

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2023-16-3-38-49>

Интраренальная и центральная гемодинамики после травмы почки Grade I-III: существует ли прямая причинно-следственная связь с посттравматической артериальной гипертензией?

КЛИНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

К.А. Чиглинецв¹, А.В. Зырянов¹, А.Ю. Чиглинецв²

¹ Кафедра урологии, нефрологии и трансплантологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; д. 3, ул. Репина, г. Екатеринбург, 620028, Россия

² Медико-диагностический центр «Арника»; д. 7а, ул. Рождественского, г. Челябинск, Челябинская область, 454007, Россия

Контакт: Чиглинецв Кирилл Александрович, med_654@mail.ru

Аннотация:

Введение. Механические повреждения почки приводят к ренальной дисфункции и вазоспастической реакции, влекут ответные адаптивные реакции организма с возможностью формирования вторичной артериальной гипертензии.

Цель: после травмы почки Grade I-III определить типы центральной гемодинамики, характеристики интраrenalного кровотока, корреляционные взаимоотношения показателей и оценить риски развития вторичной посттравматической артериальной гипертензии.

Материал и методы. Исследовали системные гемодинамические параметры с идентификацией типа кровообращения и показатели внутривисочечной гемодинамики у 196 пострадавших мужчин в посттравматическом периоде, группу контроля составили 30 мужчин инфекционно-воспалительными заболеваниями мочеполовых органов. При статистической обработке дополнительно рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона (r) и коэффициент линейной регрессии детерминации (r^2).

Результаты. После травмы почки скорость органного кровотока была увеличена от 12,5% до 31,2%, индекс резистентности (RI) повышался от 4,7% до 44,8%, пульсационный индекс (PI) снижался от 9,2% до 41,2%. Индексы внутривисочечного сосудистого сопротивления находились в отрицательной от очень сильной до средней силы корреляционной связи с параметрами системной гемодинамики в следующем градиционном строе по убывающей силе: общее периферическое сопротивление сосудов → диастолическое артериальное давление → систолическое артериальное давление → среднее артериальное давление → ударный объем сердца → сердечный индекс → минутный объем крови. В центральной гемодинамике устойчиво преобладал гипокинетический тип, повышалась доля эукинетического типа с сохранением на постоянном уровне гиперкинетического типа гемодинамики.

Заключение. После травмы почки не критической степени тяжести констатируемые параметры системной и органной гемодинамики не обладают предсказательной силой для реализации прямой причинно-следственной связи в развитии вторичной ренопаренхиматозной артериальной гипертензии.

Ключевые слова: травма почки; линейная скорость почечного кровотока; индексы внутривисочечного сосудистого сопротивления; типы центральной гемодинамики; стратегии адаптации, вторичная артериальная гипертензия.

Для цитирования: Чиглинецв К.А., Зырянов А.В., Чиглинецв А.Ю. Интраrenalная и центральная гемодинамики после травмы почки Grade I-III: существует ли прямая причинно-следственная связь с посттравматической артериальной гипертензией? Экспериментальная и клиническая урология 2023;16(3):38-49; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2023-16-3-38-49>

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2023-16-3-38-49>

Intrarenal and central hemodynamics after Grade I-III kidney injury: is there a direct cause-and-effect relationship with posttraumatic arterial hypertension?

CLINICAL STUDY

К.А. Chiglintsev¹, А.В. Zyrianov¹, А.Ю. Chiglintsev²

¹ Department of Urology, Nephrology and Transplantology of the «Ural State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation. 3, Repina St., Ekaterinburg, Sverdlovsk region, 620028, Russia

² «Arnika» Medical and diagnostic center. 7a, Rozhdestvenskogo St., Chelyabinsk Region, Chelyabinsk, 454007, Russia

Contacts: Kirill A. Chiglintsev, med_654@mail.ru

Summary:

Introduction. Mechanical kidney injuries lead to renal dysfunction and vasospastic reaction, resulting in adaptive reactions of the organism, with the possibility of formation of secondary arterial hypertension.

Purpose of the study: to determine the types of central hemodynamics, intrarenal blood flow characteristics, correlation interrelations of indices and to estimate the risks of secondary posttraumatic arterial hypertension development after Grade I-III kidney injury.

Material and methods. Systemic hemodynamic parameters with identification of blood circulation type and intrarenal hemodynamic parameters were studied in 196 male victims in the posttraumatic period, the control group consisted of 30 men. During statistical processing Pearson correlation coefficients (r) and linear regression coefficient of determination (r^2) were additionally calculated.

Results. After kidney injury, the organ blood flow velocity was increased from 12,5% to 31,2%, resistance index (RI) increased from 4,7% to 44,8%, and pulsation index (PI) decreased from 9,2% to 41,2%. The indices of intrarenal vascular resistance were in negative from very strong to medium strength correlation with the parameters of systemic hemodynamics in the following gradation structure by decreasing strength: total peripheral resistance → diastolic blood pressure → systolic blood pressure → mean arterial pressure → stroke volume → cardiac index → minute volume of blood. Hypokinetic type steadily prevailed in central hemodynamics, the share of eukinetic type increased, and hyper-kinetic type of hemodynamics remained at a constant level.

Conclusion. After kidney injury of non-critical severity the ascertained parameters of systemic and organ hemodynamics do not possess predictive power for realization of direct causal relationship in the development of secondary renoparenchymatous arterial hypertension.

Key words: kidney injury; linear renal blood flow velocity; intrarenal vascular resistance indices; types of central hemodynamics; adaptation strategies; secondary arterial hypertension.

For citation: Chiglintsev K.A., Zyrianov A.V., Chiglintsev A.Yu. Intrarenal and central hemodynamics after Grade I-III kidney injury: is there a direct cause-and-effect relationship with posttraumatic arterial hypertension? *Experimental and Clinical Urology* 2023;16(3):38-49; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2023-16-3-38-49>

ВВЕДЕНИЕ

За последние 30 лет трансформировалась парадигма изолированной тупой травмы почки и до 70% повреждений относятся к низкой (Grade I-III OIS AAST: Organ Injury Scale American Association for the Surgery of Trauma -шкала органной травмы Американской ассоциации травматологов) не критической степени тяжести, в англоязычной литературе именуемые low-grade и имеющие клинически принципиально общий характер повреждения: паренхиматозный раневой компонент – общепризнанную лечебную тактику – консервативное лечение [1, 2].

Тупые прямые травматические воздействия на почку приводят к нарушению целостности структуры почки, распространению в глубину образовавшихся повреждений с внутри- и внесосудистыми нарушениями микроциркуляции, вазоспастической реакции интрааренального кровотока, органной дисфункции с последующей репаративной регенерацией зоны повреждения в рубцовую ткань [3]. Каскад посттравматического патофизиологического ответа включает суммирование местных расстройств функционального состояния органа, влекущих вторичные ответные реакции организма [4]. Впервые на это обратил внимание Н.И. Пирогов в «Началах общей военно-полевой хирургии» (1866), посвящая вторую главу физиологическим, патологическим и морфологическим процессам при местных и общих травматических повреждениях, где отмечал первичные и вторичные реактивные явления со стороны организма [5].

Среди основных физиологических систем организма ведущее место принадлежит сердечно-сосудистой системе (ССС). Именно эта система обеспечивает адаптивные возможности и жизнеспособность организма в целом на всех этапах его развития и существования, дифференцировано «отслеживая» любые изменения как в состоянии отдельных систем и органов, так и всего организма. Уровень функционирования системы кровообращения является регулируемой ве-

личной, которая поддерживается путем изменения как межсистемных, так и внутрисистемных взаимодействий и взаимосвязей [6]. По данным литературы в числе как ранних – в первый месяц после травмы, так и поздних осложнений, возникающих свыше месяца после повреждения почки, фигурирует вторичная артериальная гипертензия (АГ) [7].

