

УДК: 616.62-003.7-089.879

DOI: 10.37895/2071-8004-2021-25-2-16-21

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЛАЗЕРА В ЛЕЧЕНИИ КРУПНЫХ КАМНЕЙ ПОЧЕК

**Ю.Г. Пак<sup>1</sup>, Н.А. Калягина<sup>2,3</sup>, Д.М. Ягудаев<sup>4,5</sup>**<sup>1</sup>ГКП на ПХВ «Городская многопрофильная больница № 2», Городской центр урологии, г. Нур-Султан, Республика Казахстан<sup>2</sup>ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова» Российской академии наук, г. Москва, Россия<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия<sup>4</sup>ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия<sup>5</sup>ЧУЗ «Центральная клиническая больница «РЖД-Медицина», г. Москва, Россия

## Резюме

**Введение.** В работе изучается эффективность, удобство и безопасность разрушения крупных камней почек у пациентов с нефролитиазом с помощью высокоэнергетического лазера по сравнению с другими контактными методами нефролитотрипсии.

**Материалы и методы.** Метод контактной лазерной нефролитотрипсии сравнивался по параметрам эффективности с гидropневматической и ультразвуковой литотрипсиями. Для выполнения контактной лазерной литотрипсии был использован гольмиевый зеленый лазер. Для других методов – аппараты Swiss LithoClast Master. Проведен анализ результатов 73 операций пациентов с крупными и сложными камнями почек.

**Результаты.** Получены и проанализированы основные параметры эффективности методов (степень очистки почки от камня и его фрагментов, вероятность миграции фрагментов конкремента, кровопотери, длительность операции, возникшие осложнения и др.). Кроме того, получены и проанализированы корреляции между основными параметрами.

**Выводы.** Анализ результатов исследования показал, что лазерная контактная литотрипсия является оптимальным методом деструкции крупных почечных камней по сравнению с традиционными методами, такими как контактная гидropневматическая и ультразвуковая литотрипсия. Она требует более длительного времени на проведение процедуры, но позволяет эффективнее избавляться от конкрементов.

**Ключевые слова:** высокоэнергетический лазер, мочекаменная болезнь, лечение, крупные конкременты, контактная литотрипсия, перкутанная нефролитотрипсия

**Для цитирования:** Пак Ю.Г., Калягина Н.А., Ягудаев Д.М. Эффективность высокоэнергетического лазера в лечении крупных камней почек. *Лазерная медицина*. 2021; 25(2): 16–21. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2021-25-2-16-21>

**Контакты:** Пак Ю.Г., e-mail: uropak78@mail.ru

# EFFECTIVENESS OF HIGH-INTENSITY LASER LIGHT FOR TREATING LARGE KIDNEY STONES

**Pak Yu.G.<sup>1</sup>, Kalyagina N.A.<sup>2,3</sup>, Yagudaev D.M.<sup>4,5</sup>**<sup>1</sup>City Center of Urology, Municipal Multidisciplinary Hospital No. 2, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan<sup>2</sup>Prokhorov General Physics Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia<sup>3</sup>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia<sup>4</sup>Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia<sup>5</sup>Central Clinical Hospital of Russian Railways-Medicine, Moscow, Russia

## Abstract

**Introduction.** This work analyzes efficacy, convenience, and safety of a high-energy laser light technique for destructing large kidney stones in patients with nephrolithiasis in comparison to other contact methods of nephrolithotripsy.

**Material and methods.** The effectiveness of contact laser nephrolithotripsy is compared to that of hydropneumatic and ultrasonic lithotripsy. Holmium green laser light was used in this laser procedure. For other techniques, Swiss LithoClast Master devices were used. The authors have analyzed outcomes obtained after operating on 73 patients with large and complex kidney stones.

**Results.** To evaluate the effectiveness, basic parameters were taken (degree of kidney cleaning of stones and their fragments, probability of migration of stone fragments, blood loss, duration of surgery, complications, etc.). In addition, the correlation between basic parameters was obtained and analyzed.

