УДК 591.11:599.32

У. В. Доржу[1], Р. И. Айзман[1,2]

ОЦЕНКА ОБЪЕМНОЙ СКОРОСТИ ПОЧЕЧНОГО И КЛУБОЧКОВОГО КРОВОТОКА В ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ У КРЫС

[1]Тувинский государственный университет, г. Кызыл, Россия

[2]Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Используя классические и современные литературные сведения, авторы анализируют данные об основных этапах онтогенеза почки у млекопитающих и более подробно останавливаются на результатах изучения почечного кровотока. В статье приведены материалы, которые свидетельствуют об увеличении объемной скорости кровотока в развивающейся почке различных видов животных, а также об изменении скорости клубочковой фильтрации, измеренных различными методами в процессе постнатального онтогенеза.

Ключевые слова: *онтогенез, объемная скорость кровотока, клубочек, почки, лазер-допплер флоуметрия, крыса, артериолы.*

Актуальность исследуемой проблемы. Почка млекопитающих – мультифункциональный орган, обеспечивающий поддержание главных физико-химических показателей внутренней среды. Основой для ее эффективной деятельности является адекватный уровень кровоснабжения и ультрафильтрации. Формирование окончательной метанефротической почки осуществляется в постнатальном онтогенезе, вплоть до завершения винннинга, перехода на самостоятельное питание. Для анализа процесса формирования гомеостатической функции почки в постнатальном онтогенезе важное значение приобретает изучение особенностей почечного кровотока и реакции на сдвиги водно-электролитного равновесия.

Ранее полученные данные об онтогенезе кровотока в целой почке и в отдельных клубочках позволили составить представление об основных закономерностях изменения

© Доржу У. В., Айзман Р. И., 2018

Доржу Урана Валериевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности Тувинского государственного университета, г. Кызыл, Россия; e-mail: shurava82@mail.ru

Айзман Роман Иделевич – доктор биологических наук, профессор кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности Тувинского государственного университета, г. Кызыл, Россия; заведующий кафедрой анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности Новосибирского государственного педагогического университета, г. Новосибирск, Россия; e-mail: aizman@mail.ru

Статья поступила в редакцию 22.09.2017

размеров, плотности клубочков и перераспределения объемов кровоснабжения коркового и мозгового вещества [6, с. 1320], [7, с. 1455], [11], [13, с. 798], [17, с. 414], [20], [25, с. 2889]. Однако из-за методических трудностей измерения гемодинамических показателей, особенно у маленьких лабораторных животных, многие вопросы остаются нерешенными. В частности, недостаточны данные о количественной связи структурных параметров клубочка с объемной скоростью почечного кровотока в процессе постнатального созревания почки.

Увеличение скорости клубочковой фильтрации [4, с. 54] по мере постнатального развития многие исследователи связывают с увеличением объемной скорости кровотока [1, с. 40–45], [3, с. 135], [2, с. 36], [34, с. 98]. Эти показатели разрозненны и неоднозначны. Поэтому целью нашей работы является оценка объемной скорости кровотока в почках крыс разного возраста.

Материал и методика исследований. *Морфометрия.* Для визуализации сосудов почки в грудную аорту крысы (после забоя эфиром) вводили через пластиковую канюлю разогретый 10 % раствор желатины, окрашенный тушью. После заполнения сосудов этой смесью тушку для фиксации тканей помещали в 5 % раствор формалина. В криостате приготовляли фронтальные срезы средней части почки толщиной 70–150 мкм, помещали их на предметное стекло, просветляли глицерином и покрывали покровным стеклом. У каждой крысы под лупой МБС-2 в 5–10 полях зрения, с помощью окулярной сетки определяли относительную площадь корковой и мозговой зон.

Под микроскопом МБИ-15 примерно в тех же полях зрения находили поперечные срезы клубочков, в которых были видны просветы афферентных и эфферентных артериол, и измеряли диаметры (D) клубочков и артериол. Общая площадь измеренных участков почки у каждой особи составляла 0,8 мм^2 для 4- и 12-суточных крыс и 4,1 мм^2 – для 30- и 65-суточных крыс. После описанных измерений определяли толщину среза.

Плотность и число клубочков. Измерение этих параметров у всех исследователей, в том числе и у нас, основано на оценке площади профилей клубочков в срезе, с учетом его толщины и объема. Поэтому ошибки в конечных результатах отчасти обусловлены точностью измерения этих двух параметров [28].

