

МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ И СУБМИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧЕК ПРИ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА К КЛЕТОЧНОМУ ОБЕЗВОЖИВАНИЮ

Л. Я. Федонюк, О. Ю. Лобода, В. О. Хавтур

Цель – оценить в экспериментальных условиях клеточного обезвоживания различной степени выраженности характер структурных изменений нефрона и особенности динамики репаративных процессов в восстановительный период. **Материалы и методы.** Исследование выполнено на 112 молодых белых крысах-самцах линии Wistar с начальной массой 115–120 г, которые были разделены на 2 группы – интактную и адаптированную к обезвоживанию. **Результаты.** Гистологические и морфометрические исследования установили связь между сроком действия обезвоживающего фактора и глубиной повреждений структур фильтрационного и реабсорбционного барьеров. После тяжелой степени клеточного обезвоживания репаративные процессы происходят медленно и не приводят к полной нормализации структур нефрона.

Ключевые слова: морфология, почка, нефрон, обезвоживание, адаптация, реадaptация.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях, когда действие различных внешних факторов все чаще наносит вред здоровью, проблема обезвоживания организма и изучение приспособительно-компенсаторных и деструктивных процессов в тканях и органах при дегидратации особенно актуальны. Эти нарушения часто приводят к тяжелым функциональным расстройствам и определяют тяжесть течения заболевания [1, 2]. Проблема адаптации организма к воздействию экстремальных факторов и сегодня остается одной из важнейших в биологии, физиологии и медицине.

Не всегда легко дифференцировать обычные реакции ткани в ответ на то или иное воздействие, не выходящее за пределы физиологических колебаний. В современной литературе описаны морфологиче-

ские показатели [3, 4], правильная оценка которых позволяет достаточно уверенно отличать реактивные физиологические изменения от деструктивных. Имеются данные о структурных изменениях в условиях дегидратации организма в сердце, щитовидной железе, печени, надпочечниках и крови. Проявление тех или иных деструктивных изменений нелегко связать со строго определенными структурными изменениями, поскольку патология обмена имеет комплексный характер [5–8].

Цель – оценить в экспериментальных условиях клеточного обезвоживания различной степени выраженности характер структурных изменений нефрона и особенности динамики репаративных процессов в восстановительный период.

MICROSCOPIC AND SUBMICROSCOPIC CHANGES IN KIDNEYS DURING ORGANISM ADAPTATION TO CELLULAR DEHYDRATION

L. Ya. Fedonyuk, O. Yu. Loboda, V. O. Khavtur

The aim of the study is to evaluate cellular dehydration in different degrees of severity, the nature of the structural changes in the nephron and the specific features of the dynamics of reparative processes during the recovery period in experimental conditions. **Materials and methods.** The study is performed on 112 young white rats-males (Wistar line) with an initial weight of 115–120 g. The rats are divided into 2 groups: intact and adapted to dehydration. **Results.** Histological and morphometric studies established a relationship between the duration of the dehydrating factor and the depth of damage to the structures of the filtration and reabsorption barriers. After severe cellular dehydration, reparative processes occur slowly and do not lead to the full normalization of nephron structures.

Keywords: morphology, kidney, nephron, dehydration, adaptation, readaptation.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на 112 молодых белых крысах-самцах линии Wistar с начальной массой 115–120 г.

При работе с животными руководствовались Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского Союза о защите животных, использующихся для научных целей [9].

Все животные были разделены на 2 группы. Животные первой группы (30 крыс) были интактными, животные второй группы (82 крысы) – адаптированными. Адаптация к обезвоживанию достигалась путем чередования маломинерализованной диеты на фоне 1,5 %-го гипертонического раствора поваренной соли (2 дня) и обычного рациона вивария (1 день) на протяжении 42 дней. Клеточное обезвоживание моделировалось у животных второй группы путем употребления животными 1,5 %-го гипертонического раствора поваренной соли, высушенного овса и сухарей. Степень обезвоживания определяли по величине водного дефицита.

На следующем этапе эксперимента животных переводили на обычное питание вивария и определяли реадaptационные изменения через 1, 3, 6 и 12 недель после прекращения действия обезвоживающего фактора.

Проведено комплексное исследование морфологического состояния структурных компонентов нефрона с помощью микроскопического, электронномикроскопического, морфометрического и статистического методов исследований.

