

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ МОЧЕКАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ

Капанадзе А.Б.¹, Серова Н.С.¹, Руденко В.И.¹, Кузьмичева Г.М.²
Александрова К.А.¹, Новиков И.А.¹

Цель исследования. Улучшить диагностику мочекаменной болезни (МКБ) с использованием новейшей методики – двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ).

Материалы и методы. В Сеченовском Университете на кафедре лучевой диагностики и лучевой терапии лечебного факультета совместно с кафедрой урологии на базе Российско-Японского центра было проведено проспективное исследование группы из 91 (100%) пациента. Всем пациентам на этапе лучевого обследования выполнялась двухэнергетическая компьютерная томография для прогнозирования химического состава мочевых камней «in vivo». В дальнейшем всем пациентам выполнялось оперативное лечение: дистанционная литотрипсия (ДЛТ), чрескожная нефролитотрипсия (ЧНЛТ), контактная уретеролитотрипсия (КУЛТ). Полученные конкременты подвергались физико-химическому анализу (рентгенофазовый анализ, инфракрасная спектроскопия) с целью верификации состава. В дальнейшем проводилась оценка диагностической ценности двухэнергетической компьютерной томографии путем сопоставления результатов с данными физико-химического анализа.

Результаты. В предоперационном периоде при помощи ДЭКТ были получены следующие результаты: 40 пациентов имели камни, в составе которых преобладал вевеллит, у 34-х пациентов отмечались Са-содержащие камни без вевеллита, у 10 пациентов диагностированы камни из мочевой кислоты, у 7 пациентов камни были классифицированы в группу цистиновых/струвитных. После проведения верификационных исследований в послеоперационном периоде был определен следующий состав мочевых камней: 42 камня – вевеллит, 34 камня – Са-содержащие камни без вевеллита, 10 камней из мочевой кислоты, 5 камней – струвитные камни. При этом неверно по данным ДЭКТ были определены: 7 камней в составе которых преобладал вевеллит: 4 камня были отнесены в группу Са-содержащих камней без вевеллита, 3 камня – в группу струвитных/цистиновых камней; 4 Са-содержащих камня без вевеллита были отнесены в группу вевеллита; 2 струвитных камня: 1 камень был неверно отнесен в группу солей мочевой кислоты, 1 камень – в группу вевеллита; 1 камень, имевших в составе соли мочевой кислоты был неверно отнесен в группу струвитных камней. Стоит также отметить, что 1 камень имел смешанный состав (соли мочевой кислоты 70% + вевеллит 23% + вевеллит 7%), по результатам ДЭКТ был отнесен в группу камней из мочевой кислоты, при этом преобладающий компонент был определен верно.

Выводы. Применение ДЭКТ в предоперационном периоде с целью прогнозирования химического состава камня «in vivo» с высокой долей достоверности может дифференцировать не только уратные и Са-содержащие камни, но и отдельно выявлять камни в составе которых преобладает вевеллит. Более тонкая дифференцировка Са-содержащих камней, а также более редких видов, таких как струвитные и цистиновые, требует дальнейших исследований с более значимыми выборками.

Ключевые слова: мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), двухэнергетическая компьютерная томография (ДЭКТ), мочекаменная болезнь (МКБ), уролитиаз, мочевые камни, физико-химический анализ.

Контактный автор: Капанадзе А.Б., e-mail: Lidakap@rambler.ru

Для цитирования: Капанадзе А.Б., Серова Н.С., Руденко В.И., Кузьмичева Г.М., Александрова К.А., Новиков И.А. Результаты применения двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике мочекаменной болезни. REJR 2018; 8(2):94-104. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-2-94-104.

Статья получена: 12.02.2018 Статья принята: 16.03.2018

RESULTS OF APPLICATION OF DUAL-ENERGY COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE DIAGNOSIS OF UROLITHIASIS

Kapanadze L.B.¹, Serova N.S.¹, Rudenko V.I.¹, Kuzmicheva G.M.²
Aleksandrova K.A.¹, Novikov I.A.¹

Purpose. To improve the diagnosis of urolithiasis using the latest technique – dual-energy computed tomography (DECT).

Materials and methods. A prospective study of a group of 91 (100%) patients was conducted at the department of radiology and urology at the Russian-Japanese Center in Sechenov University. All patients underwent a dual-energy CT scan to predict the chemical composition of urinary stones "in vivo". All patients underwent surgical treatment after diagnostics: distance lithotripsy (DLT), percutaneous nephrolithotripsy (PHNLТ), contact ureterolithotripsy (CULT). All the stones after operations were subjected to physico-chemical analysis (X-ray phase analysis, infrared spectroscopy) in order to verify the composition. Further, the diagnostic value of the dual-energy computed tomography was assessed by comparing the DECT results with the physico-chemical analysis data.

Results. Using DECT in the preoperative period, the following results were obtained: 40 patients had vevellit stones, 34 patients had Ca-containing stones without vevellit, 10 patients had stones with uric acid, in 7 patients stones were classified in the group of cystine/struvite. After verification studies in the postoperative period, the following urinary stone composition was determined: 42 stones – vevellit, 34 stones – Ca-containing stones without vevellit, 10 stones with uric acid, 5 stones – struvite stones. At the same time the following results were obtained incorrectly using DECT: 7 stones with vevellit from which 4 stones were postoperatively confirmed to the group of Ca-containing stones without vevellit, 3 stones – struvite/cystine stones; 4 Ca-containing stones without vevellite were classified in the group of the vevellite; 2 struvite stones: 1 stone was incorrectly assigned to the group of uric acid, 1 stone – to the group of the vevellite; 1 stone uric acid was incorrectly assigned to the group of struvite stones. It should also be noted that 1 stone had a mixed composition (uric acid 70% + vevellit 23% + veddellite 7%), according to the results of DECT it was incorrectly assigned to the group of stones from uric acid, at the same time the prevailing component was determined correctly.

Conclusions. In order to predict the chemical composition of the stone "in vivo" with a high degree of reliability DECT in the preoperative period can differentiate not only the urate and Ca-containing stones, but also separately identify the stones in which vevellit is the predominant component. The detailed differentiation of Ca-containing stones, as well as of more rare stones, such as struvite and cystine, requires further studies with more significant groups of stones.

Keywords: multispiral computed tomography (MSCT), dual-energy computed tomography (DECT), urolithiasis, urinary stones, physico-chemical analysis.