**Conclusion.** The present trial has shown that laser contact lithotripsy is the most optimal technique for destructing large and complex kidney stones in comparison to traditional modalities such as contact hydropneumatic and ultrasonic lithotripsy. It takes more time but provides more effective cleaning from calculi.

**Key words:** high-energy laser, urolithiasis disease, treatment, large calculi, contact lithotripsy, percutaneous nephrolithotripsy

**For citations:** Pak Yu.G., Kalyagina N.A., Yagudaev D.M. Effectiveness of high-intensity laser light for treating large kidney stones. *Lazernaya medicina*. 2021; 25(2): 16–21. [In Russ.]. <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2021-25-2-16-21>

**Contacts:** Pak Yu.G., e-mail: uropak78@mail.ru

Мочекаменная болезнь до сих пор остается наиболее частым урологическим заболеванием [1–3]. С учетом возрастания частоты факторов риска, в том числе климатических и экологических, отмечается стойкое увеличение ее частоты по всему миру [4–7]. По данным работы [8], в период с 2005 по 2016 г. отмечалось увеличение заболеваемости мочекаменной болезнью, прирост составил 34 %, учтенных впервые в жизни – 27,3 %. По данным Научного центра урологии Республики Казахстан [1], в период с 2000 по 2015 г. отмечалось преобладание доли мочекаменной болезни в структуре урологических заболеваний, которая составляла 33,9 %.

Несмотря на развитие малоинвазивных методов лечения, проблема крупных камней почек не теряет своей актуальности в современной урологии. Часто применяемые эндоскопические методы лечения пациентов со сложными формами нефролитиаза позволяют в максимально короткие сроки реабилитировать пациента и социально адаптировать его в повседневной жизни, но вопрос сохранения функционального состояния почек, к сожалению, не всегда оценивается в исходах оперативного лечения. Наиболее популярными методами лечения больных крупными камнями почек являются перкутанные эндовидеоскопические операции [9–14]. Ряд современных авторов считают, что перкутанная нефролитотрипсия является «золотым стандартом» в лечении больных крупными камнями почек, а также первой линией лечения больных струвитным нефролитиазом [15–17] и при отсутствии противопоказаний к оперативному лечению должна выполняться как можно быстрее после установки диагноза, чтобы максимально сохранить функциональное состояние органа [10]. Одной из основных характеристик результативности данного оперативного метода является эффективность выполняемого разрушения почечного камня вне зависимости от его плотности, временные показатели оперативного лечения, риски интраоперационных осложнений. В своем исследовании A.R. El-Nahas et al. [18] показали высокую эффективность контактного гольмиевого лазера (HP-HLL, high-power holmium laser lithotripsy) и ультразвуковой литотрипсии (US-L) в дезинтеграции коралловидных и крупных камней почек при перкутанной нефролитотрипсии, что позволяет уменьшить длительность выполняемого оперативного лечения. Результаты перкутанной нефролитотрипсии, приведенные в работе D. Jiao et al. [19], показали, что средняя продолжительность операции составила 63,6 мин, степень очистки от фрагментов конкрементов – 93,8 %, что соответствует общемировым литературным данным [20, 21]. N.K. Goyal et al. [22] считают, что единственным независимым предиктором осложнений является длительность операции. По данным, представленным в работе J.J. De la Rosette et al. [23], продолжительность операции более 75 минут увеличивает вероятность развития осложнений, приводит к увеличению

сроков госпитализации. Таким образом, определяется четкая корреляция времени операции с риском развития послеоперационных осложнений и соответственно ухудшением функционального состояния почек в послеоперационном периоде. Восстановление функционального состояния почек в послеоперационном периоде является неотъемлемой частью решения вопроса о прогнозе мочекаменной болезни и решения вопроса возможной инвалидизации пациента в связи с рисками ухудшения функции почек, что напрямую влечет нагрузку на медицинскую и социальные службы с учетом будущих затрат, в том числе на проведение заместительной почечной терапии. Сохранение функции почек является наиболее важным фактором в принятии решения пациента на выполнение оперативного лечения по поводу наиболее сложных форм нефролитиаза. Анализ эффективности различных видов контактной литотрипсии камней почек, непосредственно влияющей на длительность операции при выполнении перкутанной нефролитотрипсии у больных крупными камнями почек, явился фактором нашего научного исследования и определил актуальность проведенного исследования.