Материал брали под эфирным наркозом у предварительно взвешенных животных всех групп. Сразу же после удаления почки ее взвешивали и вырезали из средней части коркового вещества органа кусочки для микроскопического исследования. Материал фиксировали в течение 2–3 недель в 10 %-м растворе нейтрального формалина с трехразовым изменением фиксатора, затем обезвоживали в спиртах возрастающей концентрации, после чего заливали в парафиновые блоки. Срезы толщиной 5–6 мкм, окрашенные гематоксилин-эозином, исследовали в светооптическом микроскопе и документировали с помощью микроскопа МБД-6.

Забор материала для электронно-микроскопического исследования компонентов почки проводили согласно общепринятым правилам. Для исследования выбирали кусочки из средней части коркового вещества. Материал фиксировали в 2,5 %-м растворе глутаральдегида с активной реакцией среды pH 7,3–7,4, приготовленном на фосфатном буфере Миллонига. Фиксированный материал через 50–60 мин переносили в буферный раствор и промывали в течение 20–30 мин. Постфиксация осуществлялась 1 %-м раствором четырехоксида осмия на буфере Миллонига в течение 60 мин, после чего проводили дегидратации в спиртах и ацетоне и заливали в смесь эпоксидных смол согласно общепринятой методике. Ультратонкие срезы, изготовленные на ультрамикротоме УМПТ-7 и ЛКБ-III, окрашивали 1 %-м водным раствором уранилацетата, контрастировали цитратом свинца по методу Рейнольдса и изучали в электронном микроскопе ЭМИ-100 ПМ.

Морфометрические и количественные исследования проводили, используя систему визуального анализа гистологических препаратов. Изображение

на экран телевизора Panasonic Gao 70 TC-2170 R выводили из микроскопа ЛОМО Биолам и с помощью видеокамеры Sony CCD-IRIS проводили исследования.

Для объективной характеристики адаптационных и деструктивных изменений состояния почечных телец и канальцев проводили их морфометрию. Исследования проводились в определенные опытные сроки в препаратах, окрашенных гематоксилином и эозином. В пределах коры почки оценивали площади почечных телец, сосудистых клубочков различных популяций нефронов, площади почечных канальцев, их клеток и ядер.

Полученный в результате эксперимента цифровой материал был систематизирован. Обработка цифровых данных проводилась по методу Стьюдента на персональном компьютере. Достоверной считали вероятность ошибки менее 5 % ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гистологические исследования почки в условиях нормы подтвердили общие закономерности структурной организации ее компонентов [8].

Вследствие периодического воздействия неблагоприятного обезвоживающего фактора (период адаптации) в паренхиме почек наблюдаются незначительные изменения структурных компонентов нефрона, которые проявляются увеличением в размерах некоторых почечных телец (среднее значение их площади равно $3\,918 \pm 107$ мкм²), что больше такого показателя в норме без статистических различий. При этом они сохраняют свою структурированность, но наблюдается их умеренное кровенаполнение – средняя площадь сосудистых клубочков составляет $3\,223 \pm 102$ мкм², уменьшается просвет капсулы Шумлянського – Боумана до 695 ± 27 мкм² (табл. 1).

Электронномикроскопические исследования показывают, что в период адаптации к обезвоживанию сосудистые клубочки и эпителиоциты канальцев находятся в состоянии функционального напряжения в результате повышенной нагрузки на почку. Подциты, которые образуют внутренний листок капсулы, имеют массивные цитотрабекулы, от которых к базальной мембране плотно прилегают цитоподии. Изменения конфигурации и размера педиклов влияют на величину фильтрационных щелей, регулирующих проницаемость гломерулярного фильтра. В связи с этим повышение его проницаемости сопровождается перестройкой ультраструктуры клеток проксимального отдела нефрона. Долговременная адаптация вызывает гипертрофию митохондрий, в просветленном матриксе которых имеется небольшое количество крист. Расширяются канальцы гранулярной эндоплазматической сети и цистерны комплекса Гольджи.

Все изменения исследуемых с помощью электронной микроскопии почечных телец канальцев при дегидратации легкой, средней и тяжелой степеней были разделены на две группы: гипертрофически-гиперпластические и дистрофически-атрофические. При обезвоживании тяжелой степени дистрофические изменения преобладают над компенсаторными.

Гипертрофические изменения приводят к увеличению размеров почечных телец: при обезвоживании легкой степени их площадь увеличивается до $4\,042 \pm 147$ мкм², при средней – до $4\,509 \pm 152$ мкм², при тяжелой – до $4\,866 \pm 172$ мкм² (табл. 2).

