

Урологія, андрологія і нефрологія

УДК: 616.613-003.7-073.756.8-089.163

ТОМОГРАФІЧНІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ СТРУКТУРНОГО СТАНУ
НИРКОВИХ КАМЕНІВ

*Колупаєв С.М.¹, Лісовий В.М.¹, Демченко В.М.^{1,2}, Алтухов О.О.²,
Олянич С.О.³*

¹Харківський національний медичний університет, Харків, Україна

²КНПХОР «Обласний медичний клінічний центр урології і нефрології
ім. В.І. Шаповала», Харків, Україна

³ПВНЗ «Харківський міжнародний медичний університет», Харків, Україна

Сечокам'яна хвороба (СКХ) є одним з найбільш поширеніших урологічних захворювань. Сучасний підхід до її лікування передбачає використання широкого спектру малоінвазивних оперативних втручань, основним етапом яких є деструкція конкременту з наступним видаленням його фрагментів. Предопераційна діагностика фізико-хімічних параметрів ниркових каменів має важливе практичне значення для вибору методу лікування, особливо у разі планування екстракорпоральної ударно-хвильової літотрипсії. В роботі вивчені особливості томографічних зображень ниркових каменів, які видалені в результаті проведення малоінвазивних оперативних втручань (екстракорпоральної ударно-хвильової, перкутанної та уретероскопічної літотрипсії) у 63 пацієнтів з СКХ. Використано метод кристалооптичного аналізу на поляризаційному мікроскопі з наступним цифровим аналізом їх томографічних зображень. З'ясовано, що незалежно від мінерального складу каменю, неорганічні компоненти, які входять до його складу, можуть перебувати в аморфному або кристалічному стані. На підставі визначення об'ємної частки кристалічної фази (ОЧКФ) у структурі конкременту були визначені 3 структурні типи ниркових каменів з ОЧКФ <50 %об, >50 %об та 100 %об. Томографічні зображення ниркових каменів різних структурних типів характеризувалися різною величиною середньої інтенсивності пікселів (ІП). Була встановлена позитивна кореляційна залежність між ОЧКФ та ІП, що дозволяє розглядати даний показник як томографічний критерій ступеня кристалічності ниркового каменю, визначення якого є доцільним на етапі вибору методу літотрипсії.

Ключові слова: уrolіт, структура, кристалічність, томографічне зображення.



Цитуйте українською: Колупаєв СМ, Лісовий ВМ, Демченко ВМ, Алтухов ОО, Олянич СО. Томографічні критерії оцінки структурного стану ниркових каменів. Медицина сьогодні і завтра. 2021;90(4):40-7. <https://doi.org/10.35339/msz.2021.90.4.kld>

Cite in English: Kolupayev S, Lisovyi V, Demchenko V, Altuhov O, Olianych S. Tomographic criteria for assessing the structural state of kidney stones. Medicine Today and Tomorrow. 2021;90(4):40-7. <https://doi.org/10.35339/msz.2021.90.4.kld> [in Ukrainian].

Відповідальний автор: Колупаєв С.М.
Україна, 61037, м. Харків,
пр. Героїв Харкова, 195.
E-mail: sm_kolupayev@ukr.net

Corresponding author: Kolupayev S.
Ukraine, 61037, Kharkiv,
Heroiv Kharkova Ave., 195.
E-mail: sm_kolupayev@ukr.net

Вступ

Згідно світової статистики, сечокам'яна хвороба є одним з найбільш поширеніших захворювань з рецидивуючим характером перебігу [1; 2]. Сучасні протоколи лікування даної патології передбачають застосування неінвазивних та малоінвазивних методик, принцип яких полягає в екстра- або інтракорпоральній деструкції конкременту з подальшою елімінацією його фрагментів. До таких методик відносяться різні види літотрипсії: екстракорпоральна ударно-хвильова, перкутанна та уретероскопічна [3; 4]. Характер фрагментації каменю визначається видом і структурним станом мінеральних компонентів, що входять до його складу, і є одним із факторів, що впливають на результати лікування [5; 6]. Оцінити структурно-композиційні особливості ниркового каміння можливо шляхом лабораторного аналізу їх зразків, отриманих в результаті проведення описаних вище лікувальних методик. Однак у клінічній практиці важливе значення має визначення фізико-хімічних властивостей каменю на етапі передопераційної діагностики. У сучасній літературі описані способи ідентифікації мінеральних компонентів ниркового каміння, за допомогою двоенергетичної томографії [7]. Проте діагностичні критерії оцінки структурного стану каменю не розроблені, що визначає актуальність цього напряму наукових досліджень.

