

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ДИАПАЗОН ПОЧКИ ПОСЛЕ ТРАВМЫ НИЗКОЙ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ: РАНДОМИЗИРОВАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

¹К. А. Чиглинцев^{✉*}, ¹А. В. Зырянов[✉], ²А. Ю. Чиглинцев[✉], ¹А. А. Макарян[✉]

¹Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

²Медицинский диагностический центр «Арника», Челябинск, Россия

ВВЕДЕНИЕ: В основе реабилитации почек после травмы лежит восстановление процессов кровоснабжения и микроциркуляции.

ЦЕЛЬ: Методами радионуклидной диагностики установить показатели функциональной активности почек в посттравматическом периоде.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Верификация степени тяжести (1–3) и сегментарной локализации травмы почки выполнялась лучевыми методами у 196 пострадавших. Методом статической сцинтиграфии определены общая функция почки, ее дефицит, методом динамической сцинтиграфии — васкуляризация почек (%), скорость клубочковой фильтрации, транзит радиофармпрепарата в паренхиме. Исследование проведено в ближайшем (до 30 суток) и отдаленном (до 6 месяцев) периодах после травмы. *Статистика:* Статистический анализ проводился с помощью пакетов программ Statistica 6/0; Excel Microsoft Office. При нормальном распределении переменных, для определения различий между двумя независимыми группами, использовали парный t-критерий Стьюдента. Надежность используемых статистических оценок принималась не менее 95%.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Полученные данные демонстрируют, что объем вовлеченной в повреждение паренхимы и тяжесть травмы определяют функциональную активность почки. Потеря общей функции почки установлена при увеличении площади повреждения до 3 сегментов — $23,7 \pm 0,4\%$ в ближайшем периоде после травмы и $16,0 \pm 0,4\%$ в отдаленном периоде. В случаях разрывов паренхимы потеря общей функции составляла $7,1 \pm 0,3\%$, но только в ближайшем периоде после травмы. Суммарный кровоток в скомпрометированном органе значимо страдал только при травме 3 сегментов на изученных сроках наблюдения, соответственно: $34,9 \pm 1,0$ и $41,8 \pm 0,4\%$. Снижение СКФ отмечено в отдаленном посттравматическом периоде при максимальной зоне контузии ($38,3 \pm 1,6$ мл/мин) и разрушении участка почки ($44,4 \pm 1,6$ мл/мин).

ОБСУЖДЕНИЕ: При травматических нарушениях гемодинамики, ведущих к развитию области местной ишемии, в сохранность кровотока включаются артериовенозные анастомозы для интенсификации тканевого кровотока. Развивается адаптивная артериальная гиперемия, призванная сохранить функции почки. Установлено увеличение васкуляризации, мочеобразовательной функции поврежденного органа при контузии 1 сегмента. Вовлечение большего объема паренхимы снижает вероятность шунтирования потока крови по артериовенозным анастомозам и приводит к углублению ишемии органа. За относительным снижением магистрального перфузионного давления следует снижение органного его звена в перитубулярных капиллярах и повышение канальцевого давления, о чем свидетельствуют показатели транзита радионуклида. Соответственно снижается и функционально зависящая от гемодинамики величина — скорость клубочковой фильтрации (СКФ). Возвращение показателей в функциональный диапазон в отдаленном периоде констатируется только в случаях, ограниченных до 2 поврежденных участков паренхимы органа, а стойкая деградация параметров лидировала в группах с контузией 3 сегментов почки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: При тупой закрытой травме почки контузионные повреждения 1 степени тяжести, превышающие $\frac{1}{2}$ объема вовлеченной паренхимы, влекут более тяжелые нарушения функциональной активности почки, чем единичные непроникающие разрывы ее ткани 2 и 3 степени тяжести.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: травма почки, сцинтиграфия, общая функция почки, васкуляризация почки, скорость клубочковой фильтрации, транзит радиофармпрепарата в почке

*Для корреспонденции: Чиглинцев Кирилл Александрович, e-mail: med_654@mail.ru

Для цитирования: Чиглинцев К.А., Зырянов А.В., Чиглинцев А.Ю., Макарян А.А. Функциональный диапазон почки после травмы низкой степени тяжести: рандомизированное исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 2. С. 74–82, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-2-74-82>.

FUNCTIONAL RANGE OF THE KIDNEY AFTER A LOW-SEVERITY INJURY: A RANDOMIZED STUDY

¹Kirill A. Chiglintsev[✉], ¹Aleksandr V. Zyryanov[✉], ²Albert Yu. Chiglintsev[✉], ¹Aleksandr A. Makarian[✉]

¹Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

²Medical Diagnostic Center «Arnika», Chelyabinsk, Russia

INTRODUCTION: The basis of renal rehabilitation after trauma is restoration of blood supply and microcirculation processes.

OBJECTIVE: To establish the kidneys' functional activity indicators in the posttraumatic period using radionuclide diagnostics.

MATERIAL AND METHODS: Verification of severity degree (1–3) and segmental localization of kidney trauma was carried out using radiology methods in 196 patients. Static scintigraphy was used to determine general renal function and its deficit, dynamic scintigraphy was used for renal vascularization (%), glomerular filtration rate, radiopharmaceutical transit in the parenchyma. The study was conducted in the immediate (up to 30 days) and distant (up to 6 months) periods after the injury.

Statistics: Statistical analysis was performed using Statistica 6/0 software packages; Excel Microsoft Office. Under normal distribution of variables, paired Student's t-test was used to determine differences between two independent groups. The reliability of accepted statistical estimates was at least 95%.

RESULTS: The findings demonstrate that the volume of parenchyma involved in the injury and the severity of injury determine the functional activity of the kidney. Loss of total kidney function was found when the damage area involved up to 3 segments — $23.7 \pm 0.4\%$ in the immediate period after injury, and $16.0 \pm 0.4\%$ in the remote period. In cases of parenchymal tears, the loss of total function was $7.1 \pm 0.3\%$, but only in the immediate period after injury. Total blood flow in the compromised organ was significantly affected with injury of 3 segments at the studied follow-up periods, respectively: 34.9 ± 1.0 and $41.8 \pm 0.4\%$. Decrease in GFR was seen in the remote post-traumatic period with maximal contusion zone (38.3 ± 1.6 ml/min) and kidney part destruction (44.4 ± 1.6 ml/min).

