

© Б.Г. Гулиев, Б.К. Комяков, А.Э. Талышинский, 2021
УДК 616.61-073.756.8
DOI 10.21886/2308-6424-2021-9-3-19-24
ISSN 2308-6424



Трёхмерная реконструкция расширенной полостной системы почки по нативной компьютерной томографии

Бахман Г. Гулиев^{1,2}, Борис К. Комяков¹, Али Э. Талышинский¹

¹ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова»
Минздрава России
191015, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41

² Центр урологии с робот-ассистированной хирургией Мариинской больницы
191014, Россия, г. Санкт-Петербург, пр-т Литейный, д. 56

Введение. Трёхмерная реконструкция чашечно-лоханочной системы (ЧЛС) почки возможна при проведении компьютерной томографии (КТ) с урографией. Однако использование контрастного вещества имеет свои ограничения, такие как аллергия на препарат и хроническая болезнь почек (ХБП).

Цель исследования. Описание методики полуавтономного выделения ЧЛС на изображениях нативной КТ с её последующей 3D-реконструкцией при обструкции верхних мочевых путей (ВМП).

Материалы и методы. С апреля 2021 по май 2021 года было отобрано 5 пациентов с диагнозом почечная колика, которым выполняли КТ-урографию. Далее с помощью программы Medical Imaging Interaction Toolkit (MIITK) и дополнительного алгоритма вручную на каждом нативном срезе отмечали три точки в пределах ЧЛС для определения её границ и построения 3D-модели. Для оценки точности реконструкции проводили сравнение объёма получаемых виртуальных моделей с объёмом контрастной реконструкции. Пять урологов оценивали информативность таких реконструкций для изучения анатомии ЧЛС конкретного пациента. Полученные модели были также проанализированы программистами для пригодности к 3D-печати.

Результаты. Средняя площадь поверхности контрастных и бесконтрастных моделей составила 3291 мм² и 2879 мм². При сравнении контрастных и бесконтрастных 3D моделей, а также оценке последних для предоперационного планирования и их рентабельности средний балл урологов составил 4,5 из 5,0. Инженеры подтвердили пригодность бесконтрастных моделей для их трёхмерной печати.

Выводы. Описанная полуавтономная реконструкция полостной системы почки по бесконтрастным КТ-снимкам позволяет за короткий промежуток времени реконструировать её 3D-вид у пациентов с обструкцией ВМП.

Ключевые слова: почка; трёхмерная реконструкция; полость почки; нативная КТ

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки. **Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Информированное согласие.** Пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании и публикацию своих данных.

Вклад авторов: Б.Г. Гулиев – концепция и дизайн исследования, анализ клинического материала, написание текста рукописи; Б.К. Комяков – руководство исследованием и научное редактирование текста рукописи; А.Э. Талышинский – обзор публикаций по теме исследования, написание текста рукописи.

Поступила в редакцию: 02.07.2021. **Принята к публикации:** 14.09.2021. **Опубликована:** 26.09.2021.

Автор для связи: Бахман Гидаятович Гулиев; тел.: +7 (921) 945-34-80; e-mail: gulievb@mail.ru

Для цитирования: Гулиев Б.Г., Комяков Б.К., Талышинский А.Э. Трёхмерная реконструкция расширенной полостной системы почки по нативной компьютерной томографии. Вестник урологии. 2021;9(3):19-24. DOI: 10.21886/2308-6424-2021-9-3-19-24

The three-dimensional reconstruction of the dilated renal pelvicalyceal system by non-enhanced computed tomography

Bakhman G. Guliev^{1,2}, Boris K. Komyakov¹, Ali E. Talishinskiy^{1,2}

¹ Mechnikov North-Western State Medical University
191015, Russian Federation, St. Petersburg, 41 Kirochnaya st.

² Urology Centre with Robot-assisted Surgery, St. Petersburg Mariinsky Hospital
191014, Russian Federation, St. Petersburg, 56 Liteiny ave.

Introduction. The three-dimensional reconstruction of the renal pelvicalyceal system (PCS) is possible when performing enhanced computed tomography (CT). However, the use of a contrast agent has its limitations associated with the presence of allergy and chronic kidney disease.

Purpose of the study. To describe the method of semi-autonomous three-dimensional (3D) reconstruction of the PCS based on non-enhanced CT images of patients with upper urinary tract obstruction.