Лазер-допплер флоуметрия. Этим методом была измерена объемная скорость кровотока в почках у 12- и 65-суточных крыс (ЛАКК-01, НПП «Лазма», Москва) с базовым (кожным) зондом. Для измерения кровотока крыс наркотизировали нембуталом (40–70 мг/кг внутрибрюшинно), после чего фиксировали на столике, обнажали с дорсальной стороны правую почку, орошали ее питательной средой 199 и накрывали полиэтиленовой пленкой толщиной 50 мкм. Затем животное помещали в обогреваемую камеру (бокс объемом 136 л), в которой поддерживалась температура в пределах 28–33 ^{o}C и повышенная влажность (на дне бокса помещалась плоская кювета с водой).

Измерения кровотока начинали через 20±1.4 мин (данные по 50 животным) после окончания хирургической операции. На каждой крысе проводили два измерения в разных участках почки с интервалом 15–20 мин и высчитывали среднюю величину.

Статистическая обработка данных проводилась стандартными методами. В работе приведены средняя арифметическая (M), ее ошибка (m) и коэффициент вариации, коэффициент корреляции (r). Достоверность изменений оценивалась по критерию Стьюдента при $p \leq 0.05$.

Результаты исследований и их обсуждение. Данные таблицы 1 показывают, что с возрастом диаметр клубочков увеличивается, при этом коэффициент вариации его снижается: от 20–23 % до 9 %. По мере роста животного плотность клубочков в коре и во всей почке снижается, однако объем, занимаемый ими, растет и в коре равен 1,7 %, 2,3 %, 5,3 % и 4,7 % объема коры соответственно. Общее число клубочков в почках меняется мало – на 29 %, если сравнивать новорожденных и взрослых крыс. Однако в течение первого месяца жизни это число несколько увеличивается, что обусловлено сохраняющейся высокой плотностью клубочков в коре и увеличением ее относительного объема. Об увеличении диаметра клубочков также свидетельствуют и другие исследования [31, с. 283].

Диаметры афферентных и эфферентных артериол в постнатальном онтогенезе увеличиваются, что совпадает с полученными данными. Так, у крыс Вистар он равнялся для афферентной артериолы 15,4 мкм [31] и 14 мкм, а для эфферентной – 12 мкм [21]; у кроликов диаметр афферентной артериолы также превышал диаметр эфферентной – 14,1 мкм и 9,7 мкм [24]; у мыши диаметр клубочков – 80 мкм [27], афферентной артериолы –8,8 мкм [29]. По нашим данным, у крыс за этот период жизни просвет афферентной артериолы увеличился в 3 раза, а эфферентной – в 1,6 раза.

Таблица 1

Параметры почечных клубочков у крыс разного возраста

Возраст	D клубочка, мкм (n_1)	Число клубочков (n_2)		D артериол, мкм (n_3)	
		1 мм^3 коры	1 мм^3 почки	афферентная	эфферентная
4 сут (4, 10 г)	33±1.1 (37)	868±85	447±36 (17)	7.2±0.4 (34)	5.8±0.4^{x} (20)
12 сут (3, 20 г)	43±2.3* (19)	559±71	312±35* (14)	7.5±0.4 (19)	5.9±0.3^{x} (17)
30 сут (3, 53 г)	71±2.0* (41)	281±30	191±29* (19)	10±0.2^{*x} (41)	6.7±0.4^{*x} (41)
65 сут (3, 253 г)	120±1.1* (90)	53±2.9	27±1.7* (19)	13±0.5^{*x} (90)	7.5±0.4^{*x} (90)

Примечания:

1. В первой графе в скобках – число крыс и их средняя масса тела.
2. n_1, n_2 и n_3 – количество измеренных клубочков, срезов и артериол.
3. Для оценки общего числа клубочков в почках использовали их относительную массу и массу тела животных из таблицы 1, удельный вес почек принят равным 1,1 г/см^3.
4. Приведено достоверное различие по сравнению с предыдущей возрастной группой крыс (*) и между афферентной и эфферентной артериолами (^{x}) при $p \leq 0.05$.

Объемная скорость кровотока в почках (табл. 2) с возрастом увеличивается как на единицу ее массы (в 2,8 раза), так и в целом на почку (в 44 раза). Увеличение общего кровотока в большей степени обусловлено увеличением массы почек за этот период – в 16,3 раза.

Таблица 2

Почечный кровоток у крыс разного возраста

Возраст, сутки (n)	Масса			Кровоток, пф. ед.
	тела, г	почек, мг	почек, %	
4 (16)	9±0.3	94±4	1.05±0.03	22±1.7
12 (14)	26±1.4*	298±16*	1.14±0.04	31±1.7*
30 (10)	71±3.6*	689±22*	0.99±0.05*	55±1.6*
65 (14)	176±56*	1531±48*	0.87±0.03*	61±2.2*

* – достоверное различие скоростей кровотока с группой более молодых крыс для $p \leq 0.05$.