DISCUSSION: In case of trauma affecting circulation with development of a local area of ischemia, arterio-venous anastomoses are involved in the preservation of blood flow to intensify the tissue blood flow. Adaptive arterial hyperemia, designed to preserve kidney function, develops. In the case of segment 1 contusion an increase in vascularization and urinary excretion of the injured organ was established. Involvement of a greater volume of parenchyma reduces the probability of blood flow shunting through arterio-venous anastomoses and leads to deepening organ ischemia. Relative decrease in main perfusion pressure is followed by the decrease of its organ component in peritubular capillaries and increase of tubular pressure as evidenced by radionuclide transit data. Correspondingly, there is a decrease of glomerular filtration rate value that is functionally dependent on blood circulation. Restoration of parameters to the normal functional range in the distant period was found only in cases restricted up to 2 damaged parts of the organ parenchyma, and steady degradation of the parameters was leading in the groups with contusion of 3 kidney segments.

CONCLUSION: In case of blunt trauma of the kidney, grade 1 contusion injuries exceeding $1/2$ the volume of the involved parenchyma entail more severe impairment of renal function than a single non-penetrating tissue ruptures of the 2nd and 3rd grade.

KEYWORDS: renal trauma, scintigraphy, total renal function, renal vasculature, glomerular filtration rate, radio-pharmaceutical transit in the kidney

*For correspondence: Kirill A. Chiglintsev, e-mail: med_654@mail.ru

For citation: Chiglintsev K.A., Zyryanov A.V., Chiglintsev A.Yu. Makarian A.A. Functional range of the kidney after a low-severity injury: a randomized study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 2. P. 74–82, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-2-74-82>.

Введение. Подавляющее большинство поврежденных почек (77–80%) связаны с тупой, непроникающей травмой [1]. Из них 80–85% относятся к низкой (I–III Grade OIS AAST), некритической степени тяжести (low grade), имеют только паренхиматозный раневой компонент, с последующим консервативным лечением [2]. Принципиальная общность характера повреждения и лечебной тактики обусловило возможность объединения в отдельный блок указанных степеней при изучении функциональной способности почки после травмы [3].

Механические воздействия на почку приводят к расстройствам органного кровотока с последующей дисфункцией микроциркуляции, обеспечивающей

метаболические и гомеостатические функции. Деление артериального русла почки предполагает конечность сегментарных артерий и кровоснабжение ими ограниченных паренхиматозных областей. В 1954 г. F. T. Graves [4] разработал классификацию почечных сегментов, получившую впоследствии многочисленную и значимую доказательность [5]. Автор описал 5 сегментов почки: апикальный, охватывающий верхний полюс; верхний, для передне-верхнего сегмента; средний, для передне-нижнего сегмента; нижний, для нижнего полюса; и задний, для всей задней области между апикальным и нижним сегментом.

Главная перспектива реабилитации почек после травмы — восстановление адекватной физиологической

деятельности, в основе которой лежат процессы кровоснабжения и микроциркуляции. На данное время только радиоизотопные методики, количественно оценивающие накопление паренхимой почки нефротропных радиофармпрепаратов (РФП), состоящих из комплекса радионуклида (радиоактивной метки) и специфических сложных химических соединений (лигандов), связывающихся с радиоактивной меткой, способны дать представление о раздельной функциональной активности почек [6]. По мнению Н.А. Лопаткина и соавт. [7], одним из показаний к проведению радионуклидного обследования мочевыводящей системы является травма почек.

Дебют использования метода радиоиндикации на биологических объектах отмечен в 1913 г., а первые шаги применения его с диагностической целью начались с 1925 г. Последующее появление РФП и детектирующей аппаратуры в 1960 г. и дальнейшее развитие ядерной медицины позволили сформулировать основную парадигму медицинского использования радионуклидов — максимального приближения к физиологическим и биохимическим процессам, протекающим в организме человека (Общество ядерной медицины и молекулярной визуализации — SNMMI, Европейская ассоциация ядерной медицины — EANM). В настоящее время радионуклидные методики являются «золотым стандартом» в оценке функции почек [8].

В современной литературе, особенно в отечественной, сведения о радионуклидных исследованиях при травме почки не критической степени тяжести освещены недостаточно полно, в основном фрагментарны и в подавляющем большинстве относятся к детской травме. Между тем еще в 1943 г. А. Трабиссо [9] в эксперименте на собаках рентгенологически установил, что ушиб почки оказывает серьезное влияние на функциональную способность почки.

Цель. Методами радионуклидной диагностики установить показатели функциональной активности почек в посттравматическом периоде.

Материал и методы. В рандомизированном контролируемом диагностическом исследовании приняли участие 196 пострадавших (175 мужчин, 21 женщина) с изолированными повреждениями почек не критической степени тяжести, установленными в ходе комплексного клинико-лабораторного и лучевого обследования. В критерии отбора, кроме диагностированной травмы, вошел возраст пострадавших, который находился в диапазоне от 20 до 30 лет ($22,0 \pm 1,2$ года). Это было продиктовано тем, что А. П. Васильевым и соавт. [10] выявлены физиологическое снижение резерва тканевой гемоперфузии и активизация артериоло-веноулярного шунтирования крови после 40 лет. Изучение результатов функциональных возможностей почек проводилось в ближайшем (до 30 суток) и отдаленном (до 6 месяцев) периодах после травмы. Группу контроля составили 35 мужчин в возрасте 18–20 лет, находившихся

на обследовании и лечении с заболеваниями наружных половых органов по направлению медицинской комиссией РВК. Все испытуемые предварительно были ознакомлены с содержанием диагностических манипуляций, получено информированное согласие на него (Приказ Минздравсоцразвития России от 23.04.2012 г. № 390).

Степень повреждения почки — Grade I–III [11] и сегментное распределение очагов травмы определяли ультрасонографическим полипозиционным исследованием на аппарате Ge Healthcare Vivid-7 (США) экспертного класса с использованием высокочастотного (частота до 5 МГц) конвексного датчика. Эхографическую оценку ведущих очаговых изменений при травме почки осуществляли на основании морфодинамических стереотипов, прямых и косвенных признаков травм [12]. МСКТ проводилась на томографе Optima 660 GE по программе непрерывного спирального сканирования с коллимацией 5–10 мм и шагом спирали 1,5–2,0 в нативном состоянии и с контрастированием препаратами «Ультравист» или «Омник».

