



Перспективы применения двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике мочекаменной болезни и определении химического состава мочевых камней (обзор литературы)

Климкова М.М.¹, Синицин В.В.², Мазуренко Д.А.³, Берников Е.В.⁴

¹ ГБУЗ “Городская клиническая больница им. В.В. Вересаева”, Москва, Россия

² ФГАУ “Лечебно-реабилитационный центр” Минздрава России, Москва, Россия

³ Европейский медицинский центр, Москва, Россия

⁴ ГБУЗ “Городская клиническая больница №51”, Москва, Россия

Perspectives of Dual-Energy Computed Tomography in Diagnostic of Urinary Stone Disease for the Determination of Urinary Calculi Composition (Review)

Klimkova M.M.¹, Sinitsyn V.E.², Mazurenko D.A.³, Bernikov E.V.⁴

¹ V.V. Veresaev City Clinical hospital, Moscow, Russia

² Fedenter Center of Medicine and Rehabilitation, Moscow, Russia

³ GMC, Moscow, Russia

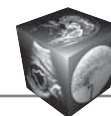
⁴ City Clinical hospital 51, Moscow, Russia

Мочекаменная болезнь – пандемически распространенное заболевание, встречающееся у 4–20% мирового населения и характеризующееся высоким уровнем рецидивов. К настоящему моменту “золотым стандартом” диагностики уролитиаза является бесконтрастная компьютерная томография, имеющая высокую эффективность в диагностике наличия, локализации и размера камней, однако обладающую меньшей эффективностью в определении фенотипических характеристик уролитов. Активно развивающийся в последнее время метод двухэнергетической компьютерной томографии, заключающийся в проведении сканирования на двух энергетических уровнях, уже показал высокую эффективность в диагностике состава уролитов. В обзоре рассматриваются основы метода и техники его проведения на различных томографах, приводится анализ имеющихся литературных данных о применении двухэнергетической компьютерной томографии в диагностике мочекаменной болезни для оценки химического состава уролитов. Также приводятся ограничения мето-

да и возможные ошибки, возникающие при проведении двухэнергетической компьютерной томографии. С учетом проанализированных данных оценивается перспективность внедрения метода в диагностику уролитиаза.

Ключевые слова: двухэнергетическая компьютерная томография, мочекаменная болезнь, химический состав, уролиты.

Nephrolithiasis is a pandemic distributed disease that affects 4-20% of the population worldwide and is characterized by a high recurrence rate. Currently computed tomography without contrast remains the gold standard for diagnosis of urolithiasis because of its high accuracy to detect stones, their location and size. However, the modality has limited effectiveness in determination of urinary calculi chemical composition. Recently introduced imaging modality dual-energy computed tomography based on acquiring images at two different energy levels has showed high effectiveness in determination of urinary calculi composi-



tion. The review is focused on dual energy computed tomography principles and methods performed on different scanners. Recently published data on the application of this imaging modality in the diagnostic of urinary stone disease for calculi composition determination are analysed. The pitfalls of the method are reviewed. Future perspectives of this technique in urinary stone disease diagnosing will be discussed.

Key words: dual-energy computed tomography, urinary stone disease, chemical composition, urinary stones.

Введение

Уролителиаз является пандемически распространенным заболеванием, встречающимся, по разным данным, у 4–20% мирового населения [1]. Кроме того, в последнее десятилетие отмечается тенденция к повышению инцидентности мочевых камней как у мужчин, так и у женщин, что связывается многими учеными с особенностью диеты, содержащей высокий уровень белка [2]. Учитывая высокие инцидентность и частоту рецидивов мочекаменной болезни, достигающую 50%, проблема разработки и внедрения точных и экономически эффективных методов диагностики заболевания приобретает не только медицинскую, но и социальную значимость [3].

Самые распространенные типы камней (до 90% всех случаев) состоят из солей кальция – оксалатов (они подразделяются в свою очередь на моно- и дигидраты) и фосфататов (бруштиты и апатиты). На соли мочевой кислоты приходится до 10% случаев уролителиаза [4]. Реже встречаются цистиновые (1–2% случаев) и другие камни, включая уролиты смешанного состава. Этиология образования уролитов определенного химического состава многофакторная и обусловлена кислотностью мочи, особенностью диеты, наличием ряда заболеваний и метаболических нарушений и др. В свою очередь состав камней играет важную роль в определении этиопатогенеза уролителиаза и методов лечения заболевания, а также подборе медикаментозной и диетотерапии с целью предупреждения дальнейшего рецидива. Так, в работе

J. Kourambas и соавт. (2001) была показана ассоциация химического состава камней, не состоящих из кальция, с соответствующими типами метаболических нарушений, тогда как пациенты с кальциевыми камнями имели гетерогенные нарушения [5].