Мета роботи полягала у вивченні томографічних ознак ниркових каменів різного структурного стану.

Матеріали та методи

В роботі вивчено особливості томографічних зображень ниркових каменів, різних структурних типів, отрима-

них в результаті малоінвазивних оперативних втручань з приводу сечокам'яної хвороби у 63 пацієнтів, віком 20–73 років (середній вік складав $[46,4 \pm 8,5]$ років). На етапі передопераційної діагностики всім пацієнтам виконувалася мультиспіральна комп'ютерна томографія на комп'ютерному томографі Toshiba Aquilion 16 (Японія). В якості лікувального методу у 31 (49,2 %) пацієнта була застосована екстракорпоральна ударно-хвильова літотрипсія (ЕУХЛ), у 17 (27,0 %) хворих виконувалася уретероскопічна літотрипсія, 15 (23,8 %) пацієнтам проведено перкутанну нефролітотрипсію. Отримані фрагменти ниркових каменів вивчалися методом кристалооптичного аналізу на поляризаційному мікроскопі POLAM (Lomo). Виходячи з принципів кількісного аналізу мікроскопічних зображень [8], був оцінений структурний стан мінеральних компонентів каменю та ступінь його кристалічності, шляхом розрахунку об'ємної частки кристалічної фази (ОЧКФ) у його складі.

Томографічні зображення ниркових каменів аналізувалися за допомогою програми Radiant DICOM Viewer (Польща), одним лікарем-радіологом. Цифровий аналіз томографічного зображення каменю проводився за допомогою програмного пакета ImageJ (США), на підставі розрахунку показника середньої інтенсивності пікселів (ІП) у діапазоні сірої шкали 0–250 [9; 10]. З метою стандартизації зображення аналізувалися при 8-кратному збільшенні (Zoom = 800 %), в режимі перегляду з рівнем вікна (window level, WL), що відповідав 700.

Статистична обробка даних проводилася з використанням програми

Statistica 12 (StatSoft, США). Як середньовибіркову характеристику використовували медіану (Me), перший і третій квартилі (Q1–Q3). Наявність кореляції оцінювали з використанням методу Спірмена, коефіцієнт кореляції представлений у вигляді r . Достовірність відмінностей була прийнята на рівні статистичної значимості $p < 0,05$.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації та схвалено етичним комітетом КНПХОР «Обласний медичний клінічний центр урології і нефрології ім. В.І. Шаповала». Пацієнти були інформовані про мету, методи, дизайн дослідження та підписали інформовану згоду.

Результати та їх обговорення

Сучасним трендом у лікуванні сечокам'яної хвороби є застосування різних видів літотрипсії, серед яких у більшості пацієнтів з розмірами каменю менше 2 см, у якості метода першої лінії розглядається ЕУХЛ [11; 12]. Серед факторів, що впливають на результати лікування, важливе значення має крихкість конкременту, яка залежить від його композиційних та структурних особливостей [13]. Незважаючи на поширену думку, що рентгенівська щільність каменю (Hounsfield unit, HU) є індикатором схильності до літотрипсії, на практиці ниркові конкременти з однаковими або близькими значеннями HU демонструють значну варіабельність за структурою і твердістю матеріалу [14].

При проведенні кристалооптичного аналізу зразків сечового каміння було встановлено, що незалежно від мінерального складу каменю, неорганічні компоненти, що входять до його складу, перебувають в аморфному або кристалічному стані. В залежності від об'ємного співвідношення аморфної та кристалічної фаз, були визначені 3 структурних типи ниркових каменів. Структурний тип А: аморфно-кристалічна

структура, з переважним вмістом аморфної фази (ОЧКФ < 50 %об), мікроскопічно представленої аморфним компонентом з одиничними з центрами кристалізації та дрібнокристалічними включеннями. Структурний тип В: аморфно-кристалічна структура, з переважним вмістом кристалічної фази (ОЧКФ > 50 %об), в основному представленою дрібнокристалічною масою, серед якої зустрічаються сформовані зерна кристалів з різним ступенем прозорості. Структурний тип С: аморфна фаза відсутня, зразок повністю представлений кристалічними фазами (ОЧКФ = 100 %об), основними компонентами яких є сформовані кристали у вигляді зерен з характерними структурними особливостями, в залежності від типу мінералу.