Materials and methods. Five patients diagnosed with renal colic were recruited from April-May 2021. All patients underwent CT-urography after informed consent. Medical Imaging Interaction Toolkit program (MITK) expanded with explainable update were used for 3D-reconstruction of PCS via excretory and native phases. To assess the accuracy of the latter, both contrast and non-contrast models were compared regarding their surface area. Also, the PCS of one patient was used to reconstruct virtual endoscopic views based on enhanced and non-enhanced models. Five urologists estimated their similarity and potential use of non-enhanced models for the interventional planning via a Likert scale questionnaire. The resulting models were also analyzed by programmer-engineers to test their suitability for 3D-printing.

Results. The average surface area of enhanced and non-enhanced models was 3291 mm² and 2879 mm², respectively. Obtained models were suitable for their intraluminal reconstruction and potential 3D-printing. Analyzed properties of non-enhanced models were estimated at 4.5 out of 5.0.

Conclusion. The described semi-autonomous reconstruction of the renal PCS based on non-enhanced CT images allows for a short time to reconstruct its 3D-view in patients with the upper urinary tract obstruction.

Keywords: kidney; 3D-reconstruction; pelvicalyceal system; non-enhanced CT

Financing. The study was not sponsored. **Conflict of interests.** The authors declare no conflicts of interest. **Informed consent.** Patients signed informed consent to participate in the study and publish their data.

Authors' contributions: Bakhman G. Guliev – concept and design of the study, analysis of clinical material, writing the manuscript's text, Boris K. Komyakov – research management and scientific editing of the manuscript's text; Ali E. Talishinskiy – review of publications on the research topic, writing the manuscript's text.

Received: 07/02/2021. **Accepted:** 09/14/2021. **Published:** 09/26/2021.

For correspondence: Bakhman Gidayatovich Guliyev; tel.: +7 (921) 945-34-80; e-mail: gulievbg@mail.ru

For citation: Guliev B.G., Komyakov B.K., Talishinskiy A.E. The three-dimensional reconstruction of the dilated renal pelvicalyceal system by non-enhanced computed tomography. Vestn. Urol. 2021;9(3):19-24. (In Russ.). DOI: 10.21886/2308-6424-2021-9-3-19-24

Введение

В настоящее время нативная КТ является стандартным методом диагностики нефроуретеролитиаза и позволяет предоперационно уточнить локализацию, плотность и размеры камня [1]. Однако она имеет существенный недостаток – невозможность трёхмерной визуализации ЧЛС почки. Тщательное изучение особенностей строения последней (количество и ориентация чашечек, длина и ширина их шеек и угловое соотношение различных частей) необходимо для определения оптимальной хирургической тактики. Вместе с тем получение данной информации может быть получено выполнением КТ с внутривенным контрастиро-

ванием, позволяющим выполнять трёхмерную реконструкцию до операции, однако при этом увеличивается лучевая нагрузка на больного. Более того, использование контрастного вещества противопоказано при хронической болезни почек (ХБП) и гиперчувствительности к самому препарату [2]. Вышеперечисленные недостатки диктуют необходимость разработки методик трёхмерной реконструкции ЧЛС почки на основе бесконтрастной КТ. В современной литературе имеются работы, в которых описываются способы 3D-реконструкции различных структур почки по нативным КТ снимкам, но они направлены на визуализацию её паренхимы [3, 4], и лишь в одной статье делается акцент на реконструкцию

ЧЛС [5]. Более того, выделение границ полостной системы почки авторами проводилось полностью вручную, что значительно удлиняет продолжительность подготовки данных и ограничивает внедрение этой методики в практику. В свете вышеперечисленного **целью данной работы** является описание методики полуавтономного выделения ЧЛС на изображениях нативной КТ с её последующей 3D-реконструкцией.

Материалы и методы

В период с апреля 2021 по май 2021 года было отобрано 5 пациентов с диагнозом почечная колика. После выполнения ультразвукового (УЗ) исследования и выявления пиелокаликоектазии, было получено информированное согласие пациентов для выполнения КТ с контрастированием

Омнипак 300,0 на 64-срезовом КТ аппарате с шагом 0,5 мм Somatom Definition AS. Полученные снимки были изучены в программе Medical Imaging Interaction Toolkit (MITK), с помощью которой выполняли трёхмерную реконструкцию ЧЛС по снимкам экскреторной фазы для получения стандартной виртуальной модели. Далее на каждом срезе нативной фазы КТ отмечали три произвольные точки для определения разброса плотности по окружности вокруг них и определения границ ЧЛС, нивелируя необходимость её ручного выделения (рис. 1).