Corresponding author: Kapanadze L.B. e-mail: Lidakap@rambler.ru

For citation: Kapanadze L.B., Serova N.S., Rudenko V.I., Kuzmicheva G.M., Aleksandrova K.A., Novikov I.A. Results of application of dual-energy computed tomography in the diagnosis of urolithiasis. REJR 2018; 8(2):94-104. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-2-94-104.

Received: 12.02.2018 Accepted: 16.03.2018

Мочекаменная болезнь (МКБ) – одно из самых распространенных заболеваний, которым страдают около 3% населения планеты. В течение последних десятилетий отмечается рост заболеваемости мочекаменной болезнью как у мужчин, так и у женщин. В России доля МКБ среди всех урологических заболеваний составляет

32,4%. МКБ стала одной из главных проблем здравоохранения, поскольку многим пациентам необходимо стационарное лечение. Так, например, в России 30-40% мест в урологических отделениях приходится на больных МКБ. Выбор тактики лечения МКБ: цитратный литолиз, дистанционная литотрипсия (ДЛТ), чрескожная нефролитотомия (ЧНЛТ), контактная уретероли-

1 - I.M. Sechenov First Moscow State Medical University

(Sechenov University).

2 - MIREA - Russian Technological University Moscow, Russia

тотрипсия (КУЛТ) или динамическое наблюдение, - определяется в зависимости от локализации, размера, плотности и состава камня. К сожалению, почти у 50% этих пациентов отмечаются клинические рецидивы МКБ по крайней мере один раз в их жизни [12, 5]. Поэтому, с учетом актуальности данного заболевания, разработка новых методов диагностики, лечения и профилактики (метафилактики) приобретает огромную социальную значимость. Данные о физико-химическом составе мочевых камней представляют важную информацию о метаболизме и имеют высокую значимость в выборе профилактических мер, консервативной терапии, а также в прогнозировании результатов оперативного лечения [1, 30]. К примеру, установлено, что фрагментация цистиновых камней, фосфата кальция и вевеллита при дистанционной литотрипсии вызывает определенные сложности и сопровождается образованием относительно больших фрагментов, по сравнению с ДЛТ камней других составов (струвит, дигидрат оксалата кальция и т.д.) [11, 32, 35, 36, 42]. В настоящее время в урологическую практику активно внедряется новая методика МСКТ – двухэнергетическая компьютерная томография (ДЭКТ). В основе лежит использование источников, способных генерировать излучение на разных уровнях энергии, и датчиков, способных дифференцировать это излучение. С учетом данных, получаемых при помощи ДЭКТ, возможно оценить характеристики камней на основе не только плотности, но также элементарного состава и энергии поглощаемого пучка фотонов. Указанная методика впервые была описана в 1970-х, но с учетом технического несовершенства старых томографов, широкое применение в повседневной клинической практике началось лишь с 2006 г. [18, 7, 23, 19, 14, 15]. В работе врача-уролога ДЭКТ используется для определения физико-химического состава мочевых конкрементов с целью последующего планирования тактики лечения [2, 3]. В процессе ДЭКТ происходит получение определенных данных, на основе которых выполняется оценка состава камней:

1) Двухэнергетический индекс (ДЭИ) = $(X \text{ низкий кэВ} - X \text{ высокий кэВ}) / (X \text{ низкий кэВ} + X \text{ высокий кэВ} + 2000)$, где X низкий кэВ – плотность материала в НУ при низком уровне энергии, X высокий кэВ – плотность при высоком уровне энергии [31].

2) Двухэнергетическое отношение (ДЭО) = $(\text{плотность материала на низкоэнергетическом изображении} / \text{плотность на высокоэнергетическом изображении})$ [33].

3) Двухэнергетическая разность (ДЭР) = $(\text{плотность материала на низкоэнергетическом изображении} - \text{плотность на высокоэнергетическом изображении})$ [24].

4) $Z \text{ eff}$ – эффективное атомное число абсорбирующего материала.

На основании имеющейся литературы можно с уверенностью утверждать, что ДЭКТ крайне эффективна в дифференцировке камней мочевой кислоты и Са-содержащих камней [39, 41]. Однако на настоящий момент отмечается недостаточность информации для более подробной характеристики состава Са-содержащих камней и выявления редких видов – цистиновых и струвитных – на основании показателей, получаемых при помощи ДЭКТ.

Наиболее часто применяемыми показателями для классификации камней при ДЭКТ являются ДЭО и $Z \text{ eff}$. К примеру, в исследованиях Matlaga B. (2008), Hidas G. (2010), Thomas C. (2010) ДЭО для камней из мочевой кислоты составил 1,04-1,09, менее 1,1, 0,88-1,18, соответственно. Также в этих работах Hidas G. и Thomas C. отмечают ДЭО для цистиновых камней 1,1-1,24 и 1,27-1,39, соответственно, а ДЭО для Са-содержащих – более 1,24 и 1,42-1,57, соответственно. Acharya S. и соавт. (2015) продемонстрировали, что ДЭО=1,385 для выявления вевеллита имел чувствительность 65,6% и специфичность 82%, а значение <1,335 у Са-содержащих камней было характерно только для вевеллита [6, 17, 24, 40]. Kulkarni N. M. и соавт. (2013) в своем исследовании показали, что $Z \text{ eff}$ от 6,2 до 7,8 характерен для камней из мочевой кислоты, $Z \text{ eff}$ от 11,2 до 14,4 – для вевеллита, $Z \text{ eff}$ 9,2-10,0 – для струвитных камней, а $Z \text{ eff}$ 10,2-11,8 для цистиновых [21].

Основной задачей ДЭКТ в урологической практике является оценка состава мочевых камней для адекватного выбора лечебной тактики. Отмечается недостаток работ, оценивающие прямое влияние ДЭКТ на исход лечения. Так, Ferrero A. (2016) и Largo R. (2016) было продемонстрировано, что данные ДЭКТ (ДЭО, ДЭИ), а также объем, ровность поверхности и плотность камня являлись основными прогностическими признаками успешной ДЛТ. A Nabashy D. и соавт. (2016) впервые показали ценность ДЭКТ в отборе пациентов для консервативной терапии [13, 16, 22].

Материалы и методы.