Морфометрические показатели структурных компонентов нефрона в норме и при адаптации к клеточному обезвоживанию ($M \pm m$)

Морфометрические показатели животных	Интактные $n = 30$	Адаптированные $n = 82$
Ст (площадь почечного тельца)	$3\,971 \pm 116$	$3\,918 \pm 107$
Скл (площадь сосудистого клубочка)	$3\,245 \pm 92$	$3\,223 \pm 102$
Ск-лы (площадь капсулы Шумлянського – Боумена)	726 ± 37	695 ± 27
hвПр (высота эпителиоцитов проксимальных канальцев)	$9,62 \pm 0,27$	$9,24 \pm 0,30^*$
НшПр (ширина эпителиоцитов проксимальных канальцев)	$10,44 \pm 0,35$	$10,80 \pm 0,41$
СклПр (площадь эпителиоцитов проксимальных канальцев)	$100,4 \pm 3,6$	$99,8 \pm 4,2$
hвДс (высота эпителиоцитов дистальных канальцев)	$7,61 \pm 0,24$	$7,74 \pm 0,29$
НшДс (ширина эпителиоцитов дистальных канальцев)	$9,42 \pm 0,31$	$9,24 \pm 0,51$
СклДс (площадь эпителиоцитов дистальных канальцев)	$71,7 \pm 2,9$	$71,5 \pm 3,7$

Примечание: * – $p < 0,05$ достигнутый уровень значимости различий в сравнении с показателями интактных крыс.

Таблица 2

Морфометрические показатели структурных компонентов нефрона экспериментальных животных в норме и при клеточном обезвоживании разной степени тяжести ($M \pm m$)

Морфометрич. показатели	Интактные животные	Степень обезвоживания		
		легкая	средняя	тяжелая
Ст	$3\,971 \pm 116$	$4\,042 \pm 147^*$	$4\,509 \pm 152^*$	$\Gamma\,4\,866 \pm 172^*$ $A\,3\,479 \pm 93^*$
Скл	$3\,245 \pm 92$	$3\,072 \pm 115^*$	$3\,554 \pm 106^*$	$\Gamma\,3\,781 \pm 117^*$ $A\,3\,114 \pm 86$
Ск-лы	726 ± 37	$970 \pm 31^*$	$955 \pm 29^*$	$\Gamma\,1\,085 \pm 45^*$ $A\,365 \pm 14^*$
hвПр	$9,62 \pm 0,27$	$8,74 \pm 0,26^*$	$7,65 \pm 0,21^*$	$6,58 \pm 0,23^*$
НшПр	$10,44 \pm 0,35$	$10,48 \pm 0,51$	$9,81 \pm 0,34$	$9,27 \pm 0,43$
СклПр	$100,4 \pm 3,6$	$91,5 \pm 4,3^*$	$75,0 \pm 3,1^*$	$61,0 \pm 2,1^*$
hвДс	$7,61 \pm 0,24$	$7,39 \pm 0,30$	$6,24 \pm 0,18^*$	$6,32 \pm 0,22^*$
НшДс	$9,42 \pm 0,31$	$9,57 \pm 0,41$	$10,15 \pm 0,40$	$9,90 \pm 0,37$
СклДс	$71,7 \pm 2,9$	$70,7 \pm 2,6$	$63,3 \pm 2,5^*$	$62,6 \pm 2,4^*$

Примечание: здесь и далее Ст (площадь почечного тельца), Скл (площадь сосудистого клубочка), Ск-лы (площадь капсулы Шумлянського – Боумена), hвПр (высота эпителиоцитов проксимальных канальцев), НшПр (ширина эпителиоцитов проксимальных канальцев), СклПр (площадь эпителиоцитов проксимальных канальцев), hвДс (высота эпителиоцитов дистальных канальцев), НшДс (ширина эпителиоцитов дистальных канальцев), СклДс (площадь эпителиоцитов дистальных канальцев); Γ – гипертрофированные почечные тельца, А – атрофированные почечные тельца; * $p < 0,05$ достигнутый уровень значимости различий в сравнении с показателями интактных крыс.

Первыми индикаторами нарушений в структурах клубочково-канальцевой системы являются базальные мембраны стенки гемокapилляров, мембранные формирования эпителия, что подтверждается данными других исследователей [1].

При действии обезвоживания появляются признаки нарушения клубочковой фильтрации, о чем свидетель-

ствуют изменения и повреждения структур гломерулярного фильтра. Уже при легкой степени обезвоживания отмечается, что по мере увеличения влияния обезвоживающего фактора на базальную мембрану, она утолщается, становится гомогенной, осmioфильной, теряет свое трехслойное строение. Постепенно подвергаются дистрофии подоциты и эндотелий капилляров.