Терапия уролителиаза в острую фазу, при развитии обструкции мочевых путей камнем, включает медикаментозное лечение (гидратацию, обезболивание и, возможно, назначение альфа-адреноблокаторов) с возможным дальнейшим проведением более инвазивных процедур, таких как ударно-волновая литотрипсия, чрескожная нефролитотрипсия и уретероскопия [3]. Выбор метода терапии зависит от локализации камня, его размеров; важную роль также играет химический состав уролита. В частности, уратные камни по консистенции мягкие и эффективно разрушаются при ударно-волновой литотрипсии, вместе с тем они часто могут быть растворены медикаментозно (до 70–80% случаев), что предпочтительнее интервенционных процедур [6]. Кроме того, оксалатные камни эффективно подвергаются ударно-волновой литотрипсии, тогда как при наличии цистиновых камней и бруштитов, имеющих большую плотность, процедура малоэффективна [7]. Определение состава камней требуется как в случае диагностирования первичного заболевания, так и при развитии рецидива – с целью оценки изменения химических характеристик уролита и соответствующей корректировки терапии.

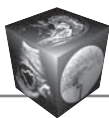
В диагностике уролителиаза ключевую роль играют визуализационные методы. Целями визуальной диагностики являются: 1) выявление уролитов и оценка их локализации в органах мочевыделительной системы; 2) определение размера камней; 3) оценка их химического состава. Ранее широко применявшиеся и являвшиеся методами выбора рентгенологическое исследование и внутривенная урография постепенно стали заменяться бесконтрастной компьютерной томографией (КТ) в связи с такими важными преимуществами

Для корреспонденции: Климкова Марина Михайловна – 127644 Москва, ул. Лобненская, д. 10. ГБУЗ “ГКБ им. В.В. Вересаева”. Тел.: +7-985-226-55-51. E-mail: koshka_@mail.ru

Климкова Марина Михайловна – заведующая отделением лучевой диагностики ГКБ им. В.В. Вересаева, Москва; **Синицин Валентин Евгеньевич** – доктор мед. наук, профессор, руководитель центра лучевой диагностики Лечебно-реабилитационного центра, Москва; **Мазуренко Денис Александрович** – канд. мед. наук, заместитель руководителя Урологической клиники ЕМС, Москва; **Берников Евгений Валерьевич** – врач-уролог отделения урологии ГКБ №51, Москва.

Contact: Klimkova Marina Mikhailovna – Moscow, 127644, Lobnenskay str., 10. V.V. Veresaeva City Clinical hospital. Phone: +7-985-226-55-51. E-mail: koshka_@mail.ru

Klimkova Marina Mikhailovna – head of radiology department of V.V. City Clinical hospital, Moscow; **Sinitsyn Valentin Evgenevich** – doct. of med. sci., professor, Head of Radiology Department in Federal Hospital of Treatment and Rehabilitation, Moscow; **Mazurenko Denis Aleksandrovich** – cand. of med. sci., Deputy head of urological department EMC, Moscow; **Bernikov Evgeniy Valerevich** – urologist of urology department of City Clinical hospital 51, Moscow.



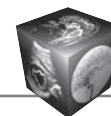
метода, как быстрота, отсутствие необходимости введения контрастного препарата, возможность диагностики других заболеваний мочевыводящей системы, например опухолей и аномалий развития [8]. В свою очередь КТ имеет высокие чувствительность и специфичность, превышающие 95 и 96% соответственно, для определения наличия камней и позволяет определить их важные характеристики: размер, форму и локализацию относительно органов мочевыделительной системы, что имеет важное значение при планировании тактики лечения пациентов [8]. В настоящее время КТ является стандартным методом обследования пациентов с почечной коликой [9]. Однако, несмотря на достаточно высокую эффективность традиционной моноэнергетической КТ в определении химического состава камней *in vitro*, достигающую 80%, в исследованиях *in vivo* результаты были менее обнадеживающими [10]. Отмечено, что моноэнергетическая КТ имеет высокую эффективность для диагностики камней, состоящих из кальция оксалата моногидрата, брушитовых и цистиновых камней, и меньшую – для камней других химических характеристик и смешанного состава. Таким образом, несмотря на имеющиеся преимущества, КТ не позволяет с высокой точностью определять химический состав мочевых камней, который может быть проанализирован только после их хирургического удаления.

Активно развивающийся в последнее время метод двухэнергетической КТ, вероятно, позволит в будущем обойти этот недостаток. Несмотря на то что сама концепция метода, заключающаяся в сканировании на двух энергетических уровнях, появилась еще на заре эры КТ, технология одновременного сканирования получила активное развитие сравнительно недавно [8]. При двухэнергетической КТ проводится сканирование с низким и высоким уровнями энергии с дальнейшим процессингом полученных изображений, что позволяет дифференцировать различные материалы и ткани с одинаковой электронной плотностью, но различающиеся степенью абсорбции фотонов [11–13]. Это позволяет не только выявлять камни, образовавшиеся в органах мочевыделительной системы, но также охарактеризовать их химический состав. Так, при применении двухэнергетической КТ возможно дифференцировать уратные и неуратные камни [14]. В целом имеющиеся к настоящему времени исследования уже показали высокую эффективность метода в диагностике состава уролитов и позволяют предположить, что в будущем двухэнергетическая КТ сможет заменить традиционную КТ в качестве стандартного метода диагностики уролитиаза [15].