Радионуклидное обследование проведено в тождественных условиях очередного и предшествующего освидетельствования. Для оценки относительной общей функции почки выполняли статическую нефросцинтиграфию в стандартной методике [13] с использованием тубулотропного ^{99m}Tc -DMSA (2,3-димеркаптоянтарная кислота, меченная ^{99m}Tc , «Диамед», Россия) в дозе 80–100 МБк. Исследование осуществлено на гамма-камере NB-9100 (Венгрия) с компьютерной системой обработки информации «ГОЛДРАДА» и «СЦИНТИПРО[©]». Рассчитывали включение РФП в каждую почку (в процентах от общего счета количества импульсов, исходящих от почки). Накопление в одной из почек менее 45% «активности», зарегистрированной над двумя почками, свидетельствовало о ее функциональной неполноценности [14]. Снижение функции почек определяли как абсолютную разницу в процентах между пораженной и здоровой почкой [15].

Для получения качественной и количественной информации о состоянии почечного кровотока на макро- и микроциркуляторном уровнях, оценки функционального состояния почечной паренхимы и отдельных звеньев нефрона, раздельного анализа функции транзита РФП в паренхиме [16] выполняли динамическую ангио-нефросцинтиграфию. Динамическая визуализация представлена в виде последовательности сцинтиграмм, отражающих изменения в переносе, накоплении и элиминации РФП в отношении времени и месторасположения в почке. Ангио-нефросцинтиграфию проводили с гломерулотропным ^{99m}Tc -ДТРА (CaNa₃-диэтилен триаминпентаацетат, меченный ^{99m}Tc , «Диамед», Россия) болюсно, объемной активностью 370 МБк в двухэтапном режиме:

1) сосудистая фаза, 60 с (1 кадр/с) — ангиография, позволяющая оценить скорость заполнения артериального отдела кровеносной системы почек;

2) паренхиматозная фаза для оценки фильтрации и экскреции — 20 мин (1 кадр/20 с).

При обработке данных выбирали зоны интереса, для которых строили кривые активность–время с последующим вычитанием фона. Анализ изображений производился по следующим показателям: положение, форма, размер и контуры почек; интенсивность и равномерность включения РФП в паренхиму. Для оценки и разграничения нарушений различных функций анализировали количественные показатели: васкуляризация почек (%); скорость клубочковой фильтрации — показатель функции клубочкового аппарата почек [17], адаптированная на стандартную поверхность тела, как суммарная, так и отдельно для каждой из почек (СКФ, мл/мин, % от суммарного объема); индекс времени транзита РФП в паренхиме (РТТИ — parenchymal transit time index, с) и среднее время транзита в паренхиме (МРТТ — mean parenchymal transit time, с) [18].

Статистический анализ проводился с помощью пакетов программ Statistica 6/0; Excel Microsoft Office. При нормальном распределении переменных, для определения различий между двумя независимыми группами, использовали парный t-критерий Стьюдента. Надежность используемых статистических оценок принималась не менее 95%.

Результаты. Количественная оценка общей функции почки при травмах не критической степени тяжести представлена в табл. 1.

Из таблицы видно, что значимый дефицит общей функции наблюдается при увеличении площади повреждения, вне зависимости от сроков наблюдения, а также в случаях разрывов паренхимы в ближайший период после травмы.

Таблица 1
Общая функция почки в зависимости от вида травмы и сроков наблюдения (%)

Table 1
General renal function, depending on the type of injury and the follow-up period (%)

Вид травмы	Накопление РФП в паренхиме почки
Ближайший период после травмы	
Контузия 1 сегмента (Grade I), n=73	54,8±1,4
Контузия 2 сегментов (Grade I), n=39	46,3±0,6
Контузия 3 сегментов (Grade I), n=28	34,6±0,9
Разрыв почки (Grade II–III), n=56	41,8±1,5* (потеря функции почки 23,7±0,4) (потеря функции почки 7,1±0,3)
Отдаленный период после травмы	
Контузия 1 сегмента (Grade I), n=73	55,4±1,6
Контузия 2 сегментов (Grade I), n=39	45,9±1,2
Контузия 3 сегментов (Grade I), n=28	38,0±0,8
Разрыв почки (Grade II–III), n=56	51,4±2,1* (потеря функции почки 16,0±0,4)

* Межгрупповые различия на сроках наблюдения.

* Intergroup differences in terms of follow-up.

В табл. 2 обобщены данные о функциональном состоянии паренхимы почки.

Полученные данные демонстрируют, что объем вовлеченной паренхимы и тяжесть повреждения определяют функциональную активность травмированной почки. В наблюдаемых периодах снижение процента васкуляризации паренхимы почки было в соответствии с поражением объема органа. Снижение СКФ в ближайшем периоде в абсолютных

Таблица 2
Показатели гемодинамики почки и СКФ при различных видах травмы и сроках наблюдения

Table 2
Indicators of renal hemodynamics and GFR in various types of trauma and follow-up periods

Вид травмы	Кровоток, %	СКФ, мл/%	МРТТ, с	РТТИ, с
Контроль	52,6±1,4	58,9±2,2/54,7	189,3±2,9	90,4±8,7
Ближайший период после травмы				
Контузия 1 сегмента (Grade I), n=73	56,7±1,2*	65,9±5,7/59,0	473,1±15,8*	345,1±11,9
Контузия 2 сегментов (Grade I), n=39	45,1±0,8*	61,2±6,8/48,1	525,6±18,8*	417,3±11,4*
Контузия 3 сегментов (Grade I), n=28	34,9±1,0*	51,3±4,8/40,3*	534,3±14,2*	414,8±13,8*
Разрыв почки (Grade II–III), n=56	51,9±1,2*	52,9±5,8/45,4	315,3±18,1*	323,6±16,5*
Отдаленный период после травмы				
Контузия 1 сегмента (Grade I), n=73	60,1±1,7*	69,3±6,7/58,9	216,5±5,3*	97,2±4,9
Контузия 2 сегментов (Grade I), n=39	48,0±0,6*	69,9±5,7/52,7	231,3±4,8*	105,7±6,5*
Контузия 3 сегментов (Grade I), n=28	41,8±0,4*	38,3±1,6/42,0*	345,4±7,4*	185,3±5,7*
Разрыв почки (Grade II–III), n=56	43,2±1,6*	44,4±3,9/44,2	240,7±6,4*	126,3±8,0*

* Межгрупповые различия на сроках наблюдения.

* Intergroup differences in terms of follow-up.