На кафедре лучевой диагностики и лучевой терапии совместно с кафедрой урологии Сеченовского Университета на базе Российско-японского центра за период с ноября 2016 г. по апрель 2018 г. проведено проспективное исследование группы из 91 пациента (100%). Возраст пациентов составлял от 20 до 70 лет (средний возраст 42,7 лет). Отмечалось преобладание лиц мужского пола (68 мужчин, 23 женщины). Критериями включения в группу являлись: камень почки и мочевых путей, возраст старше 18 лет, отсутствие беременности, размер камня равный или более 5 мм.

В предоперационном периоде всем пациентам (n=91, 100%) выполнялась мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ), с последующим проведением одноисточниковой двухэнергетической компьютерной томографии на томографе Toshiba Aquilion One 640 (Япония), с быстрым переключением между высоким и низким уровнем энергии во время сканирования. Параметры сканирования: параметр энергии трубки в стандартном режиме – 120 кэВ, при ДЭКТ – 80 кэВ/135 кэВ., режим спиральный/объемный, сила тока - 50 мА/290 мА, толщина среза 0,5 см.

В описании был использован расширенный протокол, включающий в себя следующие пункты:

- локализация конкремента;
- размер, объем;
- плотность (при 120 кэВ, 80 кэВ и 135 кэВ) конкремента;
- оценка специфических показателей ДЭКТ: ДЭО, ДЭИ, ДЭР, Z eff;
- зональная структура конкремента (измерение плотности в центре и по периферии);
- прогнозирование химического состава конкремента;
- оценка анатомо-функционального состояния почек и мочевых путей.

Для камней менее 2 см выполнялось одно измерение плотности путем постановки окружности измерения диаметром в зависимости от размера камня от 1 до 5 мм (region of interest, ROI) таким образом, чтобы окружность охватывала не менее половины площади камня. Для камней более 2 см, в т.ч. коралловидных камней выполнялось два измерения плотности, с последующим вычислением среднего показателя плотности (рис. 1, 2).

Все камни по результатам двухэнергетической компьютерной томографии были классифицированы на четыре группы:

- 1) Вевеллит;
- 2) Са-содержащие камни без вевеллита;
- 3) Мочевая кислота;
- 4) Цистиновые/струвитные камни.

Следует отметить, что преобладающим компонент считался в том случае, если его доля в образце составляла 75% и более. Анализ снимков производился до известного физико-химического исследования камней. Прогностическая оценка состава при ДЭКТ и отнесение образца в вышеупомянутые группы производилась путем сопоставления полученных показателей ДЭО с известными данными изученной литературы (табл. 1).

Все пациенты подвергались оперативному лечению в оптимальном объеме: дистанционной литотрипсии, контактной уретеролитотрипсии или чрескожной нефролитотрипсии. Верификация состава полученных при операции или в

результате отхождения в послеоперационном периоде камней производилась при помощи инфракрасной спектроскопии и рентгенофазового анализа. Данные ДЭКТ сравнивались с данными верификационных исследований полученных образцов.

Результаты.

Средний размер камня составил 19,3 мм (от 5,2 до 82,3 мм). По локализации камни распределялись следующим образом: 15 камней верхней и средней групп чашечек, 22 камня лоханки, 6 коралловидных камня, 14 камней лоханочно-мочеточникового сегмента, 7 камней верхней трети мочеточника, 3 камня средней трети мочеточника и 24 камня нижней трети мочеточника.

На этапе прогнозирования химического состава по результатам двухэнергетической компьютерной томографии были получены следующие результаты (табл. 2).

Из 91 оперативного вмешательства, было выполнено 66 (72,53%) ДЛТ, 16 (17,58%) – ЧНЛТ и 9 (9,89%) КУЛТ.

Все камни или фрагменты камней после оперативного лечения по данным физико-химического состава (рентгенофазового анализа и инфракрасной спектроскопии) были определены в следующие группы (табл. 3).

Как видно из таблицы, в исследуемой выборке преобладают Са-содержащие конкременты (n=76, 83,52%), при этом основным компонентом (более 75%) у большинства образцов (n=42, 55,26% среди Са-содержащих камней, 46,15% от общего числа образцов) в указанной группе является вевеллит. На долю струвитных конкрементов приходится 5,5% (n=5) от общего числа образцов. А на долю камней с преобладанием мочевой кислоты – 11% (n=10).

Сравнение групп по результатам двухэнергетической компьютерной томографии и физико-химического состава представлены на диаграммах (рис. 3).

Таким образом, мы получили следующие результаты: по данным ДЭКТ были неверно определены:

- 7 камней с содержанием вевеллита: 4 образца были отнесены в группу Са-содержащих камней без вевеллита (№ 2), еще 3 образца – в группу струвитных/цистиновых камней (№ 4);
- 4 Са-содержащих камня без вевеллита были отнесены в группу вевеллита (№ 1);
- 2 струвитных камня: 1 образец был неверно отнесен в группу мочевой кислоты (№3), 1 камень – в группу вевеллита (№ 1);
- 1 камень, имевший в составе соли мочевой кислоты был неверно отнесен в группу струвитных камней (№ 4). Стоит также отметить, что 1 камень имел смешанный состав – соли мочевой кислоты 70% + вевеллит 23% + вевеллит 7%, по результатам ДЭКТ был отнесен в группу камней