Общие принципы метода двухэнергетической КТ

Традиционная моноэнергетическая КТ проводится с применением единственного лучевого пучка, передающегося в пиковых киловольтах (кВп) для последующей интерпретации получаемого изображения. В полученном изображении при этом отображается ослабление уровня сигнала, измеряемое в единицах Хаунсфилда, как результат воздействия материалспецифичных факторов (атомарный состав, плотность и толщина) [16]. Таким образом, 2 различающихся по химическому составу вещества могут иметь при проведении моноэнергетического сканирования одинаковые значения коэффициента ослабления сигнала и не могут быть дифференцированы друг от друга при анализе изменения их сигналов. Вместе с тем любой материал будет иметь различный уровень ослабления сигнала при получении изображения на низком и высоком уровнях кВп, что ведет к предсказуемым изменениям в ослаблении сигнала, когда отображение идет в двух известных пучках лучевой энергии [14]. Это связано с тем, что на низком уровне кВп (20–50 кВ) происходит полная абсорбция рентгеновского излучения, следовательно, фотоэлектронный эффект является доминирующим фактором в определении материала, который ослабляет рентгеновский сигнал. На высоком уровне кВп (50–150 кВ) комптоновское рассеивание оказывает наибольшее влияние на определение ослабления лучевого сигнала. При двухэнергетической КТ сканирование происходит на двух энергетических уровнях, что позволяет получить различные коэффициенты ослабления сигнала и определить различные химические составы, при этом регистрируется спектр низкой и высокой энергии, изображения затем реконструируются с двух отдельных слоев, исключая необходимость наличия двух отдельных пучков излучения. Степень разделения материалов при этом зависит от разделения спектра между низко- и высокоэнергетическим лучевым потоком, точной временной регистрации и пространственной корреляции.

Сам по себе принцип анализа состава мочевых камней посредством сканирования на двух энергетических уровнях с последующим процессингом двух полученных изображений появился достаточно давно. Так, в работе H.D. Mitcheson и соавт. (1983) была показана успешность такого анализа для дифференцировки уратных, струвитных и цистиновых мочевых камней [17]. Однако, несмотря на то что в исследованиях *in vitro* были получены обнадеживающие результаты, широкого применения методика не получила в связи с повышенной



лучевой нагрузкой на пациента при проведении двух последовательных сканирований с дальнейшим сложением полученных изображений. Кроме того, к ограничениям метода относились артефакты, получаемые при движении объектов. Дальнейшее развитие метода стало возможным в основном благодаря совершенствованию томографов, которые позволяют проводить сканирование на двух энергетических уровнях при небольшой дозе облучения, сходной с таковой при проведении традиционной КТ брюшной полости.

В настоящее время двухэнергетическая КТ проводится по трем основным методикам, различающимся используемыми томографами [18]. Первая методика была разработана компанией Siemens Medical Solutions и основывается на использовании двух рентгеновских трубок (dual source imaging), работающих одновременно посредством сканирования на двухволновых 64- или 128-срезовых томографах (Somatom Definition и Somatom Definition Flash) с коллиматорами 0,625/1 мм. Данные трубки могут работать в двух режимах – при 140/80 и 140/100 кВп и располагаются под прямым углом друг к другу, что приводит к маленькой диагностической зоне визуализации – соответственно 26 см при проведении сканирования на аппарате Siemens Somatom Definition и 33 см – на томографе Somatom Definition Flash.

Вторая методика была разработана компанией Philips Healthcare и базируется на использовании томографов с двойным слоем детекторов (так называемый сэндвич-слой) с одной рентгеновской трубкой, вырабатывающей сигнал высокой энергии (например, 120 или 140 кэВ). Детектор соответственно имеет 2 уровня по типу “сэндвича” – верхний слой поглощает большую часть низкого энергетического спектра (приблизительно 50% от луча), в то время как нижний слой детектора поглощает фотоны более высокой энергии. От верхнего и нижнего слоев получается информация, с которой по отдельности реконструируются изображения. Важным отличием данной методики является то, что отсутствует необходимость обеспечения низко- и высокоэнергетических лучевых потоков. Двухслойный компьютерный томограф Philips (Brilliance 64) использует 32-срезовый сканер с 64 электронными каналами (по 2 на каждый двухслойный элемент детектора) и характеризуется срезами толщиной 0,625/1 мм и большим по сравнению с предыдущей методикой полем визуализации в 50 см.

