack of fit of the known views of membrane processes to the law of electroneutrality is shown. Model «molecular sieves», «electrogenic pump» and «gate mechanism of the separation ion in the membrane channels», assertions about the possibility of redistribution of ions between the intracellular and extracellular solutions, using ATP molecule, identified as insufficiently correct. The use of thermodynamic concepts to explain cellular processes contrary to the decisive condition for the applicability of thermodynamics. Doubts expressed for the appropriateness of the interpretation of the experience of Ussing. Namely: the proof of the presence of electrical current in the skin of the frogs in the absence of the gradient of the potential is wrong. These inconsistencies are the basis for approval of modification of biophysical representations of processes in cell membranes.

Keywords: cell, cell membrane, biophysical processes, redistribution of ions

Понимание механизма биофизических процессов, происходящих на мембранах клеток, является одним из важных исходных представлений при моделировании жизнедеятельности организмов. Погрешности исходного представления неизбежно сказываются на правомерности моделей клеточных процессов. Выявление погрешностей позволяет обосновать необходимость уточнения исходных представлений и корректировки существующих биофизических моделей клеток.

Настоящей публикацией анализируются представления о клеточной мембране, приведенные в известных работах по биофизике.

1. Согласно данным по химическому составу [2, 5] внутриклеточный раствор содержит одинаковое количество катионов и анионов. Зато во внеклеточном растворе число катионов заметно превышает число анионов. Т.е. общий заряд электрический заряд раствора внеклеточного пространства – положителен относительно клетки.

Это противоречит закону электронейтральности: в ионопроводящих средах сум-

ма зарядов катионов и анионов всегда равна нулю [4]. Тем самым вносится погрешность в физико-химическую предпосылку, определяющую прохождение мембранных процессов.

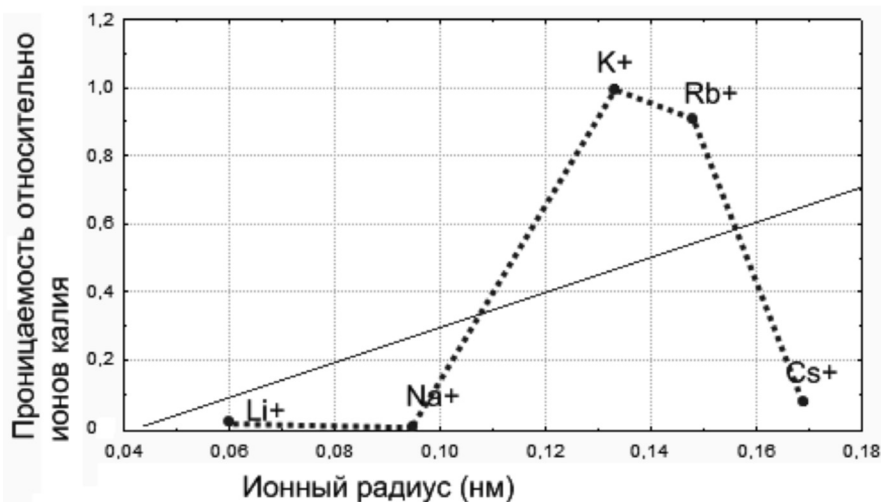
2. По общепринятому представлению мембрана клеток является «молекулярным ситом» [2, 5]. Согласно этому представлению увеличение радиуса иона должно приводить к возрастанию сопротивления мембраны его фильтрации. Фактически ионы с малыми ионными радиусами (литий и натрий) характеризуются затрудненным прохождением мембраны по сравнению с ионом калия, радиус которого заметно больше. Следовательно там, где проники калий, тем более должны проникнуть и другие указанные элементы. Т.е. поступление калия в клетку должно быть меньшим, чем натрия, лития и кальция. А это не согласуется с фактическими соотношениями содержаний этих элементов в клетках и межклеточном пространстве [5].

Кроме того, известно, что анион хлора характеризуется фактической проницаемо-

стью на несколько порядков большей проницаемости ионов натрия и калия [2, 5]. И это при том, что ион хлора имеет существенно больший радиус ($2,22 \cdot 10^{-10}$ м) по сравнению с ионными радиусами калия и натрия ($1,33$ и $0,98 \cdot 10^{-10}$ м соответственно) [1].

На рисунке представлено сопоставление фактических определений мембранной проницаемости и радиусов катионов.