Затем выполняли автоматическое слияние всех выделенных зон. В связи с полигональностью получаемых 3D-реконструкций с помощью того же алгоритма производили сглаживание поверхности (рис. 2 – 3).

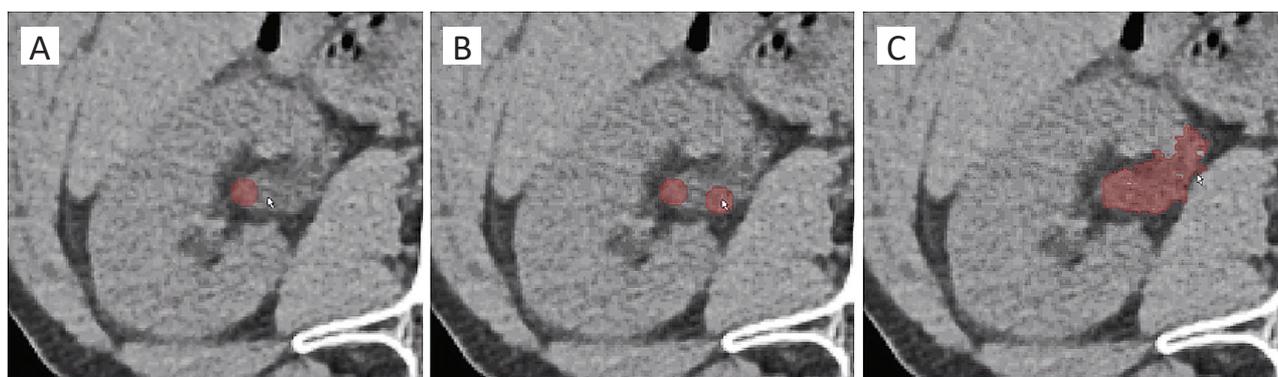


Рисунок 1. Обозначение точек в пределах ЧЛС на аксиальном срезе нативной КТ: А – выставление первой точки; В – выставление второй точки; С – выставление третьей точки и автоматизированное определение границ ЧЛС
Figure 1. Designation of points on the axial non-enhanced CT slices within the PCS: A – setting the first point; B – setting the second point; C – setting the third point and automated determination of the PCS boundaries

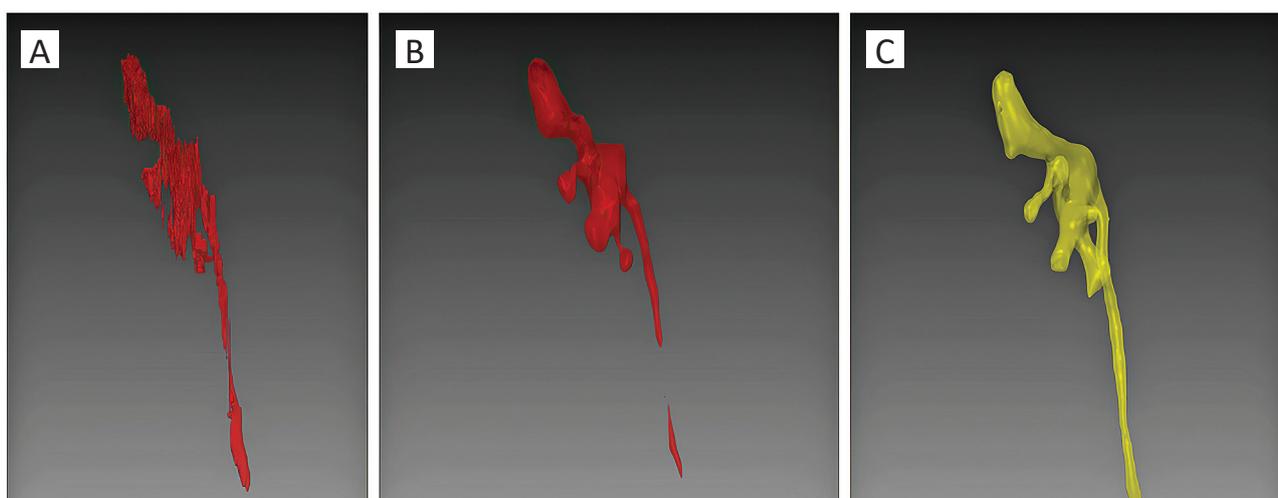


Рисунок 2. Пример виртуальных моделей сбоку: А – автоматизированная реконструкция ЧЛС по нативным КТ-снимкам до сглаживания; В – бесконтрастная трёхмерная реконструкция ЧЛС после сглаживания; С – трёхмерная реконструкция экскреторной фазы КТ