В литературных источниках современности имеются диаметрально противоположные сведения, посвященные выявлению и частоте посттравматической АГ. Так G.J. Mast и соавт., на основании 17-летнего наблюдения 153 пациентов сообщили о 19,7% случаев посттравматической АГ [8]. В исследовании 17 410 пациентов со средним возрастом 26 лет, выполненном A. Chedid и соавт., было выявлено, что только у 10 имелась АГ, при этом в 6 случаях отмечено повреждение почечной артерии. Авторы пришли к заключению о редкой причине травмы почек для развития АГ у молодых пациентов [9]. G.A. Pereira и соавт., изучив результаты лечения 108 пациентов на протяжении 12 лет, установили, что консервативное лечение травмы почки Grade III, IV приводит к минимальной потере паренхимы почки без значительных осложнений, и случаев АГ авторами не было диагностировано [10].

В настоящее время посттравматическая АГ входит в категорию вторичных (симптоматических) форм АГ и подразделяется на ренопаренхиматозную, имеющую в этиологии травматическую периренальную гематому (при травмах Grade I-III OIS AAST), и реноваскулярную – тромбозы почечных артерий, сдавление артерий извне (при травмах Grade IV OIS AAST). В зависимости от того, какой механизм преимущественно вызывает повышение АД, условно различают ишемический – диффузное сужение артериол и междольковых артерий, и ренопривный – деструкция интерстициальных клеток, вырабатывающих депрессоры [11].

Экспериментальное изучение зависимости между сокращениями сердца, колебаниями электропроводности тканей и скоростью кровотока начато с 1928 г. ■

Метод, основанный на представлении о миокардиально-гемодинамическом гомеостазе, определяемом притоком крови к сердцу, ее расходом и периферическим сосудистым сопротивлением, впоследствии получил название «реография» и начал применяться в клинике для исследования ССС с 1945 г. Дифференцированный подход к изучению физиологических особенностей системной гемодинамики выделяет константные (фактически регистрируемые) показатели и типовые (вариативные), по которым группируется типологическая структура характеристики кровообращения, являющаяся отражением динамической организации и реактивности ССС, проявляющаяся в разнонаправленности гемодинамических сдвигов. Установление уровня кооперации сердечных и сосудистых компонентов в функционировании ССС в определении типов кровообращения (ТК) и детализация биогидромеханического подхода при патологиях сердечно-сосудистой системы дали возможность R. Sannerstedt установить, что имманентным атрибутом в развитии АГ является детерминация гемодинамики на гиперкинетический, эукинетический и гипокинетический типы [12]. Большинство работ, затрагивающих аспекты центральной гемодинамики, посвящены комбинированной травме и острому повреждению почек различного генеза. Данных об анализе показателей системного кровообращения в посттравматический период при повреждении почек и рассмотрение возможных рисков развития вторичной ренопаренхиматозной АГ нами не встречено.

Поскольку повреждение почки в первую очередь связано с локальным разрушением ангиоархитектоники органа, доплерография приобретает важность последующей визуализации и документирования интратренальной гемодинамики в процессе адекватной репарации раны. Содержательная сторона многочисленных исследований в этом направлении относится к верификации степени травм по морфологическому компоненту и анализу их визуализации. Вопросы интратренального кровообращения и потенциальные его связи с внепочечными гемодинамическими факторами, как возможные детерминанты и риски формирования посттравматической АГ после повреждений низкой степени тяжести, практически не освещены.

Цель исследования: после травмы почки Grade I-III определить типы центральной гемодинамики, характеристики интратренального кровотока, корреляционные взаимоотношения показателей и оценить риски развития вторичной посттравматической артериальной гипертензии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено исследование ряда гемодинамических параметров у 196 пострадавших мужчин с изолиро-

ванными повреждениями почек, составивших основную группу. Группу контроля составили 30 мужчин от 20 до 30 лет ($23,0 \pm 0,7$ года) с воспалительными заболеваниями наружных половых органов, лечившихся консервативно.

Ввиду малочисленности группы женщин с травмой почки, они не были включены в обследование. В качестве первоочередного сортировочного исследования для установления степени повреждения почки (Grade I-III) использовали полипозиционную ультразвуковую диагностику на аппарате Ge Healthcare Vivid-7 (США) экспертного класса с использованием высокочастотного (частота до 5 МГц) конвексного датчика [13]. Эхографическую оценку ведущих очаговых изменений при травме почки осуществляли на основании морфодинамических стереотипов, прямых и косвенных признаков травм, «гиперэхогенного паттерна» [14]. Изучение внутрипочечной гемодинамики в динамике в основной группе, дополнительно к стандартному ультразвуковому исследованию (УЗИ), проводили на УЗ-системе SSD-2000 MultiView (Aloka, Япония) с применением секторного и векторного датчиков частотой 3,0-3,5 МГц при положении обследуемого лежа на спине из заднелатерального доступа.

В позднем и отдаленном посттравматических периодах исследовались магистральные и интратренальные почечные артерии (сегментарные и междольевые) в проекции поврежденных сегментов почки и в областях без травматического воздействия. Определялись спектральные характеристики (максимальная и минимальная скорость кровотока – V_{max} , V_{min}), индекс резистентности (Resistivity index – RI, индекс Гослинга) и пульсационный индекс (Pulsatility index – PI, индекс Пурсело), рассчитываемые по стандартным формулам программным обеспечением. За пороговое значение RI был выбран релевантный уровень 0,65 с чувствительностью 77% и специфичностью 86% [15].

Проведенная всем пациентам консервативная терапия в стационаре включала гемостатические препараты, уроантисептики, анальгетики [16]. На амбулаторном этапе пациенты в терапии не нуждались.

Необходимость в получении достоверных результатов диктовала следующие критерии включения: когорты мужчин от 20 до 30 лет ($22,0 \pm 1,2$ года); конституционально не зафиксировано наличие избыточного веса; в анамнезе не было указаний на наследственную предрасположенность к артериальной гипертензии, на заболевания сердечно-сосудистой и эндокринной систем, почек [17]. Обследование выполнялось при личном согласии пациентов на участие в нем и проводилось в динамике посттравматического периода: ранний – более 3 суток, позднем – более 30 суток и отдаленном – до 6 мес. [18].

У каждого исследуемого устанавливались основные антропометрические параметры: длина (см) и

масса тела (кг) общепринятыми методами. Прямые показатели кардиогемодинамики определяли в состоянии покоя, в положении сидя автоматическим манометром Omron VIPlus (Япония) с пределом допустимой погрешности измерений ± 3 мм рт. ст.: частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин), систолическое артериальное давление (САД, мм рт. ст.), которое на $\frac{1}{6}$ определяется деятельностью сердца и на $\frac{5}{6}$ – периферическим сосудистым сопротивлением, диастолическое артериальное давление (ДАД, мм рт. ст.) на обеих руках, пульсовое давление (ПД), которое отражает нейрогуморальную регуляцию гемодинамики (ПД, мм рт. ст. = САД – ДАД), среднее артериальное давление (срАД), обеспечивающее должный уровень тканевой перфузии (срАД, мм рт. ст. = $(\text{ДАД} + \text{САД})/2$), рассчитывали по формуле Н.Н. Савицкого [19].

Методом тетраполярной грудной реографии на комплексе функциональной диагностики «Рео-Валента» по методике Кубишек в модификации Ю.Т. Пушкаря с соавт. в положении лежа определяли кардиогемодинамические расчетные показатели, сравниваемые в последующем с нормативными показателями [20, 21]:

- ударный или систолический объем крови (по формуле Старра, УО, мл = $90,97 + 0,54 \times \text{ПАД} - 0,57 \times \text{ДАД} - 0,61 \times \text{Возраст}$), как характеристика насосной функции сердца (референсные физиологические величины гемодинамических показателей приведены в нормативных пределах – 65-100 мл);

- минутный объем крови (МОК, л/мин = ЧСС \times УО), как результат производительности работы сердца за 1 минуту, отражающий адекватность кровоснабжения органов и тканей (4,5-6,5 л/мин);

- сердечный индекс (СИ, л/мин/м² = МОК/Площадь поверхности тела), как показатель оценки функционального состояния левого желудочка и типа гемодинамики (2,2-3,7 л/мин/м²);

- общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС, дин \times с \times см⁻⁵ = (срАД \times 1332)/УО), характеризует суммарное гидравлическое сопротивление потоку крови общим микроциркуляторным руслом (1100-1900 дин \times с \times см⁻⁵);

- удельное периферическое сопротивление сосудов (УПСС, усл. ед. = срАД/СИ), гидравлическое сопротивление потоку крови, отнесенное к поверхности тела.