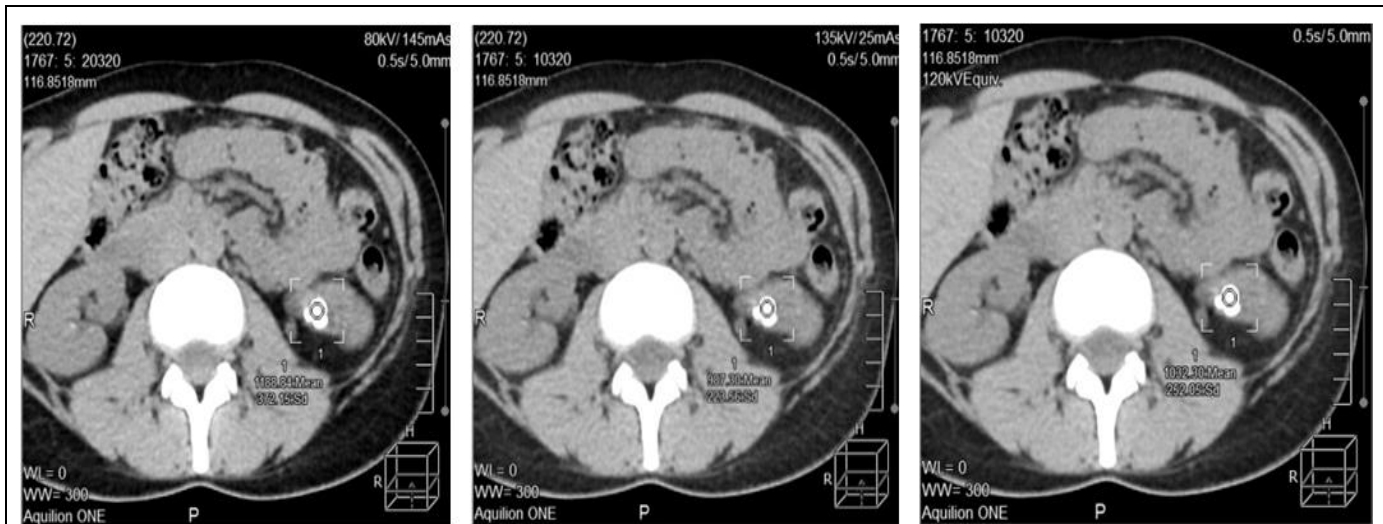


Рис. 1 (Fig. 1)

Рис. 1. ДЭКТ, аксиальные реконструкции.

Пример измерения плотности на изображениях при 80 kV, 135 kV, 120 kV, с последующим определением специфических показателей (ДЭО, ДЭИ, ДЭР).

Fig. 1. DECT, axial reconstruction.

Density measurement in images at 80 kV, 135 kV, 120 kV, followed by the determination of specific indicators (DEO, DEI, DER).

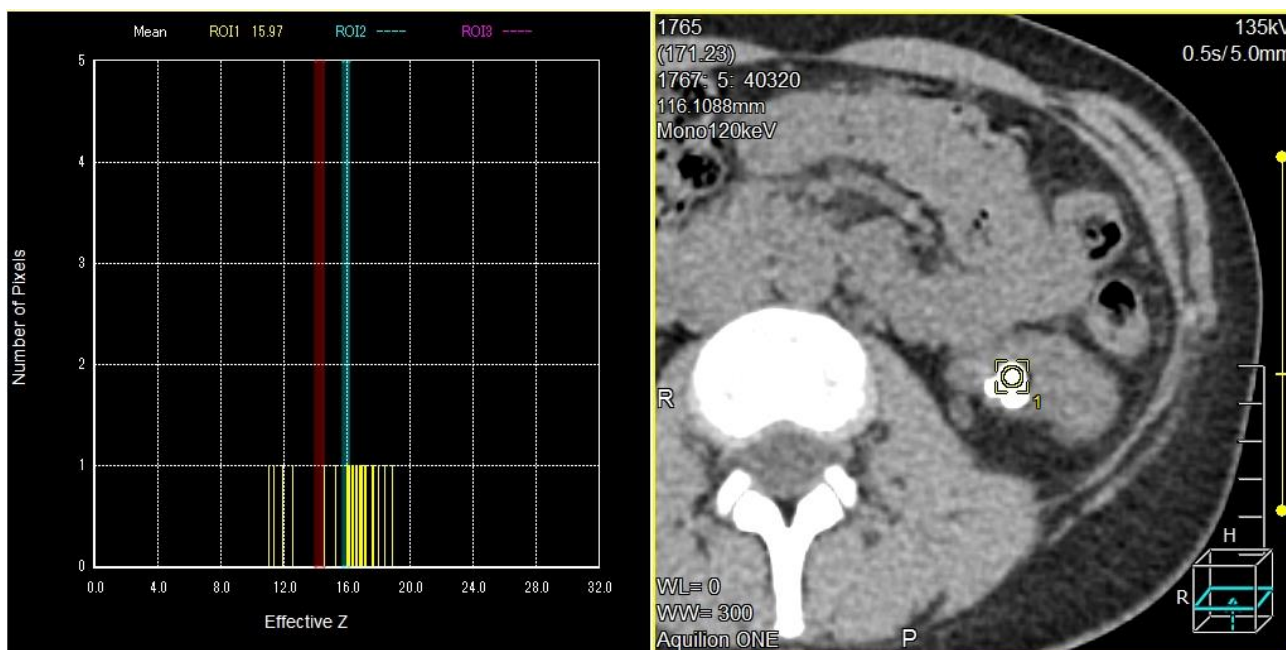


Рис. 2 (Fig. 2)

Рис. 2. ДЭКТ, пример определения специфического показателя – effective Z.

Fig. 2. DECT. Determining a specific indicator – effective Z.

Таблица № 1. Пороговые значения ДЭО при классификации камней по данным ДЭКТ в предоперационном периоде [6, 17, 24, 40].

Состав камней		ДЭО
1.	Вевеллит	1,33 – 1,41
2.	Са-содержащие камни без вевеллита	Более 1,41
3.	Мочевая кислота	Менее 1,22
4.	Струвитные/цистиновые	1,22 – 1,329

Таблица № 2. Предоперационный прогноз химического состава камней по данным ДЭКТ.

Состав камней	Число пациентов
1. Вевеллит	40 (43,96%)
2. Са-содержащие камни без вевеллита	34 (37,36%)
3. Мочевая кислота	10 (10,99%)
4. Струвитные/цистиновые	7 (7,69%)

Таблица № 3. Результаты физико-химического состава камней или их фрагментов.

Состав камней	Число образцов
1. Вевеллит	42 (46,15 %)
2. Са-содержащие камни без вевеллита	34 (37,36 %)
3. Мочевая кислота	10 (10,99%)
4. Струвитные камни	5 (5,5%)

Таблица № 4. Среднее значения плотности на 80 кэВ, 135 кэВ и 120 кэВ для Са-содержащих камней.

Тип камня	Число образцов	Средняя плотность (НУ) при 80 кэВ	Средняя плотность (НУ) при 135 кэВ	Средняя плотность (НУ) при 120 кэВ
Вевеллит	42	1476,2	1079,1	1188,1
Са-содержащие камни без вевеллита	34	1585,7	1068,4	1197,2

Таблица № 5. Среднее значения плотности на 80 кэВ, 135 кэВ и 120 кэВ для солей мочевой кислоты и струвитных камней.