При візуальній оцінці томографічних зображень каменів різних структурних типів було виявлено різний ступінь їх колірної насиченості. Колірна неоднорідність сечових каменів чітко диференціювалася в режимах перегляду, у яких значення WL знаходилося в діапазоні 650–750. Для кількісного аналізу та об'єктивізації колірних характеристик зображень була застосована програма ImageJ, яка була розроблена Національним інститутом здоров'я (США) та застосовується для цифрової обробки медичних зображень [15; 16].

У даному дослідженні, при аналізі томографічних зображень сечового каміння за допомогою програмного забезпечення ImageJ, було виявлено, що камені різного структурного типу характеризувалися різною величиною середньої інтенсивності пікселів (ІП) (рис. 1–3).

У міру збільшення кількісної присутності кристалічної фази у структурі каменю, спостерігалось зростання середньої інтенсивності пікселів у його томографічному зображенні. При проведенні кореляційного аналізу між показниками ОЧКФ та ІП була виявлена статистично достовірною залежність позитив-

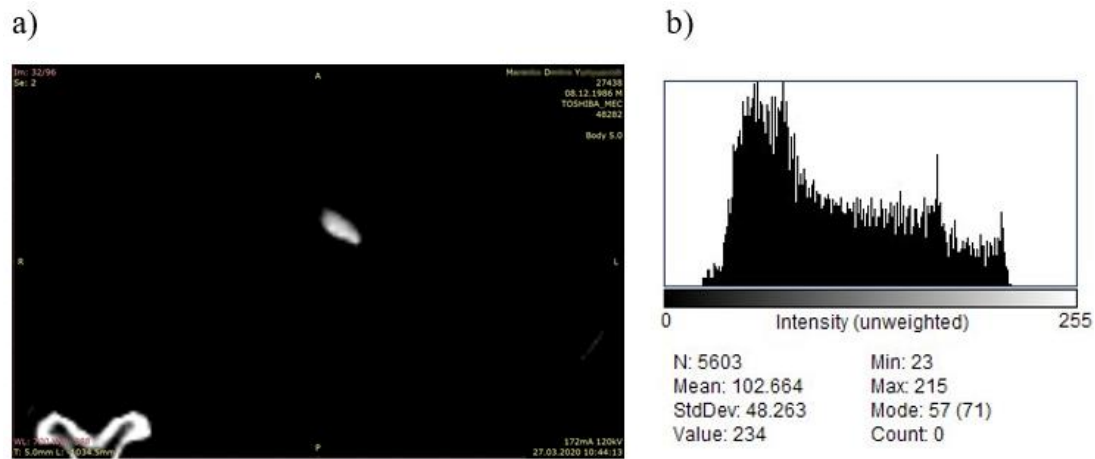


Рис. 1. Томографічне зображення ниркового каменю (структурний тип А). 800-кратне збільшення, $WL=700$ (a) та відповідна йому ImageJ-гістограма (b).

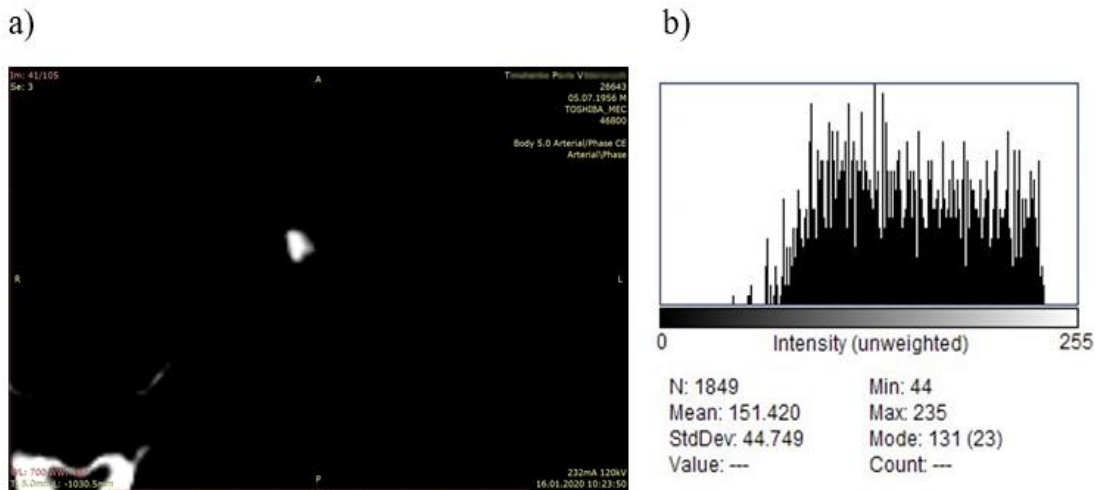


Рис. 2. Томографічне зображення ниркового каменю (структурний тип В). 800-кратне збільшення, $WL=700$ (a) та відповідна йому ImageJ-гістограма (b).

