

М. Н. Мырзаханова

Кокшетауский государственный университет им. Ш. Уалиханова
ул. Габдуллина, 46/114, Кокшетау, 020000, Республика Казахстан
E-mail: myrzahanova@mail.ru

ВЗАИМООТНОШЕНИЕ ВЕНОЗНОЙ И ЛИМФАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМ ПРИ ВОДНОЙ НАГРУЗКЕ У НИЗШИХ ПОЗВОНОЧНЫХ

Изучены состояния венозной и лимфатической систем лягушек и черепах при водной нагрузке. Показано, что после водной нагрузки усиливается всасывание воды из кишечника в венозное и лимфатическое русло, о чем свидетельствует гидремия, уменьшение концентрации общего белка, осмотического давления в лимфе и плазме крови. Как венозные, так и лимфатические сосуды участвуют в транспорте воды из кишечника. У черепах почки более активно выводят излишнюю жидкость, чем у лягушек.

Ключевые слова: низкие позвоночные, водная нагрузка.

Венозная и лимфатическая системы, выполняя транспортную, обменную и депонирующую функции в организме, обеспечивают возврат жидкости к сердцу. Одной из важных функций организма является регуляция водно-солевого гомеостаза, в поддержании которого наряду с почками имеет значение транспорт лимфы и межклеточной жидкости в кровеносное русло [1–4]. В экспериментах на бодрствующих животных установлено участие почечных нервов в регуляции натриевого гомеостаза при избыточном поступлении воды в организм [5], а также показана роль головного мозга в регуляции экскреции натрия почками при гидратации и дегидратации [6]. В исследовании с рыбами показана важная роль лимфатической системы в регуляции гомеостаза организма при введении им избыточного объема жидкости [7]. Считают, что в регуляции объема внеклеточной жидкости участвует антидиуретический гормон, содержание которого в крови при уменьшении объема внеклеточной жидкости возрастает, а при увеличении его секреция тормозится [8].

Циркуляцию жидкости в организме рассматривают в широком плане, не ограничиваясь пределами сосудистой системы, считая, что наиболее периферической частью циркуляции являются интерстициальные пространства [9].

В многочисленных экспериментальных работах показано, что внутривенное введение больших объемов жидкости приводит к сдвигам в гемодинамике, лимфотоке и диурезе. В опытах на наркотизированных кошках при внутривенном введении раствора Рингера – Локка в течение 5–6 ч или инфузии физиологического раствора в кровь собакам в объеме 2 л ток лимфы из грудного протока увеличивался. По данным исследований, лимфоток у собак возрастал по сравнению с исходным уровнем в 14 раз. Это указывает на важную роль лимфатической системы в регуляции объема плазмы [10].

В экспериментах показано, что через 2,5 ч после внутривенного введения физиологического раствора взрослым собакам из кровеносного русла выведено 48 % жидкости от введенного объема: 22 % – через грудной проток и 26 % – почками. Авторы считают, что лимфатическая система дополняет функцию почек в регуляции объема плазмы, выводя из тканей и частично депонируя жидкость и белки [11].

Не вызывает сомнения существование тесной связи между осмо- и волюморцепторами. Считают, что афферентная часть механизма водно-солевого гомеостазиса включает осмо- и волюморцепцию [12]. Для выяснения доминирующей роли волюмо- или осморегуляции при подборе опти-

мального соотношения между осмотической концентрацией и объемом крови поставлены опыты на различных водных низших позвоночных. Которые подвергались постепенному обессоливанью. При постепенной потере соли у лягушек и некоторых других животных, находившихся в дистиллированной воде, почки выводили избыток осмотически свободной воды и кровь сгущалась. В этих условиях осморегуляция преобладала над системой регуляции объема жидкостей. У животных, неспособных к экскреции осмотически свободной воды (морские костистые рыбы – ставрида, скорпена), в гипотонической среде происходило разбавление крови. На этой стадии волюморегуляция доминирует над осморегуляцией [13].

У низших позвоночных (бесхвостых амфибий) показано, что в регуляции объема плазмы и давления крови принимает участие аргинин – вазотоцин; с осморегуляцией же функция этого гормона не связана [14].

Интересны взаимоотношения диуреза и лимфотока при водных нагрузках, которые обычно вызывают активацию гидроуретической функции почек. Об усилении диуреза и увеличении лимфотока при введении большого объема физиологического раствора собакам свидетельствуют данные исследований [15]. Однако другие авторы [16] обнаружили обратные взаимоотношения таких сдвигов при водных нагрузках. Отмечают, что у собак при значительных водных нагрузках диурез снижается, а лимфоток значительно возрастает. Лимфа, взятая у животных после водной нагрузки и введенная другому животному, обладает выраженным диуретическим действием. Сыворотка крови, полученная у животных до водной нагрузки и после нее, обладает антидиуретическим действием [16].