Атрофические-дистрофические изменения почечных телец, которые наблюдаются при тяжелой степени обезвоживания, проявляются сморщиванием сосудистых клубочков и запустением почечных телец, негативно влияя на кровоснабжение и трофику канальцев, что вызывает нарушение их структуры и функции.

При воздействии клеточного обезвоживания повреждается структура всего нефрона, хотя изменения в канальцевой части выражены обычно больше, чем в клубочковой, что зависит от морфо-функциональных особенностей отделов нефрона, характера их метаболизма, чувствительности к изменившимся условиям, последовательности включения резервных нефронов в компенсаторно-приспособительные реакции.

В результате исследований установлено, что при тяжелой степени обезвоживания деструкции подвер-

гается апикальная часть клеток, содержащая микроворсинки. Происходят также нарушения в базальных полюсах клеток, где исчезает «исчерченность». Морфометрически это проявляется увеличением площади проксимальных канальцев, уменьшением высоты эпителиоцитов и расширением просвета (рис. 1).

При обезвоживании легкой степени вследствие уменьшения высоты эпителиоцитов на 10 % и увеличения диаметра канальцев на 1,8 % наблюдается увеличение просветов проксимальных канальцев на 9,1 % относительно показателей у интактных животных. Частичное исчезновение микроворсинок на апикальных поверхностях и уменьшение высоты клеток на 25,7 % привело к увеличению просветов канальцев на 13,9 %, а диаметр просветов канальцев увеличился на 4,9 % относительно показателей нормы.

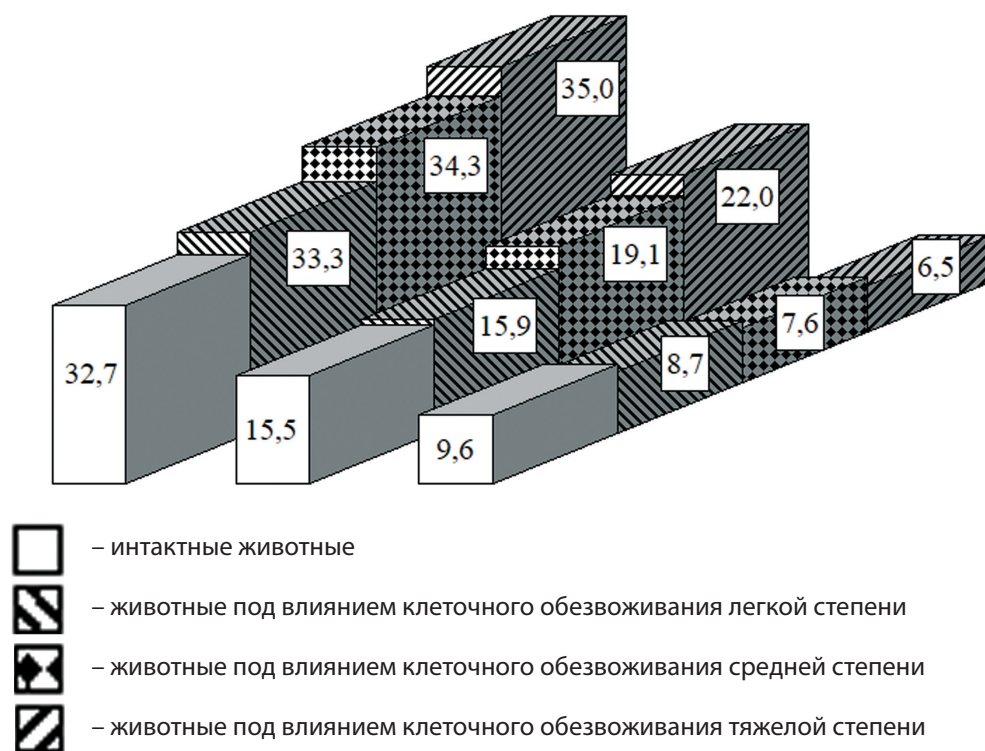


Рис.1. Морфометрические показатели проксимальных извитых канальцев почек интактных белых крыс при легкой, средней и тяжелой степенях клеточного обезвоживания: 1-й ряд диаметр канальца; 2-й ряд – диаметр просвета канальца; 3-й ряд – высота эпителиоцитов

Морфометрические исследования проксимальных канальцев показали, что диаметр канальцев при тяжелой степени обезвоживания составляет $35,0 \pm 1,0$ мкм, что на 7,0 % больше показателей нормы. Высота клеток этого отдела нефрона снижается до $6,58 \pm 0,23$ мкм, диаметр просвета канальцев увеличивается до $20,81 \pm 0,63$ мкм, что на 29,5 % больше относительно показателей нормы.