цифрах констатируется не выражено, но более рельефно оно выявляется в относительных цифрах в обоих временных отрезках наблюдения при вышеуказанных условиях поражения. Среднее время транзита радиотрассера через всю почку (МРТТ) статистически достоверно свидетельствовало о посттравматической атонии верхних мочевыводящих путей, а время транзита в паренхиме (РТТИ) выража-

ло ишемию микроциркуляторного русла. В отдаленный период снижение функционального состояния по всем анализируемым показателям лидировало в группах с контузией 3 сегментов и разрыва почки.

В качестве иллюстрации к перечисленным результатам можем привести следующие клинические примеры (рис. 1–7).

I. Контузия почки Grade I

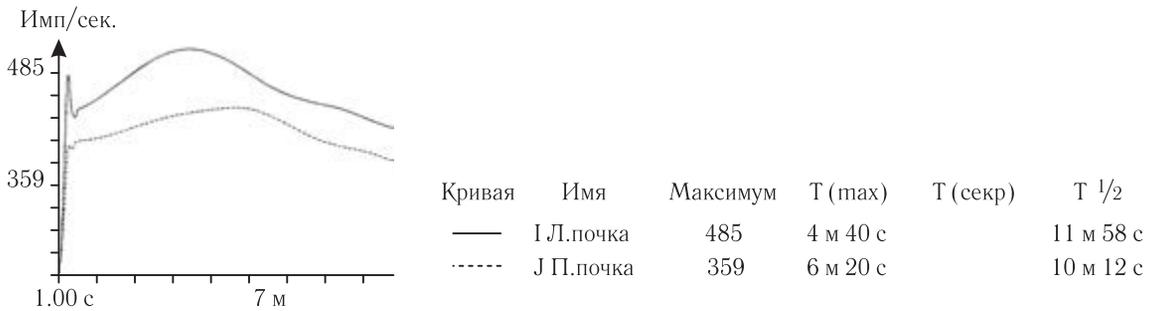


Рис. 1. Скан-копия реноангиографии пострадавшего Д., 36 лет, диагноз: ушиб правой почки (**1 сегмент**), исследование через 3 суток после травмы. Гистограмма: время максимального накопления РФП в *левой почке* — 19 с, вклад в общее накопление — 63,3%; время максимального накопления РФП в *правой почке* — 20 с, вклад в общее накопление — 36,7%. Показатели гистограммы «активность/время» приведены на скан-копии.

Заключение: заполнение сосудистого русла почек асимметрично за счет снижения перфузии правой почки, временные параметры захвата и выведения РФП — нарушение выделительной функции правой почки легкой степени, слева — норма

Fig. 1. Radioisotope renal angiograms of the injured D., 36 years old, diagnosis: contusion of the right kidney (**1 segment**), examination 3 days after the injury. Histogram: time of maximum accumulation of the tracer *in the left kidney* — 19 s, contribution to the total accumulation — 63.3%; the time of maximum accumulation of the tracer *in the right kidney* is 20 s, the contribution to the total accumulation is 36.7%. The indicators of the «activity/time» histogram are shown. Conclusion: the filling of the renal vasculature is asymmetric due to a decrease in perfusion of the right kidney, the time parameters for the accumulation and excretion of tracer show mild decrease in the excretory function of the right kidney, it is normal on the left

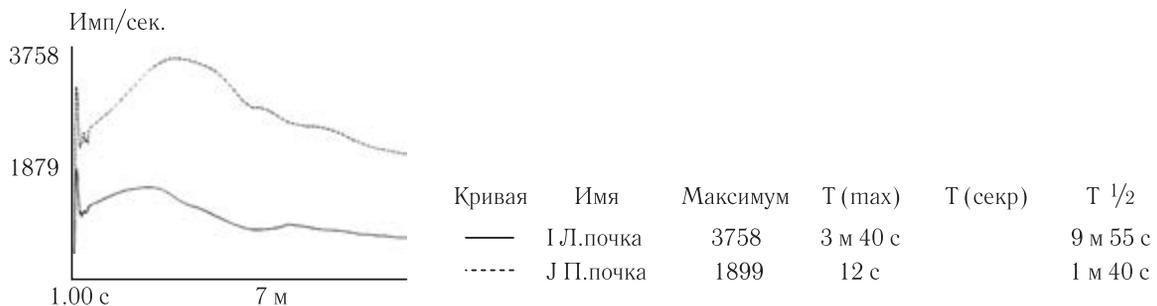


Рис. 2. Скан-копия реноангиографии пострадавшего К., 22 лет, диагноз: ушиб левой почки (**2 сегмента**), исследование через 3 суток после травмы. Гистограмма: время максимального накопления РФП в *левой почке* — 12 с, вклад в общее накопление — 37,2%; время максимального накопления РФП в *правой почке* — 12 с, вклад в общее накопление — 62,8%. Показатели гистограммы «активность/время» приведены на скан-копии.

Заключение: заполнение сосудистого русла почек асимметрично за счет снижения перфузии левой почки, временные параметры захвата и выведения РФП — нарушение поглотительно-выделительной функции левой почки средней степени, справа — норма

Fig. 2. Radioisotope renal angiograms of the injured K., 22 years old, diagnosis: contusion of the left kidney (**2 segments**), examination 3 days after the injury. Histogram: the time of maximum accumulation of the tracer *in the left kidney* is 12 s, the contribution to the total accumulation is 37.2%; the time of maximum accumulation of tracer *in the right kidney* is 12 s, the contribution to the total accumulation is 62.8%. The indicators of the «activity/time» histogram are shown on the scanned copy. Conclusion: filling of the vascular bed of the kidneys is asymmetric due to a decrease in perfusion of the left kidney, the time parameters of the capture and excretion of RFP are a violation of the absorption and excretory function of the left kidney of medium degree, on the right — the norm