Тип камня	Число образцов	Средняя плотность (НУ) при 80 кэВ	Средняя плотность (НУ) при 135 кэВ	Средняя плотность (НУ) при 120 эВ
Мочевая кислота	10	401,4	376,1	384
Струвит	5	931,2	743,3	801

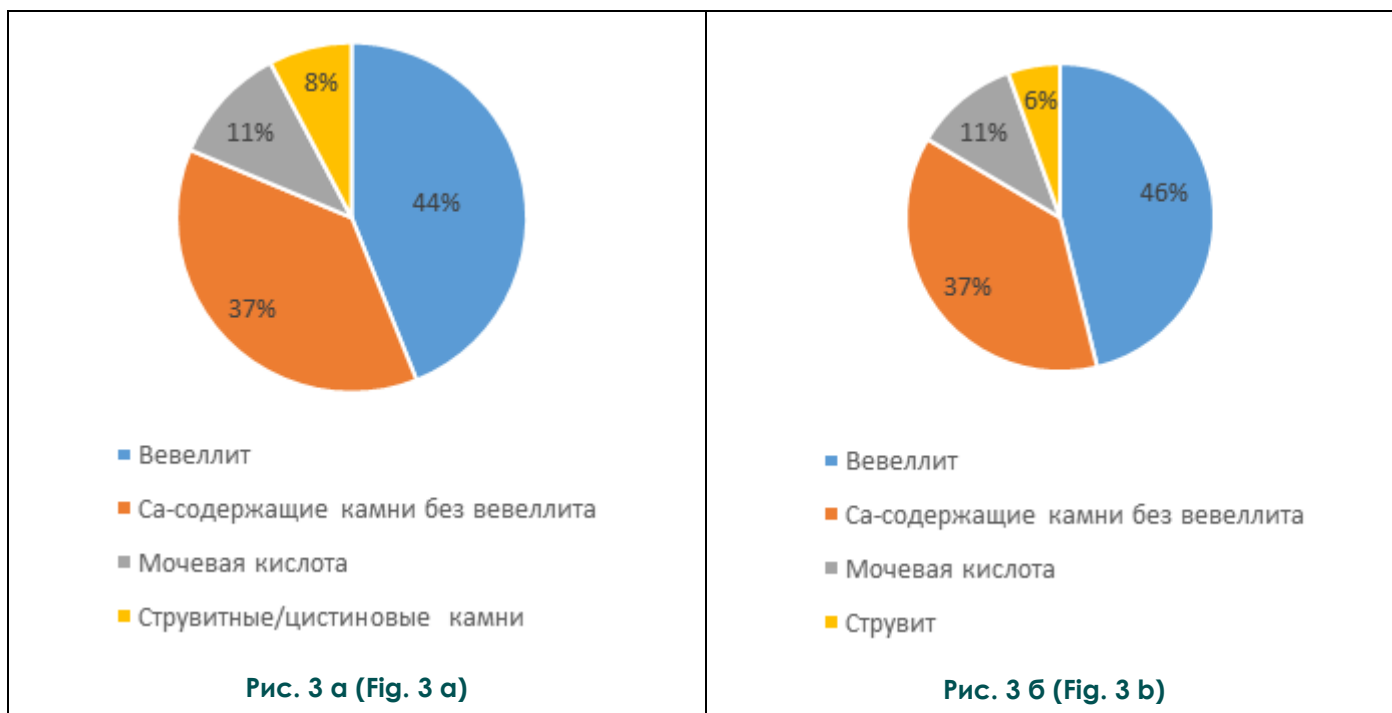


Рис. 3. Диаграммы.

Сравнение доли разных видов камней среди пациентов по результатам ДЭКТ в предоперационном периоде (а) и по результатам физико-химического состава (б).

Fig. 3. Diagrams.

Comparison of the percentage of different types of stones among patients by the results of DECT in the preoperative period (a) and by the results of the physico-chemical analysis (b).

из мочевой кислоты. При этом доминантный компонент был определен верно.

С учетом данных из таблиц 4 и 5, следует отметить соответствие плотности конкрементов при стандартной МСКТ (120 кэВ) и их составом, продемонстрированное ранее другими исследователями [1, 4, 10, 25-29, 26-33, 8, 37, 38]. Плотности камней при 80 кэВ и при 135 кэВ имеют особое значение в контексте их комплексной оценки, которая выражается в специфических данных и является сутью применения метода ДЭКТ в диагностике МКБ. Эта разность плотностей на высоком и низком уровне энергии отражает процесс фотоэлектрического поглощения – главного фотонного взаимодействия рентгеновских лучей в веществах с высоким атомным числом. Таким образом, появляется возможность дифференцировать элементы с выраженной разницей в показателях Z_{eff} по их спектральным свойствам. В то время как при стандартной МСКТ (120 кэВ) дифференцировка материалов с разным элементарным составом может быть затруднительной в виду возможной схожести показателей их плотностей [9, 20, 34].

Полученные при ДЭКТ специфические показатели – ДЭО, ДЭИ, ДЭР и Z_{eff} - представ-

лены в таблицах 6, 7. С учетом приведенных данных следует отметить значительное перекрытие интервалов ДЭИ, ДЭР и Z_{eff} у Са-содержащих камней (группы № 1 и № 2), что затрудняет адекватную статистическую оценку их значимости в тонкой дифференцировке по составу внутри указанных групп. Дополнительные сложности связаны с относительно малыми выборками этих групп. В то время как данные показатели у солей мочевой кислоты и струвитных камней (группы № 3 и № 4) значительно отличаются от таковых у кальцийсодержащих. Однако, между группами №3 и №4 данные показатели имеют выраженное пересечение, что, аналогично с ситуацией с группами Са-содержащих камней, затрудняет их взаимную дифференцировку.

Главный специфический показатель – ДЭО, на основе пороговых значений которого производилось прогнозирование состава, демонстрирует весьма успешные результаты при статистической оценке (табл. 8).

Следует отметить, что дифференцировка Са-содержащих камней и камней мочевой кислоты по результатам ДЭКТ достаточно освещена в литературе, кроме того данная группа камней в нашем исследовании представлена значимой выборкой [39, 41]. А результаты по группе №4

Таблица №6. Среднее значения ДЭО, ДЭИ, ДЭР и Z eff для Са-содержащих камней.