У взрослых млекопитающих, особенно лабораторных, почечный кровоток многократно измеряли самыми разными методами и его величину в 100 г почки в условиях покоя, наркоза находили в пределах 260–560 мл/мин (у крыс), 300–590 (у собак) мл/мин [5, с. 371], [33, с. 771]. Среди органов, требующих значительных потоков крови, почки имеют самый высокий кровоток [38, с. 633]. Интересно, что его величина сохраняется в ряду млекопитающих вне зависимости от их массы тела (Мт), хотя минутный объем кровообращения (МОК) у них в расчете на единицу Мт падает с ее увеличением. Показано, что почечная доля МОК увеличивается в постнатальном онтогенезе с 3 до 13 % [6, с. 1321].

Данных о динамике почечного кровотока в постнатальном онтогенезе мало, и они не однотипны. Отчасти это может быть связано с разными методами определения почечного кровотока. Поэтому коротко остановимся на тех методах, которые использовались исследователями (табл. 3).

Таблица 3

Объемная скорость почечного кровотока (ОСК, мл/мин·100 г почки) у животных и человека в онтогенезе (литературные данные)

	Возраст, Мт	ОСК	Автор и метод измерения
Крыса	1–3 сут, 8 г	278	Horster, Lewy, 1970 [14] Клиренс ПАГ, наркоз
	8–10 сут, 19 г	253	
	16–18 сут, 45 г	212	
	17–22 сут, 43 г	160	Aperia, Herin, 1975 [6] РМС при МОК 58, 74 и 72 мл / (мин·100 г почки), наркоз
	23–28 сут, 63 г	300	
	33–60 сут, 225 г	535	
Собака	1–7 сут, 0,4 кг	38	Aschinberg et al., 1975 [7] Клиренс Xe и Kr
	19–31 сут, 1,3 кг	98	
	38–70 сут, 2,9 кг	193	
	≤1,5 сут, 0,4 кг	43	Olbing et al., 1975 [25] РМС, МОК не указан
	6 нед., 2,4 кг	207	
	Взрослая, 24 кг	377	
Человек	1–2 сут, -	25	Calcagno, Rubin, 1963, цит. по: Corey, Spitzer, 1992 [10] Клиренс ПАГ
	1–2 нед., -	50	
	5–12 мес., -	116	
	1–3 лет, -	188	
	Взрослый, -	430–660	Шошенко, 1975 [5]

Примечание: РМС – радиоактивные микросферы диаметром 15 мкм.

Один из ранних методов – оценка скорости вымывания из почки быстро диффундирующих через капиллярную стенку инертных газов криптона (Kr^{84}) или ксенона (Xe^{133}). Эти газы вводят в артериальную кровь и после насыщения ими почки датчиком, расположенным на ее поверхности, измеряют ее гамма-радиоактивность. Скорость вымывания газа из почечной ткани пропорциональна объемной скорости кровотока в ней. Так как гамма-лучи проникают на значительную глубину почки, то можно считать, что кровоток измеряется по всему объему почки [12], [19, с. 32], [23, с. 683], [35, с. 270].

Для измерения кровотока в почках используют ее способность секретировать парааминогиппуровую кислоту (ПАГ) или диодраст. При низких концентрациях в артериальной плазме эти вещества не подвергаются накоплению или внутрипочечному метаболизму, а в основном выделяются почечными канальцами, и их концентрация в венах близка к 0. Так как экстракция ПАГ не совсем полная, то она характеризует эффективный почечный плазмоток или кровоток, если учесть гематокрит [8, с. 128], [18, с. 475], [37, с. 595].

Измерение кровотока с помощью радиоактивных микросфер (РМС) или рубидия-86 позволяют вычислить долю метки, введенной в аорту, которая осталась в почках после протекания через нее крови. Для перевода этой доли в размерности кровотока необходимо знать величину всего сердечного выброса – минутный объем кровообращения (МОК), который определяется в специальных опытах.