Установлена стимулирующая роль ангиотензина II для всасывания воды и действия антидиуретического гормона у млекопитающих [17].

Показано значительное увеличение тока лимфы у собак из грудного протока при внутривенных инфузиях смеси раствора Рингера и 10 % раствора реодекстрана. Установлено, что 6 % инфузируемой жидкости поступает в интерстициальное пространство, остальная же ее часть распределяется между кровью и лимфой. Авторы обнаружили прямую связь между измене-

ниями объема плазмы и уровнем центрального венозного давления [18].

Известно, что роль почек в поддержании водно-солевого гомеостаза в процессе эволюции позвоночных возрастает, особенно у млекопитающих. В связи с недостаточными функциональными возможностями почек у низших позвоночных по сравнению с млекопитающими сравнительно-физиологическое изучение соотношения и степени участия внепочечных и почечных механизмов в регуляции этих процессов у амфибий и рептилий может служить основой для поиска эффективных путей уменьшения и устранения отеков в тканях при патологии почек у человека в клинике.

Цель исследования – изучить особенность гомеостатической роли венозной и лимфатической системы в регуляции осмотического и объемного баланса у представителей низших позвоночных (амфибий, рептилий).

Материал и методы

Водную нагрузку у животных осуществляли путем введения в передний отдел тонкой кишки водопроводной воды при температуре 20 °С в количестве 1 % от массы тела. Тонкую кишку перевязывали ниже желудка. У животных контролировали диурез. Для этого у лягушек и черепах в стенке мочевого пузыря фиксировалась полиэтиленовая трубка. Учитывалось количество мочи, поступившей в мочевой пузырь за единицу времени.

Для исследований у животных были взяты пробы артериальной и венозной крови, лимфы. Содержание общего белка в плазме крови и лимфе определяли биуретовым методом с последующим анализом на фотоэлектрокалориметре Specol-11. Осмотическое давление плазмы крови и лимфы измеряли через различные интервалы времени (до нагрузки, через 15, 30, 60 и 120 мин. после водной нагрузки) на осмотре ОМК 1Ц-01. Гематокрит определяли по общепринятой методике. Опыты проведены на 50 лягушках и 40 черепахах, произведено 795 биохимических тестов.

Результаты исследования и обсуждение

Эксперименты показали, что после водной нагрузки у лягушек ($n = 50$) содержание

общего белка снижалось в плазме артериальной и венозной крови на 4 % по сравнению с исходной величиной. Концентрация белка в лимфе уменьшалась на 8 % от исходных значений (табл. 1). Объем плазмы по гематокриту максимально повышался в первые 30 мин., осмотическое давление крови и лимфы сразу после нагрузки снижалось и достигало минимальных величин через 15–30 мин. (см. табл. 1).

Изменения мочевого выделения у лягушек были незначительными. В первые 30 мин. наблюдалось небольшое увеличение объема мочи от $0,004 \pm 0,001$ до $0,005 \pm 0,009$ мл/мин. ($p < 0,05$), затем снижалось до $0,003 \pm 0,001$ мл/мин. При водной нагрузке объем лимфы в бедренном подкожном лимфатическом мешке у лягушек возрастал и через 30 мин. увеличивался от $0,005 \pm 0,001$ до $0,010 \pm 0,001$ мл/мин. ($p < 0,001$). Уровень общего белка, осмотическое давление крови вернулись к исходному фону через 2 ч. Эти показатели в лимфе, а также лимфоток не восстановились через 2 ч от начала водной нагрузки.

У черепах ($n = 40$) после водной нагрузки содержание общего белка в артериальной крови снижалось в 70 % наблюдений, в венозной – в 75 % опытов и в 90 % случаев в

лимфе. Объем плазмы по гематокриту у черепах повышался в первые 30 мин. после водной нагрузки. Осмотическое давление крови и лимфы черепах снижалось, и наиболее низкий уровень был отмечен через 15 мин. В венозной крови его уровень снизился на 3 %, в лимфе – на 4 % от исходных значений (табл. 2). Диурез у черепах в течение двух часов после водной нагрузки увеличивался от $0,005 \pm 0,001$ до $0,012 \pm 0,001$ мл/мин. ($p < 0,01$). Лимфоток возрастал максимально через 30 мин. – от $0,006 \pm 0,004$ до $0,032 \pm 0,003$ мл/мин. ($p < 0,01$), т. е. в 5 раз, а затем снижался. К исходному фону лимфоток до конца опыта не возвращался (см. табл. 2).