Состав камня	Число образцов	Среднее ДЭО	Средний ДЭИ	Средняя ДЭР	Среднее Z eff
Вевеллит	42	1,369	0,087	397,6	12,3
Са-содержащие камни без вевеллита	34	1,489	0,111	517,4	13,8

Таблица №7. Среднее значения ДЭО, ДЭИ, ДЭР и Z eff для уратных и струвитных камней.

Состав камня	Число образцов	Среднее ДЭО	Средний ДЭИ	Средняя ДЭР	Среднее Z eff
Мочевая кислота	10	1,09	0,009	25,3	7,71
Струвит	5	1,25	0,051	187,9	9,68

Таблица №8. Чувствительность и специфичность ДЭКТ в отношении прогноза химического состава камней на основании показателя ДЭО.

Состав камня	Чувствительность	Специфичность
Вевеллит	83,33%	89,8%
Са-содержащие камни без вевеллита	87,88%	93,1%
Мочевая кислота	90%	98,77%
Струвит	60%	93,33%

(струвитные камни) не достаточно широко освещены в научных публикациях и в данном исследовании представлены меньшей выборкой, что определяет необходимость дальнейшего изучения данного направления.

Заключение.

Таким образом, применение ДЭКТ в предоперационном периоде с целью прогнозирования химического состава камня «in vivo» с высокой долей достоверности может дифференцировать не только уратные и Са-содержащие камни, но и отдельно выявлять образцы, в со-

ставе которых преобладает вевеллит. Более тонкая дифференцировка Са-содержащих камней, а также более редких составов, таких как струвитные и цистиновые камни, требует дальнейших исследований с более значимыми выборками.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Аляев Ю.Г., Руденко В.И., Газимиев М.-С.А. Мочекаменная болезнь. Актуальные вопросы диагностики и выбора метода лечения. «Триада», Москва, 2006. С. 10-16.
2. Капанадзе Л.Б., Серова Н.С., Руденко В.И. Аспекты применения двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике мочекаменной болезни. Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2017. Т. 7. № 3. С. 165-173.
3. Капанадзе Л.Б., Терновой С.К., Руденко В.И., Серова Н.С. Клиническое значение в диагностике и лечении мочекаменной болезни. Урология. 2018. № 1. С. 143-149.
4. Кузьменко В.В., Кузьменко А.В., Остащенко С.А., Безрядин Н.Н. Оценка результатов ДЛТ по данным компьютерной томографии. Материалы Пленума правления Российского общества урологов (Сочи, 28-30 апреля 2003). М., 2003, стр.185-186
5. Лопаткин Н.А., Дзеранов Н.К. 15-летний опыт применения ДЛТ в лечении МКБ. Материалы Пленума правления Российского общества урологов (Сочи, 28-30 апреля 2003). М., 2003, стр.5-25
6. Acharya S., Goyal A., Bhalla A.S., Sharma R., Seth A., Gupta A.K. In vivo characterization of urinary calculi on dual-energy CT: going a step ahead with sub-differentiation of calcium stones. Acta Radiol. 2015; 56 (7): 881-9.
7. Alvarez R.E., Macovski A. Energy-selective reconstructions in x-ray computerized tomography. Phys Med Biol. 1976; 21 (5): 733-744.
8. Bellin M.F., Renard-Penna R., Conort P., et al. Helical CT evaluation of the chemical composition of urinary tract calculi with a discriminant analysis of CT-attenuation values and density. Eur Radiol. 2004; 14: 2134-40.
9. Curry T.S. III, Dowdey J.E., Murry R.C. Christensen's physics

of diagnostic radiology. 4th ed. Philadelphia, Pa: Lea & Febiger. 1990; 61–69.

10. Deveci S., Coskun M., Tekin M.I., et al. Spiral computed tomography: role in determination of chemical compositions of pure and mixed urinary stones - an in vitro study. *Urology*. 2004; 64: 237–40.

11. Dretler S.P. Stone fragility-a new therapeutic distinction. *J Urol*. 1988; 139: 1124–7.0

12. Ferraro PM, Robertson WG, Johri N, et al. A London experience 1995–2012: demographic, dietary and biochemical characteristics of a large adult cohort of patients with renal stone disease. *QJM* 2015; 108:561–568. 63.

13. Ferrero A., Montoya J.C., Vaughan L.E., Huang A.E., McKeag I.O., Enders F.T., Williams J.C. Jr, McCollough C.H. Quantitative Prediction of Stone Fragility From Routine Dual Energy CT: Ex vivo proof of Feasibility. *Acad Radiol*. 2016; 23 (12): 1545-1552.

14. Flohr T.G., McCollough C.H., Bruder H., et al. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur Radiol*. 2006; 16: 256–268.

15. Graser A., Johnson T.R., Chandarana H., Macari M. Dual energy CT: preliminary observations and potential clinical applications in the abdomen. *Eur Radiol*. 2009; 19 (1): 13–23.

16. Habashy D., Xia R., Ridley W., Chan L., Ridley L. Impact of dual energy characterization of urinary calculus on management. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2016; 60 (5): 624-631.

17. Hidas G., Eliahou R., Duvedevani M., Coulon P., Lemaitre L., Gofrit O.N., Pode D., Sosna J. Determination of renal stone composition with dual-energy CT: in vivo analysis and comparison with x-ray diffraction. *Radiology*. 2010; 257 (2): 394-401.

18. Hounsfield G.N. (1973) Computerized transverse axial scanning (tomography). Description of system. *Br J Radiol*. 46: 1016–1022.

19. Johnson T.R., Krauss B., Sedlmair M., et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol*. 2007; 17 (6): 1510–1517.

20. Kruger R.A., Riederer S.J., Mistretta C.A. Relative properties of tomography, K-edge imaging, and K-edge tomography. *Med Phys*. 1977; 4 (3): 244–249.

21. Kulkarni N.M., Eisner B.H., Pinho D.F., Joshi M.C., Kambadakone A.R., Sahani D.V. Determination of renal stone composition in phantom and patients using single-source dual-energy computed tomography. *J Comput Assist Tomogr*. 2013; 37 (1): 37-45.

22. Largo R., Stolzmann P., Fankhauser C.D., Poyet C., Wolfgruber P., Sulser T., Alkadhi H., Winklhofer S. Predictive value of low tube voltage and dual-energy CT for successful shock wave lithotripsy: an in vitro study. *Urolithiasis*. 2016 Jun; 44 (3):271-6.

