

Зарождение жизни и животных

В.В.Хлебович,
доктор биологических наук
Зоологический институт РАН
Санкт-Петербург

По современным представлениям, жизнь зародилась в виде «мира РНК» из тех рибонуклеиновых кислот, которые приобрели способность к каталитическим реакциям и матричному синтезу [1]. Это могло произойти только в калиевой среде, потому что и РНК, и возникшая позже ДНК управляют собой и новыми носителями жизни — белками — только при окружающей высокой концентрации ионов калия [2]. На каком-то этапе скопления РНК оформились в протоклетку, покрывшись протомембраной. Питание с помощью фагоцитоза многократно приводило к симбиозу с заключенными живыми объектами. Одними из них стали фотосинтезирующие цианобактерии, что создало предпосылки возникновения растений. Вероятно, все вышеописанное происходило в той же калиевой среде, которая сохраняется внутри клеток и сейчас [1, 3–5].

В какой-то момент сложившаяся в калиевой среде и уже сильно развившаяся в ней жизнь столкнулась с большой опасностью. Вокруг протоклеток с их несовершенными мембранами стала нарастать концентрация натрия, что грозило вытеснением калия из окружения нуклеиновых кислот. Вероятно, это был первый экологический кризис. Его преодоление привело к формированию современных царств эукариот. Грибы приобрели мощную хитиновую оболочку, водоросли — углеводно-белковую. Предки животных «обзавелись» так называемым натриевым насосом (а точнее, приспособили его, так как его элементы, очевидно, появились уже у прокариот) [3, 4]. Этот фермент, Na^+/K^+ -АТФаза, встроенный в мембрану с ограниченной проницаемостью, выкачивает из клетки проникшие в нее ионы натрия в обмен на ионы наружного калия. Такая адаптация к древнему кризису сохранилась у животных навсегда, став признаком этого царства. Существует одно очень показательное исключение — натриевый насос отсутствует у всех микроспоридий. Эти эукариоты с упрощенным геномом в своем активном состоянии паразитируют внутри клеток разных животных. Таким образом, «калиевая проблема» решается за них хозяином [6, 7].

Натриевая среда, с которой столкнулась калиевая, несущая жизнь, по-видимому, мало отличалась от современного океана по концентрации и составу растворенных солей. Если за последние полмил-

лиарда лет эти показатели почти не менялись, то, вероятно, так было и задолго до того. Существенная черта натриевого океана — в том, что ионы натрия и хлора суммарно составляют >80% всех его солей. Очевидно, сравнительно неширокий проток калиевой воды втекал в безжизненный натриевый океан, образуя своего рода эстуарий с плавным изменением состава смеси. Есть основания полагать, что концентрация натрия внутри и снаружи протоклетки, вызвавшая возникновение натриевого насоса, соответствовала солености 5–8‰ [5]. Активность натриевого насоса современных животных максимальна при 110–120 мМ ионов натрия снаружи клетки, что соответствует солености около 7‰, сравнимой с соленостью Балтийского моря. Мы не можем сегодня точно датировать время смены калиевой эпохи развития жизни на натриевую, но имеем основания утверждать, что это произошло при «выработке» предками животных натриевого насоса в ответ на повышение концентрации натрия в среде до величины около 110 мМ.

Основные этапы эволюции животных, завоевание ими разных сред обитания тесно связаны с Na^+/K^+ -АТФазой. У всех сохраняется первичная функция фермента — откачка из клетки ионов натрия в обмен на ионы калия. Так внутри клетки поддерживается калиевая среда, необходимость в которой — следствие древней калиевой эпохи. Эта работа энергозатратна — на нее уходит более трети энергии, накопленной клетками в виде АТФ. Побочным продуктом работы натриевого насоса стал электрогенез, который перераспределил у животных формирование и дальнейшую эволюцию нервной системы [3, 4]. Очевидно, на основе трансформации натриевого насоса возникли многие механизмы трансмембранного транспорта самых разных веществ в обмен на ионы натрия. Так, в частности, проникают в клетки строительные мономеры — моносахариды, нуклеотиды и аминокислоты. В какой-то момент натрий снаружи клетки превратился из врага, с которым натриевый насос был призван бороться, в абсолютную необходимость для жизнедеятельности клетки [4, 6].