Дополнение В. Фактически установленная повышенная проницаемость мембраны для калия [5] обуславливает необходимость принятия предпосылки повышенного выхода калия из клетки по сравнению с натрием литием и кальцием. Т.е. при прочих равных условиях содержание калия в клетке должно быть меньше содержаний других химических элементов. *Но это противоречит*



Зависимость мембранных проницаемостей и радиусов ионов

Согласно этим определениям связь между мембранной проницаемостью и радиусами ионов незначима (вероятность 95%). Отсутствие связи подчеркивается известным фактом поступления в клетку крупных углеводородных молекул, размеры которых на несколько порядков превышают размеры катионов металлов.

Дополнение А. Разделение ионов происходит в мембранных каналах различного диаметра. Предполагается [5], что разделение обусловлено различными размерами ионной атмосферы, окружающей катионы. Чем меньше ионный радиус — тем больше радиус ионной атмосферы. Т.е. зависимость проницаемости мембраны от радиуса иона должна быть обратной, приведенной в начале данного пункта 2. *Но если доказано отсутствие непосредственной связи, то наряду с прямой отсутствует и обратная зависимость.*

Дополнение Б. Сходство химических свойств калия, лития и натрия не позволяют корректно объяснить причину их разделения при поступлении в клетку за счет специализации мембранных каналов. Доказательство специализации белков, образующих самостоятельные калиевые, натриевые и кальциевые каналы — отсутствует.

фактическим данным — содержания калия в клеточном растворе существенно больше содержаний натрия, лития и кальция.

Таким образом, представление о мембране, как «молекулярном сите» представляется сомнительным.

3. Другим направлением в объяснении причин перераспределения ионов предполагается наличие биологических механизмов — «электрогенных насосов» в мембране клеток. Они выкачивают натрий из клетки в межклеточное пространство и закачивают калий в клетку из межклеточного пространства. «Насосы» обеспечивают активный транспорт — перенос вещества из мест с меньшим значением электрохимического потенциала в места с его большим значением. Одной из причин действия «насосов» полагается мембранный потенциал.

В данном объяснении нарушена причинно-следственная связь: мембранный потенциал должен являться следствием различия химических концентраций, а не наоборот.

Дополнение А. Для определения суммарного расчетного потенциала мембраны обычно применяется уравнение Голдмана [5]. В этом уравнении используется параметр — проницаемость мембраны для

ионов. Параметр непосредственно связан с мембранным потенциалом, согласно формуле Нернста [5]. Формула устанавливает зависимость потенциала от температуры и отношения концентраций химических элементов внутри- и внеклеточных растворов. Фактически проницаемость зависит также от вещественного состава и структуры мембраны, которые по своей сути являются переменными. Указанные зависимости в формулах не отражены.

Электрический потенциал мембраны зависит не только от концентраций веществ внутриклеточных и межклеточных растворов, но также и от других физических факторов. Таким образом, правомерность использования формул Нернста и Голдмана в данном случае – вызывает сомнения.

Дополнение Б. Электрическое поле клетки (-90 мВ в состоянии покоя [5]) относительно межклеточного раствора оказывает однонаправленное силовое воздействие на ионы одного знака. А именно – препятствует выходу катионов из клетки. «Электрогенный насос» [5] должен закачивать в клетку только катионы (в т.ч. калия и натрия). В то же время различие содержаний химических компонентов должно приводить к выходу калия из клетки из-за различия концентрационных потенциалов внутриклеточных и межклеточных растворов.

Необъяснимо, почему при одинаковом направлении вектора напряженности электрического поля катионы под действием «электрогенных насосов» должны двигаться в противоположных направлениях.

Дополнение В. Известный факт – отрицательный электрический потенциал внутренней части и положительный потенциал наружной части мембраны полагается следствием увеличения свободной энергии клетки. Увеличение энергии происходит в результате внешнего (стороннего) воздействия. При действии «электрогенного насоса», удаляющего из клетки катионы (в частности калия) внутренняя часть клетки должна иметь положительный потенциал относительно наружной части, а на практике отмечается обратная картина. Доказательство формирования отрицательного потенциала клетки за счет ухода из нее ионов калия является крайне спорным: помимо катионов через мембрану выходят также анионы и с гораздо меньшей задержкой (см. п. 2). Т.е., вслед за ионами калия (и с гораздо большей легкостью) должны двигаться ионы хлора и компенсировать избыточный положительный заряд межклеточного пространства.

Таким образом, модель «электрогенного насоса» внутренне противоречива, не согласуется с реальными условиями и не может использоваться при объяснении мембранных процессов.