Принадлежность гемодинамики к определенному ТК устанавливали инструктивно по соотношению МОК/ОПСС и параметру СИ: $> 3,5$ л/мин \times м² – гиперкинетический ТК; 2,5-3,5 л/мин \times м² – эукинетический; $< 2,5$ л/мин \times м² – гипокинетический [22]. Надо отметить, что гемодинамическая реактивность характеризуется вариативностью и неоднородностью в популяции, обусловленной индивидуально-типологическими особенностями и генетической детермина-

цией нормы здоровья. Определяя показатели кровообращения, можно косвенным образом судить о состоянии энергетического метаболизма, т.к. основная функция кровообращения – обмен между кровью и тканями [23].

Статистический анализ проводился с помощью пакета встроенных функций программы Microsoft Excel 2010. Вычисляли средние арифметические величины и средние квадратичные отклонения для каждого исследуемого показателя. Отличия между средними значениями определяли по t-критерию Стьюдента. Рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона (r) и коэффициент линейной регрессии детерминации (r²). При уровне значимости $p < 0,05$ считали достоверными различия средних величин и корреляционные связи. Для качественной интерпретации коэффициентов корреляции использовалась шкала Чеддока. Силу связи между признаками к функциональной зависимости в оценке регрессионных моделей оценивали по коэффициенту детерминации (дисперсии) выше 80%, при этом коэффициент корреляции превышает 90% [24].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Линейные параметры системы интратрениального кровотока в поврежденных и интактных сегментах почки в ближайший посттравматический период представлены в таблице 1.

В областях повреждения почки максимальная скорость кровотока не была нарушена на уровне сегментарных артерий, на уровне междолевых артерий этот показатель составил на 31,2% больше аналогичного показателя в интактных сегментах органа ($p < 0,05$). Минимальная скорость кровотока была повышена на 18,2% на уровне сегментарных артерий и на 12,5% на уровне междолевых артерий ($p < 0,05$). Расчетные показатели в поврежденных сегментах были изменены: RI повышался в сегментарных артериях на 4,7%, в междолевых артериях на 44,8% ($p < 0,05$), PI снижался на этих уровнях на 41,2% и на 9,2% соответственно ($p < 0,05$). Высокая прямая корреляционная взаимосвязь установлена только между показателями Vmin (при $p < 0,05$, $r = 0,925$, $r^2 = 0,85562$) в поврежденных и интактных областях междолевого кровеносного русла почки.

Интегральные показатели параметров гемодинамики, структурированные в ТК на этапах посттравматического периода приведены в таблице 2.

Анализ этих данных свидетельствует о соответствии выявленных значений параметров гемодинамики с общепринятыми при достоверном отличии ($p < 0,05$) по основным величинам УО, МОК, СИ, ОПСС. Наибольшее отклонение наблюдались по показателям ОПСС, наименьшее по срАД. При

гиперкинетическом ТК ведущими механизмами поддержания оптимального сРАД при низких показателях ОПСС являлись более высокие цифры МОК, СИ и ЧСС. При гипокинетическом ТК высоким показателям ОПСС (артериолярный тонус) соответствуют наименьшие сРАД, СИ и МОК. При эукинетическом ТК при возрастании ОПСС СИ и МОК снижаются. По со-

вокупности параметров системной гемодинамики можно констатировать, что стабильность уровня сРАД обеспечивает периферическое сосудистое сопротивление при снижении МОК. Общая тенденция в значениях СИ во всех гемодинамических типах имеет вектор к снижению, в показателях ОПСС – референсные физиологические нормативы. При этом достовер-

Таблица 1. Линейные параметры системы интратрениального кровотока в поврежденных и интактных сегментах почки в ближайший посттравматический период

Table 1. Linear parameters of intrarenal blood flow system in injured and intact kidney segments in the nearest posttraumatic period

Показатель Indicators		Интактные сегменты почки Intact kidney segments (n = 78)	Поврежденные сегменты почки Damaged kidney segments (n = 84)	p
Сегментарные артерии Segmentary arterie	V_{max} , М/С V_{max} , m/s	0,49±0,03	0,50±0,03	>0,05
	V_{min} , М/С V_{min} , m/s	0,22±0,01	0,26±0,01	<0,05
	RI	0,64±0,02	0,67±0,03	<0,05
	PI	0,97±0,07	0,57±0,02	<0,05
Междольевые артерии Interlobar arteries	V_{max} , М/С V_{max} , m/s	0,32±0,02	0,42±0,03	<0,05
	V_{min} , М/С V_{min} , m/s	0,16±0,01	0,18±0,01	>0,05
	RI	0,58±0,01	0,84±0,02	<0,05
	PI	0,87±0,01	0,79±0,04	<0,05

Таблица 2. Показатели центральной гемодинамики в зависимости от типов кровообращения на различных этапах посттравматического периода

Table 2. Indicators of central hemodynamics depending on the types type of circulation at the stages of posttraumatic period

Типы кровообращения Types of blood circulation	ЧСС, уд/мин HR, beats/min M±σ	сРАД, мм.рт.ст. MBP, mm Hg M±σ	УО, мл SV, ml M±σ	МОК, л/мин MBV, l/min M±σ	СИ, л/мин×м ² CI, l/min×m ² M±σ	ОПСС, дин×сек/мл TPVR, dean×sec/ml M±σ
Ранний период / Early period						
Гиперкинетический Hyperkinetic	83,6±2,5	88,1±3,9	104,6±9,3	7,6±0,6	4,5±0,5	1003,3±88,2
Гипокинетический Hypokinetic	62,6±2,5	88,4±2,3	67,3±4,7	4,1±0,3	2,3±0,1	1812,4±128,5
Эукинетический Eukinetic	68,8±1,5	91,3±3,7	86,2±5,2	5,5±0,5	3,6±0,3	1343,0±148,9
Поздний период / late period						
Гиперкинетический Hyperkinetic	74,8±2,4	85,6±2,2	102,9±6,5	7,7±0,5	4,5±0,2	936,3±55,9
Гипокинетический Hypokinetic	68,3±2,4	87,7±1,7	61,7±3,5	4,2±0,2	2,5±0,1	1782,5±117,9
Эукинетический Eukinetic	70,2±3,1	90,3±1,7	93,9±6,6	6,0±0,2	3,4±0,1	1182,6±71,1
Отдаленный период / Remote period						
Гиперкинетический Hyperkinetic	70,2±2,9	88,2±2,1	111,0±7,1	7,9±0,8	4,3±0,4	939,2±71,7
Гипокинетический Hypokinetic	67,7±4,2	88,5±1,4	65,2±6,1	3,8±0,3	2,1±0,2	1755,3±115,5
Эукинетический Eukinetic	60,2±4,3	87,5±7,1	72,0±4,2	7,7±0,6	3,0±0,3	1256,4±38,0

ное отличие параметров одноименных ТК не регистрировалось в процессе всего наблюдаемого посттравматического периода.

Распределение ТК в изученной когорте больных с травмой почки на разных этапах посттравматического периода, представлено в таблице 3, показано, что приоритетное положение в посттравматическом периоде занимает гипокинетический ТК.