Первые животные, обитавшие при солености выше 5–8‰, по современной классификации считаются пойкилоосмотическими (от греч. *ποικίλος* — различный, *πῆσις* — давление). Окружающая их клетки среда по составу ионов и осмотическому давлению не отличалась от морской воды, поэтому

натрия вокруг клеток всегда было достаточно для работы Na^+/K^+ -АТФазы. Таковыми до сих пор остаются большинство морских беспозвоночных. Пойкилоосмотические животные не способны жить в пресной воде в первую очередь потому, что их внутренняя среда — кровь, лимфа, гемолимфа, полостная жидкость — при снижении солёности ниже 5–8‰ блокирует натриевый насос. В пресную воду могли попасть только те потомки пойкилоосмотических животных, которые научились поддерживать солёность своей внутренней среды выше 5–8‰, обеспечивая работу натриевого насоса клеток. Такой же уровень солёности поддерживается во внутренней среде наземных животных, безусловных потомков пресноводных гиперосмотиков (солёность крови человека 9.5‰).

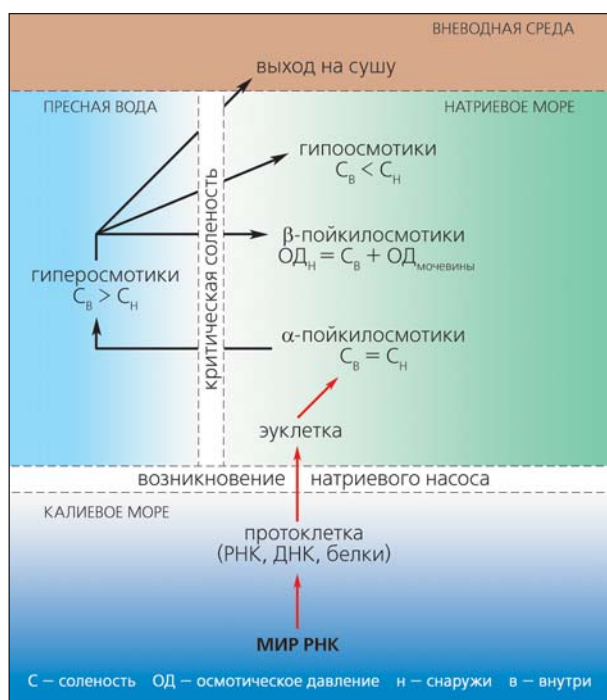
Некоторые гиперосмотические животные из пресной воды вновь вернулись в море (солёность океана около 35‰) и стали гипоосмотическими. Часть их даже в морской воде поддерживала солёность жидкости, омывающей клетки, на уровне, выработанном их пресноводными предками, — немногим выше 8‰. Осмотическое давление и внутренняя солёность у гипоосмотических животных намного ниже, чем у окружающей морской воды. В море у них непрерывно работают механизмы, опресняющие внутреннюю среду в два-три раза (к таким организмам относятся морские костные рыбы, креветки-палеониды и морские ветвистые рачки). Другие вторично-морские животные (акуловые, лягушка-крабод) сохраняют в плазме крови тот же уровень солей, что и гипоосмотические организмы, но дополняют вызываемое соля-

ми осмотическое давление до значения во внешней среде — морской воде — добавками мочевины. В физическом отношении эти животные пойкилоосмотические — осмотическое давление их крови всегда такое же, как у морской воды. Однако они, произойдя от пресноводных гиперосмотиков, добавляют в кровь мочевины, чем принципиально отличаются от истинных пойкилоосмотиков. Поэтому последних, изначально морских, предложено называть α -пойкилоосмотическими, а вторично-морских — β -пойкилоосмотическими [6].