Таким образом, после водной нагрузки усиливалось всасывание воды из кишечника в венозное и лимфатическое русло, о чем свидетельствует гидремия, уменьшение концентрации общего белка, осмотического давления в лимфе и плазме крови. По нашим данным, как венозные, так и лимфатические сосуды участвуют в транспорте воды из кишечника. Выявлено, что у черепах почки более активно выводят излишнюю жидкость, чем у лягушек. По данным литературы, у млекопитающих выведение избыточной жидкости из организма осуществля-

Таблица 1

Осмотическое давление крови и лимфы, содержание общего белка в плазме крови и лимфе у лягушек до и после водной нагрузки ($M \pm m$)

Показатель	Исходный показатель	Периоды эксперимента, мин.			
		15	30	60	120
Осмотическое давление артериальной крови, мос/мл	$260,0 \pm 2,1$	$265,0 \pm 3,4$	$253,0 \pm 3,1$	$260,0 \pm 2,5$	$260,0 \pm 2,1$
Осмотическое давление венозной крови, мос/мл	$257,0 \pm 1,3$	$250,0 \pm 2,0$	$246,0 \pm 2,3$	$249,0 \pm 1,4$	$256,0 \pm 1,2$
Осмотическое давление лимфы, мос/мл	$210,0 \pm 0,95$	$200,0 \pm 0,9$	$202,0 \pm 1,0$	$205,0 \pm 1,0$	$206,0 \pm 2,0$
Белки артериальной крови, %	$4,30 \pm 0,05$	$4,17 \pm 0,07$	$4,15 \pm 0,07$	$4,16 \pm 0,03^{**}$	$4,30 \pm 0,02$
Белки венозной крови, %	$4,23 \pm 0,04$	$4,17 \pm 0,01$	$4,08 \pm 0,04^*$	$4,15 \pm 0,02$	$4,20 \pm 0,04$
Белки лимфы, %	$2,09 \pm 0,05$	$1,97 \pm 0,06$	$1,87 \pm 0,07^{**}$	$1,90 \pm 0,02$	$1,89 \pm 0,07$

Примечание: звездочкой отмечена достоверность отличия показателей по сравнению с исходными величинами (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,02$).

Таблица 2

Осмотическое давление крови и лимфы, содержание общего белка в плазме крови и лимфе у черепах до и после водной нагрузки ($M \pm m$)

Показатели	Исходный показатель	Периоды эксперимента, мин.			
		15	30	60	120
Осмотическое давление артериальной крови, мос/мл	310,0 ± 2,3	310,0 ± 2,5	305,0 ± 3,0	307,0 ± 3,5	310,0 ± 1,3
Осмотическое давление венозной крови, мос/мл	295,0 ± 1,5	292,0 ± 1,8	289,0 ± 2,3	289,0 ± 1,8	290,0 ± 2,0
Осмотическое давление лимфы, мос/мл	300,0 ± 1,7	292,0 ± 2,0	289,0 ± 2,3	295,0 ± 2,1	289,0 ± 2,5
Белки артериальной крови, %	4,44 ± 0,06	4,32 ± 0,07	4,22 ± 0,05 *	4,32 ± 0,08	4,40 ± 0,07 *
Белки венозной крови, %	4,43 ± 0,05	4,33 ± 0,05	4,14 ± 0,08 **	4,35 ± 0,03	4,42 ± 0,29
Белки лимфы, %	2,60 ± 0,05	2,53 ± 0,06	2,47 ± 0,04	2,52 ± 0,02 **	2,52 ± 0,03 **

Примечание: звездочкой отмечена достоверность отличия показателей по сравнению с исходными величинами (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,001$).

ется в основном через почки [10], что способствует быстрому восстановлению объема жидкости в организме. У низших позвоночных описана низкая водовыделительная и концентрирующая функция почек [13; 16]. В лимфатической системе лягушек и черепах депонирование жидкости было значительно больше и длительно, чем в венозной системе.

В целом, участие лимфатической и венозной систем низших позвоночных в водном обмене сходно с этим процессом у млекопитающих. Однако более низкий потенциал почек у низших позвоночных замедляет процессы нормализации после водной нагрузки. У них временные характеристики сдвигов гемо- и лимфодинамики более продолжительные, чем у млекопитающих.