В основе третьей методики, разработанной компанией GE Healthcare, лежит использование нового поколения 64-срезовых томографов с одной рентгеновской трубкой с быстрым переключе-

нием киловольтаж (временной интервал составляет всего около 0,4 мс) между энергиями в 80 и 140 кВп (срезы толщиной 0,625/1,25 мм).

Несмотря на различия в методах получения изображений, последующая обработка достаточно проста и одинакова для всех методик. Базовые томограммы, полученные после проведения двухэнергетической КТ, отображают химический состав мочевых камней различными цветами: камни, состоящие из мочевой кислоты, отображаются, как правило, красным цветом, тогда как уrolиты другого состава дают другой цвет – как правило, синий.

Роль двухэнергетической КТ при диагностике мочекаменной болезни в сравнении с моноэнергетической КТ

Как было отмечено выше, КТ является методом выбора при диагностике уrolитиаза. В ходе КТ без контрастирования определяется плотность камня, коррелирующая с его химическим составом. Однако метод недостаточно точно позволяет дифференцировать камни различных фенотипических характеристик, что показано в различных работах. Так, в исследовании G. Manglaviti и соавт. (2011) было показано, что уратные камни достоверно отличаются по уровню сигнала от других типов камней при проведении КТ, однако имеется частичное перекрытие в уровне сигналов с другими фенотипами [19]. Это подтверждается в исследовании E.S. Wisenbaugh и соавт. (2014), в котором было отмечено перекрытие сигналов между всеми типами камней и указывается, что КТ не подходит для дифференциации неуратных и уратных камней, а частота неправильной оценки достигает 60% [20]. Кроме того, в работе R. Grosjean и соавт. (2013) при сравнении эффективности различных томографов по оценке состава уrolитов была отмечена большая вариабельность результатов, связанная непосредственно с типом томографа и его характеристиками, что может объяснить различающиеся результаты по оценке эффективности метода моноэнергетической КТ в разных исследованиях [21].

Все это способствует активному применению двухэнергетической КТ для оценки химического состава камней. Оценка эффективности метода проводится как в исследованиях *in vitro*, так и *in vivo*, а также при непосредственном сравнении методик традиционной и двухэнергетической КТ. В исследованиях *in vitro* были получены обнадеживающие результаты. Первым этапом были получены уровни сигналов для камней различного химического состава. В исследовании X. Li и соавт. (2013) определяли уровни сигналов камней 7 фенотипов. Было отмечено, что хотя наблюдалось



некоторое перекрытие сигналов между уровнями моногидратных и дигидратных оксалатов кальция, струвитных и цистиновых камней, фосфатов кальция и бруситов, общий уровень сигналов между всеми 7 фенотипами камней был статистически различным, когда анализ проводился при 50 кэВ [22]. J. Wang и соавт. (2012) показали, что чувствительность *in vitro* определения уратных камней в фантоме составляет 100%, однако она драматически снижается при наличии йодсодержащего контрастного препарата [23]. Важно, однако, отметить, что высокие показатели чувствительности и специфичности для определения химического состава камней, полученные в исследованиях *in vitro*, могут не полностью коррелировать с данными, получаемыми при *in vivo* анализе на пациентах, и их нельзя полностью экстраполировать на живой объект.

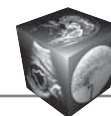
В дальнейшем была показана высокая эффективность метода в *in vivo* диагностике состава уролитов в различных исследованиях. Так, в работе G. Hidas и соавт. (2010) при проведении двухэнергетической КТ в предоперационном обследовании у 27 пациентов с уролитиазом и сравнении полученных результатов с данными постоперационного *in vitro* рентгенологического дифракционного анализа было выявлено, что метод позволяет охарактеризовать состав почечных камней с точностью 82%. Было также отмечено, что метод не позволяет идентифицировать камни инфекционного происхождения, сигнал от которых перекрывается с сигналом, характерным для кальциевых камней [13]. В другом исследовании, проведенном G. Manglaviti и соавт. (2011) и включившем 49 пациентов с уролитиазом, при *in vivo* определении состава смешанных камней только в 4 из 49 случаев были получены ошибочные результаты [19]. S. Acharya и соавт. (2014) ретроспективно были проанализированы результаты *in vivo* анализа состава 114 уролитов и в особенности эффективности дифференциации различных типов кальцийсодержащих камней. Показана высокая точность определения уратных камней, а также охарактеризованы кальциевые и цистиновые камни. Кальциевые камни были подразделены на моногидраты и дигидраты оксалата кальция и апатиты. По результатам исследования был сделан вывод о том, что двухэнергетическая КТ может быть применена для *in vivo* дифференциации различных типов камней и, в частности, для определения резистентных к литотрипсии камней, состоящих из моногидрата оксалата кальция [24]. A. Srek и соавт. (2016) оценивали эффективность метода двухэнергетической КТ в дифференцировке уратов и неуратных камней в сравнении

с химическим составом, определенным методом инфракрасной спектроскопии после их удаления. При исследовании 213 уролитов было показано, что чувствительность и специфичность метода составила 98,4 и 98,1% соответственно. При этом радиационная доза была сравнима с таковой при моноэнергетической КТ и составила в среднем 4,18 мЗв [25]. M. Qu и соавт. (2013) определяли состав уролитов у пациентов с различной массой тела. Было показано, что двухэнергетическая КТ позволяет с аккуратностью 79,1% дифференцировать камни различного состава у пациентов разных весовых групп [26]. Таким образом, в ряде проведенных исследований было определено, что двухэнергетическая КТ позволяет с высокой точностью определить химический состав уролитов как в исследованиях *in vitro*, так и *in vivo*.