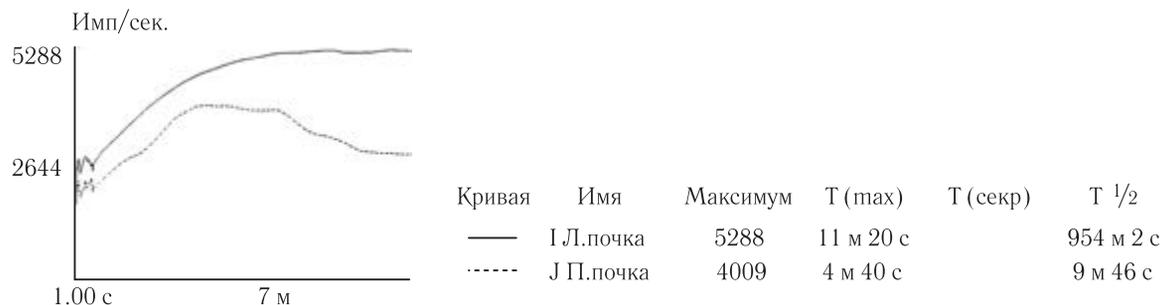


Рис. 3. Скан-копия реноангиографии пострадавшего А., 29 лет, диагноз: ушиб левой почки (3 сегмента), исследование через 7 суток после травмы. Гистограмма: время максимального накопления РФП в *левой почке* — 7 с, вклад в общее накопление — 56,1%; время максимального накопления РФП в *правой почке* — 8 с, вклад в общее накопление — 43,9%. Показатели гистограммы «активность/время» приведены на скан-копии. Заключение: заполнение сосудистого русла почек асимметрично за счет снижения перфузии правой почки, временные параметры захвата и выведения РФП — нарушение выделительной функции левой почки тяжелой степени, справа — норма

Fig. 3. Radioisotope renal angiograms of the injured A., 29 years old, diagnosis: contusion of the left kidney (3 segments), examination 7 days after the injury. Histogram: time of maximum accumulation of the tracer in the *left kidney* — 7 s, contribution to the total accumulation — 56.1%; the time of maximum accumulation of the tracer in the *right kidney* is 8 s, the contribution to the total accumulation is 43.9%. The indicators of the «activity/time» histogram are shown on the scanned copy. Conclusion: the filling of the renal vasculature is asymmetric due to a decrease in perfusion of the right kidney, the time parameters for the accumulation and excretion of the tracer show severely decreased excretory function of the left kidney, on the right side it is normal

II. Разрыв почки Grade III

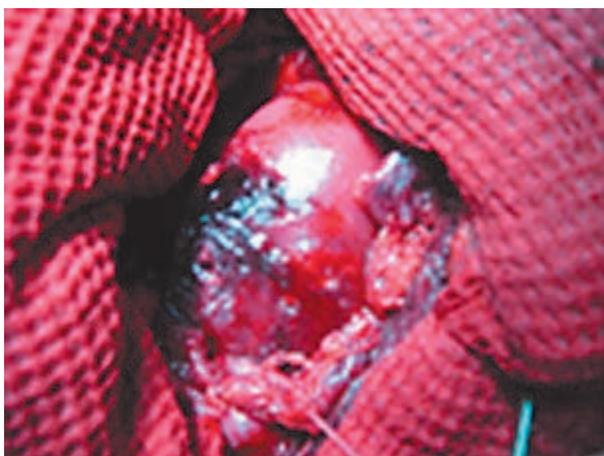


Рис. 4. Фото во время операции. Пострадавший С., 36 лет, диагноз: разрыв правой почки (по задней поверхности в средней трети почки разрыв паренхимы до 4 см длиной). Операция: ушивание разрыва правой почки

Fig. 4. Intraoperative photo. Injured S., 36 years old, diagnosis: rupture of the right kidney (parenchymal rupture up to 4 cm in length along the posterior surface in the middle part of the kidney). Operation: closure of the right kidney rupture

Обсуждение. В 1956 г. R. R. M. Borghraef и R. F. Pitts [19] показали, что при скintiграфии РФП поглощается корковым веществом почки, фиксируясь тубулярными клетками, тем самым отражает интенсивность внутрпочечной микрогемодинамики и транспортную функцию эпителия проксимальных канальцев, как совокупность процессов паренхиматозной микроциркуляции. По мнению В. И. Козлова [20], «...относительно конструкции микрососудистых сетей в функциональном отношении, ведущей гипотезой является представление, что



Рис. 5. Фото с монитора компьютера. Динамическая нефросцинтиграфия пострадавшего С., 36 лет: расположение почек типичное, почки обычной формы и размеров, контуры почек ровные, распределение РФП в правой почке диффузно-неравномерное, снижено, в левой почке — равномерное

Fig. 5. Photo taken from a computer screen. Dynamic renal scintigraphy of the injured S., 36 years old: the location of the kidneys is typical, the kidneys are of normal shape and size, the contours of the kidneys are even, the distribution of tracer in the right kidney is diffusely uneven, reduced, in the left kidney it is uniform

каждый микрососудистый модуль (капиллярная сеть с окружающими тканевыми компонентами) обеспечивает кровоснабжение в соответствующем микрорегионе органа и поддержание в нем гомеостаза, и рассматривается как функциональный элемент органа». При травме возникают комбинированные (интраваскулярные, трансмуральные, экстраваскулярные) нарушения микрогемодинамики, ведущие

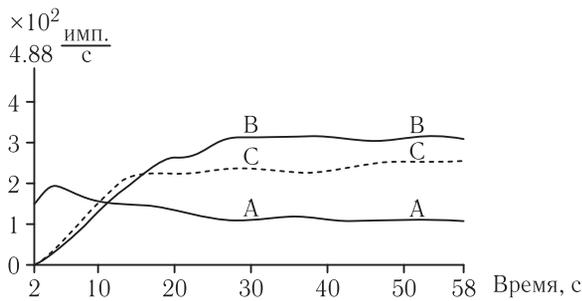


Рис. 6. Скан-копия реноангиографии пострадавшего С., 36 лет. Гистограмма: время максимального накопления РФП в *левой почке* (С) — 26 с, в *правой почке* (В) — 24 с; максимальная активность в *левой почке* — 240 имп/с, в *правой почке* — 319 имп/с; вклад в общее накопление *левой почкой* — 43%, *правой почкой* — 57%; средняя скорость накопления в *левой почке* — 9,2 имп/с, в *правой почке* — 13,3 имп/с; вклад в суммарную скорость *левой почкой* — 41%, *правой почкой* — 59%

Fig. 6. Radioisotope renal angiograms of the injured S., 36 years old. Histogram: the time of maximum accumulation of the tracer in the *left kidney* (C) — 26 s, in the *right kidney* (B) — 24 s; maximum activity in the *left kidney* — 240 imp/s, in the *right kidney* — 319 imp/s; contribution to the total accumulation by the *left kidney* — 43%, by the *right kidney* — 57%; the average accumulation rate in the *left kidney* was 9.2 imp/s, in the *right kidney* — 13.3 imp/s; the contribution to the total velocity by the *left kidney* is 41%, by the *right kidney* — 59%