Тщательные методические работы, проведенные на почках с РМС диаметром 15 мкм, показали, что у взрослых собак (крупных млекопитающих с относительно большой почкой) концентрация таких сфер (как показатель удельной скорости кровотока) в коре снижается, начиная с поверхности, и в мозговом слое становится равной нулю [15, с. 68]. У новорожденных щенков их концентрация и кратность снижения в коре существенно меньше, но в мозговом слое метки также не находят [7, с. 1455], [16, с. 1907], [25, с. 2889], [32]. У взрослых кроликов микросферы почти равномерно распределяются в почечной коре, но они отсутствуют в мозговом слое [36, с. 53]. Похожие исследования почек у взрослых крыс выявляют значительно меньшую неравномерность в кровоснабжении почечной коры, однако метки в мозговом отделе также не находят [8, с. 128], [22, с. 236], [26]. Заметим, что сравнительная величина кровотока в почечной коре соответствует плотности расположенных в ней клубочков [6, с. 1321].

Работы с использованием радиоактивных микросфер и клиренса радиоактивных газов (табл. 3) показывают, что кровоток в почках после рождения к зрелому возрасту у животных растет многократно. Данные с клиренсом ПАГ у человека показывают такую же динамику. В то же время у крыс клиренс ПАГ не обнаружил возрастного повышения почечного кровотока, что, по-видимому, обусловлено несовершенством этого метода.

Используя величину 400 мл/100 г в 1 мин и кратность изменения кровотока в онтогенезе крыс (табл. 1), проведем расчеты, ориентировочно описывающие процессы, происходящие в почке.

Из таблицы 4 видно, что поток крови через клубочек с возрастом растет в 45 раз и у взрослых крыс составляет 163 нл, что близко к литературным данным: 233 нл [6] и 261 нл [9]. Примерно также увеличивается и средний объем клубочка (в 48 раз).

Таблица 4

Расчетные параметры онтогенетических изменений почечного кровотока у крыс

Возраст	Кровоток в мин		Скорость кровотока в артериолах, мм/с	
	мл/100 г почки	нл/клубочек	афферентные	эфферентные
4 сут	148	3,6	1,5	2,3
12 сут	206	7,3	2,7	4,2
30 сут	361	20,1	4,3	9,6
65 сут	400	163	20,4	61,1

Примечания:
1. В расчетах использованы данные таблицы 1.
2. Кровоток в почке взрослых крыс принят равным 400 мл/(мин·100 г).

Просвет клубочковых артериол, особенно эфферентной, растет меньше, чем поток крови через клубочек. Поэтому линейная скорость кровотока в них увеличивается в 14 и 27 раз (в афферентной и эфферентной артериолах), хотя поток крови через клубочек возрастает в 45 раз. Если считать, что линейная скорость кровотока в клубочковых капиллярах с возрастом не меняется, а просвет их увеличивается с возрастом в 2 раза, то число капилляров в клубочке должно увеличиться за этот период у наших крыс в 23 раза. Если судить по изменению кровотока в клубочке (табл. 3), то при неизменной линейной скорости кровотока в них число капилляров в клубочке за этот период должно вырасти, примерно в 23 раза. Такую же кратность числа клубочковых капилляров у 4- и 65-суточных крыс мы рассчитали по морфологическим данным при условии неизменной с возрастом длины капилляра в 50 мкм:

4 сут	12 сут	30 сут	65 сут
11 (4716)	21 (6552)	66 (12579)	234 (6308).

Более вероятно, что с возрастом его длина увеличивается, примерно втрое до 150 мкм, соответствуя изменению диаметра клубочка. Заметим, что такое удлинение даже расширенного капилляра повышает его сопротивление кровотоку.

Резюме. Обзор литературы показывает, что исследования кровотока в почках в постнатальном онтогенезе в основном проводились в 70–90 гг. XX века. Они получены на лабораторных животных и доказывают, что с возрастом объемная скорость кровотока на единицу массы почек многократно увеличивается. В процессе постнатального роста крыс (4–65 сут) увеличивается скорость почечного кровотока (в единице объема почки – в 2,8 и во всей почке – в 44 раза). Средние диаметры клубочка также увеличиваются (в 3,6 раза), афферентной и эфферентной артериол – в 1,8 и в 1,3 раза соответственно, однако плотность клубочков снижается в 16 раз. Расчеты показывают, что поток крови в клубочек увеличивается пропорционально его объему (в 45 и 48 раз), а линейная скорость в афферентной и эфферентной артериолах повышается в 14 и 27 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Айзман Р. И.* Онтогенез водно-солевого обмена и функций почек. – Новосибирск : Изд-во НГПИ, 1990. – 48 с.

2. *Варшавский Б. Я.* Динамика изменений активности систем клубочковой фильтрации и канальцевой секреции в раннем постнатальном онтогенезе у собак // Онтогенез почки. – Новосибирск : Изд-во НГПИ, 1984. – С. 34–45.