Скоростные показатели почечной гемодинамики, структурированные по ТК, контрольной и основной группам в отдаленном посттравматическом периоде содержатся в таблице 4. Сравнительный анализ полученных результатов выявил, что скоростные характеристики почечной гемодинамики по систолической и диастолической составляющим достоверно статистически не различались при разных ТК в контрольной и основной группах. ■

Таблица 3. Частота встречаемости типов кровообращения на этапах посттравматического периода
Table 3. Frequency of blood circulation types in the stages of the post-traumatic period

Тип кровообращения Types of blood circulation	Ранний период Early period	Поздний период Late period	Отдаленный период Remote period
Гиперкинетический, n (%) Hyperkinetic, n (%)	75 (38,3%)	78 (39,8%)	68 (34,7%)
Гипокинетический, n (%) Hypokinetic, n (%)	112 (57,1%)	74 (37,7%)	94 (48,0%)
Эукинетический, n (%) Eukinetic, n (%)	9 (4,6%)	44 (22,5%)	34 (17,3%)

Таблица 4. Показатели почечной гемодинамики при различных типах кровообращения в контрольной и основной группах в отдаленном посттравматическом периоде
Table 4. Parameters of renal hemodynamics in various types of blood circulation in the control and main groups with in the late post-traumatic period

Показатель Indicators			Интактные сегменты почки Intact kidney segments	Поврежденные сегменты почки Damaged kidney segments	p
Гиперкинетический Hyperkinetic	Почечная артерия Renal artery	V_{max} , М/С V_{max} , m/s	0,61±0,02	0,71±0,04	>0,05
		V_{min} , М/С V_{min} , m/s	0,31±0,08	0,21±0,02	>0,05
	Сегментарные артерии Segmentary arteries	V_{max} , М/С V_{max} , m/s	0,48±0,02	0,44±0,03	>0,05
		V_{min} , М/С V_{min} , m/s	0,18±0,01	0,18±0,02	>0,05
	Междолевые артерии Interlobar arteries	V_{max} , М/С V_{max} , m/s	0,35±0,02	0,32±0,03	>0,05
		V_{min} , М/С V_{min} , m/s	0,15±0,01	0,17±0,02	>0,05
Гипокинетический Hypokinetic	Почечная артерия Renal artery	V_{max} , М/С V_{max} , m/s	0,72±0,05	0,70±0,02	>0,05
		V_{min} , М/С V_{min} , m/s	0,25±0,02	0,24±0,02	>0,05
	Сегментарные артерии Segmentary arteries	V_{max} , М/С V_{max} , m/s	0,53±0,01	0,53±0,02	>0,05
		V_{min} , М/С V_{min} , m/s	0,19±0,01	0,20±0,01	>0,05
	Междолевые артерии Interlobar arteries	V_{max} , М/С V_{max} , m/s	0,37±0,02	0,32±0,02	>0,05
		V_{min} , М/С V_{min} , m/s	0,17±0,01	0,15±0,005	>0,05
Эукинетический Eukinetic	Почечная артерия Renal artery	V_{max} , М/С V_{max} , m/s	0,67±0,02	0,71±0,01	>0,05
		V_{min} , М/С V_{min} , m/s	0,26±0,02	0,22±0,02	>0,05
	Сегментарные артерии Segmentary arteries	V_{max} , М/С V_{max} , m/s	0,51±0,01	0,48±0,01	>0,05
		V_{min} , М/С V_{min} , m/s	0,17±0,02	0,18±0,02	>0,05
	Междолевые артерии Interlobar arteries	V_{max} , М/С V_{max} , m/s	0,35±0,03	0,36±0,02	>0,05
		V_{min} , М/С V_{min} , m/s	0,15±0,02	0,16±0,02	>0,05

С целью выяснения взаимосвязей между параметрами внутривисцерального кровотока с показателями центрального кровообращения проведен корреляционный анализ с расчетом коэффициента ранговой корреляции r (по Спирмену) и коэффициента детерминации (табл. 5).

Корреляционный анализ при уровне значимости $<0,05$ выявил наличие очень сильной обратной взаимосвязи PI в бассейне междолевых артерий с сосудистым параметром ОПСС центральной гемодинамики. Корреляционная связь приближается к 1, а коэффициент детерминации описывает почти 100% дисперсии. Далее по степени тесноты взаимосвязи между признаками, относящейся к очень сильной и сильной и объясняющей до 90% дисперсии, располагаются показатели взаимозависимости RI и PI на уровне ветвей сегментарных и междолевых артерий с САД, ДАД и срАД. Средняя и сильная корреляционная связь зафиксирована также между RI и PI сегментарных, междолевых внутривисцеральных артериях с МОК, УО и СИ при вариабельности переменных от 50 до 77%.

При выявлении силы связи RI в зависимости от ТК установлено, что как максимальная, так и минимальная скорости кровотока в сегментарных артериях находились в очень сильной отрицательной взаимо-

связи соответственно с ОПСС ($r = -0,9016$, $r^2 = 0,81288$) и срАД ($r = -0,89832$, $r^2 = 0,80698$) при гиперкинетическом ТК. Гипокинетический ТК характеризовался очень сильной положительной взаимосвязью максимальной скорости кровотока в междолевых артериях с ОПСС ($r = 0,96261$, $r^2 = 0,92662$) и срАД ($r = 0,91553$, $r^2 = 0,83819$).

Оценка скоростей кровотока в неповрежденных сегментах почки обнаружила, что только V_{min} сегментарных артерий очень сильно коррелирует в отрицательной связи с МОК ($r = -0,95427$, $r^2 = 0,91063$) и УО ($r = -0,95958$, $r^2 = 0,92079$). В поврежденных сегментах аналогичная картина связи наблюдалась по отношению V_{max} сегментарного бассейна к СИ ($r = -0,95265$, $r^2 = 0,90754$). Сегментарный RI показал сильную положительную корреляцию со срАД ($r = 0,90337$, $r^2 = 0,81608$) и отрицательную с СИ ($r = -0,9519$, $r^2 = 0,9061$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Органное сосудистое русло представляет собой сеть сосудов, способных к изменению просвета под действием вне- и внутрисосудистых факторов. К внесосудистой регуляции относят нервные и гумораль-

Таблица 5. Сильные и очень сильные (по шкале Чеддока) корреляционные связи (r) и дисперсия переменных (r^2) в показателях внутривисцеральной и центральной гемодинамики после травмы почки Grade I-III

Table 5. Strong and very strong (Cheddock scale) correlations (r) and variance of variables (r^2) in intrarenal and central hemodynamic indices after Grade I-III kidney injury

Показатели Parameters	Коэффициент корреляции Correlation coefficient, (r)				Коэффициент детерминации Determination coefficient, (r^2)			
	Сегментарные артерии Segmentary arteries		Междолевые артерии Interlobar arteries		Сегментарные артерии Segmentary arteries		Междолевые артерии Interlobar arteries	
	RI	PI	RI	PI	RI	PI	RI	PI
САД SBP	-0,91394				-0,83529			
ДАД DBP			-0,94265	-0,91362			-0,88859	-0,83470
срАД MBP				-0,89656				-0,80382
МОК MBV	-0,75801		-0,75682		-0,57485		-0,57277	
УО SV			-0,71154	-0,8754			-0,50629	-0,76632
СИ CI	-0,74407	-0,82522	-0,7158		-0,55364	-0,68098	-0,51237	
ОПСС TPVR				-0,99948				-0,99896
УПСС SPVR				-0,88002				-0,77443

ные механизмы кратковременного действия (барорецепторные, хеморецепторные, рефлекс на ишемию центральной нервной системы, их развитие происходит в несколько секунд), промежуточные (транскапиллярный обмен, реакция ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, максимальное развитие – часы), длительного действия (почечная регуляция объема жидкости, действие вазопрессина и альдостерона – влияют на соотношение между внутрисосудистым объемом крови и емкостью сосудов). Внутрисосудистая регуляция включает зависимую от кровотока дилатацию сосудов (эффект Шретценмайра), миогенную регуляцию (эффект Остроумова-Бейлисса), ремоделирование сосудов, эндотелиальную модуляцию тонуса сосудов [25].

Сложность морфологической организации, различная анатомическая плотность, состояние реологии и сочетание локальных, миогенных, нейрогенных механизмов регуляции тонуса различных отделов сосудов органа русла обуславливают большое разнообразие вариантов тканевой гемодинамики, что представляет значительные трудности для интерпретации гемодинамических процессов, происходящих в системе интратанальной кровотока. В проведенных нами исследованиях установлено, что в раннем посттравматическом периоде в поврежденных областях почки абсолютные показатели максимальной систолической и минимальной диастолической скорости кровотока увеличиваются. Это обстоятельство, на наш взгляд, может быть связано с явлениями артериальной гиперемии в зоне повреждения для разворачивания событий клеточной инфильтрации, а также артериовенозным шунтированием. Зарегистрированное нами повышение индекса резистентности в сегментарном и междолевом кровеносных руслах и симметричное снижение пульсационного индекса, вероятнее всего, было связано с наличием интерстициального отека в периваскулярных тканях почки и подкапсульной гематомой. В отдаленном посттравматическом периоде снижения абсолютных показателей максимальной систолической и диастолической скоростей в интратанальных сосудах почки в наших исследованиях не зафиксировано. На основании исследований К.А. Александровой с соавт., полученные данные согласуются с компенсаторным типом ренальной гемодинамики, когда включаются компенсаторные механизмы в кровеносном русле [26].