**Целью исследования** является определение преимуществ либо недостатков лазерной контактной литотрипсии в сравнении с другими видами литотрипсии (гидропневматической и ультразвуковой) при выполнении перкутанной нефролитотрипсии у больных крупными камнями почек для улучшения послеоперационных результатов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Был проведен анализ 73 перкутанных нефролитотрипсий у пациентов с крупными камнями почек, проходивших стационарное лечение на базе урологического отделения городской больницы № 2 г. Нур-Султан (Республика Казахстан) в период с 2012 по 2019 г. (табл. 1). Средняя площадь камня составила 428,3 мм<sup>2</sup>, его средняя плотность по Хаунсфилду – 1042,9 HU.

Для выполнения контактной литотрипсии были использованы следующие аппараты: для лазерной литотрипсии – Calculase II фирмы Karl Storz (гольмиевый зеленый лазер, мощность – 20 Вт, выбор интенсивности рабочего режима с четырьмя ступенями регулирования – от 0,5 до 1,7 Дж, частота импульсов с тремя ступенями регулирования – от 4 до 8 Гц), для ультразвуковой и гидропневматической литотрипсии – Swiss LithoClast Master.

Пациенты были разделены на три группы (табл. 1). Всем пациентам проводилось общеклиническое обследование, ультразвуковое исследование почек, компьютерное томографическое исследование абдоминального сегмента с контрастированием. Достоверных отличий между группами по структуре и частоте сопутствующих заболеваний не было выявлено ( $p < 0,05$ ).

Ретроспективный сравнительный анализ полученных параметров был проведен для определения

Таблица 1

## Общая характеристика наблюдений

Table 1

## General characteristics of observations

Параметр/Группа <i>Parameter/Group</i>		1-я группа <i>Group 1</i>	2-я группа <i>Group 2</i>	3-я группа <i>Group 3</i>
Вид нефролитотрипсии <i>Type of lithotripsy</i>		Контактная гидропневматическая <i>Contact hydropneumatic</i>	Контактная лазерная <i>Contact laser</i>	Ультразвуковая контактная <i>Contact ultrasonic</i>
Количество пациентов в группе <i>Number of cases by group</i>		28 (38,35 %)	25 (34,24 %)	20 (27,39 %)
Градация по Guy's Stone Score, <i>n</i> <i>Guy's Stone Score, n</i>	I степень <i>Grade I</i>	5 (17,85 %)	10 (40 %)	5 (25 %)
	II степень <i>Grade II</i>	10 (35,71 %)	10 (40 %)	5 (25 %)
	III степень <i>Grade III</i>	10 (35,71 %)	3 (12 %)	7 (35 %)
	IV степень <i>Grade IV</i>	3 (10,71 %)	2 (8 %)	3 (15 %)

Таблица 2

## Результаты лечения

Table 2

## Treatment results

Параметр/Группа <i>Parameter/Group</i>		1-я группа <i>Group 1</i>	2-я группа <i>Group 2</i>	3-я группа <i>Group 3</i>
Средняя продолжительность операции, мин <i>Average duration of the operation, min</i>		92,8	119,65	105,7
Средняя продолжительность госпитализации, койко-дни <i>Average duration of hospital stay, days</i>		11,02 ± 3,22	12,2 ± 3,22	12,79 ± 3,87
Интраоперационное кровотечение ( $p < 0,05$ ), абс. <i>Intraoperative bleeding (<math>p &lt; 0.05</math>), abs.</i>		3 (6,81 %)	4 (13,79 %)	3 (6,81 %)
Средняя кровопотеря, мл <i>Average blood loss, ml</i>		144,54	160,68	143,12
Кровотечение в раннем послеоперационном периоде ( $p < 0,05$ ), абс. <i>Bleeding in early postoperative period (<math>p &lt; 0.05</math>), abs.</i>		1 (2,27 %)	2 (6,89 %)	0
Острый пиелонефрит в послеоперационном периоде ( $p < 0,05$ ), абс. <i>Acute pyelonephritis in postoperative period (<math>p &lt; 0.05</math>), abs.</i>		4 (9,09 %)	6 (20,6 %)	1 (4 %)
Паранефральные гематомы ( $p < 0,05$ ), абс. <i>Paranephral hematoma (<math>p &lt; 0.05</math>), abs.</i>		4 (9,09 %)	2 (6,89 %)	0
Средний размер резидуальных камней, см <i>Average size of residual stone, cm</i>	III степень <i>Grade III</i>	0,95 ± 0,05	0,55 ± 0,05	0,92 ± 0,18
	IV степень <i>Grade IV</i>	1,12 ± 0,35	0,8 ± 0,27	0,8 ± 0,27
Степень очистки от камней, % <i>Degree of stone clearance, %</i>	I степень <i>Grade I</i>	96,56	97,73	100
	II степень <i>Grade II</i>	96,56	100	96
	III степень <i>Grade III</i>	89,66	95,46	92
	IV степень <i>Grade IV</i>	86,21	90,91	84,21