Figure 2. An example of virtual models, side view: A – automated PCS reconstruction using non-enhanced CT images before smoothing; B – non-enhanced 3D-reconstruction of the PCS after smoothing; C – 3D-reconstruction of the CT excretory phase

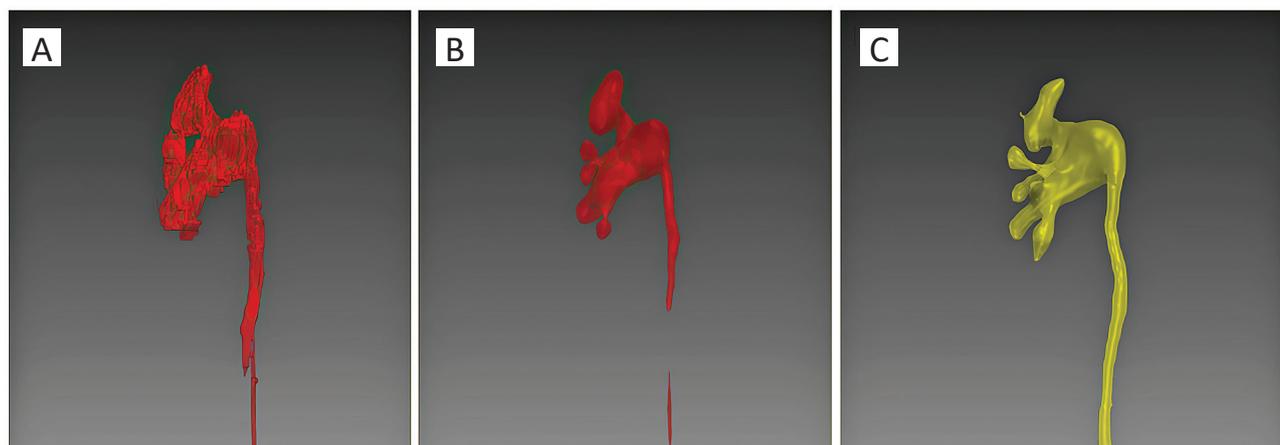


Рисунок 3. Пример виртуальных моделей спереди: А – автоматизированная реконструкция ЧЛС по нативным КТ-снимкам до сглаживания; В – бесконтрастная трёхмерная реконструкция ЧЛС после сглаживания; С – трёхмерная реконструкция экскреторной фазы КТ

Figure 3. An example of virtual models, front view: A – automated PCS reconstruction using non-enhanced CT images before smoothing; B – non-enhanced 3D-reconstruction of the PCS after smoothing; C – 3D-reconstruction of the CT excretory phase

Для оценки точности реконструкции проводилось сравнение площади поверхности контрастных и бесконтрастных 3D реконструкций. Пять урологов оценивали информативность таких реконструкций для изучения анатомии ЧЛС конкретного пациента. Полученные модели были также проанализированы программистами для пригодности к 3D-печати.

Методы статистического анализа. Статистический анализ проводили в программе SPSS Statistics 22.0. Для оценки номинальных данных использовали тест Хи-квадрат. Значимая разница определялась при значении $p < 0,05$.

Результаты

Во всех случаях продолжительность выделения ЧЛС и её реконструкции со сглаживанием поверхности была менее 10 минут. Средняя площадь поверхности контрастных и бесконтрастных моделей составила 3291 мм² и 2879 мм², соответственно ($p = 0,12$). При сравнении контрастных и бесконтрастных 3D-моделей, а также оценке последних для предоперационного планирования и их рентабельности средний балл урологов составил 4,5 из 5,0. При обсуждении с инженерами адекватности моделей для их использования в 3D-печати было определено, что все части ЧЛС достаточно визуализированы и не требуют корректировок, а потенциальные слабые места печатных моделей, в частности, шеек малых чашечек, не требуют формирования дополнительных опор перед печатью, что определяет их полное соответствие для потенциального использования с данной целью.