Установленные в 1974 г. индексы RI и PI изначально интерпретировались как свидетельства внутрипочечных патологических сосудистых процессов [27]. Исследования последних 30 лет были направлены на выявление прогностической значимости индексов при заболеваниях почек. В настоящее время установлено, что индексы внутрипочечного сосудистого сопротивления являются параметрами, отражающими

состояние как почечной микроциркуляции, так и системной гемодинамики [28]. W.C. O'Neill математически доказал, что индексы зависят от механических характеристик сосудов (податливости, растяжимости и жесткости сосудистой стенки) и сосудистого сопротивления, а внутрипочечный кровоток определяется двумя противоположными параметрами: градиентом давления между аортой – внутрипочечными артериями и внутрипочечным сосудистым сопротивлением [29]. Исследования М. Ф. O'Rourke и соавт. явились лучшей иллюстрацией того факта, что корреляция гемодинамических показателей подтверждает взаимосвязи между системным и внутрипочечным кровообращением [30]. Современными исследованиями отмечено, что на количественную оценку индексов внутрипочечного сосудистого сопротивления как при физиологических, так и при патологических условиях влияют артериальное давление, сердечная функция и сосудистое сопротивление [31]. В наших исследованиях, как и следовало ожидать, получены результаты, подтверждающие литературные данные о взаимосвязи RI и PI с параметрами системной гемодинамики, которые расположились в следующем градиционном строении по убывающей силе корреляции: ОПСС → ДАД → САД → сРАД → УО → СИ → МОК.

На сегодняшний день о RI нет единого мнения как на его определение, так и на базовый анализ физического и гидродинамического обоснования. Так, W.C. O'Neill утверждал, и с ним согласны многие авторы, что RI отражает свойства системной сосудистой системы, а не свидетельствует о заболевании почек [32]. По мнению же М.В. Зозули с соавт., RI отображает периферическую тканевую перфузию, но не глобальный гемодинамический статус [33]. Убедительного патогенетического обоснования повышения сопротивления почечных сосудов в настоящее время не существует. N. Lerolle считал, что повышение индексов внутрипочечного сосудистого сопротивления трудно согласовать с обычной концепцией физиологической регуляции почечного кровообращения [34]. R. Ozelsançak и соавт. не обнаружили корреляции между САД, ДАД и RI [35]. Зафиксированные в наших исследованиях взаимосвязи и взаимодействия с показателями ССС позволяют предположить, что это может быть связано с функциональной вазоконстрикцией в месте повреждения ткани почки, а кровяное давление в аорте, зависящее от сердечной функции, стимулирует миогенный ответ почечных афферентных артериол, определяет сопротивление почечных сосудов и пульсацию почечного кровотока.

Определение RI в отдаленном посттравматическом периоде свидетельствовало, что показатель находился в средних значениях в сегментарных артериях поврежденной почки ($0,65 \pm 0,02$) и в междолевых артериях ($0,62 \pm 0,01$). R. Darabont и соавт., рассматривая RI

как маркер системного сердечно-сосудистого риска, указывали, что значения $RI > 0,9$ ассоциированы с высоким сердечно-сосудистым риском [28]. Исследования G. Romano и соавт. показали, что RI имеет пороговое значение $> 0,8$ у больных интерстициальными заболеваниями почек, предсказывающее снижение функции, но имеющее низкую дискриминационную эффективность, предполагая необходимость учета и анализа дополнительных показателей ССС [36].

Уровень функционирования системы кровообращения (миокардиально-гемодинамический гомеостаз) является регулируемой величиной поддержания АД путем изменения как межсистемных, так и внутрисистемных взаимодействий и взаимосвязей, который определяется притоком крови к сердцу и периферическим сосудистым сопротивлением. Полезным результатом этой функциональной системы является сердечный выброс крови в упругоэластичный аортоартериальный резервуар, объем которого определяется анатомическими размерами русла и динамическим сосудистым тонусом. УО выступает при этом в роли эквивалентного носителя энергии сердечного сокращения, реализующей АД. При этом МОК определяет диастолическую, а УО – систолическую составляющую АД [37]. Основная роль системной регуляции миокардиально-гемодинамического гомеостаза состоит в том, чтобы ограничить «эгоистические» запросы тканей и обеспечить деятельность ССС как единого целого.

В 1935 г. Н.Н. Савицкий, осуществив комплексные исследования центральной гемодинамики, газообмена и артериовенозной разницы по кислороду в условиях основного обмена у человека, установил взаимосвязь МОК с энергетическим метаболизмом организма [19]. Впоследствии эти исследования легли в основу концепции о типах центральной гемодинамики, которые используются в качестве базиса гемодинамического анализа. Р.Г. Оганов с соавт. идентифицировали интервальное распределение гемодинамических стереотипов у здоровых мужчин до 40 лет: гиперкинетический тип отмечен у 20-25%, эукинетический – у 45-50% и гипокинетический ТК – у 25-30% обследованных [38]. Надо подчеркнуть, что показатели затраты энергии считаются фундаментальными при рассмотрении общих закономерностей биологических явлений, в том числе и при АГ. Энергетически затратное и наиболее неустойчивое состояние возникает при гиперкинетическом ТК, когда происходит активное перераспределение потоков крови с ограничением ее поступления в области с высоким сосудистым периферическим сопротивлением.

Между внутривисцеральным и центральным кровообращением имеется тесная коррелятивная связь, когда первичные нарушения одного органа приводят

к вторичной дисфункции или повреждению другого, в основе которой лежит рефлекторная связь между волюморцепторами сердца и барорецепторами сосудов [39]. Сохранение на физиологическом уровне величины АД – конечный результат функциональной результативности гемодинамики, определяющий адекватность кровотока, микроциркуляции, трофики органов и тканей. Состояние ССС может трактоваться как показатель адаптационных возможностей организма.

Проведенное изучение центральной гемодинамики свидетельствовало, что в посттравматическом периоде превалирует гипокинетический ТК, характеризующийся повышенными показателями ОПСС, при сниженных МОК и СИ. Примерно у 1/3 пострадавших регистрировался гиперкинетический ТК с противоположными данными: снижение величин ОПСС, увеличение МОК и СИ. В ¼ всех наблюдений отмечен эукинетический ТК при средних значениях показателей МОК, СИ и ОПСС. Р.В. Хурса подчеркивала высокий адаптационный потенциал сердечно-сосудистой системы при гипокинетическом ТК, снижение адаптационных возможностей при гиперкинетическом ТК и адекватные физиологическим потребностям возможности при эукинетическом ТК [40]. На этом основании можно заключить, что устойчиво преобладающее на протяжении всего посттравматического периода гипокинетический и эукинетический ТК, свидетельствует о широких функциональных возможностях адаптации гемодинамики.

При любой АГ трансформация сердечного выброса и тонуса сосудов является типичной особенностью [41]. Изолированное повышение только СИ или только ОПСС не может быть причиной повышения АД. Гемодинамическую профилизацию АГ уже в самом ее начале формирует преобладание во взаимодействии сердечного или сосудистого компонента. По данным ряда исследователей, в остром периоде травмы и в начале развития АГ, вызванной паренхиматозной патологией почек, гиперкинетический тип ТК является основным [42]. Активное течение паренхиматозной патологии вызывает изменение гемодинамического стереотипа за счет увеличения частоты его представленности, что свидетельствует о неэкономном режиме функционирования сердца и, как следствие, лабильности гемодинамики почек. Полученные нами данные демонстрируют сохранение доли гиперкинетического ТК в монотонно имплицитном уровне (38,3% – 39,8% – 34,7%) на протяжении всего рассматриваемого посттравматического периода.