рисков интра- и послеоперационных осложнений у всех пациентов исследуемых групп. Помимо анализа основных параметров эффективности методов, был также проведен статистический анализ для вышеперечисленных интраоперационных контактных литотрипсий с учетом оценки парных корреляций (корреляция Спирмена, двусторонняя значимость).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные параметры, рассматриваемые в данном исследовании, представлены в табл. 2. Результаты послеоперационных осложнений в исследуемых группах по системе CROES-Clavien не превысили общемировых показателей в более, чем 28,09 % [24].

Средняя продолжительность операции оказалась выше во 2-й группе. Однако во всех группах обнаружена сильная корреляция ( $p = 0,001$ ) длительности операции с площадью почечного конкремента ( $r = 0,71$ ,  $p = 0,001$ ,  $n = 73$ ), и умеренная – с индексом массы тела (ИМТ) пациента ( $r = 0,543$ ,  $p = 0,001$ ,  $n = 73$ ). Наименьшая продолжительность оперативного лечения отмечена в 1-й группе. В данной группе воздействие проводилось с помощью контактной гидропневматической литотрипсии, которая может быть сопоставима по мощности разрушительного воздействия с лазерной энергией, однако за счет гидродинамической волны способствует миграции фрагментов в полостной системе почки, при некорректном использовании возможны перфорации стенок чашечно-лоханочной системы.

Случаи кровотечений и острого пиелонефрита в послеоперационном периоде были минимальными в 3-й группе (табл. 2), где применялась ультразвуковая литотрипсия. Данный метод является мощным инструментом для проведения дезинтеграции камня, способствует автоматической аспирации фрагментов камня, однако в силу устройства зонда рабочий канал зонда часто забивается фрагментами, при длительном использовании более 30 минут возможен перегрев рукоятки ультразвукового литотриптора.

Средняя продолжительность госпитализации незначительно отличается по группам (разброс около 1 койко-дня). При этом выявлены умеренные корреляции с продолжительностью операции ( $r = 0,649$ ,  $p = 0,001$ ,  $n = 73$ ), площадью почечного камня ( $r = 0,488$ ,  $p = 0,001$ ,  $n = 73$ ), ИМТ пациента ( $r = 0,448$ ,  $p = 0,001$ ,  $n = 73$ ), а также с возрастом пациента ( $r = 0,460$ ,  $p = 0,001$ ,  $n = 73$ ).

Количество случаев интраоперационной кровопотери было выше во 2-й группе. Однако разброс объема кровопотери по группам незначительный. Корреляции объема интраоперационной кровопотери распределяются по группам следующим образом: в 1-й группе выявлена умеренная корреляция с ИМТ ( $r = 0,459$ ,  $p = 0,001$ ,  $n = 28$ ) и площадью камня ( $r = 0,507$ ,  $p = 0,001$ ,  $n = 28$ ), во 2-й группе – умеренная корреляция с ИМТ ( $r = 0,445$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 25$ ) и с плотностью

камня ( $r = 0,541$ ,  $p < 0,01$ ,  $n = 25$ ), в 3-й группе – умеренная корреляция с ИМТ ( $r = 0,593$ ,  $p < 0,01$ ,  $n = 20$ ), с плотностью камня ( $r = 0,431$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 20$ ), а также с площадью камня ( $r = 0,588$ ,  $p < 0,01$ ,  $n = 20$ ).