3. *Варшавский Б. Я.* Динамика становления клубочковой фильтрации почек в раннем постнатальном периоде у собак // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 1976. – Т. 12(2). – С. 134–138.

4. *Длоуга Г.* Микропункционное исследование некоторых показателей функции почки крыс в процессе развития // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 1975 – Т. 11(1). – С. 53–57.

5. *Шошенко К. А.* Кровеносные капилляры. – Новосибирск : Наука, 1975. – 373 с.

6. *Aperia A., Herin P.* Development of glomerular perfusion rate and nephron filtration rate in rats 17–60 days old // American Journal of Physiology. – 1975. – Vol. 228(5). – P. 1319–1325.

7. *Ashinberg L. S., Goldsmith D. I., Olbing H., Spitzer A., Edelman C. M., Blaufox M. D.* Neonatal changes in renal blood flow distribution in puppies // American Journal of Physiology. – 1975. – Vol. 228(5). – P. 1453−1461.

8. *Bankir L., Trinh Trang Tan M.-M., Grunfeld J.-P.* Measurement of glomerular blood flow in rabbits and rats: erroneous findings with 15 μm microspheres // Kidney International. – 1979. – Vol. 15. – P. 126–133.

9. *Chenitz W. R., Nevins B. A., Hollenderg N. K.* Preglomerular resistance and glomerular perfusion in the rat and dog // American Journal of Physiology. – 1976. – Vol. 231(3). – P. 961–966.

10. *Corey H. E., Spitzer A.* Renal blood flow and glomerular filtration rate during development // Pediatric kidney disease. Vol. 1 : The kidney and urinary tract: Development, morphology, and physiology in health and disease. – Boston, 1992. – P. 49–77.

11. *Falk G.* Maturation of renal function in infant rats // American Journal of Physiology. – 1955. – Vol. 181. – P. 157–170.

12. *Hope A., Glausen G., Aukland K.* Intrarenal distribution of blood flow in rats determined by 12 I-iodoantipyrine uptake // Circular Research. – 1976. – Vol. 39(3) – P. 362–370.

13. *Horster M., Kemler B. J., Valtin H.* Intracortical distribution of number and volume of glomeruli during postnatal maturation in the dog // Journal Clinical Investigation. – 1971. – Vol. 50. – P. 796–800.

14. *Horster M., Lewy J. E.* Filtration fraction and extraction of PAH during neonatal period in the rat // American Journal of Physiology. – 1975. – Vol. 219(4) – P. 1061–1065.

15. *Ichikawa I., Hollenberg N. K.* Renal blood flow, afferent vascular resistance, and estimated glomerular capillary pressure in the nonexposed rat kidney // Circular Research. – 1977. – Vol. 41. – P. 67–73.

16. *Katz M. A., Blantz R. C., Rector F. C., Seldin D. W.* Measurement of intrarenal blood flow. 1. Analysis of microsphere method // American Journal of Physiology. – 1971. – Vol. 220(6). – P. 1903–1913.

17. *Kleinman L. I., Lubbe R. J.* Factors affecting the maturation of renal PAH extraction in the newborn dog // Journal of Physiology. – 1972. – Vol. 223. – P. 411–418.

18. *Knox F. G., Ritman E. L.* The intrarenal distribution of blood flow: evolution of a new approach to measurement // Kidney International. – 1984. – Vol. 25(3). – P. 473–479.

19. *Ladefoged J., Pedersen F.* Renal blood flow in isolated kidneys measured with an electromagnetic flowmeter and by xenon-133 and krypton-85 wash-out techniques // Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere. – 1968. – Vol. 299. – P. 30–37.

20. *Loutzenhiser R., Chilton L., Trottier G.* Membrane potential measurements in renal afferent and efferent arterioles: actions of angiotensin II // American Journal of Physiology. Renal Physiology. – 1997. – Vol. 273. – P. 307–314.

21. *Lucas S. R. R., Costa Silva V. L., Miraglia S. M., Gil F. Z.* Functional and morphometric evaluation of offspring kidney after intrauterine undernutrition // Pediatric Nephrology. – 1997. – Vol. 11. – P. 719–723.

22. *Mimran A., Casellas D.* Microsphere size and determination of intrarenal blood flow distribution in the rat // Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere. – 1979. – Vol. 382. – P. 233–240.

23. *Mowat P., Lupu A. N., Maxwell M. H.* Limitations of ^{133}Xe washout technique in estimation of renal blood flow // American Journal of Physiology. – 1972. – Vol. 223(3). – P. 682–688.

24. *Nyengaard J. R.* Number and dimensions of rat glomerular capillaries in normal development and after nephrectomy // Kidney International. – 1993. – Vol. 43(5). – P. 1049–1057.