Для решения вопроса о возвратности структурных изменений при обезвоживании проведены эксперименты с регидратацией – повторное насыщение предварительно обезвоженного организма водой в период реадaptации после клеточного обезвоживания в течение различных сроков (1, 3, 6 и 12 недель).

Светооптические, морфометрические и электронно-микроскопические исследования при 7-дневной реадaptации после воздействия клеточного обезво-

живания не выявили существенных улучшений структур нефрона (рис. 2). Под реадaptацией подразумевается комплекс морфологических изменений после воздействия клеточной дегидратации, направленных на восстановление утраченных или ослабленных функций клеток и тканей; их приспособительно-компенсаторные изменения, обеспечивающие приспособление к определенным условиям.

При трехнедельной реадaptации после обезвоживания легкой степени наблюдается постепенная нормализация структуры мальпигиевых телец. Они имеют округло-овальную форму, внутри находятся сосудистые клубочки с хорошо выраженной структурной организацией эндотелиальных клеток, базальной мембраны и подоцитов. При морфометрическом исследовании выявлено уменьшение площади почечных телец до $3\,989 \pm 117$ мкм², что практически не от-

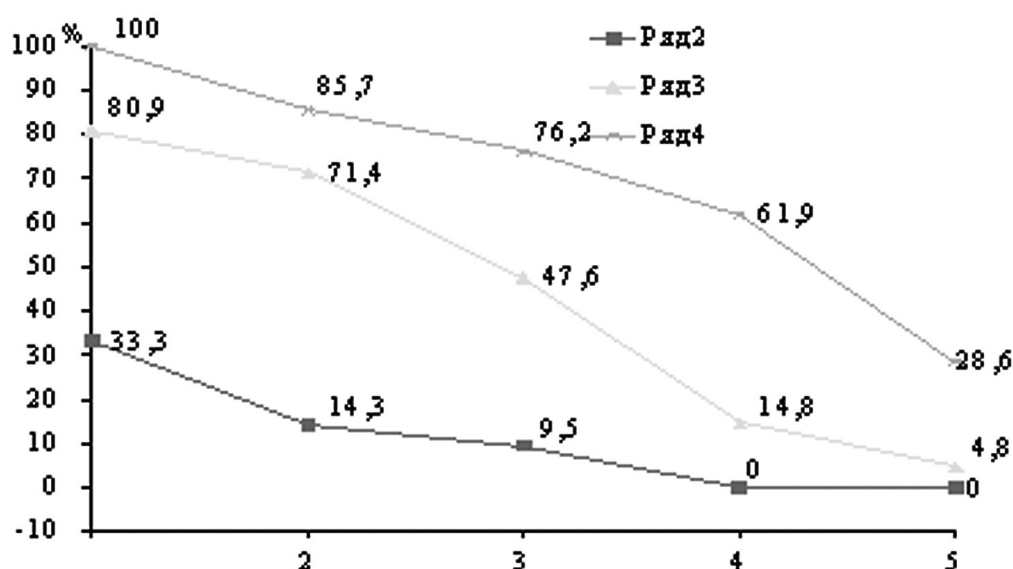


Рис. 2. Динамика изменений морфометрических показателей при реадaptации после воздействия клеточного обезвоживания

личается от нормы, но сосудистые клубочки остаются несколько уменьшенными – $3\,128 \pm 92$ мкм², поэтому просветы капсул все еще умеренно расширены по сравнению с контролем и составляют 861 ± 40 мкм²,

достоверно отличаясь от показателей интактных животных (табл. 3). В составе фильтрационного барьера цитоподии плотно контактируют с трехслойной базальной мембраной.

Таблица 3

Морфометрические показатели структурных компонентов нефрона при легкой степени обезвоживания и в разные периоды реадaptации ($M \pm m$)