Также проведен анализ объема интраоперационной кровопотери в зависимости от диаметра используемого нефроскопа и обнаружена сильная корреляция ( $r = 0,713$ ,  $p < 0,001$ ,  $n = 73$ ). Средняя интраоперационная кровопотеря при использовании стандартного нефроскопа, составила  $213,63 \pm 9,85$  мл, при использовании мини-нефроскопа –  $142,75 \pm 9,41$  мл.

Эффективность оперативных методов оценивалась по критерию степени очистки от камня и его фрагментов в группах сложных категорий (табл. 2). Наиболее высокие показатели степени очистки от камней и их фрагментов наблюдались во 2-й группе пациентов. Кроме того, средний размер резидуальных камней оказался значительно ниже во 2-й группе по сравнению с пациентами из 1-й и 3-й групп. Кроме того, лазерная контактная литотрипсия имеет минимальные риски перфорации стенок лоханочно-мочеточниковой системы, а также обладает наиболее мощным и щадящим видом деструкции почечного камня и практически не обладает отталкивающим эффектом за счет эффекта ретропулсии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лазерная контактная литотрипсия является наиболее оптимальным методом деструкции плотных и крупных почечных камней по сравнению с традиционными методами, такими как контактная гидропневматическая и ультразвуковая литотрипсия. Она требует более длительного времени на проведение процедуры, но позволяет эффективнее избавляться от конкрементов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алчинбаев М.К. Мочекаменная болезнь в Республике Казахстан. Сборник трудов I съезда урологов стран СНГ и XIV конференции молодых ученых-медиков стран СНГ, посвященные 25-летию независимости Республики Казахстан и АО «Научный центр урологии имени академика Б.У. Джарбусынова». Астана; 2016: 8–26.
2. Григорьев Н.А., Семенякин И.В., Малхасян В.А. и др. Мочекаменная болезнь. Урология. 2016; 2 (S2): 37–69.
3. Каприн А.Д., Аполихин О.И., Сивков А.В. и др. Анализ уронефрологической заболеваемости и смертности в Российской Федерации за период 2002–2014 гг. по данным официальной статистики. Экспериментальная и клиническая урология. 2016; (3): 4–13.
4. Brikowski T.H., Lotan Y., Pearle M.S. Climate-related increase in the prevalence of urolithiasis in the United States. Proc Natl Acad Sci USA. 2008; 105 (28): 9841–9846. DOI: 10.1073/pnas.0709652105
5. Cramer J.S., Forrest K. Renal lithiasis: Addressing the risks of austere desert deployments. Aviat Space Environ Med. 2006; 77 (6): 649–653.
6. Chen Y.K., Lin H.C., Chen C.S., Yeh S.D. Seasonal variations in urinary calculi attacks and their association with cli-