к развитию области местной ишемии. В сохранность периферического кровотока включаются артериовенозные анастомозы для интенсификации тканевого кровотока в метаболически активных зонах [21]. И, как следствие, создаются условия для развития адаптивной органной артериальной гиперемии, призванной сохранить специфические функции почки и обеспечить репаративные процессы [22]. Результат этого компенсаторного механизма обнаруживается в наших исследованиях в виде умеренного увеличения процента васкуляризации, мочеобразовательной функции поврежденной почки в обоих периодах наблюдения на ограниченном одним сегментом участке. Вовлечение большего объема паренхимы снижает вероятность шунтирования потока крови по артериовенозным анастомозам и приводит к ишемии органа. За относительным снижением магистрального перфузионного давления следует снижение органного его звена в перитубулярных капиллярах и повышение канальцевого давления, о чем свидетельствуют показатели МРТГ и РТТИ, что, по мнению J. Votavji и соавт. [23], является следствием спастической рефлекторной реакции симпатической нервной системы. Соответственно снижается и функционально зависящая от гемоциркуляции величина СКФ. Возвращение показателей в функциональный диапазон в отдаленном периоде констатируется только в случаях, ограниченных до 2 поврежденных участков паренхимы органа.

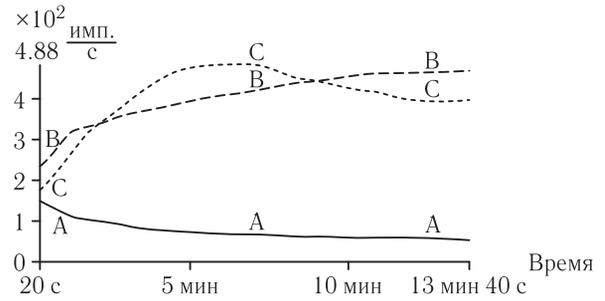


Рис. 7. Скан-копия кривых «активность/время» пострадавшего С., 36 лет. Гистограмма: время максимального накопления РФП *левой почкой* (С) — 6 мин 40 с, *правой почкой* (В) — 13 мин 20 с; вклад в общее накопление *левой почкой* — 51%, *правой почкой* — 49%; время полувыведения *левой почкой* — 6 мин 35 с, *правой почкой* >20 мин; реноиндекс *левой почки* — 46%, *правой почки* — 54%. Заключение: тяжелая степень нарушения выделительной функции правой почки, легкая степень нарушения выделительной функции левой почки

Fig. 7. Activity/time curves of the injured S., 36 years old. Histogram: the time of maximum accumulation of tracer by the *left kidney* (C) — 6 min 40 s, by the *right kidney* (B) — 13 min 20 s; contribution to the total accumulation by the *left kidney* — 51%, by the *right kidney* — 49%; elimination half-life by the *left kidney* — 6 min 35 s, by the *right kidney* > 20 min; renoindex of the *left kidney* — 46%, of the *right kidney* — 54%. Conclusion: a severe decrease in the excretory function of the right kidney, a mild decrease in the excretory function of the left kidney

В оценке стандартизированной общей функции почки A. Voubaker и соавт. [24] выделяли 3 степени суммы активности почки:

- 1) легкое нарушение — 45–40%;
- 2) умеренное — 30–40%;
- 3) тяжелое — менее 30%.

В полученных нами результатах контузионные поражения ограниченных участков почки (Grade I, 1–2 сегмента) не приводят к снижению общей функции почки. При распространенных контузиях паренхимы (Grade I, 3 сегмента) выявлялось умеренное нарушение общей функции почки ($34,6 \pm 0,9\%$) в ближайшем и отдаленном периодах ($38,0 \pm 0,8\%$), дефицит функции составил от $23,7 \pm 0,4$ до $16,0 \pm 0,4\%$. Одиночные разрывы коркового слоя сопровождалась легкой степенью потери общей функции ($41,8 \pm 1,5\%$, при дефиците до $7,1 \pm 0,3\%$) и только в ближайшем посттравматическом периоде. Необходимо отметить, что снижение процента васкуляризации почки и количества СКФ ведет к ухудшению общей функции органа и возникновению ее дефицита.

Изученный функциональный результат, освещенный в источниках литературы, свидетельствовал, что при полном заживлении травматического повреждения в течение 3 месяцев процент общей функции почки для Grade II и III по истечении этого периода

соответствует $44,7 \pm 8,4$ [25]. Те же авторы констатировали функциональные результаты через 1 год после травмы — общая функция почки составила $43,8 \pm 4,8\%$ [3]. G. A. Pereira Júnior и соавт. [26] через 6 лет после травмы обнаружили процент общей функции почки на уровне $42,2 \pm 5,5$ при III степени тяжести, Q. Ballouhey и соавт. [26] — $43,4 \pm 6,2$ при I–III степени тяжести. Надо отметить, что ни один из авторов не рассматривал контузионные поражения исходя из вовлекаемой площади органа. R. Moog и соавт. [27] отмечал, что потеря функционирующей паренхимы около 25% всегда имеется при контузии почки, и при I–III степени тяжести выявлял дефицит функции на стороне поражения до $12,8 \pm 3,1\%$, G. E. Tasian и соавт. [15] фиксировали дефицит до 15%. Совокупно исследователи постулируют следующие обобщения:

1) контузионные воздействия на почку всегда вызывают потерю функционирующей паренхимы [3, 26, 27];

2) снижение функции почек коррелируется со степенью повреждения OIS AAST [15];

3) окончательный функциональный результат после травмы можно оценить через 6 месяцев [3, 28].

Необходимо подчеркнуть, что авторы получили свои результаты, исследуя когорты пострадавших от предшкольного периода (от 3 лет) до подросткового возраста (до 18 лет), т.е. тогда, когда «незрелость» почек у детей и подростков находит выражение в значительно меньших ее резервных возможностях как гомеостатического органа [29]. Видимо, поэтому результаты нашего анализа концептуально совпадают с данными литературы, но расходятся в количественном отношении.

Заключение. При тупой закрытой травме почки контузионные повреждения (Grade I), превышающие $1/2$ объема вовлеченной паренхимы, влекут более тяжелые нарушения функциональной активности почки, чем единичные непроникающие разрывы ее ткани (Grade II–III).