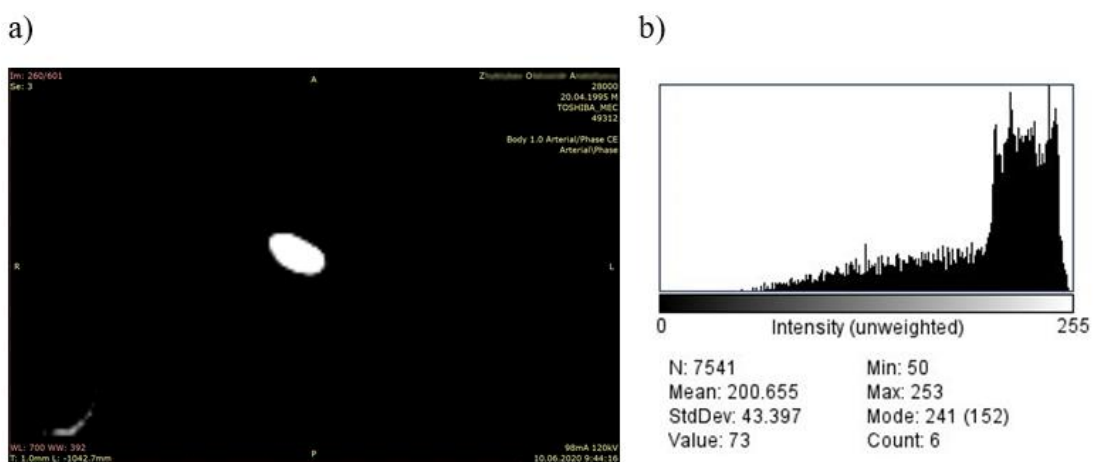


Рис. 3. Томографічне зображення ниркового каменю (структурний тип С). 800-кратне збільшення, $WL=700$ (a) та відповідна йому ImageJ-гістограма (b).

ної спрямованості ($p < 0,05$; $r = 0,51$), що дозволяє розглядати показник ІІ як томографічний критерій структурного стану ниркового каменю, який характеризує ступінь кристалічності його мінеральних складових.

Висновки

Структурний стан ниркового каменю визначається об'ємним співвідношенням аморфної та кристалічної фаз його мінеральних сполук. Збільшення об'ємної частки кристалічної фази у структурі каменю характеризується збільшенням показника середньої інтенсивності пікселів, що визначається шляхом кількісного аналізу його зоб-

ражень на мультиспіральних комп'ютерних томограмах, за допомогою програмного забезпечення ImageJ. Даний показник слід використовувати в якості томографічного критерію оцінки структурного стану ниркових каменів, який характеризує ступінь кристалічності його мінеральних компонентів, що є доцільним в аспекті вибору оптимального методу літотрипсії.

Перспективність подальших досліджень полягає у вивченні додаткових візуалізаційних критеріїв діагностики структурно-композиційних особливостей сечових каменів.

Конфлікт інтересів відсутній.