- mate: A population-based study. *J Urol*. 2008; 179 (2): 564–569. DOI: 10.1016/j.juro.2007.09.067
7. Dallas K.B., Conti S., Liao J.C., et al. Redefining the stone belt: Precipitation is associated with increased risk of urinary stone disease. *J Endourol*. 2017; 31 (11): 1203–1210. DOI: 10.1089/end.2017.0456
  8. Аполихин О.И., Сивков А.В., Комарова В.А. и др. Заболеваемость мочекаменной болезнью в Российской Федерации (2005–2016 годы). *Клиническая и экспериментальная урология*. 2018; (4): 4–14.
  9. Мартюв А.Г., Колпациниди Ф.Г., Кызласов П.С. и др. Сравнительный анализ стандартной чрескожной и миниперкутанной нефролитотомии. *Урологические ведомости*. 2017; 7 (S): 73–74.
  10. Diri A., Diri B. Management of staghorn renal stones. *Ren Fail*. 2018; 40 (1): 357–362. DOI: 10.1080/0886022X.2018.1459306
  11. Zhao Z., Cui Z., Zeng T., et al. Comparison of 1-stage with 2-stage multiple-tracts mini-percutaneous nephrolithotomy for the treatment of staghorn stones: A matched cohorts analysis. *Urology*. 2016; 87: 46–51. DOI: 10.1016/j.urology.2015.09.006
  12. Zeng G., Zhao Z., Wan S., et al. Minimally invasive percutaneous nephrolithotomy for simple and complex renal caliceal stones: A comparative analysis of more than 10,000 cases. *J Endourol*. 2013; 27 (10): 1203–1208. DOI: 10.1089/end.2013.0061
  13. Ghani K.R., Sammon J.D., Bhojani N., et al. Trends in percutaneous nephrolithotomy use and outcomes in the United States. *J Urol*. 2013; 190 (2): 558–564. DOI: 10.1016/j.juro.2013.02.036
  14. Мазуренко Д.А., Живов А.В., Берников Е.В. и др. Сравнение лазерной (Ho:YAG) и пневматической литотрипсии при перкутанной нефролитомии крупных и коралловидных камней почек высокой плотности. *Лазерная медицина*. 2015; 19 (2): 27–32. DOI: 10.37895/2071-8004-2015-19-2-27-29
  15. Türk C., Knoll T., Petrik A., et al. Guidelines on urolithiasis. *European Association of Urology*; 2016. URL: <https://uroweb.org/wp-content/uploads/EAU-Guidelines-Urolithiasis-2016-1.pdf>
  16. Desai M., Sun Y., Buchholz N., et al. Treatment selection for urolithiasis: Percutaneous nephrolithotomy, ureteroscopy, shock wave lithotripsy, and active monitoring. *World J Urol*. 2017; 35 (9): 1395–1397. DOI: 10.1007/s00345-017-2030-8
  17. Ganpule A.P., Vijayakumar M., Malpani A., et al. Percutaneous nephrolithotomy (PCNL) a critical review. *Int J Surg*. 2016; 36 (Pt D): 660–664. DOI: 10.1016/j.ijsu.2016.11.028
  18. El-Nahas A.R., Elshal A.M., El-Tabey N.A., et al. Percutaneous nephrolithotomy for staghorn stones: A randomised trial comparing high-power holmium laser versus ultrasonic lithotripsy. *BJU Int*. 2016; 118 (2): 307–312. DOI: 10.1111/bju.13418
  19. Jiao D., Zhang Z., Sun Z., et al. Percutaneous nephrolithotripsy: C-arm CT with 3D virtual navigation in non-dilated renal collecting systems. *Diagn Interv Radiol*. 2018; 24 (1): 17–22. DOI: 10.5152/dir.2017.17079
  20. Knoll T., Daels F., Desai J., et al. Percutaneous nephrolithotomy: Technique. *World J Urol*. 2017; 35 (9): 1361–1368. DOI: 10.1007/s00345-017-2001-0
  21. Wang J., Yang Y., Chen M., et al. Laparoscopic pyelolithotomy versus percutaneous nephrolithotomy for treatment of large renal pelvic calculi (diameter > 2 cm): A meta-analysis. *Acta Chir Belg*. 2016; 116 (6): 346–356. DOI: 10.1080/00015458.2016.1181312
  22. Goyal N.K., Goel A., Sankhwar S.N., et al. A critical appraisal of complications of percutaneous nephrolithotomy in paediatric patients using adult instruments. *BJU Int*. 2014; 113 (5): 801–810. DOI: 10.1111/bju.12506
  23. de la Rosette J.J., Opondo D., Daels F.P., et al. Categorisation of complications and validation of the Clavien score for percutaneous nephrolithotomy. *Eur Urol*. 2012; 62 (2): 246–255. DOI: 10.1016/j.eururo.2012.03.055
  24. Kumar S., Keshavamurthy R., Karthikeyan V.S., Mallya A. Complications after prone PCNL in pediatric, adult and geriatric patients – a single center experience over 7 years. *Int Braz J Urol*. 2017; 43 (4): 704–712. DOI: 10.1590/S1677-5538.IBJU.2016.0563