При установлении риска развития АГ в исследованиях ССС проводится регистрация двух связанных параметров (САД и ДАД), определяющих одну физическую переменную – АД. Р. Kerkhof и соавт. был предложен метод гипотенузы для вычисления пары

соответствия, когда категорию полученных показателей представляют в виде полярных координат: для АД это сРАД и ПД, что позволяет осуществить комплексный подход к физической переменной и получить дополнительное диагностическое значение [43]. Клинические подтверждения значимости этих дополнительных показателей получены исследованиями И.Е. Чазовой с соавт., где повышения ПД и сРАД оказались связанными с факторами риска АГ [44]. Диагностированные нами средние значения прямых показателей гемодинамики для САД – $117,7 \pm 1,5$ мм рт. ст., ДАД – $75,3 \pm 1,1$ мм рт. ст., ПД – $42,3 \pm 1,5$ мм рт. ст., сРАД – $83,2 \pm 1,0$ мм рт. ст. соответствовали физиологическому диапазону.

Рассмотрение центральной гемодинамики в единстве с энергетическим метаболизмом свидетельствовало, что при увеличении МОК (гиперкинетический ТК) коэффициент утилизации кислорода снижается с последующей реакцией на гипоксию в виде компенсаторной гипердинамии кровообращения. При снижении МОК (гипокинетический ТК) коэффициент утилизации кислорода увеличивается на фоне минимальных значений скоростных показателей регионарного кровотока, что означает повышение коэффициента полезного действия работы системы кровообращения [45]. Исходя из адаптационных стратегий В.И. Кулинского и И.А. Ольховского, реализация малоэффективной стратегии резистентности (сопротивляемости) позволяет сохранить гомеостаз путем максимального напряжения функций систем жизнеобеспечения и усилением основного обмена. Гиперкинетический ТК отражает картину стратегии резистентности. При доминировании толерантной (выносливости, устойчивости) стратегии, адаптивный эффект достигается минимизацией функций организма. Маркером толерантного гипозергоза является гипокинетический ТК [46]. Полученная нами динамика устойчивого превалирования гипокинетического ТК на протяжении всего посттравматического периода свидетельствует о разворачивании адаптационной стратегии толерантности. Эти данные согласуются с результатами выполненной С.Н. Бочаровым с соавт.

экспериментальной модели скелетной травмы, которая свидетельствовала, что после травмы реализуется адаптационная стратегия толерантности, ограничивающая длительность стресс-реакции и предупреждающая ее неблагоприятные последствия [47]. Кроме этого, необходимо еще отметить мнение Е.Л. Михалюка о том, что гипокинетический ТК можно рассматривать как фактор, снижающий риск развития АГ [48].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при травмах почки степеней Grade I-III OIS AAST максимальная систолическая, конечная диастолическая скорости интратрениальной гемодинамики, индексы внутривисцерального сосудистого сопротивления являются маркерами области повреждения почечной паренхимы. Нарушения интраорганической гемодинамики ликвидируются в отдаленном посттравматическом периоде. Имеется сильная корреляционная связь и высокая степень взаимосвязи линейных скоростей почечного кровотока и индексов внутривисцерального сосудистого сопротивления с параметрами системной гемодинамики, характерными для физиологического состояния. В типологических особенностях реагирования ССС на травму почки имеется кардиогемодинамическая неоднородность с достоверным отличием показателей различных ТК. В ранний посттравматический период превалирует гипокинетический ТК, как адаптивный ответ организма в виде толерантного гипозергоза. Эта тенденция сохраняется и в последующие сроки, как долговременная адаптация организма. Отсутствует доминирование гиперкинетического варианта гемодинамики, характерного для резистивной стратегии адаптации, и базисного типа в развитии вторичной АГ.

После травмы почки некротической степени тяжести констатируемые параметры системной и органической гемодинамики не обладают предсказательной силой для реализации прямой причинно-следственной связи в развитии вторичной ренопаренхиматозной АГ. ■

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Choudhury S, Ray P, Pal DK. Changing paradigms of management of isolated blunt renal trauma. *Trauma* 2022;24(1):36-42. <https://doi.org/10.1177/1460408620965446>.
2. Petrone P, Perez-Carlo J, Brathwaitr CEM, Islam S, Joseph AK. Traumatic kidney injuries: a systematic review and meta-analysis. *Int J Surg* 2020;74:13-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2019.13.013>.
3. Устименко Е.М. Травма почек. М.: Медицина, 1981 г. 224 с. [Ustimenko E.M. Kidney injury. M.: Medicine, 1981. 224 p. (In Russian)]
4. Калинина Н.М., Сосюкин А.Е., Вологжанин Д.А., Кузин А.А., Князев П.С. Травма: воспаление и иммунитет. *Цитокины и воспаление* 2005;(1):28-35. [Kalinina N.M., Sosyukin A.E., Vologzhanin D.A., Kuzin A.A., Knjazev P.S. Trauma: inflammation and immunity. *Tsitokiny i vospaleniye = Cytokines and Inflammation* 2005;(1):28-35. (In Russian)].
5. Пирогов Н.И. Начала общей военно-полевой хирургии, взятые из наблюдений военно-госпитальной практики и воспоминаний о Крымской войне и Кавказской экспедиции. Л.: Медгиз, 1941г. Часть 1. С. 41-81. [Pirogov N.I. The beginnings of general military field surgery, taken from observations of military hospital practice and memories of the Crimean War and the Caucasian expedition. L.: Medgiz, 1941. Part 1. pp. 41-81. (In Russian)].
6. Агаджанян Н.А. Проблемы адаптации и учение о здоровье. М.: Изд-во РУДН, 2006 г. 284 с. [Agadzhanyan N.A. Problems of adaptation and the doctrine of health. M.: Publishing House RUND, 2006. 284 p. (In Russian)].