Прямое сравнение двухэнергетической КТ с традиционной проводили в ретроспективном исследовании X. Li и соавт. (2013). Было выявлено, что двухэнергетическая КТ имеет меньшее частичное совпадение уровней сигналов у 7 различных типов камней [27]. В слепом проспективном исследовании E.S. Wisenbaugh и соавт. (2014) сравнивали точность *in vitro* определения фенотипических характеристик 32 уролитов при двухэнергетической и традиционной КТ. Было показано, что двухэнергетическая КТ превосходит традиционную в определении состава камней, в частности, по точности дифференцировки неуратных от уратных камней (93 и 40% соответственно) [20]. В целом традиционная КТ позволила идентифицировать уролиты в 52% случаев, в то время как при двухэнергетической КТ было определено 74% уролитов.

Двухэнергетическая КТ сравнивалась с традиционной КТ не только по эффективности, но и по таким важным характеристикам, как время обследования пациента, стоимость сканера, доза облучения и др. В работах было отмечено, что по указанным характеристикам метод двухэнергетической КТ не уступает моноэнергетической КТ. Так, в исследовании M.A. Jepperson и соавт. (2014) было проанализировано 16 пациентов с известным составом камней, интерпретация проводилась 14 экспертами различного уровня практики. Точность определения состава камней и время интерпретации при двухэнергетической КТ были вдвое выше, чем при оценке единиц Хаунсфилда (87 и 45%, 21 и 47 с соответственно). Важным выводом также стало то, что опыт участников исследования не влиял на точность или скорость анализа [28].

Обобщая полученные к настоящему времени данные, можно сделать вывод, что двухэнергети-



ческая КТ является высокоэффективным методом анализа химического состава камней, достаточно простым для овладения специалистами визуальной диагностики. При этом интерпретация результатов проходит достаточно быстро, однако в сравнении с традиционной КТ точность его выше, что позволяет определять состав камней врачам с различным уровнем опыта и знаний.

Проблемы, возникающие при проведении двухэнергетической КТ для определения состава уролитов

Активное применение метода двухэнергетической КТ в диагностике мочекаменной болезни в последнее десятилетие привело к накоплению данных, которые выявляют важные ограничения метода – своеобразные “подводные камни”, приводящие к ошибочной диагностике [29]. Так, в исследовании М.А. Jepperson (2013) был проанализирован клинический опыт применения двухэнергетической КТ у более чем 1200 пациентов с подозрением на уролитиаз с целью определения возможных ограничений метода и поиска возможных путей их решения [30]. В исследовании с применением протокола двухэнергетической КТ почек с последующей постпроцессинговой обработкой посредством программы Syngo (VE36A, Siemens Healthcare) были определены важные ограничения применения двухэнергетической КТ при уролитиазе: неполная характеристика камней маленького размера (диаметром менее 3 мм), маленький размер зоны визуализации, неточные характеристика окружающих материалов и изображения дренажных устройств, что может влиять на решение клиницистов. В целом по результатам исследования был сделан вывод о том, что оценка состава камня при двухэнергетической КТ позволяет получить ценную информацию, что может повлиять на определение тактики лечения пациента. При этом частота выявления так называемых подводных камней в целом низкая, и она в дальнейшем может быть минимизирована за счет понимания визуальным диагностом, проводящим исследование, ключевых принципов двухэнергетической КТ. Можно надеяться, что в будущем при совершенствовании процесса получения изображения и его последующей аналитической обработки возможно будет избежать данных недостатков [28].

I. Ограничения по размеру камней

Как уже было отмечено выше, двухэнергетическая КТ позволяет с эффективностью, приближающейся к 100%, охарактеризовать состав уролитов и дифференцировать камни при их размере