4. Следующим является представление о механическом разделении различных химических ионов с помощью особого клапана с помощью «воротного механизма» белковых каналов. Каким образом эти «ворота» распознают различные катионы – не объясняется. Также должным образом не объясняется, каким способом крупномолекулярные белковые «ворота» могут дифференцированно задерживать или пропускать различные ионы, радиусы которых намного меньше размеров белковых молекул. Вполне естественными являются вопросы: в каналах клетки есть клапан для подобной дифференциации? Чем представлен аппарат для работы клапана? Если предполагается работа клапана за счет сократительных волокон, то каким образом и за счет чего к ним подводится энергия для обеспечения их работы?

На приведенные вопросы ответов нет.

Таким образом, описание действия воротного механизма не имеет убедительного физического и биологического обоснования селективности прохождения через каналы различных ионов.

5. Еще одним спорным представлением предполагается априорное утверждение о возможности перераспределения в разных направлениях ионов одного знака с помощью молекул АТФ [2,5]. Одна и та же молекула обеспечивает энергией закачку ионов калия в клетку и вывод ионов натрия из клетки в межклеточное пространство. Физическое обоснование подобной избирательности в отношении ионов элементов, близких по физическим и химическим характеристикам и одинаковых по электрическому заряду – не приводится и вряд ли существует.

6. Для описания процессов жизнедеятельности в ряде случаев используются термодинамические представления. Необходимо учесть, что живые организмы являются открытыми, термодинамически неравновесными образованиями (реагенты и продукты реакции смещаются относительно места реакции). Т.е. нарушается главное условие применимости химической термодинамики. Следовательно, непосредственное использование термодинамики для описания процессов жизнедеятельности – представляется недостаточно корректным.

7. Доказательство наличия активного транспорта веществ через мембрану основывается на опыте Уссинга: наличие электрического тока, проходящего через кожу лягушки в условиях отсутствия градиента электрического потенциала и одинаковости концентраций растворов по обе стороны от кожи [5]. Приведенное доказательство не отвечает элементарным понятиям, известным из физики:

– наличие разности потенциалов в проводящей среде обязательно сопровождается протеканием электрического тока. И наоборот, протекание электрического тока через среду, обладающую удельным электрическим сопротивлением, в обязательном порядке приводит к возникновению градиента электрического потенциала;

– протекание тока в цепи компенсатора с источником тока через кожу лягушки (являющуюся нагрузочным сопротивлением) не является свидетельством того, что электрический ток через кожу лягушки проходит без градиента потенциала. Напряжение есть, но оно относится к цепи компенсатора, который расходует свою энергию на погашение тока, формирующегося за счет разницы потенциалов на внешней и внутренней поверхностях кожи лягушки. Именно компенсирующая разность потенциалов на выходе потенциометра обуславливает ток, протекающий в цепи потенциометра и регистрируемый амперметром в опыте Уссинга.

8. Опыт Уссинга относится к коже лягушки, являющейся организованной системой клеток. Возникает вопрос, допустимо ли представления, полученные для организованной системы клеток, распространять на мембрану одной клетки? Ответ на этот вопрос отсутствует.

На основании вышеизложенного устанавливаются априорность характера и на-

рушения логики существующих представлений о биофизических процессах, протекающих на мембранах клеток. Особо подчеркивается то, что определяющий вопрос «Почему и зачем при жизнедеятельности клетки в ней накапливается преимущественно калий, а не другие элементы?» – не имеет должного ответа в существующих представлениях.

Выводы

– существующие представления о взаимодействии клетки и межклеточного пространства в ряде случаев априорны, противоречивы и недостаточно обоснованы с позиций физики. Логика объяснения клеточных процессов нарушена;

– эти представления при объяснении мембранных процессов, являются основополагающими. Искаженность основополагающих представлений обуславливают нарушения последующих представлений биофизических процессов, происходящих в организмах;

– необходима модификация существующих представлений о биофизических процессах, протекающих на клеточной мембране.

Разработка модифицированного представления биофизических процессов на клеточных мембранах – проводится [4].

Список литературы

1. Барон Н.М., Пономарева А.М., Равдель А.А., Тимофеева З.Н. Краткий справочник физико-химических величин. – Л.: Химия, 1983, – 232 с.
2. Биофизика / В.Ф. Антонов, А.М. Черныш, В.И. Пасечник, С.А. Вознесенский, Е.К. Козлова. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1999. – 288 с.
3. Войткевич Г.В., Мирошников А.Е., Поваренных А.С., Прохоров В.Г. / Краткий справочник по геохимии. – М.: Недра, 1970. – 278 с.
4. Романов А.М. / Электрохимические процессы биосферы и литосферы. – Екатеринбург, УИПЦ, 2012 – 133 с.
5. Шмидт Р.Ф., Тевс Г. Физиология человека. – М.: Мир, 2005. – 323 с.