Обсуждение

Бесконтрастное КТ-исследование обеспечивает врача-уролога достаточной информацией касательно основных параметров камней мочевых путей, таких как размер, локализация и плотность, однако отсутствие возможности детального изучения полости системы почки обуславливает необходимость использования дополнительных диагностических процедур для более информативного планирования возможной операции. До настоящего момента трёхмерная реконструкция ЧЛС была возможна лишь при выполнении контрастной КТ, при которой через 3 – 5 минут наступает экскреторная фаза. Высокая плотность контраста сопоставима с плотностью костных структур, заполнение им изнутри ЧЛС позволяет путём автоматизированного наложения изображений КТ выстраивать трёхмерные реконструкции. В результате становится возможным подробное ознакомление уролога со всеми особенностями строения полости почки конкретного пациента, а именно количество и ориентация малых чашечек, длина и ширина шеек, а также углы между различными частями ЧЛС. Данная информация в свою очередь позволяет специалисту обоснованно выбирать сценарий предстоящего оперативного лечения камней почек, повышая эффективность вмешательства и уменьшая частоту ассоциированных осложнений [6].

Использование контрастного вещества имеет такие недостатки, как увеличение лучевой нагрузки на пациента и зависимость от состояния его здоровья, в частности, от нарушения выделительной функции почек, что делает востребо-

ваным разработку методик 3D-реконструкции по нативным КТ снимкам.

Автоматизированная реконструкция возможна для структур с относительно постоянной формой без ветвления, таких как камеры сердца [7], аорта [8], внутримозговое кровоотечение [9] и паренхима почки [10]. Данный подход затруднителен для реконструкции полостной системы почки по следующим причинам: её вариабельного и ветвистого строения, небольшой разницы в плотности с окружающими структурами (сосуды, жировая клетчатка), а также спавшегося состояния в норме. Именно последний аспект делает невозможным разработку доступных решений предыдущих ограничений. Наше мнение разделяется в единственной работе по описанию 3D-реконструкции ЧЛС по снимкам бесконтрастной КТ, выполненной J.M. Sung et al. [5], где авторы предлагают протокол внутривенной инфузии с диуретической нагрузкой для искусственного расширения ЧЛС перед выполнением КТ. Согласно результатам, данный подход приводит к значимому увеличению объёма реконструкции полостной системы по сравнению с реконструкцией снимков, сделанных в контрольной группе. Обозначение границ ЧЛС выполнялось вручную программистом, что занимало более 20 минут и требовало соответствующего опыта, тем самым ограничивая доступность такого подхода для рутинного использования в медицинских учреждениях.

В нашу работу включены пациенты с почечной коликой, которым КТ выполняли во время самого эпизода обструкции, приводящего к достаточному для визуализации расширению чашечно-лоханочной системы. Выделение границ выполняли полуавтономно; на каждом на-

тивном снимке КТ отмечали несколько точек в пределах ЧЛС для определения её границ, после чего происходило их слияние для выстраивания 3D-модели. Далее описанный алгоритм самостоятельно определял её границы, значимо сокращая время выделения (до пяти минут). Данный способ не требовал специализированного опыта, что делало возможным такую сегментацию врачом-урологом.

Следует упомянуть и недостатки нашей работы. Во-первых, для анализа были отобраны КТ-исследования пяти больных, что не позволило апробировать описанный алгоритм в реконструкции всех вариаций ЧЛС. Во-вторых, отобранные пациенты страдали мочекаменной болезнью, осложнившейся обструкцией верхних мочевыводящих путей с расширением ЧЛС, что оправдывает такой подход лишь у этой когорты больных. В-третьих, реконструкцию выполняли полуавтономно, что также требовало участия специалиста и в её реализации. Наконец, описанный алгоритм не был апробирован в случае наличия камня в ЧЛС, что могло негативно сказаться на точности автономного определения границ. Дальнейшее усовершенствование данного направления будет направлено на полностью автоматизированную работу, при которой после выделения одной точки в пределах ЧЛС будут выделены её границы на всех срезах КТ.