более 3 мм. Однако существуют факторы, которые могут снижать специфичность исследования, самыми важными из которых являются избыточная масса тела пациента (в результате увеличения “квантового шума”) и маленькие размеры камня – менее 3 мм (что снижает соотношение сигнал/помеха) [31]. Так, в работе А.Н. Primak и соавт. (2007), в которой химический состав уролитов определялся *in vitro* в экстрабольшом фантоме, для камней размером менее 3 мм специфичность исследования составила всего 88% [32]. Важно отметить, что описанные исследования проводились на двухэнергетических КТ-сканерах первого поколения. Вместе с тем с появлением сканеров второго поколения, имеющих оловянный фильтр до 140 кВп для улучшения спектрального разделения, так же как для альтернативно низкого уровня кВп для пациентов с поперечным размером более 35 см для улучшения распространения энергии рентгеновского луча, точность исследования повысилась. Несмотря на эти преимущества, точность исследования не достигает 100% для камней диаметром менее 3 мм. Клинически это проявляется в неполной характеристике очень маленьких камней у пациентов с избыточной массой тела. Вместе с тем камни размером менее 3 мм с меньшей вероятностью становятся причиной обструкции и показанием к проведению интервенционных процедур [33]. Информированность о данном виде ограничения двухэнергетической КТ при характеристике камней маленьких размеров очень важна в интерпретации полученных изображений.

II. Зона визуализации

В случае проведения двухэнергетической КТ требуются данные от высоко- и низкоэнергетического пучков. Вторично к техническим ограничениям дизайна исследования из двух источников при двухэнергетической КТ зона визуализации определяется в трубке В (33 см), меньшей, чем диагностическая зона визуализации в трубке А (50 см). Минимальная зона перекрытия между показателями высокой и низкой энергии необходима для осуществления точного анализа, поэтому периферия зоны визуализации трубки В не включается в определяемую при двухэнергетической КТ зону, и анализируемая область меньше примерно на 5 мм, чем актуальный размер зоны визуализации трубки В [34]. Вследствие этого камни, находящиеся на периферии меньшей зоны визуализации, охарактеризовать невозможно. Первое поколение сканеров с двумя источниками энергии имели двухэнергетическую зону визуализации от 26 см, что создавало определенную проблему при



позиционировании пациента для того, чтобы в зону изучения попали интересующие органы [34]. При диаметре зоны визуализации в двухэнергетических сканерах второго поколения сначала подразумевалось аналогичное препятствие, однако, исходя из опыта М.А. Jepperson и соавт. (2014), при таком размере зоны визуализации оказывается минимальное влияние на клинический диагноз [28]. Независимо от окружности талии пациента расстояние между почками, как правило, не превышает 33 см. В связи с этим крайне важным является правильное расположение пациента по центру внутри сканера и контроль за тем, чтобы обе почки до начала сканирования находились в зоне, которая может быть проанализирована.

III. Ошибки в характеристике камней и их мимикрия

Ошибки двухэнергетической КТ могут проявляться у пациентов, которым проводились постановка стентов в уретру или наложение нефростомы. При этом алгоритм двухэнергетической КТ позволяет охарактеризовать стенты уретры в одном цвете и камни – в другом цвете [15]. Это описанное контрастирование представляет важное преимущество двухэнергетической КТ перед моноэнергетической при мониторинговании пациентов с мочекаменной болезнью, поскольку оно позволяет определить мелкие фрагменты камней, расположенных рядом с уретральным стентом. С другой стороны, характеристика стентов при двухэнергетической КТ может иметь недостатки, если не оптимизированы постпроцессинговые настройки оборудования. При ошибочных настройках оборудования наличие фрагментов камней, расположенных близко к стенту, может приводить к тому, что при определении химического состава камня в анализе будут участвовать материалы стента или камень и стент могут быть картированы в одном цвете. В результате этого возможны ошибки, связанные с маскировкой фрагментов камней, что в конечном итоге может привести к формированию ошибочной тактики лечения пациента. Так, в исследовании М.А. Jepperson и соавт. (2014) около 5% пациентов имели стенты уретры, при этом у около половины из этих пациентов имелись остаточные камни, расположенные по соседству со стентами. Ошибки при характеристике этих камней наблюдались в 8% случаев. Для того чтобы избежать данного недостатка метода, необходимо оценивать параметры оборудования и проверять их во избежание необходимости проведения повторного сканирования. Кроме того, чрескожные нефростомические трубки могут иметь рентгеноконтрастные составляю-

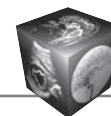
щие из различных материалов. В результате трубки могут отображаться в синем или в красном цвете, подобно уратным камням. В связи с этим при проведении исследования у пациентов с инородными материалами в выделительной системе следует быть особенно внимательными.