Заключение

У низших позвоночных после водной нагрузки восстановление уровня общего белка и осмотического давления крови наблюдалось через 120 мин., а в лимфе эти показатели оставались еще низкими. Следовательно,

депонирование жидкости в лимфатической системе значительно длительнее, чем в венозной системе. Известно, что лимфатическая система низших позвоночных имеет большие резервуары (мешки, синусы) с низким давлением лимфы на их стенке. Поэтому жидкость задерживается в лимфатической системе до тех пор, пока почки не выведут из организма излишнюю жидкость. Заметим, что у лягушек потеря жидкости через кожу способствует регуляции объемного гомеостаза. Мы обнаружили видовые различия в регуляции водного гомеостаза у животных, что связано с морфофункциональными особенностями лимфатической, кровеносной и выделительной систем у позвоночных животных.

Список литературы

1. Жданов Д. А. Общая анатомия и физиология лимфатической системы. Л., 1952.
2. Русняк И., Фельди М., Сабо Д. Физиология и патология лимфообращения: Пер. с венг. Будапешт, 1957.
3. Eroneberg W., Fabian G. Zur lymphobilisation // *Lymphology*. 1989. Bd. 13, № 1. S. 39–41.

4. Johnston M. The Intrinsic Lymph Pump: Progress and Problems // *Lymphology*. 1989. Vol. 22, № 3. P. 116–122.
5. Lolait S. I., O'Carroll A. M., McBride O. W., Johmeier J. E., Johnston M. Cloning and Characterization of a Vasopressin V₂ Receptor and Possible Link to Nephrogenic Diabetes Insipidus // *Nature*. 1992. Vol. 357. P. 336–339.
6. Bie P. Central Control of Fluid and Electrolyte Excretion // *Absr. XXXIII Internat. Congr. Physiol. Sci. St.-Petersburg, 1997*. L026.02.
7. Алибаева Б., Хантурин М. Участие лимфатической системы рыб в поддержании гомеостаза // II Съезд физиологов Сибири и Дальнего Востока: Тез. докл. Новосибирск, 1995. С. 45–46.
8. Ройфман М. Д., Тернер А. Я. Изменение гемодинамики после водной нагрузки у человека // *Материалы Всесоюз. конф. по физиологии почек и водно-солевого обмена: Сб. науч. тр. Новосибирск, 1981*.
9. Mayerson H. S. The Lymphatic System // *Scient. Am.* 1963. Vol. 208. P. 80–123.
10. Потапов И. А., Данкова А. Н. О влиянии водных нагрузок на ток лимфы и мочи при открытом активном дренаже грудного лимфатического протока // *Материалы по физиологии и патологии лимфатической системы. Алма-Ата, 1968*. С. 96–101.
11. Гинецинский А. Г. Физиологические механизмы водно-солевого равновесия. М.; Л., 1963.
12. Наточин Ю. В. Ионорегулирующая функция почки. Л., 1976.
13. Sawyer W. H., Rang P. K. Endocrine Adaptation to Osmotic Requirements of the Environment: Endocrine Factors in Osmoregulation by Bung Fishes and Amphibians // *Gen. Comp. Endocrinol.* 1975. Vol. 25, № 2. P. 224–229.
14. Baisset A., Cotonat I., Dechaument I., Montastruc P. Effects de la surcharge hydrique sur la lymphatique // *Comp. Rend. Soc. Biol.* 1968. Vol. 162. P. 2305–2312.
15. Yesberger R. Neuroendocrine Mechanisms in Mammals and Birds Regulating Fluid Balance // *Abstr. XXXIII Internat. Congr. Physiol. Sci. St.-Petersburg, 1997*. L101.06.
16. Horecky I., Babusikova F., Brozman B. Quantitative Changes of Lymphatic and Circulation during Acute Hypervolemic Haemodilation // *Physiol. Bohemoslavaca.* 1975. Vol. 24, № 1. P. 56–60.
17. Айнсон Х. Х. К вопросу о транспортной функции лимфатической системы // *Транспортная функция лимфы в животном организме. Таллин, 1973*. С. 5–13.
18. Шахматова Е. И. Натрийуретическая функция почки позвоночных: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1974.

Материал поступил в редколлегию 30.01.2012

M. N. Myrzakhanova

MUTUAL RELATIONS OF VENOUS AND LYMPHATIC SYSTEMS IN WATER LOAD IN LOWER VERTEBRATES

Studied conditions of venous and lymphatic systems of frogs and turtles at a water load. It is shown, that after a water load reduction of concentration of the general fiber, osmotic pressure in a lymph and plasma of blood amplified absorption waters from intestines in a venous and lymphatic channel to what testifies hydremia. Data represent, that both venous, and lymphatic vessels participate in transport of water from intestines. From a material it is visible, that at turtles of a kidney deduce an excessive liquid, than at frogs more actively.

Keywords: lower vertebrates, water load.