## REFERENCES

1. Alchinbaev M.K. Urolithiasis in the Republic of Kazakhstan. *Sbornik trudov I s'ezda urologov stran SNG i XIV konferentsii molodykh uchenykh-medikov stran SNG, posvyashchennye 25-letiyu nezavisimosti Respubliki Kazakhstan i AO «Nauchnyy tsentr urologii imeni akademika B.U. Dzharbusynova»*. Astana, Kazakhstan; 2016: 8–26. [in Russ.]
2. Grigoriev N.A., Semenyakin I.V., Malkhasyan V.A., et al. Urolithiasis. *Urologia*. 2016; 2 (S2): 37–69. [in Russ.]
3. Kaprin A.D., Apolikhin O.I., Sivkov A.V., et al. Analysis of uro-nephrological morbidity and mortality in the Russian Federation in 2002–2014 according to the official statistics. *Ekspierimentalnaya i klinicheskaya urologiya*. 2016; 3: 4–13. [in Russ.]
4. Brikowski T.H., Lotan Y., Pearle M.S. Climate-related increase in the prevalence of urolithiasis in the United States. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2008; 105 (28): 9841–9846. DOI: 10.1073/pnas.0709652105
5. Cramer J.S., Forrest K. Renal lithiasis: Addressing the risks of austere desert deployments. *Aviat Space Environ Med*. 2006; 77 (6): 649–653.
6. Chen Y.K., Lin H.C., Chen C.S., Yeh S.D. Seasonal variations in urinary calculi attacks and their association with climate: A population-based study. *J Urol*. 2008; 179 (2): 564–569. DOI: 10.1016/j.juro.2007.09.067
7. Dallas K.B., Conti S., Liao J.C., et al. Redefining the stone belt: Precipitation is associated with increased risk of urinary stone disease. *J Endourol*. 2017; 31 (11): 1203–1210. DOI: 10.1089/end.2017.0456
8. Apolikhin O.I., Sivkov A.V., Komarova V.A., et al. The incidence of urolithiasis in the Russian Federation (2005–2016). *Klinicheskaya i eksperimental'naya urologiya*. 2018; 4: 4–14. [in Russ.]
9. Martov A.G., Kolpatsinidi F.G., Kyzlasov P.S., et al. A comparative analysis of standard percutaneous and mini-percutaneous nephrolitholapaxy. *Urologicheskiye vedomosti*. 2017; 7 (S): 73–74. [in Russ.]
10. Diri A., Diri B. Management of staghorn renal stones. *Ren Fail*. 2018; 40 (1): 357–362. DOI: 10.1080/0886022X.2018.1459306
11. Zhao Z., Cui Z., Zeng T., et al. Comparison of 1-stage with 2-stage multiple-tracts mini-percutaneous nephrolithotomy