	Легкая степень обезвоживания	Период реадaptации			
		1-я неделя	3-я неделя	6-я неделя	12-я неделя
Ст	$4\,042 \pm 147^*$	$4\,045 \pm 130$	$3\,989 \pm 117$	$3\,982 \pm 95^*$	$3\,968 \pm 110^*$
Скл	$3\,072 \pm 115$	$3\,071 \pm 118$	$3\,128 \pm 92$	$3\,240 \pm 81^*$	$3\,220 \pm 97^*$
Ск-лы	970 ± 31	974 ± 37	861 ± 40	$742 \pm 39^*$	$748 \pm 87^*$
hвПр	$8,74 \pm 0,26$	$9,61 \pm 0,32$	$9,73 \pm 0,40$	$8,59 \pm 0,35$	$8,95 \pm 0,24^*$
НшПр	$10,48 \pm 0,51^*$	$10,34 \pm 0,45^*$	$10,37 \pm 0,37^*$	$10,20 \pm 0,39^*$	$10,41 \pm 0,43^*$
СклПр	$91,5 \pm 4,3$	$99,4 \pm 3,7$	$100,9 \pm 3,7$	$90,5 \pm 2,2^*$	$93,2 \pm 3,1^*$
hвДс	$7,39 \pm 0,30$	$7,11 \pm 0,20$	$7,30 \pm 0,30^*$	$7,45 \pm 0,24^*$	$7,52 \pm 0,30^*$
НшДс	$9,57 \pm 0,41$	$9,32 \pm 0,40$	$9,21 \pm 0,36^*$	$9,42 \pm 0,18^*$	$8,91 \pm 0,40^*$
СклДс	$70,7 \pm 2,6$	$66,0 \pm 2,4$	$67,2 \pm 1,8^*$	$70,9 \pm 1,6^*$	$66,8 \pm 3,7^*$

В этот срок реадaptации после обезвоживания средней степени субмикроскопически в проксимальных и дистальных извитых канальцах наблюдаются гипертрофические изменения митохондрий. Апикальные части эпителиоцитов проксимального отдела нефрона имеют выраженные микроворсинки. Эти положительные изменения свидетельствуют о том, что процессы реадaptации у животных, адаптированных к клеточному обезвоживанию, активно происходят во всех структурных компонентах нефрона, способствуя

относительной нормализации их строения уже на 3-ю неделю (рис. 2).

Период 6–12 недель пребывания животных на нормальном пищевом рационе характеризуется еще большим постепенным прогрессированием восстановительных процессов (рис. 2).

Гистологические исследования на 6–12-ой неделях регидратации показывают, что процессы регенерации происходят неравномерно. На отдельных участках коры почек наблюдается полиморфизм по-

почечных телец: реже встречаются атрофированные, но остается много гипертрофированных. Часть почечных телец небольших размеров, но увеличены просветы капсул, отдельные тельца уменьшены в размерах, присутствуют единичные, в которых наблюдается уплотнение сосудистых клубочков и отчетливое увеличение просвета капсулы. Апикальные полюса проксимальных канальцев хорошо контурируются. Улучшается состояние «исчерченности» базального полюса, однако складки плазмолемии многочисленны, но не высокие и не на всех участках митохондрии имеют упорядоченное расположение.

Морфометрические исследования коры почек через 12 недель реадaptации показывают, что

площади гипертрофированных и атрофированных почечных телец приближаются к показателям интактных животных и равны соответственно $4\,207 \pm 132$ мкм² и $3\,798 \pm 92$ мкм² при тяжелой степени обезвоживания (табл. 4). Площадь сосудистых клубочков гипертрофированных мальпигиевых телец сохраняется увеличенной и составляет $3\,437 \pm 78$ мкм² по сравнению с показателями нормы. Площадь просвета капсулы Шумлянско-Боумана атрофических почечных телец увеличивается до 765 ± 25 мкм² за счет увеличения площади почечных телец и небольшой площади сосудистых клубочков, которая составляет $3\,033 \pm 115$ мкм².

Таблица 4

Морфометрические показатели структурных компонентов нефрона при тяжелой степени обезвоживания и в разные периоды реадaptации ($M \pm m$)