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

7. Salcedo A, Ordoñez CA, Parra MW, Osorio JD, Leib P, Caicedo Y, et al. Damage control for renal trauma: the more conservative the surgeon, better for the kidney. *Colomb Med (Cali)* 2021;52(2):e4094682. <https://doi.org/10.25100/cm.v52i2.4682>.
8. Mast GJ, Konrad G, Neisius D, Taugner R, Ziegler M. Renale Hypertonie – eine drohende Komplikation stumpfer Nierenverletzungen. *Eur J Trauma Emerg Surg* 1983;(5):280. <https://doi.org/10.1007/BF02893752>.
9. Chedid A, le Coz S, Rossignol P, Bobrie G, Herpin D, Plouin P-F. Blunt renal trauma – induced hypertension: prevalence, presentation, and outcome. *Am J Hypertens* 2006;19(5):500-4. <https://doi.org/10.1016/j.amjhyper.2005.08.015>.
10. Pereira GA, Santos AC, Muglia VF. Late evaluation of the relationship between morphological and functional renal changes and hypertension after non-operative treatment of high-grade renal injuries. *World J Emerg Surg* 2012;(1):26. <https://doi.org/10.1186/1749-7922-7-26>.
11. Чазова И.Е., Чихладзе Н.М., Блинова Н.В., Белая Ж.Е., Данилов Н.М., Елфимова Е.М. и др. Евразийские клинические рекомендации по диагностике и лечению вторичных (симптоматических) форм артериальной гипертензии (2022). *Евразийский кардиологический журнал* 2023;(1):6-65. [Chazova I.E., Chikhladze N.M., Blinova N.V., Belaya Zh. E., Danilov N.M., Elfimova E.M. et al. Eurasian clinical guidelines for the diagnosis and treatment of secondary (symptomatic) forms of arterial hypertension (2022). *Yevraziyskiy kardiologicheskiy zhurnal = Eurasian Heart Journal* 2023;(1):6-65. (In Russian)]. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2023-1-6-65>.
12. Sannerstedt R. Differences in haemodynamic pattern in various types of hypertension. *Triangle* 1970;(8):293-9.
13. Chien LC, Vakil M, Nguyen J, Chahine A, Archer-Arroyo K, Hanna TN 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;(1):63-73. <https://doi.org/10.1007/s10140-019-01721-z>.
14. Смоляр А.Н. Закрытая травма живота. Повреждения почек. Часть 3. Хирургия. *Журнал им. Н.И. Пирогова* 2016;(6):4-13. [Smolyar A.N. Blunt abdominal trauma. Kidneys injury. Part 3. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova = Pirogov Russian Journal of Surgery* 2016;(6):4-13. (In Russian)]. <https://doi.org/10.17116/hirurgia201664-13>.
15. Bige N, Lévy PP, Callard P, Faintuch J-M, Chigot V, Jouselin V et al. Renal arterial resistive index is associated with severe histological changes and poor renal outcome during chronic kidney disease. *BMC Nephrology* 2012;13:139. <https://doi.org/10.1186/1471-2369-13-139>.
16. Глыбочко П.В., Башков В.А. Длительность пребывания в стационаре больных с закрытыми травмами почек в зависимости от выбранной лечебной тактики. *Фундаментальные исследования* 2005;(9):12-3. [Glybochko P.V., Bashkov V.A. Duration and efficiency of hospital treatment of blunt renal trauma patients depending on the choice of treatment mode. *Fundamental'nyye issledovaniya = Fundamental research* 2005;(9):12-3. (In Russian)].
17. Hart ECJ, Charkoudian N. Sympathetic neural regulation of blood pressure: influences of sex and aging. *Physiol* 2014;(29):8-15. <https://doi.org/10.1152/physiol.00031.2013>.
18. Котельников Г.П., Чеснокова И.Г. Травматическая болезнь. М.: Медицина; 2002 г. 272 с. [Kotelnikov G.P., Chesnokova I.G. Traumatic disease. M.: Medicine; 2002. 272 p. (In Russian)].
19. Савицкий Н.Н. Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики. М.: Медицина. 1974 г. 311 с. [Savitsky N.N. Biophysical bases of blood circulation and clinical methods for studying hemodynamics. M.: Medicine. 1974. 311 p. (In Russian)].
20. Пушкарь Ю.Т., Цветков А.А., Хеймец Т.И. Автоматизированное определение минутного объема методом реографии. *Бюллетень Всесоюзного кардиологического научного центра АМН СССР* 1980;(1):45-8. [Pushkar Yu.T., Tsvetkov A.A., Kheimets T.I. Automated determination of minute volume by rheography. *Byulleten' Vsesoyuznogo kardiologicheskogo nauchnogo tsentra AMN SSSR = Bulletin of the All-Union Cardiology Research Center of the USSR Academy of Medical Sciences* 1980;(1):45-8. (In Russian)].
21. Лужников Е.А., Ишмухаметов А.И., Костомарова Л.Г., Савина А.С., Ильяшенко К.К., Цветков А.А. Комплексная оценка функционального состояния гемодинамики методом импедансной электроплетизмографии и импедансометрии. Методические рекомендации МЗ РСФСР. М., 1985, 33 с. [Luzhnikov E.A., Ishmukhametov A.I., Kostomarov L.G., Savina A.S., Ilyashenko K.K., Tsvetkov A.A. Comprehensive assessment of the functional state of hemodynamics by the method of impedance electroplethysmography and impedancemetry. Methodological recommendations of the Ministry of Health of the RSFSR. M., 1985, 33 p. (In Russian)].
22. Терегулов Ю.Э., Маянская С.Д., Терегулова Е.Т. Определение дифференцированных типов гемодинамики на основе оценки интегральных показателей кровообращения у здоровых людей и пациентов с артериальной гипертензией. *Казанский медицинский журнал* 2015;(6):911-7. [Teregulov Yu.E., Mayanskaya S.D., Teregulova E.T. Determination of differentiated hemodynamics types based on assessment of integral circulation indicators in healthy people and patients with hypertension. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal = Kazan Medical Journal* 2015;(6):911-7. (In Russian)]. <https://doi.org/10.17750/KMJ2015-911>.
23. Яковлев Г.М., Карлов В.А. Типы кровообращения здорового человека: нейрогуморальная регуляция минутного объема кровообращения в условиях покоя (1 Гиперкинетический тип). *Физиология человека* 1992;(6):86-108. [Yakovlev G.M., Karlov V.A. Types of blood circulation in a healthy person: neurohumoral regulation of minute volume of blood circulation at rest (1 Hyperkinetic type). *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology* 1992;(6):86-108. (In Russian)].
24. Баврина А.П., Борисов И.Б. Современные правила применения корреляционного анализа. *Медицинский альманах* 2021;(3):70-9. [Bavrina A.P., Borisov I.B. Modern rules of the application of correlation analysis. *Meditsinskiy al'manakh = Medical Almanac* 2021;(3):70-9. (In Russian)].
25. Егоров В.А., Москал В.М., Регирер С.А., Шадрин Н.Х. Механогенные реакции сосудов при пульсирующем потоке: теоретические предсказания. *Физиологический журнал СССР им. И.М. Сеченова* 1991;77(9):115-22. [Egorov V.A., Moskal V.M., Regirer S.A., Shadrin N.Kh. Mechanogenic responses of vessels under pulsating flow: theoretical predictions. *Physiological Journal of the USSR. Named after I.M. Sechenov* 1991;77(9):115-22. (In Russian)].
26. Александрова К.А., Руденко В.И., Серова Н.С., Газимиев М.А., Капанадзе Л.Б. Современные лучевые технологии оценки почечной перфузии у больных мочекаменной болезнью. *Урология* 2018;(5):106-12. [Aleksandrova K.A., Rudenko V.I., Serova N.S., Gazimiev M.A., Kapanadze L.B. Modern radiology diagnostics methods for assessment of renal perfusion in patients with urinary stone disease. *Urologiya = Urologia* 2018;(5):106-12. (In Russian)]. <https://doi.org/10.18565/urology.2018.5.106-112>.
27. Petersen LJ, Petersen JR, Ladefoged SD, Mehlsen J, Jensen HA. The pulsatility index and the resistive index in renal arteries in patients with hypertension and chronic renal failure. *Nephrol Dial Transplant* 1995;10(11):2060-2064.
28. Darabont R, Mihalcea R., Vinereanu D. Current insights into the significance of the renal resistive index in kidney and cardiovascular disease. *Diagnostics* 2023;13(10):1687. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13101687>.
29. O'Neill WC. Sonographic evaluation of renal failure. *Am J Kidney Dis* 2000;35(6):1021-38. [https://doi.org/10.1016/s0272-6386\(00\)70036-9](https://doi.org/10.1016/s0272-6386(00)70036-9).
30. O'Rourke MF, Safar ME. Relationship between aortic stiffness and microvascular disease in brain and kidney: cause and logic of therapy. *Hypertension* 2005;46(1):200-4. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.0000168052.00426.65>.
31. Sveceny J, Charvat J, Hrach K, Horackova M, Schuck O. In essential hypertension, a change in the renal resistive index is associated with a change in the ratio of 24-hour diastolic to systolic blood pressure. *Physiol Res* 2022;71(3):341-8. <https://doi.org/10.33549/physiolres.934860>.
32. O'Neill WC. Renal resistive index a case of mistaken identity. *Hypertension* 2014;64(5):915-917. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.114.048183>.
33. Зозуля М.В., Ленкин А.И. Оценка органной перфузии и волемического статуса с помощью ультразвука. *Тихоокеанский медицинский журнал* 2023;(1):27-34. [Zozulya M.V., Lenkin A.I. Evaluation of organ perfusion and intravascular volume status by ultrasound. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal = Pacific Medical Journal* 2023;(1):27-34. (In Russian)]. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2023-1-27-34>.
34. Lerolle N. Please don't call me RI anymore: I may not be the one you think I am! *Critical Care* 2012;16:174-5. <https://doi.org/10.1186/cc11831>.
35. Ozelsancak R, Torun D, Koc Z, Sezer S, Ozdemir FN, Niron EA. Relationship between renal resistive index and inflammation in untreated hypertensive patients. *Int Heart J* 2009;50(6):753-761. <https://doi.org/10.1536/ihj.50.753>.
36. Romano G, Mioni R, Danieli N, Bertoni M, Croatto E, Merla L, et al. Elevated intrarenal resistive index predicted faster renal function decline and long-term mortality in non-proteinuric chronic kidney disease. *J Clin Med* 2022;(11):2995. <https://doi.org/10.3390/jcm11112995>.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