IV. Высокая доза облучения при двухэнергетическом КТ

Одной из проблем применения двухэнергетической КТ является потенциальное увеличение дозы облучения, которую получает пациент во время исследования. Существует предположение, что двухэнергетическая КТ сопровождается облучением в высокой дозе, однако ее величина варьирует в зависимости от применения различных технологий (сканер с переключением киловольтаж и детекторы с двойным слоем различаются по данной характеристике, при этом первые дают более низкую дозу облучения), протоколов, а также времени сканирования. Обзор последних литературных данных по этому вопросу не дал однозначных выводов о дозе облучения во время двухэнергетической КТ, поскольку во многих исследованиях говорилось о лучевой нагрузке без указания таких критических факторов, как нормализация качества изображения, соотношение сигнал/помехи, дозопродолжительный результат [35]. В исследовании E.S. Wisenbaugh и соавт. (2014) средняя доза при двухэнергетической КТ живота составила 13 мГр, что соответствует дозе при рутинной КТ органов брюшной полости [20]. Ранее, однако, было отмечено, что средняя доза, используемая для быстрой двухэнергетической КТ с переключением киловольт, была выше 17,5 мГр. В целом поглощенная доза рентгеновского излучения при проведении двухэнергетической КТ не превышает значений, рекомендованных Американским радиологическим колледжем для КТ брюшной полости (КТ-индекс дозы не выше 25 мГр) и примерно на 20% выше дозы, получаемой при рутинной КТ для данного региона тела [36]. В будущем можно ожидать развития новых техник и протоколов, которые будут способствовать более низкой дозе облучения.

Заключение

Применение двухэнергетической КТ в диагностике состава уrolитов является динамично развивающейся областью визуальной диагностики с большим массивом публикаций по данной тематике. Метод уже показал себя в качестве перспективной технологии, обладающей потенциалом для улучшения возможностей в дифференциации уrolитов по их химическому составу. Однако



предстоит еще выяснить множество важных вопросов, связанных с оценкой эффективности метода в диагностике отдельных типов уролитов, характеристикой оптимальных параметров сканирования и постпроцессинговой обработки и оценки изображений, а также определения точной роли двух-энергетической КТ в диагностике мочекаменной болезни.

Список литературы / References

1. Trinchieri A. Epidemiology of urolithiasis. Arch. Ital. Urol. Androl. 1996; 68: 203–249.
2. Robertson W.G., Peacock M., Hodgkinson A. Dietary changes and the incidence of urinary calculi in the U.K. between 1958 and 1976. J. Chron. Dis. 1979; 32: 469–476.
3. Капсаргин Ф.П., Дябкин Е.В., Бережной А.Г. Современные подходы хирургического лечения мочекаменной болезни. Новости хирургии. 2013; 21: 101–106. Kapsargin F.P., Dyabkin E.V., Berezhnoy A.G. Sovremenniy podhod k chirurgicheskovo lecheniya mochekamennoi bolesni. [Current approaches to surgical treatment of urinary stone disease]. Novosti khirurgii. 2013; 21: 101–106. (In Russian)
4. Worcester E.M., Coe F.L. Clinical practice. Calcium kidney stones. N. Engl. J. Med. 2010; 363: 954–963.
5. Kourambas J., Aslan P., Teh C.L. et al. Role of stone analysis in metabolic evaluation and medical treatment of nephrolithiasis. J. Endourol. 2001; 15: 181–186.
6. Ngo T.C., Assimos D.G. Uric acid nephrolithiasis: recent progress and future directions. Rev. Urol. 2007; 9: 17–27.
7. Kim S.C., Burns E.K., Lingeman J.E. et al. Cystine calculi: correlation of CT-visible structure, CT number, and stone morphology with fragmentation by shock wave lithotripsy. Urol. Res. 2007; 35 (6): 319–324.
8. Andrabi Y., Patino M., Das C.J., et al. Advances in CT imaging for urolithiasis. Indian J. Urol. 2015; 31: 185–193.
9. Gerber G.S., Brendler C.B. Evaluation of the urologic patient: History, physical examination, and urinalysis. In: Wein A.J., Kavoussi L.R., Novick A.C., Partin A.W., Peters C.A. (eds.). Campbell-Walsh Urology. Vol 1. 10 ed. Philadelphia: Saunders Elsevier, 2012. 130 p.
10. 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 (11): 2134–2140.
11. Matlaga B.R., Kawamoto S., Fishman E. Dual source computed tomography: a novel technique to determine stone composition. Urology. 2008; 72: 1164–1168.
12. Thomas C., Patschan O., Ketelsen D. et al. Dual-energy CT for the characterization of urinary calculi: In vitro and in vivo evaluation of a low-dose scanning protocol. Eur. Radiol. 2009; 19: 1553–1559.
13. Hidas G., Eliahou R., Duvdevani M. et al. Determination of renal stone composition with dual-energy CT: in vivo analysis and comparison with x-ray diffraction. Radiology. 2010; 257: 394–401.
14. Stolzmann P., Kozomara M., Chuck N. et al. In vivo identification of uric acid stones with dual-energy CT: diagnostic performance evaluation in patients. Abdom. Imaging. 2010; 35: 629–635.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ВИДАР
МЕДИЦИНСКАЯ
ЛИТЕРАТУРА

ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН

<http://vidar.ru/>



Интернет-магазин Издательства «Видар» предлагает своим покупателям профессиональную медицинскую литературу по издательским ценам!

Мы предлагаем вам несколько вариантов доставки: самовывоз, доставка курьером по Москве, доставка почтой в другие регионы.