Література

1. Sorokin I, Mamoulakis C, Miyazawa K, Rodgers A, Talati J, Lotan Y. Epidemiology of stone disease across the world. *World J Urol.* 2017;35(9):1301-20. DOI: 10.1007/s00345-017-2008-6. PMID: 28213860.
2. Alatab S, Pourmand G, El Howairis Mel F, Buchholz N, Najafi I, Pourmand MR, et al. National Profiles of Urinary Calculi: a Comparison Between Developing and Developed Worlds. *Iran J Kidney Dis.* 2016;10(2):51-61. PMID: 26921745.
3. Al-Marhoon MS, Shareef O, Al-Habsi IS, Al Balushi AS, Mathew J, Venkiteswaran KP. Extracorporeal Shock-wave Lithotripsy Success Rate and Complications: Initial Experience at Sultan Qaboos University Hospital. *Oman Med J.* 2013;28(4):255-9. DOI: 10.5001/omj.2013.72. PMID: 23904918
4. Turk C, Neisius A, Petrik A, Seitz C, Skolarikos A, Thomas K, et al. EAU Guidelines on Urolithiasis. Edn. presented at the EAU Annual Congress Amsterdam 2020. Available at: <https://uroweb.org/guideline/urolithiasis>
5. Pittomvils G, Vandeursen H, Wevers M, Lafaut JP, De Ridder D, De Meester P, et al. The influence of internal stone structure upon the fracture behaviour of urinary calculi. *Ultrasound Med Biol.* 1994;20(8):803-10. DOI: 10.1016/0301-5629(94)90037-x. PMID: 7863569.
6. Kolupayev S, Lesovoy V, Bereznyak E, Andoniev N, Shchukin D. Structure Types of Kidney Stones and Their Susceptibility to Shock Wave Fragmentation. *Acta Inform Med.* 2021;29(1):26-31. DOI: 10.5455/aim.2021.29.26-31. PMID: 34012210.
7. Nestler T, Nestler K, Neisius A, Isbarn H, Netsch C, Waldeck S, et al. Diagnostic accuracy of third-generation dual-source dual-energy CT: a prospective trial and protocol for clinical implementation. *World J Urol.* 2019;37(4):735-41. DOI: 10.1007/s00345-018-2430-4. PMID: 30076456.
8. James J, Tanke HJ. *Biomedical Light Microscopy.* Netherlands: Springer; 1991. 192 p. DOI: 10.1007/978-94-011-3778-2.
9. Seletchi ED, Duluiu OG. Image Processing and Data Analysis in Computed Tomography. *Romanian Journal of Physics.* 2007;72:764-74. Available at: https://www.researchgate.net/publication/237047480_Image_Processing_and_Data_Analysis_in_Computed_Tomography

10. Brookes SJ. Using ImageJ (Fiji) to Analyze and Present X-Ray CT Images of Enamel. *Methods Mol Biol.* 2019;1922:267-91. DOI: 10.1007/978-1-4939-9012-2_26. PMID: 30838584.
11. Abedi AR, Razzaghi M, Montazeri S, Allameh F. The Trends of Urolithiasis Therapeutic Interventions over the Last 20 Years: A Bibliographic Study. *J Lasers Med Sci.* 2021;12:e14. DOI: 10.34172/jlms.2021.14. PMID: 34733737.
12. Lawler AC, Ghiraldi EM, Tong C, Friedlander JI. Extracorporeal Shock Wave Therapy: Current Perspectives and Future Directions. *Curr Urol Rep.* 2017;18(4):25. DOI: 10.1007/s11934-017-0672-0. PMID: 28247327.
13. Kijvikai K, de la Rosette JJ. Assessment of stone composition in the management of urinary stones. *Nat Rev Urol.* 2011;8(2):81-5. DOI: 10.1038/nrurol.2010.209. PMID: 21135879.
14. Sherer BA, Chen L, Yang F, Ramaswamy K, Killilea DW, Hsi RS, et al. Heterogeneity in calcium nephrolithiasis: A materials perspective. *Journal of Materials Research.* 2017;32:2497-509. DOI: 10.1557/jmr.2017.153.
15. National Institutes of Health Image [Internet]. Available at: <https://imagej.nih.gov/nih-image> [Accessed 11 Dec 2021].
16. Curvo LRV, Ferreira MW, Costa CS, Barbosa GRC, Uhry SA, Silveira US da, et al. Techniques using ImageJ for histomorphometric studies. *RSD.* 2020;9(11):e1459119586. DOI: 10.33448/rsd-v9i11.9586.

Колупаев С.М., Лесовой В.Н., Демченко В.Н., Алтухов А.А., Олянич С.А.

ТОМОГРАФИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧЕЧНЫХ КАМНЕЙ

Мочекаменная болезнь является одним из наиболее распространенных урологических заболеваний. Современный подход к лечению данной патологии подразумевает использование широкого спектра малоинвазивных оперативных вмешательств, основным этапом которых является деструкция конкремента с последующим удалением его фрагментов. Предоперационная диагностика физико-химических параметров почечных камней имеет важное практическое значение в аспекте выбора метода лечения, особенно при планировании экстракорпоральной ударно-волновой литотрипсии. В работе изучены особенности томографических изображений почечных камней с разными структурными особенностями. Исследование заключалось в изучении микроструктуры камней, удаленных в результате проведения малоинвазивных оперативных вмешательств (экстракорпоральной ударно-волновой, перкутанной и уретероскопической литотрипсии) у 63 пациентов с мочекаменной болезнью, методом кристаллооптического анализа. с помощью программного пакета ImageJ, с определением показателя средней интенсивности пикселей (ИП) в диапазоне серой шкалы 0–250. При проведении кристаллооптического анализа было установлено, что независимо от минерального состава камня, входящие в его состав неорганические компоненты могут находиться в аморфном или кристаллическом состоянии. На основании определения объемной доли кристаллической фазы (ОДКФ) в составе конкремента, были выделены 3 структурных типа почечных камней с ОДКФ <50 %об; >50 %об и 100 %об. При анализе томографических изображений было обнаружено, что почечные камни разной степени кристалличности характеризовались разной величиной средней интенсивности пикселей (ИП). Была установлена положительная корреляционная зависимость между ОДКФ и ИП, а также достоверные отличия по показателю ИП между группами камней первой и третьей ступеней кристалличности, что