Сведения об авторах:

Чиглинец Кирилл Александрович — кандидат медицинских наук, доцент кафедры урологии, нефрологии и трансплантологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный медицинский университет»; 620028, Екатеринбург, ул. Репина, д. 3; e-mail: med_654@mail.ru; ORCID 0000-0001-9888-688X; SPIN 9759-3328;

Зырянов Александр Владимирович — доктор медицинских наук, заведующий кафедрой урологии, нефрологии и трансплантологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный медицинский университет»; 620028, Екатеринбург, ул. Репина, д. 3; e-mail: zav1965@mail.ru; ORCID 0000-0001-8105-7233; SPIN 6193-4204;

Макарян Альберт Альбертович — кандидат медицинских наук, доцент кафедры урологии, нефрологии и трансплантологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный медицинский университет»; 620028, Екатеринбург, ул. Репина, д. 3; e-mail: walter2711@mail.ru; ORCID 0000-0002-3554-5567; SPIN 4083-6575;

Чиглинец Александр Юльевич — доктор медицинских наук, заместитель главного врача Медико-диагностического центра «Арника»; 454007, Челябинск, ул. Рождественского, д. 7а; e-mail: Dr.Chiglintsev@Yandex.ru; ORCID 0000-0003-4704-7933; SPIN 4083-6575.

Information about the authors:

Kirill A. Chiglintsev — Cand. of Sci. (Med.), Associate professor of the department of urology, nephrology and transplantology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ural State Medical University»; Russia, 620028, Yekaterinburg, Repina str., 3; e-mail: med_654@mail.ru; ORCID 0000-0001-9888-688X; SPIN 9759-3328;

Alexandr V. Zyryanov — Dr. of Sci. (Med.), Head of the department of urology, nephrology and transplantology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ural State Medical University»; Russia, 620028, Yekaterinburg, Repina str., 3; e-mail: zav1965@mail.ru; ORCID 0000-0001-8105-7233; SPIN 6193-4204;

Albert A. Makarian — Cand. of Sci. (Med.), associate professor, department of urology, nephrology and transplantology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ural State Medical University»; Russia, 620028, Yekaterinburg, Repina str., 3; e-mail: walter2711@mail.ru; ORCID 0000-0002-3554-5567; SPIN 4083-6575;

Alexandr Yu. Chiglintsev — Dr. of Sci. (Med.), deputy chief physician Medico-diagnostic center «Arnika», Chelyabinsk, Russia, 454007, Chelyabinsk, Rozhdestvensky str. 7a; e-mail: Dr.Chiglintsev@Yandex.ru; ORCID 0000-0003-4704-7933; SPIN 4083-6575.

Вклад авторов: все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *А.В. Зырянов*, сбор и обработка клинического материала, систематизация данных, написание текста — *К.А. Чиглинец*, редактирование статьи и адаптация рукописи — *А.Ю. Чиглинец*, обработка радиологических результатов, систематизация и интерпретация полученных данных — *А.А. Макарян*.

Authors' contributions: all authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution aided in the concept and plan of the study — *AVZ*, collection and processing of clinical material, systematization of data, writing of the text — *KACH*, editing of the article and adaptation of the manuscript — *AYuCh*, processing of radiological results, systematization and interpretation of the data obtained — *AAM*.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure: the author declares no conflict of interest.

Соответствие принципам этики: одобрение этического комитета не требовалось, информированное согласие получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards: ethical committee approval was not required and consent was obtained from each patient.

Поступила/Received: 22.06.2022.

Принята к печати/Accepted: 21.02.2023.

Опубликована/Published: 29.06.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Kodama R. Contemporary treatment of renal trauma in Canada // *Can. Urol. Assoc. J.* 2019. Vol. 13, No. 6. P. 46–50. doi: 10.5489/cuaj.5980.
- Lee M.A., Jang M.J., Lee G.J. Management of high-grade blunt renal trauma // *JTI.* 2017. Vol. 30, No. 4. P. 192–196. doi: 10.20408/jti.2017.30.4.192.
- Keller M.S., Green M.Ch. Comparison of short- and long-term functional outcome of nonoperatively management renal injuries in children // *J. Pediatr. Surg.* 2009. Vol. 44, No. 1. P. 144–147. doi: 10.1016/j.pedsurg.2008.10.022.