Ждем Вас на нашем интернет-ресурсе. Также вы сможете оформить подписку на еще не вышедшие издания и купить их по более выгодной цене!

Контакты:

+7-495-768-0434; +7-495-589-8660



15. Jepperson M.A., Thiel D.D., Cernigliaro J.G. et al. Determination of ureter stent appearance on dual-energy computed tomography scan. *Urology*. 2012; 80: 986–989.
16. Johnson T.R., Krauss B., Sedlmair M. et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur. Radiol.* 2007; 17: 1510–1517.
17. Mitcheson H.D., Zamenhof R.G., Bankoff M.S., Prien E.L. Determination of the chemical composition of urinary calculi by computerized tomography. *J. Urol.* 1983; 130: 814–819.
18. Krasnicki T., Podgorski P., Guzinski M. et al. Novel clinical applications of dual energy computed tomography. *Adv. Clin. Exp. Med.* 2012; 21: 831–841.
19. Manglaviti G., Tresoldi S., Guerrer C.S. et al. In vivo evaluation of the chemical composition of urinary stones using dual-energy CT. *Am. J. Roentgenol.* 2011; 197 (1): W76–W83.
20. Wisenbaugh E.S., Paden R.G., Silva A.C. et al. dual-energy vs conventional computed tomography in determining stone composition. *Urology*. 2014; 83: 1243–1247.
21. Grosjean R., Daudon M., Chammas M.F. et al. Pitfalls in urinary stone identification using CT attenuation values: are we getting the same information on different scanner models? *Eur. J. Radiol.* 2013; 82: 1201–1206.
22. Li X., Zhao R., Liu B., Yu Y. Gemstone spectral imaging dual-energy computed tomography: a novel technique to determine urinary stone composition. *Urology*. 2013; 81 (4): 727–730.
23. Wang J., Qu M., Duan X., et al. Characterisation of urinary stones in the presence of iodinated contrast medium using dual-energy CT: a phantom study. *Eur. Radiol.* 2012; 22 (12): 2589–2596.
24. Acharya S., Goyal A., Bhalla A.S. In vivo characterization of urinary calculi on dual-energy CT: going a step ahead with subdifferentiation of calcium stones. *Acta Radiol.* 2014; 55: 631–640.
25. Spek A., Strittmatter F., Graser A. et al. Dual energy can accurately differentiate uric acid-containing urinary calculi from calcium stones. *Wld J. Urol.* 2016 [Epub ahead of print]
26. Qu M., Jaramillo-Alvarez G., Ramirez-Giraldo J.C. et al. Urinary stone differentiation in patients with large body size using dual-energy dual-source computed tomography. *Eur. Radiol.* 2013; 23 (5): 1408–1414.
27. Li X.H., Zhao R., Liu B. et al. Determination of urinary stone composition using dual-energy spectral CT: initial in vitro analysis. *Clin. Radiol.* 2013; 68: 370–377.
28. Jepperson M.A., Ibrahim El-S.H., Taylor A. Accuracy and Efficiency of Determining urinary calculi composition using dual-energy computed tomography compared with hounsfield unit measurements for practicing physicians. *Urology*. 2014; 84: 561–564.
29. Cernigliaro J.G., Sella D., Ibrahim E. et al. Dual-energy CT for the evaluation of urinary calculi: image interpretation, pitfalls and stone mimics. *Clin. Radiol.* 2013; 68: e707–714.
30. Jepperson M.A., Cernigliaro J.G., Sella D. et al. Dual-energy CT for the evaluation of urinary calculi: Image interpretation, pitfalls and stone mimics. *Clin. Radiol.* 2013; 68: 707–714.
31. Stolzmann P., Kozomara M., Chuck N. et al. In vivo identification of uric acid stones with dual-energy CT: diagnostic performance evaluation in patients. *Abdom. Imaging*. 2010; 35: 629–635.
32. Primak A.N., Fletcher J.G., Vrtiska T.J. et al. Noninvasive differentiation of uric acid versus non-uric acid kidney stones using dual-energy CT. *Acad. Radiol.* 2007; 14: 1441–1447.
33. Sfoungaristos S., Kavouras A., Katafigiotis I. et al. Role of white blood cell and neutrophil counts in predicting spontaneous stone passage in patients with renal colic. *Bju. Int.* 2012; 110: E339–345.
34. Graser A., Johnson T.R., Hecht E.M. et al. Dual-energy CT in patients suspected of having renal masses: can virtual nonenhanced images replace true nonenhanced images? *Radiology*. 2009; 252: 433–440.
35. Henzler T., Fink C., Schoenberg S.O. et al. Dual-energy CT: radiationdose aspects. *Am. J. Roentgenol.* 2012; 199: S16–S25.
36. Silva A.C., Morse B.G., Hara A.K. et al. Dual-energy (spectral) CT: applications in abdominal imaging. *Radiographics*. 2011; 31: 1031–1050.