- my for the treatment of staghorn stones: A matched cohorts analysis. *Urology*. 2016; 87: 46–51. DOI: 10.1016/j.urology.2015.09.006
12. Zeng G., Zhao Z., Wan S., et al. Minimally invasive percutaneous nephrolithotomy for simple and complex renal caliceal stones: A comparative analysis of more than 10,000 cases. *J Endourol*. 2013; 27 (10): 1203–1208. DOI: 10.1089/end.2013.0061
  13. Ghani K.R., Sammon J.D., Bhojani N., et al. Trends in percutaneous nephrolithotomy use and outcomes in the United States. *J Urol*. 2013; 190 (2): 558–564. DOI: 10.1016/j.juro.2013.02.036
  14. Mazurenko D.A., Zhivov A.V., Bernikov E.V., et al. Comparative assessment of laser (Ho:YAG) and pneumatic lithotripsy in percutaneous nephrolithotomy of large and coral-like kidney stones of high density. *Laser Medicine*. 2015; 19 (2): 27–29. [In Russ.]. DOI: 10.37895/2071-8004-2015-19-2-27-29
  15. Türk C., Knoll T., Petrik A., et al. Guidelines on urolithiasis. *European Association of Urology*; 2016. URL: <https://uroweb.org/wp-content/uploads/EAU-Guidelines-Urolithiasis-2016-1.pdf>
  16. Desai M., Sun Y., Buchholz N., et al. Treatment selection for urolithiasis: Percutaneous nephrolithotomy, ureteroscopy, shock wave lithotripsy, and active monitoring. *World J Urol*. 2017; 35 (9): 1395–1397. DOI: 10.1007/s00345-017-2030-8
  17. Ganpule A.P., Vijayakumar M., Malpani A., et al. Percutaneous nephrolithotomy (PCNL) a critical review. *Int J Surg*. 2016; 36 (Pt D): 660–664. DOI: 10.1016/j.ijsu.2016.11.028
  18. El-Nahas A.R., Elshal A.M., El-Tabey N.A., et al. Percutaneous nephrolithotomy for staghorn stones: A randomised trial comparing high-power holmium laser versus ultrasonic lithotripsy. *BJU Int*. 2016; 118 (2): 307–312. DOI: 10.1111/bju.13418
  19. Jiao D., Zhang Z., Sun Z., et al. Percutaneous nephrolithotripsy: C-arm CT with 3D virtual navigation in non-dilated renal collecting systems. *Diagn Interv Radiol*. 2018; 24 (1): 17–22. DOI: 10.5152/dir.2017.17079
  20. Knoll T., Daels F., Desai J., et al. Percutaneous nephrolithotomy: Technique. *World J Urol*. 2017; 35 (9): 1361–1368. DOI: 10.1007/s00345-017-2001-0
  21. Wang J., Yang Y., Chen M., et al. Laparoscopic pyelolithotomy versus percutaneous nephrolithotomy for treatment of large renal pelvic calculi (diameter > 2 cm): A meta-analysis. *Acta Chir Belg*. 2016; 116 (6): 346–356. DOI: 10.1080/00015458.2016.1181312
  22. Goyal N.K., Goel A., Sankhwar S.N., et al. A critical appraisal of complications of percutaneous nephrolithotomy in paediatric patients using adult instruments. *BJU Int*. 2014; 113 (5): 801–810. DOI: 10.1111/bju.12506
  23. de la Rosette J.J., Opondo D., Daels F.P., et al. Categorisation of complications and validation of the Clavien score for percutaneous nephrolithotomy. *Eur Urol*. 2012; 62 (2): 246–255. DOI: 10.1016/j.eururo.2012.03.055
  24. Kumar S., Keshavamurthy R., Karthikeyan V.S., Mallya A. Complications after prone PCNL in pediatric, adult and geriatric patients – a single center experience over 7 years. *Int Braz J Urol*. 2017; 43 (4): 704–712. DOI: 10.1590/S1677-5538.IBJU.2016.0563

#### Конфликт интересов

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

#### Сведения об авторах

**Пак Юрий Георгиевич** – руководитель Городского центра урологии, ГКП на ПХВ «Городская многопрофильная больница № 2», Городской центр урологии; e-mail: uropak78@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8301-400X>

**Калягина Нина Анатольевна** – кандидат физических наук, научный сотрудник ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»; доцент кафедры микро-, нано- и биотехнологий, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0890-5889>

**Ягудаев Даниэль Меерович** – доктор медицинских наук, профессор кафедры эндоскопической урологии, ФГАУ ВО «Российский университет дружбы народов» (РУДН); руководитель Центра эндохирургии и малоинвазивных технологий, заведующий отделением, врач — уролог-онколог высшей квалификационной категории, ЧУЗ «Центральная клиническая больница «РЖД-Медицина»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5949-6915>

#### Information about the authors

**Pak Yuri** – Head of the City Urology Center, Municipal Multidisciplinary Hospital No. 2, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan; e-mail: uropak78@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8301-400X>

**Kalyagina Nina** – PhD, Cand. Sci. (Phys.) Researcher, Institute of General Physics. A.M. Prokhorov of the Russian Academy of Sciences; Associate Professor of the Department of Micro-, Nano- and Biotechnology, National Research Nuclear University MEPhI

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0890-5889>

**Yagudaev Daniel** – MD, Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Endoscopic Urology, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University); Head of the Center for Endosurgery and Minimally Invasive Technologies, Central Clinical Hospital of Russian Railways-Medicine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5949-6915>