Несомненно, знакомство человека с анатомией и физиологией началось с изучения собственного тела и тел жертв охоты — зверей, птиц, рыб. Почти все важнейшие открытия в физиологии имеют отношение к медицинским проблемам, решаемым на высших позвоночных, включая самого человека, — учению о внутренней среде, функциях внутренних органов, кровообращении, пищеварении, нервной системе и др. В общих чертах физиология животных развивалась от познания высших их форм, позвоночных, к низшим — беспозвоночным. Исследователи полагают, что многие физиологические адаптации человека обязаны своим происхождением прямому экологическому приспособлению морских пойкилоосмотических животных, предков всех многоклеточных. Рассмотрим три примера.

В последнее время много изучают функции активных форм кислорода (АФК) — метаболического продукта, который в повышенных концентрациях оказывает разнообразное вредное влияние на клетки. Макрофаги, белые кровяные клетки позвоночных, поглощают вредные бактерии, изолируя их в своих полостях, и уничтожают, выделяя АФК. Предполагалось, что такая иммунная реакция характерна для специализированных клеток внутренней среды позвоночных (хотя позже подобный механизм был обнаружен в их ротовой полости и половых путях). Ю.А.Лабас с соавторами [8] доказали, что не прикрытые хитиновыми и известковыми образованиями эпителиальные поверхности всех морских беспозвоночных буквально покрыты «облаком» АФК, специально генерируемых наружными клетками в целях защиты от бактериальных атак. Авторы обратили внимание на роль процесса генерации АФК в экологических процессах — основная масса бактерий может нападать только на мертвые организмы, что ускоряет их разложение и общий биологический круговорот веществ в экосистеме. По всей видимости, исходно генерирующие АФК клетки возникли на поверхности тел морских беспозвоночных для защиты от внешнего врага и лишь впоследствии стали выполнять эту функцию во внутренней среде вышедших на сушу позвоночных.

Первичными формами нервной системы считаются нейросекреторные клетки (НСК), выделяющие в жидкости организма сигнальные белки. По происхождению НСК близки эпителиям, осуществляющим контакт с внешней средой [9, 10]. Мож-



Эволюция солёностных отношений животных [5].

но предположить, что речь идет о пойкилосмотическом животном, эпителиальные покровы которого обращены в морскую воду. Тогда нейросекреторные клетки имеют возможность выделять вещества не только в свою внутреннюю среду, но и во внешнюю — воду. Рецептор этого химического сигнала должен располагаться не внутри данного организма, а на поверхности другой особи. И это предположение подтвердилось! Сцифоидная медуза *Chrysaora quinquecirrha* переживает зиму на полиплоидной стадии сцифистомы, похожей по своей организации на пресноводную гидру и подобно ей прикрепленной к субстрату. Живут сцифистомы на разных глубинах. Они почти не растут зимой — мало корма. На первый признак приближения сытного летнего времени — прогрев верхнего слоя воды — обитающие там сцифистомы отвечают стробилиацией, т.е. образованием «заготовок» будущих медузок, которые затем будут стремительно расти на летнем богатом планктоне, плаывая в толще воды. У особей, начавших стробилировать первыми, часть клеток поверхностного эпителия секретирует во внешнюю среду белок, молекулы которого достигают рецепторов особей из нижележащих, еще холодных слоев воды и служат сигналом к началу стробилиации [11, 12]. Это, безусловно, экологическая адаптация, подготавливающая представителей популяции через внешнюю среду к будущим оптимальным для медузоидного поколения температурам. Тот факт, что многие белки коагулируют в пресной воде и сохраняют нативную структуру в морской [13], делает именно ее пригодной для пе-

редачи сигналов белковой природы (в такой же мере, как это происходит с многообразием гуморальных сигналов в соленой плазме крови человека).