	Тяжелая степень обезвоживания	Период реадaptации			
		1-я неделя	3-я неделя	6-я неделя	12-я неделя
Ст	$Г\,4\,866 \pm 172$ $А\,3\,479 \pm 93$	$Г\,4\,721 \pm 204$ $А\,3\,550 \pm 112$	$Г\,4\,317 \pm 165$ $А\,3\,571 \pm 97$	$Г\,4\,271 \pm 150$ $А\,3\,677 \pm 116$	$Г\,4\,207 \pm 132$ $А\,3\,798 \pm 92$
Скл	$Г\,3\,781 \pm 117$ $А\,3\,114 \pm 86$	$Г\,3\,749 \pm 92$ $А\,2\,933 \pm 71$	$Г\,3\,382 \pm 107$ $А\,2\,880 \pm 65$	$Г\,3\,388 \pm 89$ $А\,3\,078 \pm 109$	$Г\,3\,437 \pm 78$ $А\,3\,033 \pm 115$
Ск-лы	$Г\,1\,085 \pm 45$ $А\,365 \pm 14$	$Г\,972 \pm 29$ $А\,617 \pm 21$	$Г\,935 \pm 34$ $А\,691 \pm 27$	$Г\,883 \pm 27$ $А\,599 \pm 20$	$Г\,770 \pm 27$ $А\,765 \pm 25$
hвПр	$6,58 \pm 0,23$	$7,50 \pm 0,19$	$8,23 \pm 0,24$	$8,61 \pm 0,23$	$8,80 \pm 0,31$
НшПр	$9,27 \pm 0,43$	$10,02 \pm 0,32$	$10,51 \pm 0,40^*$	$10,44 \pm 0,37^*$	$10,27 \pm 0,41^*$
СклПр	$61,0 \pm 2,1$	$75,1 \pm 2,6$	$86,5 \pm 3,3$	$89,9 \pm 2,8$	$90,4 \pm 3,5$
hвДс	$6,32 \pm 0,22$	$7,51 \pm 0,30$	$7,31 \pm 0,27$	$7,86 \pm 0,22$	$7,24 \pm 0,23$
НшДс	$9,90 \pm 0,37$	$8,33 \pm 0,34$	$8,90 \pm 0,32$	$9,62 \pm 0,37$	$10,15 \pm 0,41$
СклДс	$62,6 \pm 2,4$	$62,5 \pm 2,0$	$65,1 \pm 1,9$	$75,6 \pm 2,3$	$73,5 \pm 2,5^*$

Высота, ширина и площадь эпителиоцитов, которые образуют стенки дистальных канальцев, достоверно не отличаются от показателей как при 6, так и при 12-недельной реадaptации при средней степени обезвоживания (табл. 5) и составляют на 6-ю неделю $7,81 \pm 0,32$ мкм, $9,68 \pm 0,37$ мкм, $68,9 \pm 2,3$ мкм², а на 12-ю неделю эти показатели равны $7,20 \pm 0,44$ мкм, $9,71 \pm 0,36$ мкм, $74,72 \pm 1,9$ мкм². Аналогичная тенденция наблюдается в динамике изменений диаметров и площадей канальцев.

Субмикроскопические исследования коры почек через 12 недель реадaptации после показали, что несмотря на длительный срок эксперимента, в структуре части нефрона еще имеются патологические изменения. В отдельных сосудистых клубочках наблюдаются большие ядра эндотелиоцитов с высоким содержанием в кариоплазме рибосомальных гранул, неравномерным утолщением перинуклеарного пространства. В парануклеарной зоне цитоплазмы имеются гипертрофированные митохондрии, много рибосом, а также встречаются крупные вакуолеподобные структуры. Однако базальная мембрана четкая и трехслойная, хорошо выражена фенестрация периферических участков эндотелия. Цитоподии на отдельных участках небольшие, но плотно расположены и тесно контактиру-

ют с базальной мембраной, что способствует первой фазе мочеобразования – фильтрации. Отдельные трабекулы набухшие, просветленные, имеют деструктивно измененные органеллы.

Длительная регидратация положительно влияет на ультраструктуру канальцев. Четко структурно оформленная система микроворсинок на апикальной поверхности эпителиоцитов проксимального отдела, хорошо выраженная базальная «исчерченность» свидетельствуют об их активном функционировании.

ВЫВОДЫ

Результаты данного исследования показывают, что структурные компоненты нефрона тонко реагируют на нарушения водно-электролитного обмена организма изменением их структурной организации. Эти изменения значительны при тяжелой степени клеточного обезвоживания, для их восстановления требуется длительное время функционирования в оптимальных условиях внешней среды. Влияние неблагоприятного абиотического фактора вызвало, с одной стороны, некоторые деструктивные изменения в клетках, а с другой – стало причиной активизации компенсаторно-приспособительных реакций.