23. Macovski A., Alvarez R.E., Chan J.L., Stonestrom J.P., Zatz L.M. Energy dependent reconstruction in x-ray computerized tomography. *Comput Biol Med*. 1976; 6 (4): 325–336.

24. Matlaga B.R., Kawamoto S., Fishman E. Dual source computed tomography: a novel technique to determine stone composition. *Urology*. 2008; 72(5): 1164-8.

25. Mitcheson H.D., Zamenhof R.G., Bankoff M.S., et al. Deter-

mination of the chemical composition of urinary calculi by computerized tomography. *J Urol*. 1983; 130: 814–9.

26. Mostafavi M.R., Ernst R.D., Saltzman B. Accurate determination of chemical composition of urinary calculi by spiral computerized tomography. *J Urol*. 1998; 159: 673–5.

27. Motley G., Dalrymple N., Keesling C., et al. Hounsfield unit density in the determination of urinary stone composition. *Urology*. 2001; 58: 170–3.

28. Nakada S.Y., Hoff D.G., Attai S., et al. Determination of stone composition by noncontrast spiral computed tomography in the clinical setting. *Urology*. 2000; 55: 816–9.

29. Newhouse J.H., Prien E.L., Amis E.S., et al. Computed tomographic analysis of urinary calculi. *AJR Am J Roentgenol*. 1984; 142: 545–8.

30. Ngo T.C., Assimos D.G. Uric acid nephrolithiasis: recent progress and future directions. *Rev Urol*. 2007; 9: 17-27.

31. Patel T., et al. Skin to stone distance is an independent predictor of stone-free status following

32. Pittomvils G., Vandeursen H., Wevers M., et al. The influence of internal stone structure upon the fracture behaviour of urinary calculi. *Ultrasound Med Biol*. 1994; 20: 803-10.

33. Primak AN, Ramirez Giraldo JC, Liu X, Yu L, McCollough CH. Improved dual-energy material discrimination for dual-source CT by means of additional spectral filtration. *Med Phys* 2009;36(4):1359–1369.

34. Riederer S.J., Mistretta C.A. Selective iodine imaging using K-edge energies in computerized x-ray tomography. *Med Phys*. 1977; 4 (6): 474–481.

35. Rutchik S.D., Resnick M.I. Ureteropelvic junction obstruction and renal calculi: pathophysiology and implications for management. *Urol Clin North Am*. 1998; 25: 317–21.

36. Saw K.C., Lingeman J.E. Management of calyceal stones. *AUA Update Series*. 1999; 20: 154–9.

37. Saw K.C., McAteer J.A., Monga G., et al. Helical CT of urinary calculi: effect of stone composition, stone size, and scan collimation. *AJR Am J Roentgenol*. 2000; 175: 329–32.

38. Sheir K.Z., Mansour O., Madbouly K., et al. Determination of the chemical composition of urinary calculi by noncontrast spiral computerized tomography. *Urol Res*. 2005; 33: 99–104.

39. Spek A., Strittmatter F., Graser A., Kufer P., Stief C., Staehler M. Dual energy can accurately differentiate uric acid-containing urinary calculi from calcium stones. *World J Urol*. 2016; 34 (9): 1297-302.

40. Thomas C., Heuschmid M., Schilling D., Ketelsen D., Tsiflikas I., Stenzl A., Claussen C.D., Schlemmer H.P. Urinary calculi composed of uric acid, cystine, and mineral salts: differentiation with dual-energy CT at a radiation dose comparable to that of intravenous pyelography. *Radiology*. 2010 Nov; 257 (2): 402-9.

41. Zheng, X., et al. Dual-energy computed tomography for characterizing urinary calcified calculi and uric acid calculi: A meta-analysis. *Eur J Radiol*. 2016; 85: 1843.

42. Zhong P., Preminger G.M. Mechanisms of differing stone fragility in extracorporeal shockwave lithotripsy. *J Endourol*. 1994; 8 (4): 263–8.

References:

1. Alyaev Yu.G., Rudenko V.I., Gazimiev M.-S.A. Urolithiasis. Modern aspect of diagnostics and treatment. «Triada», Moscow,