Заключение

Полуавтономная реконструкция полостной системы почки по бесконтрастным КТ-снимкам делает возможной её 3D-визуализацию у пациентов с обструкцией верхних мочевых путей без использования контрастного вещества.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Brisbane W, Bailey MR, Sorensen MD. An overview of kidney stone imaging techniques. *Nat Rev Urol.* 2016;13(11):654-62. DOI: 10.1038/nrurol.2016.154
2. Rudnick MR, Leonberg-Yoo AK, Litt HI, Cohen RM, Hilton S, Reese PP. The Controversy of contrast-Induced nephropathy with Intravenous contrast: What Is the risk? *Am J Kidney Dis.* 2020;75(1):105-13. DOI: 10.1053/j.ajkd.2019.05.022
3. Shimizu A, Ohno R, Ikegami T, Kobatake H, Nawano S, Smutek D. Segmentation of multiple organs in non-contrast 3D abdominal CT images. *Int J CARS.* 2007;2:135-42. DOI 10.1007/s11548-007-0135-z
4. Parkhomenko E, O'Leary M, Safiullah S, Walia S, Owyong M, Lin C, James R, Okhunov Z, Patel RM, Kaler KS, Landman J, Clayman R. Pilot assessment of Immersive virtual reality Renal Models as an Educational and Preoperative Planning Tool for Percutaneous Nephrolithotomy. *J Endourol.* 2019;33(4):283-8. DOI: 10.1089/end.2018.0626
5. Sung JM, Jefferson FA, Tapiero S, Patel RM, Owyong M, Xie L, Karani R, Ghamarian P, Lall C, Clayman RV, Landman J. evaluation of a diuresis enhanced non-contrast computed tomography for kidney stones protocol to maximize Collecting System Distention. *J Endourol.* 2020;34(3):255-61. DOI: 10.1089/end.2019.0719
6. Türk C, Petřík A, Sarica K, Seitz C, Skolarikos A, Straub M, Knoll T. EAU guidelines on Interventional treatment for urolithiasis. *Eur Urol.* 2016;69(3):475-82. DOI: 10.1016/j.eururo.2015.07.041
7. Shahzad R, Bos D, Budde RP, Pellikaan K, Niessen WJ, van der Lugt A, van Walsum T. Automatic segmentation and quantification of the cardiac structures from non-contrast-enhanced cardiac CT scans. *Phys Med Biol.* 2017;62(9):3798-813. DOI: 10.1088/1361-6560/aa63cb
8. Sedghi Gamechi Z, Bons LR, Giordano M, Bos D, Budde RPJ, Kofoed KF, Pedersen JH, Roos-Hesselink JW, de Bruijne M. Automated 3D segmentation and diameter measurement of the thoracic aorta on non-contrast enhanced CT. *Eur Radiol.* 2019;29(9):4613-23. DOI: 10.1007/s00330-018-5931-z

9. Patel A, Schreuder FHBM, Klijn CJM, Prokop M, Ginneken BV, Marquering HA, Roos YBWEM, Baharoglu MI, Meijer FJA, Manniesing R. Intracerebral Haemorrhage Segmentation in Non-Contrast CT. *Sci Rep.* 2019;9(1):17858. DOI: 10.1038/s41598-019-54491-6

10. Khalifa F, Elnakib A, Beache GM, Gimel'farb G, El-Ghar MA, Ouseph R, Sokhadze G, Manning S, McClure P, El-Baz A. 3D kidney segmentation from CT images using a level set approach guided by a novel stochastic speed function. *Med Image Comput Assist Interv.* 2011;14(3):587-94. DOI: 10.1007/978-3-642-23626-6_72

Сведения об авторах

Бахман Гидаятович Гулиев – д.м.н., профессор; профессор кафедры урологии ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России; руководитель центра урологии с робот-ассистированной хирургией Мариинской больницы

г. Санкт-Петербург, Россия
ORCID iD 0000-0002-2359-6973
e-mail: gulievb@mail.ru

Борис Кириллович Комяков – д.м.н., профессор; заведующий кафедрой урологии ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России

г. Санкт-Петербург, Россия
ORCID iD 0000-0002-8606-9791
e-mail: komyakovbk@mail.ru

Талышинский Али Эльманович – клинический ординатор кафедры урологии ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России

г. Санкт-Петербург, Россия
ORCID iD 0000-0002-3521-8937
e-mail: ali-ma@mail.ru

Information about the authors

Bakhman G. Guliev – M.D., Dr. Sc. (M), Full Prof.; Prof., Dept. of Urology, Mechnikov North-West State Medical University; Head, Urology Centre with Robot-assisted Surgery, St. Petersburg Mariinsky Hospital

St. Petersburg, Russia
ORCID iD 0000-0002-2359-6973
e-mail: gulievb@mail.ru

Boris K. Komyakov – M.D., Dr. Sc. (M), Full Prof.; Head, Dept. of Urology, Mechnikov North-West State Medical University

St. Petersburg, Russia
ORCID iD 0000-0002-8606-9791
e-mail: komyakovbk@mail.ru

Ali E. Talysinskiy – Postgraduate student; Dept. of Urology, Mechnikov North-West State Medical University

St. Petersburg, Russia
ORCID iD 0000-0002-3521-8937
e-mail: ali-ma@mail.ru