25. *Olbing H., Blaufox M. D., Ashinberg L. C.* Postnatal changes in renal glomerular blood flow distribution on in puppies // Journal Clinical Investigation. – 1973. – Vol. 52. – P. 2885–2895.

26. *Poujeol P., Chabardés D., Bonvalet J. P., de Rouffignac C.* Microspheres: new method of use in the study of the intracortical distribution of renal blood flow. Results in the normal rat and with a sodium overload // Journal of Physiology (Paris). – 1972. – Vol. 65, Suppl. 3. – P. 481.

27. *Prothero J.* Heart weight as a function of body weight in mammals, Growth. – 1979. – Vol. 43(3). – P. 139–150.

28. *Sanden S. K., Wiggins J. E., Meera Goyal, Riggs L. K., Wiggins R. C.* Evalution of a thick and thin section method for estimation of podocite number, glomerular volume per podocite in rat kidney with Wilms, Tumor-1 protein used as a podocyte nuclear marker // Journal of the American Society of Nephrology. – 2003. – Vol. 14. – P. 2484–2493.

29. *Sanders M. W., Fazzi G. E., Janssen G. M. J., De Leeuw P. W., Blanco C. E., De May J. G. R.* Reduced uteroplacental blood flow alters renal arterial reactivity and glomerular properties in the rat offspring // Hypertension. – 2004. – Vol. 43. – P. 1283–1289.

30. *Skov K., Mulvany M. J., Korsgaard N.* Morphology of renal afferent arterioles in spontaneously hypertensive rats // Hypertension. – 1992. – Vol. 20. – P. 821–827.

31. *Spitzer A., Brandis M.* Functional and morphologic maturation of the superficial nephrons. Relationship to total kidney function // Journal Clinical Investigation. – 1974. – Vol. 53. – P. 279–287.

32. *Stein J. H., Ferris T. F., James E., Huprich H., Smith T. C., Osgood R. W.* Effect of renal vasodilatation on the distribution of cortical blood flow in the kidney of the dog // Journal Clinical Investigation. – 1979. – Vol. 50. – P. 1429–1438.

33. *Steinhausen M., Endlich K., Wiegman D. L.* Glomerular blood flow // Kidney International. – 1990. – Vol. 38(5). – P. 769–784.

34. *Tucker B. J., Blantz R. C.* Factors determining superficial nephron filtration in the mature, growing rat // American Journal of Physiology. – 1977. – Vol. 232(2). – P. 97–104.

35. *Visscher C. A., Zeeuw D. De., Navis G., van Zanten A.K., Jong P. E. de., Huisman R. M.* Renal 131–1 hippurate clearance overstimates true renal blood flow in the instrumented conscious dog // American Journal of Physiology. – 1996. – Vol. 272. – P. 269–274.

36. *Warren D. J., Ledingham G. G.* Measurement of intrarenal blood-flow distribution in the rabbit using radioactive microspheres // Clinical science and Molecular Medicine. – 1975. – Vol. 48. – P. 51–60.

37. *Yarger W. E., Boyd M. A., Schrader N. W.* Evaluation of methods of measuring glomerular and nutrient blood flow in rat kidneys // American Journal of Physiology. – 1978. – Vol. 235(5). – P. 592–600.

38. *Yao L. P., Jose P. A.* Developmental renal hemodynamics // Pediatric Nephrology. – 1995. – Vol. 9(5). – P. 632–637.

UDC 591.11:599.32

U. V. Dorzhu[1], R. I. Aizman[1,2]

ESTIMATION OF RENAL BLOOD FLOW AND GLOMERULAR THE FLOW RATE IN POSTNATAL ONTOGENESIS AT THE RATS

[1]Tuvan State University, Kyzyl, Russia

[2]Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

Abstract. Using some classical and modern information, the authors analyze the data on the main stages of ontogenesis of the kidney in mammals and dwell on the results of the study of renal blood flow. The article contains the materials that testify to an increase in the volumetric blood flow velocity in the developing kidney of various animal species, as well as the changes in the glomerular filtration rate measured by various methods in the process of postnatal ontogenesis.