4. Graves F.T. The anatomy of the intrarenal arteries and its application to segmental resection of the kidney. *BJS*. 1954. Vol. 42, No. 172. P. 132–139. doi: 10.1002/bjs.18004217204.
5. Klatté T., Ficarra V., Gratzke Ch., Kaouk J., Kutikov A., Macchi V., Mottrie A., Porpiglia F., Porter J., Rogers C.G., Russo P., Thompson R.H., Uzzo R.G., Wood Ch.G., Gill I.S. A literature review of renal surgical anatomy and surgical strategies for partial nephrectomy // *Eur. Urol.* 2015 Vol. 68, No. 6. P. 980–992. doi: 10.1016/j.eururo.2015.04.010.
6. Morita S., Inokuchi S., Tsuji T., Fukushima T., Higami S., Yamagima T., Shinichi L. Arterial embolization in patients with grade-4 blunt renal trauma: evaluation of the glomerular filtration rates by dynamic scintigraphy with 99mTechnetium-diethylene triamine pentacetic acid // *Scand. J. Trauma Resusc. Emerg. Med.* 2010. Vol. 18. P. 11. doi: 10.1186/1757-7241-18-11.
7. Лопаткин Н.А., Глейзер Ю.А., Мазо Е.Б. *Радиоизотопная диагностика в уронефрологии*. М.: Медицина, 1977. 320 с. [Lopatkin N.A., Glejzer Yu.A., Mazo E.B. *Radioisotope diagnostics in uro nephrology*. Moscow: Publishing house Medicina, 1977. 320 p. (In Russ.)].
8. Keramida G., James J.M., Prescott M.C., Mary C., Peters A.M. Pitfalls and limitation of radionuclide renal imaging in adults // *Semin. Nucl. Med.* 2015. Vol. 45, No. 5. P. 428–439. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2015.02.008.
9. Trabucco A. Some radiologic findings and anatomo-pathological results of experimental renal trauma // *J. Urol.* 1943. Vol. 49, No. 5. P. 601–617. doi: 10.1016/S0022-5347(17)70591-5.
10. Васильев А.П., Стрельцова Н.Н. Возрастные особенности микрогемодинамики // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2012. Т. 11, № 4. С. 23–27. [Vasiliev A.P., Streltsova N.N. Age peculiarities of microhemocirculation. *Regional circulation and microcirculation*, 2012, Vol. 11, No. 4, pp. 23–27 (In Russ.)]. doi: 10.24884/1682-6655-2012-11-4-23-27.
11. Chien L.C., Vakili M., Nguyen J. et al. The American Association for the Surgery of Trauma Organ Injury Scale 2018 update for computed tomography-based grading of renal trauma: a primer for the emergency radiologist // *Emerg. Radiol.* 2020. Vol. 27, No. 1. P. 63–73. doi: 10.1007/s10140-019-01721-z.
12. Карпова И.Ю., Стриженок Д.С., Егорская Л.Е., Ладыгина Т.М., Егорская А.Т. Неотложная ультразвуковая диагностика и принципы стартовой терапии при травме живота у детей // *Медицинский альманах*. 2019. Т. 51, № 5–6. С. 69–74. [Karpova I.Yu., Strizhenok D.S., Egorskaya L.E., Ladygina T.M., Egorskaya A.T. Emergency ultrasound diagnosis and principles of starter therapy in pediatric abdominal trauma. *Medical almanac*, 2019, Vol. 51, No. 5–6, pp. 69–74 (In Russ.)]. doi: 10.21145/2499-9954-2019-5-69-74.
13. Лишманов Ю.Б., Чернов В.И. *Национальное руководство по радионуклидной диагностике*. Томск: STT, 2010. № 2. С. 211–215. [Lishmanov Yu.B., Chernov V.I. *National Guidelines for Radionuclide Diagnostics*. Tomsk: STT, 2010, No. 2, pp. 211–215 (In Russ.)].
14. Stokland E., Hellström M., Jacobsson B., Jodal U., Sixt R. Evaluation of DNSA scintigraphy and urography in assessing both acute and permanent renal damage in children // *Acta Radiol.* 1998. Vol. 39, No. 4. P. 447–452. doi: 10.1080/02841859809172462.
15. Tasian G.E., Aaronson D.S., McAnich J.W. Evaluation of renal function after renal injury: correlation with the American Association for the Surgery of Trauma Injury Scale // *J. Urol.* 2010. Vol. 183, No. 1. P. 196–200. doi: 10.1016/j.juro.2009.08.149.
16. Taylor A.T. Radionuclides in nephrourology, part 1: radiopharmaceutical, quality control, and quantitative indices // *J. Nucl. Med.* 2014. Vol. 55, No. 4. P. 608–615. doi: 10.2967/jnumed.113.133447.
17. Demir F., Balci T.A., Şimşek F.S., Demir M. Comparison of GFR values measured with different methods and the relative renal functions in patients with proven or suspected obstructive uropathy // *Turkish J. Nephrol.* 2020. Vol. 29. P. 190–195. doi: 10.5152/turkjnephrol.2020.3803.
18. Britton K.E., Maisey M.N., Collier B.D. *Clinical nuclear medicine*. London: Chapman & Hall Medical, 1998. 752 p.
19. Borghgraef R.R.M., Kessler R.H., Pitts R.F., Parks M.E., van Woert W., MacLeod M.B. Plasma regression, distribution and excretion of radiomercury in relation to diuresis following the intravenous administration of Hg203 labelled chlormerodrin to the dog // *J. Clin. Invest.* 1956. Vol. 35, No. 9. P. 1055–1066. doi: 10.1172/JCI103351.
20. Козлов В.И. Система микроциркуляции крови: клинико-морфологические аспекты изучения // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2006. Т. 5, № 1. С. 84–101. [Kozlov V.I. Blood microcirculatory system: clinical and morphological aspects of the study. *Regional circulation and microcirculation*, 2006, Vol. 5, No. 1, pp. 84–101 (In Russ.)].
21. Abrams H.L. The collateral circulation: response to ischemia // *AJR*. 1983. Vol. 140. P. 1051–1063. doi: 10.2214/ajr.140.6.1051.
22. Литвицкий П.Ф. Нарушения регионарного кровотока и микроциркуляции // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2020. Т. 19, № 1. С. 2–92. [Litvickij P.F. Disorders of regional blood flow and microcirculation. *Regional circulation and microcirculation*, 2020, Vol. 19, No. 1, pp. 2–92 (In Russ.)]. doi: 10.24884/1682-6655-2020-19-1-82-92.
23. Bomanji J., Boddy S.A.M., Briton K.E., Nimmon C.C., Whitfield H.N. Radionuclide evaluation pre- and postextracorporeal shock wave lithotripsy for renal calculi // *J. Nucl. Med.* 1987. Vol. 28, No. 8. P. 1284–1289. PMID: 3302133.
24. Boubaker A., Prior J.O., Meuwly J.-Y., Bischof-Delaloye A. Radionuclide investigations of the urinary tract in the era of multimodality imaging // *J. Nucl. Med.* 2006. Vol. 47, No. 11. P. 1819–1836. PMID: 17079816.
25. Keller M.S., Coln C.E., Sartorelli K.H., Dreen M.Ch., Weber T.R. Functional outcome of nonoperative managed renal injuries in children // *J. Trauma*. 2004. Vol. 57, No. 1. P. 108–110. doi: 10.1097/01.ta.0000133627.75366.ca.
26. Pereira Júnior G.A., Muglia V.F., Dos Santos A.C., MiYake C.H., Nobre F., Kato M., Simões M.V., de Andrade J.I. Late evaluation of relationship between morphological and functional renal changes and hypertension after non-operative treatment of high-grade renal injuries // *World J. Emerg. Surg.* 2012. Vol. 7, No. 1. P. 26. doi: 10.1186/1749-7922-7-26.
27. Ballouhey Q., Moscovici J., Galinier P. Functional damages after blunt renal trauma in children // *Prog. Urol.* 2011. Vol. 21, No. 8. P. 569–571. doi: 10.1016/j.purol.2011.05.001.
28. Moog R., Becmeur F., Dutson E., Chevalier-Kaufmann I., Sauvage P., Brunot B. Functional evaluation by quantitative dimercaptisuccinic acid scintigraphy after kidney trauma in children // *J. Urol.* 2003. Vol. 169, No. 2. P. 641–644. doi: 10.1097/01.ju.0000047160.79260.07.
29. Ваганов П.Д., Яновская Э.Ю., Манджиева Э.Т. Периоды детского возраста // *Российский медицинский журнал*. 2018. Т. 24, № 4. С. 185–190. [Vaganov P.D., Yanovskaya E.Yu., Mandzhieva E.T. Periods of childhood. *Rossiiskij medicinskij zhurnal*, 2018, Vol. 24, No. 4, pp. 185–190 (In Russ.)]. doi: 10.18821/0869-2106-2018-24-4-185-190.