2006. P. 10-16 (in Russian).
2. Kapanadze L.B., Serova N.S., Rudenko V.I. application of

- dual-energy computer tomography in diagnostics of urolithiasis. *REJR*. 2017; 7 (3): 165-173 (in Russian).
3. Kapanadze L.B., Ternovoy S.K., Rudenko V.I., Serova N.S. Clinical implications of dual-energy computed tomography in the diagnosis and treatment of urolithiasis. *Urology*. 2018. 1: 143-149 (in Russian).
 4. Kuz'menko V.V., Kuz'menko A.V., Bezryadin N.N., Vakhtel V.M. Roentgencomputer tomography in the determination of the urinary stones composition. *Materials of Russian urology society, Sochi, 2003*. P. 185-186 (in Russian).
 5. Lopatkin N.A., Dzeranov N.K. 15-year experience of ESWL in urolithiasis treatment. *Materials of Russian urology society, Sochi, 2003*. P. 5-25 (in Russian).
 6. Acharya S., Goyal A., Bhalla A.S., Sharma R., Seth A., Gupta A.K. In vivo characterization of urinary calculi on dual-energy CT: going a step ahead with sub-differentiation of calcium stones. *Acta Radiol*. 2015; 56 (7): 881-9.
 7. Alvarez R.E., Macovski A. Energy-selective reconstructions in x-ray computerized tomography. *Phys Med Biol*. 1976; 21 (5): 733-744.
 8. Bellin M.F., Renard-Penna R., Conort P., et al. Helical CT evaluation of the chemical composition of urinary tract calculi with a discriminant analysis of CT-attenuation values and density. *Eur Radiol*. 2004; 14: 2134-40.
 9. Curry T.S. III, Dowdey J.E., Murry R.C. Christensen's physics of diagnostic radiology. 4th ed. Philadelphia, Pa: Lea & Febiger. 1990; 61-69.
 10. Deveci S., Coskun M., Tekin M.I., et al. Spiral computed tomography: role in determination of chemical compositions of pure and mixed urinary stones - an in vitro study. *Urology*. 2004; 64: 237-40.
 11. Dretler S.P. Stone fragility-a new therapeutic distinction. *J Urol*. 1988; 139: 1124-7.0
 12. Ferraro PM, Robertson WG, Johri N, et al. A London experience 1995-2012: demographic, dietary and biochemical characteristics of a large adult cohort of patients with renal stone disease. *QJM* 2015; 108:561-568. 63.
 13. Ferrero A., Montoya J.C., Vaughan L.E., Huang A.E., McKeag I.O., Enders F.T., Williams J.C. Jr, McCollough C.H. Quantitative Prediction of Stone Fragility From Routine Dual Energy CT: Ex vivo proof of Feasibility. *Acad Radiol*. 2016; 23 (12): 1545-1552.
 14. Flohr T.G., McCollough C.H., Bruder H., et al. First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur Radiol*. 2006; 16: 256-268.
 15. Graser A., Johnson T.R., Chandarana H., Macari M. Dual energy CT: preliminary observations and potential clinical applications in the abdomen. *Eur Radiol*. 2009; 19 (1): 13-23.
 16. Habashy D., Xia R., Ridley W., Chan L., Ridley L. Impact of dual energy characterization of urinary calculus on management. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2016; 60 (5): 624-631.
 17. Hidas G., Eliahou R., Duvedani M., Coulon P., Lemaitre L., Gofrit O.N., Pode D., Sosna J. Determination of renal stone composition with dual-energy CT: in vivo analysis and comparison with x-ray diffraction. *Radiology*. 2010; 257 (2): 394-401.
 18. Hounsfield G.N. (1973) Computerized transverse axial scanning (tomography). Description of system. *Br J Radiol*. 46: 1016-1022.
 19. Johnson T.R., Krauss B., Sedlmair M., et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol*. 2007; 17 (6): 1510-1517.
 20. Kruger R.A., Riederer S.J., Mistretta C.A. Relative properties of tomography, K-edge imaging, and K-edge tomography. *Med Phys*. 1977; 4 (3): 244-249.
 21. Kulkarni N.M., Eisner B.H., Pinho D.F., Joshi M.C., Kambadakone A.R., Sahani D.V. Determination of renal stone composition in phantom and patients using single-source dual-energy computed tomography. *J Comput Assist Tomogr*. 2013; 37 (1): 37-45.
 22. Largo R., Stolzmann P., Fankhauser C.D., Poyet C., Wolfsgruber P., Sulser T., Alkadhi H., Winklhofer S. Predictive value of low tube voltage and dual-energy CT for successful shock wave lithotripsy: an in vitro study. *Urolithiasis*. 2016 Jun; 44 (3):271-6.
 23. Macovski A., Alvarez R.E., Chan J.L., Stonestrom J.P., Zatz L.M. Energy dependent reconstruction in x-ray computerized tomography. *Comput Biol Med*. 1976; 6 (4): 325-336.
 24. Matlaga B.R., Kawamoto S., Fishman E. Dual source computed tomography: a novel technique to determine stone composition. *Urology*. 2008; 72(5): 1164-8.
 25. Mitcheson H.D., Zamenhof R.G., Bankoff M.S., et al. Determination of the chemical composition of urinary calculi by computerized tomography. *J Urol*. 1983; 130: 814-9.
 26. Mostafavi M.R., Ernst R.D., Saltzman B. Accurate determination of chemical composition of urinary calculi by spiral computerized tomography. *J Urol*. 1998; 159: 673-5.
 27. Motley G., Dalrymple N., Keesling C., et al. Hounsfield unit density in the determination of urinary stone composition. *Urology*. 2001; 58: 170-3.
 28. Nakada S.Y., Hoff D.G., Attai S., et al. Determination of stone composition by noncontrast spiral computed tomography in the clinical setting. *Urology*. 2000; 55: 816-9.
 29. Newhouse J.H., Prien E.L., Amis E.S., et al. Computed tomographic analysis of urinary calculi. *AJR Am J Roentgenol*. 1984; 142: 545-8.
 30. Ngo T.C., Assimos D.G. Uric acid nephrolithiasis: recent progress and future directions. *Rev Urol*. 2007; 9: 17-27.
 31. Patel T., et al. Skin to stone distance is an independent predictor of stone-free status following
 32. Pittomvils G., Vandeursen H., Wevers M., et al. The influence of internal stone structure upon the fracture behaviour of urinary calculi. *Ultrasound Med Biol*. 1994; 20: 803-10.
 33. Primak AN, Ramirez Giraldo JC, Liu X, Yu L, McCollough CH. Improved dual-energy material discrimination for dual-source CT by means of additional spectral filtration. *Med Phys* 2009;36(4):1359-1369.
 34. Riederer S.J., Mistretta C.A. Selective iodine imaging using K-edge energies in computerized x-ray tomography. *Med Phys*. 1977; 4 (6): 474-481.
 35. Rutchik S.D., Resnick M.I. Ureteropelvic junction obstruction and renal calculi: pathophysiology and implications for management. *Urol Clin North Am*. 1998; 25: 317-21.
 36. Saw K.C., Lingeman J.E. Management of calyceal stones. *AUA Update Series*. 1999; 20: 154-9.
 37. Saw K.C., McAteer J.A., Monga G., et al. Helical CT of urinary calculi: effect of stone composition, stone size, and scan collimation. *AJR Am J Roentgenol*. 2000; 175: 329-32.
 38. Sheir K.Z., Mansour O., Madbouly K., et al. Determination of the chemical composition of urinary calculi by noncontrast spiral computerized tomography. *Urol Res*. 2005; 33: 99-104.

39. Spek A., Strittmatter F., Graser A., Kufer P., Stief C., Staehler M. Dual energy can accurately differentiate uric acid-containing urinary calculi from calcium stones. *World J Urol.* 2016; 34 (9): 1297-302.
40. Thomas C., Heuschmid M., Schilling D., Ketelsen D., Tsiflikas I., Stenzl A., Claussen C.D., Schlemmer H.P. Urinary calculi composed of uric acid, cystine, and mineral salts: differentiation with dual-energy CT at a radiation dose comparable to that of intravenous pyelography. *Radiology.* 2010 Nov; 257 (2): 402-9.
41. Zheng, X., et al. Dual-energy computed tomography for characterizing urinary calcified calculi and uric acid calculi: A meta-analysis. *Eur J Radiol.* 2016; 85: 1843.
42. Zhong P., Preminger G.M. Mechanisms of differing stone fragility in extracorporeal shockwave lithotripsy. *J Endourol.* 1994; 8 (4): 263-8.