Все без исключения животные — пресноводные, морские и наземные — в желудочно-кишечном тракте разлагают поглощенную пищу на мономеры, аминокислоты и моносахариды, которые затем вовлекаются в различные процессы организма. В природных водных средах постоянно присутствуют небольшие количества таких мономеров, поэтому уже более 100 лет назад возник вопрос о возможности внекишечного питания животных непосредственно ими. Мы исследовали, насколько активно дальневосточные эвригалинные двусторчатые моллюски поглощают аминокислоту глицин из морской воды без участия кишечника в зависимости от ее солености [14]. Этот процесс был максимален при солености выше 10–20‰ и практически полностью прекращался при солености ниже 5‰. Иными словами, внекишечное поглощение глицина возможно в морской среде и исключено в пресной. Вероятно, процесс поглощения мономеров первично возник как внекишечное пищеварение в поверхностных клетках покровов низших морских беспозвоночных, а позже оказался связанным с гастральной полостью или кишечником.

Итак, ряд физиологических вопросов медико-биологического характера выгоднее решать не на внутренних органах мышей, морских свинок и собак, а на поверхностных клетках морских кишечнополостных, гребневиков, плоских червей и моллюсков. ■

Литература

1. *Стирин А.А.* Рибонуклеиновые кислоты как центральное звено живой материи // Вестник РАН. 2003. Т.73. №2. С.117–127.
2. *Mulkiđjanian A.Y., Bychkov A.Y., Dibrova D.V. et al.* Origin of first cells at terrestrial, anoxic geothermal fields // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2012. V.109. P.821–830. doi:10.1073/pnas.1117774109
3. *Наточин Ю.В.* Физико-химические детерминанты физиологической эволюции: от протоклетки к человеку // Российский физиологический журнал им.И.М.Сеченова. 2006. Т.92. №1. С.57–72.
4. *Наточин Ю.В.* Физиологическая эволюция животных: натрий — ключ к разрешению противоречий // Вестник РАН. 2007. Т.77. №11. С.999–1010.
5. *Хлебович В.В.* Критическая соленость как маркер смены калиевой эпохи развития жизни на натриевую // Успехи современной биологии. 2015. Т.135. №1. С.18–20.
6. *Хлебович В.В.* Этапы и принципы эволюции водно-солевых отношений организмов // Биосфера. 2014. Т.6. №2. С.170–175.
7. *Хлебович В.В.* Контуры протоэкологии // Природа. 2014. №8. С.93–94.
8. *Лабас Ю.А., Гордеева А.В., Наглер Л.Г.* Незримое одеяние голых тварей // Природа. 2006. №12. С.3–10.
9. *Гарлов П.Е., Кузик В.В., Поленов А.Л.* Эволюционные аспекты нейроэндокринологии // Основы нейроэндокринологии. СПб., 2005. С.403–417.
10. *Поленов А.Л., Кулаковский Э.Е.* Происхождение и эволюция нейроэндокринных клеток и нейрогормональной регуляции у Metazoa // Нейроэндокринология. СПб., 1993. С.13–31.
11. *Loeb M.J.* Strobilation in the Chesapeake Bay sea nettle *Chrysaora quinquecirrha* — III. Dissociation of the neck-inducing factor from strobilating polyps // Comp. Biochem. Physiol. A Comp. Physiol. 1974. V.49. P.423–432.
12. *Loeb M.J., Hayes D.K.* Strobilation in the Chesapeake Bay sea nettle *Chrysaora quinquecirrha* — V. Neurons and neurosecretion // Trans. Am. Microsc. Soc. 1981. V.100. P.264–270.
13. *Хлебович В.В.* Уровни гомеостаза // Природа. 2007. №2. С.61–65.
14. *Комендантов А.Ю., Хлебович В.В.* Соленостная зависимость поглощения водными беспозвоночными растворенных органических веществ // Труды Зоол. института. 1989. Т.196. С.22–50.