позволяєт рассматривать данный показатель как томографический критерий степени кристалличности почечного камня, определение которого целесообразно на этапе выбора метода литотрипсии.

Ключевые слова: уролит, структура, кристалличность, томографическое изображение.

Kolupayev S., Lisovyi V., Demchenko V., Altuhov O., Olianych S.

TOMOGRAPHIC CRITERIA FOR ASSESSING THE STRUCTURAL STATE OF KIDNEY STONES

Urolithiasis is one of the most common urological diseases. The modern approach to the treatment of this pathology involves the use of a wide range of minimally invasive surgical interventions, the main stage of which is the destruction of the stone with subsequent removal of its fragments. Preoperative diagnosis of physicochemical parameters of kidney stones is of great practical importance in the aspect of choosing a treatment method, especially in the case of planning extracorporeal shock wave lithotripsy. The article examines the peculiarities of tomographic images of kidney stones with various structural features. The study consisted in the study of the microstructure of stones removed as a result of minimally invasive surgical interventions (extracorporeal shock wave, percutaneous and ureteroscopic lithotripsy) in 63 patients with urolithiasis, by the method of crystal-optical analysis on a polarizing microscope, with subsequent digital analysis of their tomographic images, according to using the ImageJ software package, with determination of the average pixel intensity (PI) in the gray scale range of 0–250. During the crystal-optical analysis, it was established that regardless of the mineral composition of the stone, the inorganic components that make up its composition can be in an amorphous or crystalline state. The structural types of kidney stones were determined based on the determination of the volume fraction of the crystalline phase (VFCF) in the structure of the urolith. Structural type A – VFCF <50% vol, structural type B – VFCF >50% vol, structural type C – VFCF = 100% vol. When analyzing tomographic images, it was found that kidney stones belonging to different structural types were characterized by different average pixel intensity (PI). A positive correlation between VFCF and PI was established, as well as reliable differences in the PI indicator between groups of stones of the first and third degree of crystallinity, which allows considering this indicator as a tomographic criterion of the degree of crystallinity of a kidney stone, the determination of which is expedient at the stage of choosing a lithotripsy method.

Keywords: urolith, structure, crystallinity, tomographic image.

Надійшла до редакції 16.10.2021

Відомості про авторів

Колупаєв Сергій Михайлович – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри урології, нефрології та андрології ім. А.Г. Подреза Харківського національного медичного університету.

Адреса: Україна, 61037, м. Харків, пр. Героїв Харкова, 195.

E-mail: sm_kolupayev@ukr.net

ORCID: 0000-0001-7128-4555.

Лісовий Володимир Миколайович – доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри урології, нефрології та андрології ім. проф. А.Г. Подреза Харківського національного медичного університету.

Адреса: Україна, 61037, м. Харків, пр. Героїв Харкова, 195.

E-mail: vm.lisovyi@knmu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-8149-1232.

Демченко Владислав Миколайович – доктор медичних наук, доцент, доцент кафедри урології, нефрології та андрології ім. А.Г. Подреза Харківського національного медичного університету.

Адреса: Україна, 61037, м. Харків, пр. Героїв Харкова, 195.

E-mail: urologycenter@ukr.net

ORCID: 0000-0003-3606-1799.

Алтухов Олексій Олександрович – завідувач відділення променевої діагностики КНПХОР «Обласний медичний клінічний центр урології і нефрології ім. В.І. Шаповала».

Адреса: Україна, 61037, м. Харків, пр. Героїв Харкова, 195.

E-mail: urologycenter@ukr.net

ORCID: 0009-0008-7188-9886.

Олянич Сергій Олександрович – асистент кафедри фундаментальних загальнонаукових дисциплін ПВНЗ «Харківський міжнародний медичний університет».

Адреса: Україна, 61001, м. Харків, вул. Молочна, 38.

E-mail: s.olyanich@khimu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-8556-8962.