© Dorzhu U. V., Aizman R. I., 2018

Dorzhu, Urana Valerievna – Candidate of Biology, Associate Professor of the Department of Anatomy, Physiology and Life Safety, Tuva State University, Kyzyl, Russia; e-mail: shurava82@mail.ru

Aizman, Roman Idelevich – Doctor of Biology, Professor of the Department of Anatomy, Physiology and Life Safety, Tuva State University, Kyzyl, Russia; Doctor of Biology, Professor, Head of the Department of Anatomy, Physiology and Life Safety, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia; e-mail: aizman@mail.ru

The article was contributed on September 22, 2017

Keywords: *ontogenesis, volumetric blood flow, glomerulus, kidney, lazer-doppler flowmetere, rat, arterioles.*

REFERENCES

1. *Ajzman R. I.* Ontogenez vodno-solevogo obmena i funkcij pochek. – Novosibirsk : Izd-vo NGPI, 1990. – 48 s.

2. *Varshavskij B. Ya.* Dinamika izmenenij aktivnosti sistem klubochkovoj fil'tracii i kanal'cevoj sekrecii v rannem postnatal'nom ontogeneze u sobak // Ontogenez pochki. – Novosibirsk : Izd-vo NGPI, 1984. – S. 34–45.

3. *Varshavskij B. Ya*. Dinamika stanovleniya klubochkovoj fil'tracii pochek v rannem postnatal'nom periode u sobak // Zhurnal evolyucionnoj biokhimii i fiziologii. – 1976. – T. 12(2). – S. 134–138.

4. *Dlouga G.* Mikropunkcionnoe issledovanie nekotorykh pokazatelej funkcii pochki krys v processe razvitiya // Zhurnal evolyucionnoj biokhimii i fiziologii. – 1975 – T. 11(1). – S. 53–57.

5. *Shoshenko K. A.* Krovenosnye kapillyary. – Novosibirsk : Nauka, 1975. – 373 s.

6. *Aperia A., Herin P.* Development of glomerular perfusion rate and nephron filtration rate in rats 17–60 days old // American Journal of Physiology. – 1975. – Vol. 228(5). – P. 1319–1325.

7. *Ashinberg L. S., Goldsmith D. I., Olbing H., Spitzer A., Edelman C. M., Blaufox M. D.* Neonatal changes in renal blood flow distribution in puppies // American Journal of Physiology. – 1975. – Vol. 228(5). – P. 1453−1461.

8. *Bankir L., Trinh Trang Tan M.-M., Grunfeld J.-P.* Measurement of glomerular blood flow in rabbits and rats: erroneous findings with 15 μm microspheres // Kidney International. – 1979. – Vol. 15. – P. 126–133.

9. *Chenitz W. R., Nevins B. A., Hollenderg N. K.* Preglomerular resistance and glomerular perfusion in the rat and dog // American Journal of Physiology. – 1976. – Vol. 231(3). – P. 961–966.

10. *Corey H. E., Spitzer A.* Renal blood flow and glomerular filtration rate during development // Pediatric kidney disease. Vol. 1 : The kidney and urinary tract: Development, morphology, and physiology in health and disease. – Boston, 1992. – P. 49–77.

11. *Falk G.* Maturation of renal function in infant rats // American Journal of Physiology. – 1955. – Vol. 181. – P. 157–170.

12. *Hope A., Glausen G., Aukland K.* Intrarenal distribution of blood flow in rats determined by 12 I-iodoantipyrine uptake // Circular Research. – 1976. – Vol. 39(3) – P. 362–370.

13. *Horster M., Kemler B. J., Valtin H.* Intracortical distribution of number and volume of glomeruli during postnatal maturation in the dog // Journal Clinical Investigation. – 1971. – Vol. 50. – P. 796–800.

14. *Horster M., Lewy J. E.* Filtration fraction and extraction of PAH during neonatal period in the rat // American Journal of Physiology. – 1975. – Vol. 219(4) – P. 1061–1065.

15. *Ichikawa I., Hollenberg N. K.* Renal blood flow, afferent vascular resistance, and estimated glomerular capillary pressure in the nonexposed rat kidney // Circular Research. – 1977. – Vol. 41. – P. 67–73.

16. *Katz M. A., Blantz R. C., Rector F. C., Seldin D. W.* Measurement of intrarenal blood flow. 1. Analysis of microsphere method // American Journal of Physiology. – 1971. – Vol. 220(6). – P. 1903–1913.

17. *Kleinman L. I., Lubbe R. J.* Factors affecting the maturation of renal PAH extraction in the newborn dog // Journal of Physiology. – 1972. – Vol. 223. – P. 411–418.

18. *Knox F. G., Ritman E. L.* The intrarenal distribution of blood flow: evolution of a new approach to measurement // Kidney International. – 1984. – Vol. 25(3). – P. 473–479.

19. *Ladefoged J., Pedersen F.* Renal blood flow in isolated kidneys measured with an electromagnetic flowmeter and by xenon-133 and krypton-85 wash-out techniques // Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere. – 1968. – Vol. 299. – P. 30–37.