Морфометрические показатели структурных компонентов нефрона при средней степени обезвоживания и в разные периоды реадaptации ($M \pm m$)

	Средняя степень обезвоживания	Период реадaptации			
		1-я неделя	3-я неделя	6-я неделя	12-я неделя
Ст	$4\,509 \pm 152$	$4\,302 \pm 137$	$4\,141 \pm 148$	$3\,987 \pm 115^*$	$3\,988 \pm 129^*$
Скл	$3\,554 \pm 106$	$3\,354 \pm 98$	$3\,378 \pm 107$	$3\,208 \pm 124^*$	$3\,218 \pm 97^*$
Ск-лы	955 ± 29	952 ± 44	$763 \pm 37^*$	$779 \pm 41^*$	770 ± 39
hвПр	$7,65 \pm 0,21$	$5,81 \pm 0,19$	$8,24 \pm 0,27$	$6,80 \pm 0,30$	$6,61 \pm 0,27$
НшПр	$9,81 \pm 0,34$	$8,34 \pm 0,29$	$10,41 \pm 0,32$	$9,92 \pm 0,36$	$10,36 \pm 0,41$
СклПр	$75,0 \pm 3,1$	$78,1 \pm 3,4$	$88,9 \pm 4,4$	$95,7 \pm 2,3^*$	$96,44 \pm 3,9^*$
hвДс	$6,24 \pm 0,18$	$6,25 \pm 0,24$	$6,63 \pm 0,19$	$7,81 \pm 0,32^*$	$7,20 \pm 0,24^*$
НшДс	$10,15 \pm 0,40$	$8,31 \pm 0,32$	$9,65 \pm 0,41$	$9,27 \pm 0,37^*$	$9,71 \pm 0,36^*$
СклДс	$63,3 \pm 2,5$	$62,4 \pm 1,9$	$66,3 \pm 1,8$	$68,9 \pm 2,3^*$	$74,72 \pm 1,9^*$

ЛИТЕРАТУРА

- Агаджанян Н. А. Резервы нашего организма. М. : Медицина, 2000. 205 с.
- Банин В. В. Механизмы обмена внутренней среды. М. : Изд-во РГМУ, 2000. 276 с.
- Тихомиров А. Н., Стефанов С. Б. Об индексе изменений микроциркуляции при экспериментальном обезвоживании животных // Бюл. эксперимент. биологии и медицины, 1990. Т. 110. № 7. С. 26–28.
- Bouby N., Fernandes S. Mild Dehydration, Vasopressin and the Kidney: Animal and Human Studies // Eur J Clin Nutr. 2003. № 2. P. 39–46.
- Белкина Л. М., Попкова Е. В., Капелько В. И. Вариабельность параметров гемодинамики и устойчивость к стрессорным повреждениям у крыс разных линий // Рос. физиолог журн. им. И. М. Сеченова. 2006. № 2. С. 221–231.
- Боднар Я. Я. Анализ структурных кардиомиоцитов крыс при алиментарной дегидратации организма // Архив АГЭ. 1990. Т. 98. Вып. 5. С. 50–55.
- Hilliard L. M., Mirabito Colafella K. M., Bulmer L. L., Puellas V. G., Reetu R. S., Ow P. C., Drummond G. R., Evans R. G., Denton K. M. Chronic Recurrent Dehydration Associated with Periodic Water Intake Exacerbates Hypertension and Promotes Renal Damage in Male Spontaneously Hypertensive Rats // Scientific Reports. 2016. Vol. 6.
- Osmak M., Horwart D. Quantitative Correlation of Structure and Function in the Normal and Injured Rat Kidney // Mutat Res. 1992. Vol. 282. № 4. P. 259–263.
- Директива 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского Союза по защите животных, использующихся для научных целей. СПб. : Объединение специалистов по работе с лабораторными животными, 2012. 48 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Федонюк Лариса Ярославовна – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой медицинской биологии, Тернопольский государственный медицинский университет им. И. Я. Горбачевского, Украина; e-mail: fedonyuklj@tdmu.edu.ua.

Лобода Олег Юрьевич – кандидат медицинских наук, врач-уролог, заведующий хирургическим отделением поликлиники, Киевская клиническая больница № 2 железнодорожного транспорта, Украина; e-mail: oleg.loboda68@gmail.com.

Хавтур Вера Олеговна – ассистент кафедры медицинской биологии, Тернопольский государственный медицинский университет им. И. Я. Горбачевского, Украина; e-mail: khavtur@tdmu.edu.ua.

ABOUT THE AUTHORS

Larisa Ya. Fedonyuk – Doctor of Science (Medicine), Professor, Head Medical Biology Department, I. Horbachevsky Ternopil State Medical University, Ukraine; e-mail: fedonyuklj@tdmu.edu.ua.

Oleg Yu. Loboda – PhD (Medicine), Urologist, Head Department of Surgery, Kiev Clinical Hospital No 2 of Railway Service, Ukraine; e-mail: oleg.loboda68@gmail.com.

Vera O. Khavtur – Assistant Professor, Medical Biology Department, I. Horbachevsky Ternopil State Medical University, Ukraine; e-mail: khavtur@tdmu.edu.ua.