37. Пирогова Г.В. Сердце как ведущее звено функциональной системы энергообеспечения артериального притока. *Вестник Академии медицинских наук* 1985;(2):70-8. [Pirogova G.V. Heart as a leading link in the functional system of energy supply of arterial inflow. *Annals of the Russian academy of medical sciences = Bulletin of the Academy of Medical Sciences* 1985;(2):70-8. (In Russian)]
38. Оганов Р.Г., Бритов А.Н., Гундаров И.А., Константинов Е.Н., Шаталов А.Т., Деев А.Д. Дифференцированный подход к разработке физиологических нормативов и его значение для профилактической кардиологии. *Кардиология* 1984;(4):52-6. [Oganov R.G., Britov A.N., Gundarov I.A., Shatalov A.T. Differential approach to the development of physiologic standards and its significance for preventive cardiology. *Kardiologiya = Kardiologiya* 1984;(4):52-6. (In Russian)]
39. Мухин Н.А., Моисеев В.С., Ж.Д. Кобалава, С.В. Моисеев С.В., Фомин В.В. Кардиоренальные взаимодействия: клиническое значение и роль в патогенезе сердечно-сосудистой системы и почек. *Терапевтический архив* 2004;(6):39-46. [Mukhin N.A., Moiseev V.S., Kobalava Zh. D., Moiseev S.V., Fomin V.V. Cardiorenal interactions: clinical indications and role in pathogenesis of cardiovascular and renal diseases. *Terapevticheskiy arkhiv = Therapeutic archive* 2004;(6):39-46. (In Russian)]
40. Хурса Р.В. Реографические показатели центральной гемодинамики и типы кровообращения по данным линейной регрессии параметров артериального давления: есть ли связь? *Артериальная гипертензия* 2015;(5):21-8. [Khursa R.V. Rheographic indicators of central hemodynamic and types of the circulation according to linear regress of blood pressure parameters: is there a relation? *Arterial'naya gipertenziya = Arterial hypertension* 2015;(5):21-8. (In Russian)]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reograficheskie-pokazateli-tsentralnoy-gemodinamiki-i-tipy-krovoobrascheniya-po-dannym-lineynoy-regressii-parametrov-arterialnogo/viewer>
41. Лукьянов В.Ф., Лукьянова С.В. Распределение кровотока при гипертонической болезни. *Российский кардиологический журнал* 2002;(5):33-7. [Lukyanov V.F., Lukyanova S.B. Blood flow distribution in essential hypertension. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal = Russian Journal of Cardiology* 2002;(5):33-7. (In Russian)]. URL: <https://russjcardiol.elpub.ru/jour/article/view/1890/1564>
42. Логачева И.В., Гуничева Е.А., Брук И.В. Особенности функционального состояния и вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы у подростков с артериальной гипертензией 1 степени. *Артериальная гипертензия* 2010;(6):552-8. [Logachyova I.V., Gunicheva Y.A., Brook I.V. Cardiovascular system functional state and autonomic regulation in teenagers with arterial hypertension of 1 degree. *Arterial'naya Gipertenziya = Arterial Hypertension* 2010;(6):552-8. (In Russian)]. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2010-16-6>
43. Kerkhof PLM, Konradi AO, Shlyakhto EV, Handly N, Li J K-J. Polar coordinate description of blood pressure measurements and implications for sex-specific and personalized analysis. *Conf Proc IEEE. Eng Med Biol Soc* 2019:502-5. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8857346>.
44. Чазова И.Е., Жернакова Ю.В., Ощепкова Е.В., Шальнова С.А., Яровая Е.Б. и др. Распространенность факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний в российской популяции больных артериальной гипертензией. *Кардиология* 2014;54(10):4-12. [Chazova I.E., Zhernakova Yu. V., Oshchepkova E.V., Shalnova S.A., Yarovaya E.B., et al. Prevalence of cardiovascular risk factors in russian population of patients with arterial hypertension. *Kardiologiya = Kardiologiya* 2014;54(10):4-12. (In Russian)]. <https://doi.org/10.18565/cardio.2014.10.4-12>.
45. Яковлев Г.М., Карлов В.А., Дьяконов М.М., Дикань В.Е. Типы кровообращения здорового человека: нейрогуморальная регуляция энергетического метаболизма в условиях основного обмена. *Физиология человека* 1991;(4):88-104. [Yakovlev G.M., Karlov V.A., Dyakonov M.M., Dikan V.E. Types of blood circulation in a healthy person: neurohumoral regulation of energy metabolism in conditions of basal metabolism. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology* 1991;(4):88-104. (In Russian)].
46. Кулинский В.И., Ольховский И.А. Две адаптационные стратегии в неблагоприятных условиях – резистентная и толерантная. Роль гормонов и рецепторов. *Успехи современной биологии* 1992;(5-6):697-713. [Kulinsky V.I., Olkhovskiy I.A. Two adaptation strategies in unfavorable conditions - resistant and tolerant. The role of hormones and receptors. *Uspekhi sovremennoy biologii = Advances in Modern Biology* 1992;(5-6):697-713. (In Russian)].
47. Бочаров С.Н., Лебедь М.Л., Кирпиченко М.Г., Гуманенко В.В. Новый способ определения стратегии адаптации в эксперименте. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук* 2012;(4):170-4. [Bocharov S.N., Lebed M.L., Kirpichenko M.G., Gumanenko V.V. New way to determine the type of adaptation strategy in experiment. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk = Bulletin of the East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences* 2012;(4):170-4. (In Russian)].

Сведения об авторах:

Чиглинцев К.А. – к.м.н., доцент кафедры урологии, нефрологии и трансплантологии ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России; Екатеринбург, Россия; РИНЦ Author ID 1108166; <https://orcid.org/0000-0001-9888-688X>

Зырянов А.В. – д.м.н., заведующий кафедрой урологии, нефрологии и трансплантологии ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России; Екатеринбург, Россия; РИНЦ Author ID 328820; <https://orcid.org/0000-0001-8105-7233>

Чиглинцев А.Ю. – д.м.н., заместитель главного врача Медико-диагностического центра «Арника»; Челябинск, Россия; РИНЦ Author ID 70376; <https://orcid.org/0000-0003-4704-7933>

Вклад авторов:

Чиглинцев К.А. – статистическая обработка и систематизация данных, написание текста, 40%
Зырянов А.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование статьи, 20%
Чиглинцев А.Ю. – сбор и обработка клинического материала, обобщение и интерпретация полученных данных, обработка и адаптация рукописи, 40%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование проведено без финансовой поддержки.

Статья поступила: 20.07.22

Результаты рецензирования: 18.08.22, 31.10.22, 02.02.23

Исправления получены: 19.08.22, 12.11.22, 04.04.23, 27.06.23

Принята к публикации: 31.07.23

Information about authors:

Chiglinceev K.A. – PhD, associate professor, department of urology, nephrology and transplantology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ural State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation; Yekaterinburg, Russia; RSCI Author ID 1108166; <https://orcid.org/0000-0001-9888-688X>

Zyrianov A.V. – Dr. Sci., head of the department of urology, nephrology and transplantology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ural State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation; Yekaterinburg, Russia; RSCI Author ID 328820; <https://orcid.org/0000-0001-8105-7233>

Chiglinceev A.Yu. – Dr. Sci., deputy chief physician Medico-diagnostic center «Arnika»; Chelyabinsk, Russia; RSCI Author ID 70376; <https://orcid.org/0000-0003-4704-7933>

Authors' contributions:

Chiglinceev K.A. – statistical processing and systematization of data, text writing, 40%
Zyrianov A.V. – research concept and design, article editing, 20%
Chiglinceev A.Yu. – collection and processing of clinical material, generalization and interpretation of the obtained data, processing and adaptation of the manuscript, 40%

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The article was published without financial support.

Received: 20.07.22

Peer review: 18.08.22, 31.10.22, 02.02.23

Corrections received: 19.08.22, 12.11.22, 04.04.23, 27.06.23

Accepted for publication: 31.07.23