20. *Loutzenhiser R., Chilton L., Trottier G.* Membrane potential measurements in renal afferent and efferent arterioles: actions of angiotensin II // American Journal of Physiology. Renal Physiology. – 1997. – Vol. 273. – P. 307–314.

21. *Lucas S. R. R., Costa Silva V. L., Miraglia S. M., Gil F. Z.* Functional and morphometric evaluation of offspring kidney after intrauterine undernutrition // Pediatric Nephrology. – 1997. – Vol. 11. – P. 719–723.

22. *Mimran A., Casellas D.* Microsphere size and determination of intrarenal blood flow distribution in the rat // Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere. – 1979. – Vol. 382. – P. 233–240.

23. *Mowat P., Lupu A. N., Maxwell M. H.* Limitations of ^{133}Xe washout technique in estimation of renal blood flow // American Journal of Physiology. – 1972. – Vol. 223(3). – P. 682–688.

24. *Nyengaard J. R.* Number and dimensions of rat glomerular capillaries in normal development and after nephrectomy // Kidney International. – 1993. – Vol. 43(5). – P. 1049–1057.

25. *Olbing H., Blaufox M. D., Ashinberg L. C.* Postnatal changes in renal glomerular blood flow distribution on in puppies // Journal Clinical Investigation. – 1973. – Vol. 52. – P. 2885–2895.

26. *Poujeol P., Chabardés D., Bonvalet J. P., de Rouffignac C.* Microspheres: new method of use in the study of the intracortical distribution of renal blood flow. Results in the normal rat and with a sodium overload // Journal of Physiology (Paris). – 1972. – Vol. 65, Suppl. 3. – P. 481.

27. *Prothero J.* Heart weight as a function of body weight in mammals, Growth. – 1979. – Vol. 43(3). – P. 139–150.

28. *Sanden S. K., Wiggins J. E., Meera Goyal, Riggs L. K., Wiggins R. C.* Evalution of a thick and thin section method for estimation of podocite number, glomerular volume per podocite in rat kidney with Wilms, Tumor-1 protein used as a podocyte nuclear marker // Journal of the American Society of Nephrology. – 2003. – Vol. 14. – P. 2484–2493.

29. *Sanders M. W., Fazzi G. E., Janssen G. M. J., De Leeuw P. W., Blanco C. E., De May J. G. R.* Reduced uteroplacental blood flow alters renal arterial reactivity and glomerular properties in the rat offspring // Hypertension. – 2004. – Vol. 43. – P. 1283–1289.

30. *Skov K., Mulvany M. J., Korsgaard N.* Morphology of renal afferent arterioles in spontaneously hypertensive rats // Hypertension. – 1992. – Vol. 20. – P. 821–827.

31. *Spitzer A., Brandis M.* Functional and morphologic maturation of the superficial nephrons. Relationship to total kidney function // Journal Clinical Investigation. – 1974. – Vol. 53. – P. 279−287.

32. *Stein J. H., Ferris T. F., James E., Huprich H., Smith T. C., Osgood R. W.* Effect of renal vasodilatation on the distribution of cortical blood flow in the kidney of the dog // Journal Clinical Investigation. – 1979. – Vol. 50. – P. 1429–1438.

33. *Steinhausen M., Endlich K., Wiegman D. L.* Glomerular blood flow // Kidney International. – 1990. – Vol. 38(5). – P. 769−784.

34. *Tucker B. J., Blantz R. C.* Factors determining superficial nephron filtration in the mature, growing rat // American Journal of Physiology. – 1977. – Vol. 232(2). – P. 97–104.

35. *Visscher C. A., Zeeuw D. De., Navis G., van Zanten A.K., Jong P. E. de., Huisman R. M.* Renal 131 1 hippurate clearance overstimates true renal blood flow in the instrumented conscious dog // American Journal of Physiology. – 1996. – Vol. 272. – P. 269−274.

36. *Warren D. J., Ledingham G. G.* Measurement of intrarenal blood-flow distribution in the rabbit using radioactive microspheres // Clinical science and Molecular Medicine. – 1975. – Vol. 48. – P. 51–60.

37. *Yarger W. E., Boyd M. A., Schrader N. W.* Evaluation of methods of measuring glomerular and nutrient blood flow in rat kidneys // American Journal of Physiology. – 1978. – Vol. 235(5). – P. 592–600.

38. *Yao L. P., Jose P. A.* Developmental renal hemodynamics // Pediatric Nephrology. – 1995. – Vol. 9(5). – P. 632−637.